

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

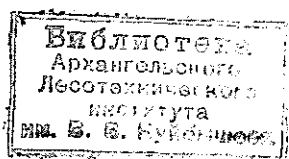
ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

ГОД ИЗДАНИЯ ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

1

1978



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, проф. Ю. Г. Бутко, доц. П. И. Войчалъ, проф. И. В. Воронин, проф. М. Л. Дворецкий, доц. Г. Л. Дранишников, проф. В. Г. Кочегаров, проф. Н. В. Маковский, акад. ВАСХНИЛ, проф. И. С. Мелехов, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Н. Песоцкий, доц. А. Р. Родин, проф. Ю. Д. Силуков, проф. Н. И. Федоров, проф. В. В. Фефилов, проф. В. Н. Худоногов, проф. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 1978.

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1
(Год издания двадцать первый)

Сдан в набор 27/XII 1977 г. Подписан к печати 29/III 1978 г.
Форм. бум. 70×108^{1/16}. Печ. л. 15,4 (1 вкл.). Физ. л. 11. Уч.-изд. л. 15,01.
Сл. 00008. Тираж 2430 экз. Заказ 10652. Цена 1 руб.

Типография им. Скленни издательства Архангельского обкома КПСС,
г. Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 86.

РАБОТАТЬ ЛУЧШЕ, ЧЕМ ВЧЕРА

Наша страна вступила в третий год десятой пятилетки. В сообщении ЦСУ СССР об итогах выполнения Государственного плана развития народного хозяйства СССР в 1977 году отмечается, что трудящиеся Советского Союза, претворяя в жизнь исторические решения XXV съезда КПСС, ознаменовали 60-летие Великого Октября и принятие новой Конституции СССР дальнейшими успехами в экономическом и социальном развитии страны. На основе широко развернувшегося социалистического соревнования в 1977 году обеспечен значительный рост масштабов и эффективности общественного производства, последовательно выполнялась программа повышения материального и культурного уровня жизни народа.

По сравнению с предыдущим 1976 годом национальный доход увеличился на 3,5%, продукция промышленности — на 5,7%. За счет повышения производительности общественного труда в народном хозяйстве обеспечена экономия труда более 3 миллионов человек. В промышленности благодаря приросту производительности труда получено более трех четвертей прироста продукции. Построено около 110 миллионов квадратных метров жилья, что позволило улучшить жилищные условия почти 11 миллионам советских граждан. В народное хозяйство направлено 1932 тысячи специалистов, в том числе 752 тысячи с высшим образованием.

Шаг вперед сделали и отрасли лесного комплекса. Лесовосстановительные работы проведены на 2,3 миллиона гектаров, в том числе на 1,2 миллиона гектаров — посев и посадка леса. На 46,8 миллиона гектаров осуществлено лесоустройство. Объем производства Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности возрос по сравнению с 1976 годом на 6%, Министерства целлюлозно-бумажной промышленности на 3%. Проведены значительные работы по механизации и автоматизации производства, совершенствованию технологии, организации производства, организации труда и управления.

Подводя итоги 1977 года и первых двух лет десятой пятилетки, декабрьский (1977 г.) Пленум ЦК КПСС отметил, что решения XXV съезда партии в целом успешно выполняются, и наметил новые рубежи. «Необходимо, — сказал на Пленуме Генеральный Секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР товарищ Л. И. Брежнев, — сохранить, закрепить трудовой порыв и ритм юбилейного соревнования. Сегодня работать лучше, чем вчера, завтра — лучше, чем сегодня. Таков лозунг дня».

В лесной промышленности предстоит большая работа по дальнейшему выявлению и полному использованию внутренних резервов производства. Недостаточно высоки здесь темпы роста производительности труда, далеко не все предприятия справляются с поставленными заданиями, не везде энергично ведется борьба за повышение эффективности. В 1977 году снизилось производство деловой древесины — один из главных показателей комплексного использования древесины.

Медленно растет производство целлюлозы и бумаги: темпы роста здесь вдвое-втрое ниже, чем по промышленности в целом.

В известной степени эти недостатки и нерешенные проблемы промышленности звучат как упрек лесной науке. И в создании новой техники, и в разработке новейшей технологии, в решении социально-экономических проблем, в подготовке инженерных кадров лесные вузы сделали немало, оказали и оказывают ощутимую помощь производству. Но и здесь необходимо работать лучше, чем вчера, совершенствовать все стороны деятельности вузов, развивать творческую активность профессорско-преподавательского состава, студентов, всех сотрудников вузов.

Испытанным средством мобилизации вузовских коллективов на дальнейшее улучшение работы стало социалистическое соревнование. Сейчас соревнуются друг с другом институты, факультеты, кафедры, учебные курсы и группы, индивидуальные обязательства берут на себя и выполняют все преподаватели, учебно-вспомогательный и обслуживающий персонал. Соревнование охватывает педагогическую, методическую, научно-исследовательскую, воспитательную работу, повышение квалификации, связь с производством. Заметно прогрессируют организационные формы соревнования, методы и критерии подведения итогов и выявления победителей.

Выполнение планов и социалистических обязательств 1978 года — важное условие реализации заданий десятой пятилетки. Декабрьский (1977 года) Пленум ЦК КПСС отметил: «У нас есть все для выполнения и перевыполнения плана: могучая индустрия и современное сельское хозяйство, замечательные люди, для которых процветание Родины — превыше всего, богатые природные ресурсы. Но для этого нужно хорошо, по-ударному потрудиться, еще шире развернуть социалистическое соревнование, заботливо беречь и умножать народное достояние, повышать организованность и дисциплину». Коллективы лесных вузов горячо одобряют решения Пленума ЦК КПСС и сессии Верховного Совета СССР и готовы с удвоенной энергией трудиться во имя торжества коммунизма!

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 634.0.568

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ
ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД
СЕМЕННОГО И ПОРОСЛЕВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

М. В. ДАВИДОВ

Украинская сельскохозяйственная академия

Анализом большого экспериментального материала, полученного в результате исследований древостоев дуба, бука, черной ольхи и березы, установлено, что закономерности их роста по высоте идентичны и не зависят от породы, а относительные высоты не связаны и с классом бонитета. Полученные выводы и уравнения связи между относительными средними высотами древостоев и возрастом могут быть использованы при составлении эскизов опытных таблиц по типам роста для других лиственных пород.

В опубликованных ранее работах освещены результаты изучения особенностей роста древостоев дуба [1, 3], бука [7], черной ольхи [4] и березы [6]. Исследования показали, что древостои этих древесных пород не всегда растут по «обычному» типу роста (T_0), т. е. с умеренным приростом по высоте, нашедшим отражение в опытных таблицах. Детальное изучение показало, что они нередко растут с различной энергией прироста по высоте, особенно в молодом возрасте: с убывающей (тип роста T_y) или с возрастающей (T_b).

Этот факт имеет немаловажное значение для лесохозяйственной практики и представляет интерес с научной точки зрения. В литературе [3, 4, 6, 7] уже отмечалось, при каких условиях местопроизрастания наблюдаются те или иные особенности роста древостоев; высказаны соображения и о причинах необычного их роста по высоте. Поэтому ограничимся лишь подведением итогов и анализом полученных результатов.

Здесь уместно привести сведения об использованном материале, сбором и обработкой которого в течение ряда лет занимался коллектив научных работников и студентов* под руководством автора, при непосредственном его участии. В табл. 1 дано распределение пробных площадей по породам, типам роста и классам бонитета.

Из общего числа проб около 200 было заложено студентами и аспирантами, остальные — автором. Исследования проводили в различных районах европейской части СССР: на Украине (лесостепь, Полесье, Северная Буковина), в Белоруссии (в поймах р. Березины, Случи, Днепра), Чувашской АССР (в дубравах Среднего Поволжья), центральных районах РСФСР (в Брянском и Усманском лесных массивах, Тульских засеках, Шиповом лесу) и Калининградской области. Из данных табл. 1 видно, что наибольшее число проб было заложено в древостоях семенного происхождения (75%) и в насаждениях дуба (61%). Примерно 50% проб приходится на древостои I класса бонитета. По типам роста более полно представлены насаждения, развивающиеся с убывающей интенсивностью прироста древостоев по

* Бывшие аспиранты Г. А. Поршкый, Е. И. Луций, В. В. Данилов, Г. Ф. Гуменик, К. К. Смаглюк и студенты Д. М. Гончаренко, Н. И. Гичак, Н. С. Болух, С. И. Кашпор.

Таблица 1

Порода	Распределение пробных площадей по типам роста и классам бонитета									Итого
	Т ₀			Т _у			Т _в			
	Ia	I	II	Ia	I	II	Ia	I	II	
Дуб	$\frac{35}{-}$	$\frac{50}{-}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{12}{-}$	$\frac{61}{-}$	$\frac{22}{-}$	$\frac{8}{-}$	$\frac{37}{7}$	$\frac{13}{23}$	$\frac{253}{30}$
Черная ольха	—	$\frac{20}{-}$	—	$\frac{19}{-}$	$\frac{7}{43}$	$\frac{-}{22}$	—	—	—	$\frac{26}{85}$
Береза	—	—	—	$\frac{10}{-}$	—	—	$\frac{37}{-}$	—	—	$\frac{47}{-}$
Бук	$\frac{10}{-}$	—	—	—	—	—	$\frac{10}{-}$	—	—	$\frac{20}{-}$
Итого	$\frac{45}{-}$	$\frac{50}{20}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{41}{-}$	$\frac{68}{43}$	$\frac{22}{22}$	$\frac{55}{-}$	$\frac{37}{7}$	$\frac{13}{23}$	$\frac{346}{115}$

Примечание. В числителе число проб в семенных древостоях; в знаменателе — в порослевых.

высоте (40%); остальные пробные площади распределены почти поровну между древостоями типа Т₀ и Т_в.

В целях определения запаса древостоев, а также для установления особенностей их роста было срублено около 2000 модельных деревьев, из них более 1000

Таблица 2

Возраст, лет	Ход роста средних высот, м, по типам роста и классам бонитета									
	Т _у						Т _в			
	Ia		I		II		Ia	I	II	
	Дуб	Черная ольха	Дуб	Черная ольха	Дуб	Черная ольха	Дуб	Бук	Дуб	
20	$\frac{11,4}{-}$	$\frac{11,7}{-}$	$\frac{10,5}{-}$	$\frac{8,5}{14,3}$	$\frac{8,5}{-}$	$\frac{-}{11,9}$	$\frac{6,6}{-}$	$\frac{7,2}{-}$	$\frac{6,1}{9,4}$	$\frac{4,9}{7,7}$
30	$\frac{15,7}{-}$	$\frac{16,3}{-}$	$\frac{14,5}{-}$	$\frac{13,0}{18,1}$	$\frac{12,2}{-}$	$\frac{-}{15,4}$	$\frac{10,7}{-}$	$\frac{11,6}{-}$	$\frac{9,9}{13,9}$	$\frac{8,3}{11,0}$
40	$\frac{19,2}{-}$	$\frac{20,2}{-}$	$\frac{17,7}{-}$	$\frac{16,6}{20,8}$	$\frac{15,0}{-}$	$\frac{-}{18,2}$	$\frac{15,0}{-}$	$\frac{15,7}{-}$	$\frac{13,8}{17,9}$	$\frac{11,7}{14,6}$
50	$\frac{22,3}{-}$	$\frac{23,0}{-}$	$\frac{20,3}{-}$	$\frac{19,3}{23,0}$	$\frac{17,2}{-}$	$\frac{-}{20,2}$	$\frac{19,3}{-}$	$\frac{19,4}{-}$	$\frac{17,5}{21,4}$	$\frac{14,8}{17,3}$
60	$\frac{25,0}{-}$	$\frac{24,9}{-}$	$\frac{22,4}{-}$	$\frac{21,3}{24,5}$	$\frac{19,0}{-}$	$\frac{-}{21,6}$	$\frac{23,1}{-}$	$\frac{22,7}{-}$	$\frac{20,6}{24,2}$	$\frac{17,4}{20,6}$
70	$\frac{27,2}{-}$	$\frac{26,4}{-}$	$\frac{24,1}{-}$	$\frac{22,7}{25,6}$	$\frac{20,6}{-}$	$\frac{-}{22,6}$	$\frac{26,3}{-}$	$\frac{25,6}{-}$	$\frac{23,2}{26,0}$	$\frac{19,9}{22,6}$
80	$\frac{29,2}{-}$	—	$\frac{25,5}{-}$	—	$\frac{22,1}{-}$	$\frac{-}{23,3}$	$\frac{28,9}{-}$	$\frac{28,1}{-}$	$\frac{25,3}{27,5}$	$\frac{21,9}{24,7}$
90	$\frac{30,9}{-}$	—	$\frac{26,7}{-}$	—	$\frac{23,7}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{30,9}{-}$	$\frac{30,0}{-}$	$\frac{26,7}{-}$	$\frac{23,7}{-}$

Примечание. В числителе средняя высота семенных древостоев; в знаменателе — порослевых.

моделей подвергнуто анализу хода роста по высоте и диаметру, что дало возможность установить типы роста исследуемых древостоев.

В результате выяснилось, что дубовые древостои, при большом разнообразии условий местопроизрастания, могут быть охарактеризованы тремя типами роста (T_0 , T_y , T_b). Для черноольховых насаждений наиболее характерен тип роста T_y , значительно реже они растут по типу роста T_0 [4].

Березовые и буковые древостои, наряду с умеренным приростом по высоте (T_0), иногда растут по типу с убывающей интенсивностью (T_y), что наблюдается в березняках [6], или с возрастающей интенсивностью (T_b), что отмечено для буковых древостоев [7].

В табл. 2 помещены данные о ходе изменения средних высот древостоев названных пород с возрастом, заимствованные из соответствующих таблиц хода роста, опубликованных в последние годы. Анализ их показывает, что средние высоты семенных и порослевых древостоев, независимо от породы, в пределах типа роста и класса бонитета оказались настолько близкими, что можно было вывести средние величины по каждому десятилетию.

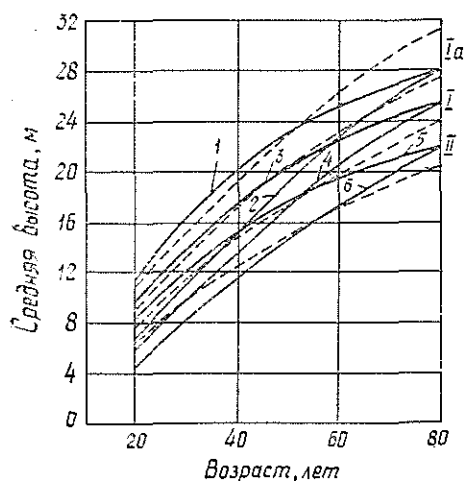


Рис. 1. Особенности роста по высоте древостоев лиственных пород семенного происхождения.

1, 3, 5 — кривые высот древостоев типа T_0 ; 2, 4, 6 — T_y ; штриховыми линиями показаны границы классов бонитета по бонитировочной шкале М. М. Орлова.

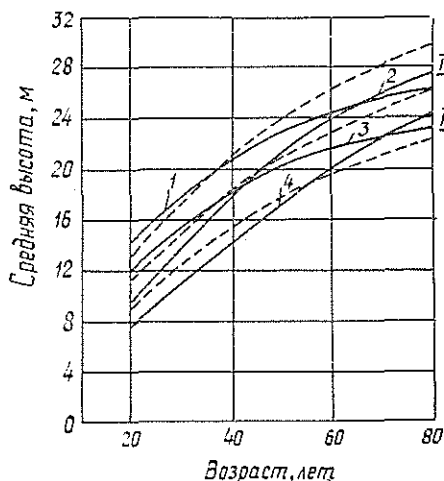


Рис. 2. Особенности роста по высоте древостоев лиственных пород порослевого происхождения.

1, 3 — кривые высот древостоев типа T_y ; 2, 4 — T_b ; штриховыми линиями показаны границы классов бонитета по бонитировочной шкале М. М. Орлова.

На фоне бонитировочной шкалы для семенных и порослевых древостоев наглядно представлены особенности их роста по высоте. Как видно из рис. 1 и 2, кривые средних высот по типам роста древостоев пересекают границы классов бонитета, но к определенному возрасту (80 лет) для древостоев различных типов роста они практически одинаковы.

Для иллюстрации приводим математическое выражение кривых хода роста по средней высоте древостоев I класса бонитета семенного и порослевого происхождения. Уравнения, полученные с помощью

ЭВМ по программе, разработанной кафедрой таксации Украинской сельскохозяйственной академии, имеют следующий вид*:

для семенных древостоев типа роста T_y

$$\frac{1}{H} = 0,0275 + 3,750A^{-1,310}; \quad (1)$$

типа роста T_b

$$H = 1,051 + 2,813x + 0,810x^2 - 0,152x^3 + 0,007x^4; \quad (2)$$

для порослевых древостоев типа роста T_y

$$\frac{1}{H} = 0,030 + 1,20A^{-1,135}; \quad (3)$$

типа роста T_b

$$H = 1,433 - 0,565x + 1,194x^2 - 0,169x^3 + 0,007x^4, \quad (4)$$

где A — возраст;

$$x = \frac{A}{10};$$

H — средняя высота, м.

Полученные результаты полностью подтверждают известное положение Вебера [8] о том, что «закономерности роста насаждений одни и те же для всех пород и, хотя между отдельными породами в насаждениях различного происхождения существуют степенные различия энергии роста, отраженные в уравнениях, однако нет специфических различий, обусловленных особенностями отдельных пород».

Как следствие, и относительные высоты R_H (полученные делением высоты древостоя в данном возрасте и классе бонитета на соответствующие средние значения высот бонитированной шкалы М. М. Орлова**) зависят лишь от возраста древостоев, типа их роста и происхождения. Порода и класс бонитета, как выяснилось, не существенно влияют на их величину, а потому оказалось возможным получить обобщенные данные по десятилетиям, отдельно для древостоев семенного и порослевого происхождения (табл. 3).

Зависимость между относительными высотами R_H и возрастом A также хорошо передается уравнениями гиперболы и параболы:

$$R_H = 1,215 - 0,061x + 0,027x^2 - 0,006x^3; \quad (5)$$

типа роста T_b

$$R_H = 0,094 - 0,002x + 0,024x^2 - 0,004x^3; \quad (6)$$

для порослевых древостоев типа роста T_y

$$R_H = 0,78 + 2,38A^{-0,595}; \quad (7)$$

типа роста T_b

$$R_H = 0,444 + 0,134x - 0,008x^2. \quad (8)$$

* Хороший результат эти уравнения дают для древостоев в возрасте от 20 до 80 лет.

** Шкала выравнена для семенных насаждений К. Е. Никитиным [5], для порослевых — М. В. Давидовым [2].

Таблица 3

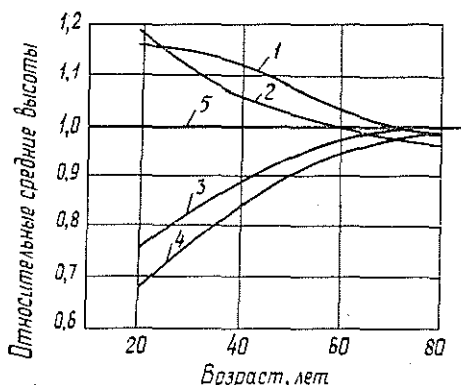
Возраст, лет	Редукционные числа по высоте R_H по типам роста и класса бонитета					
	T_y			T_b		
	Ia	I	II	Ia	I	II
20	$\frac{1,13}{-}$	$\frac{1,11}{1,17}$	$\frac{1,19}{1,19}$	$\frac{0,64}{-}$	$\frac{0,70}{0,77}$	$\frac{0,69}{0,77}$
30	$\frac{1,13}{-}$	$\frac{1,12}{1,10}$	$\frac{1,15}{1,10}$	$\frac{0,74}{-}$	$\frac{0,79}{0,85}$	$\frac{0,79}{0,79}$
40	$\frac{1,08}{-}$	$\frac{1,09}{1,06}$	$\frac{1,12}{1,08}$	$\frac{0,82}{-}$	$\frac{0,87}{0,91}$	$\frac{0,87}{0,87}$
50	$\frac{1,05}{-}$	$\frac{1,06}{1,02}$	$\frac{1,08}{1,00}$	$\frac{0,89}{-}$	$\frac{0,92}{0,95}$	$\frac{0,92}{0,89}$
60	$\frac{1,02}{-}$	$\frac{1,02}{1,00}$	$\frac{1,07}{1,02}$	$\frac{0,94}{-}$	$\frac{0,97}{0,99}$	$\frac{0,94}{0,97}$
70	$\frac{1,00}{-}$	$\frac{1,00}{0,97}$	$\frac{1,01}{0,98}$	$\frac{0,98}{-}$	$\frac{0,98}{0,99}$	$\frac{0,98}{0,98}$
80	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{0,99}{0,95}$	$\frac{1,00}{0,96}$	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{0,99}{0,99}$	$\frac{0,99}{1,01}$
90	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{0,98}{-}$	$\frac{1,00}{-}$	$\frac{0,99}{-}$	$\frac{0,98}{-}$	$\frac{1,00}{-}$

Примечание. В числителе R_H семенных древостоев; в знаменателе — порослевых.

Условные обозначения в приведенных уравнениях те же, что и в предыдущих (1), (2), (4).

Рис. 3. Изменение относительных средних высот с возрастом в древостоях лиственных пород семенного и порослевого происхождения.

1, 4 — кривые относительных высот в семенных древостоях типов T_y и T_b ; 2, 3 — кривые относительных высот в порослевых древостоях типов T_y и T_b ; 5 — исходная средняя высота по бонитировочной шкале М. М. Орлова, принимаемая за единицу.



Наглядное представление о зависимости между относительными высотами R_H и возрастом A дано на рис. 3. Порослевые древостои, развивающиеся по типу роста T_b , как и следовало ожидать, отличаются большей энергией прироста по высоте, чем семенные, но до определенного возраста (70—80 лет), по достижении которого это различие сглаживается. Иное соотношение наблюдается в древостоях типа T_y : здесь падение энергии роста по высоте древостоев семенного происхождения происходит значительно медленнее, чем в порослевых, что также вполне объяснимо.

Очевидно, что результаты настоящего исследования могут представить определенный интерес для специалистов лесного хозяйства. В лесных массивах, где ведется интенсивное лесное хозяйство и требуется тщательный подход к установлению оптимального возраста главной рубки, по-видимому, необходимо учитывать особенности роста древостоев (типы роста). Однако для этого надо, прежде всего, поднять на должную высоту технику лесоустроительных работ, вооружив специалистов современными таблицами хода роста древостоев, учитывающими особенности их роста. Это тем более необходимо, что подавляющее большинство опубликованных ранее опытных таблиц составлено в предположении неизменности класса бонитета во времени (для древостоев типа T_0), тогда как в действительности древостои нередко «переходят» с возрастом из одного класса бонитета в другой. Этот факт подтверждается исследованиями как в нашей стране, так и за рубежом. Поэтому желательным образовавшийся «пробел» в таксационной литературе заполнить в самые ближайшие годы. Для древостоев некоторых лиственных пород (дуб семенного происхождения, черная ольха, белая акация, ветла) автором уже составлены эскизы опытных таблиц по типам роста. Построение таблиц для древостоев других пород семенного и порослевого происхождения в значительной мере облегчается в связи с полученными результатами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Давидов М. В. Нові дослідження росту культур дуба на Україні. Київ, «Урожай», 1972. [2]. Давидов М. В. О бонитировании древостоев порослевого происхождения. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 1. [3]. Давидов М. В. Результаты исследования роста культур дуба в лесостепной зоне европейской части СССР. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 6. [4]. Давидов М. В. Особенности роста черноольховых насаждений. — «Лесное хозяйство», 1976, № 8. [5]. Никитин К. Е. К вопросу бонитирования насаждений. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1960, № 4. [6]. Порицкий Г. А. Ход роста, строение и сортиментная структура насаждений березы Полесья УССР. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Киев, 1962. [7]. Смаглюк К. К. Особенности хода роста насаждений бука в Северной Буковине. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1964, № 2. [8]. Weber. Lehrbuch der Forsteinrichtung. 1891.

Поступила 4 февраля 1977 г.

УДК 634.0.221.223

ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПОСТЕПЕННЫХ РУБОК В ЛИСТВЕННО-ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

А. П. СЛЯДНЕВ

Брянский технологический институт

Описаны результаты исследований на постоянных пробках 14—15-летнего опыта применения разных вариантов постепенных осветительных рубок и азотного удобрения в форме аммиачной селитры в березово-еловых и осиново-еловых насаждениях свежей и влажной сурамени. Оценка результатов сделана по данным о текущем и дополнительном приростах.

Постепенные рубки в лесном хозяйстве получают все большее развитие. В стране накоплен значительный опыт их выполнения и совершенствования в сосновых, еловых, дубовых и смешанных насаждениях ([1—6] и др.).

В целях поиска путей повышения эффективности осветительных рубок нами были заложены постоянные пробы в березово-еловом и осиново-еловом насаждениях, сформировавшихся после сплошных рубок в условиях соответственно свежей и влажной сурамени.

В 1960 г. в березово-еловом насаждении квартала 62 Карачижско-Крыловского лесничества Брянской области был проведен первый прием осветительной рубки интенсивностью 20,5—96,2% от запаса березового элемента леса. Еловый ярус на разных секциях имел запас 41—102 м³/га. Возраст ели 53 года, березы 62 года. В 1968 г. на ряде секций была внесена аммиачная селитра в дозе по действующему веществу N₃₃—N₁₅₅.

Вторая проба была заложена в 65-летнем осиново-еловом насаждении квартала 72 того же лесничества. В год закладки опыта было вырублено за счет осины 17,7—76,2% запаса верхнего полога. В 1968 г. аммиачная селитра внесена в дозе N₁₀₀—N₁₅₅.

Оценка результатов опыта спустя 14—15 лет после их закладки, произведенная на основании показателей текущего прироста наличного запаса основных элементов леса, определенных по способу М. Л. Дворецкого, позволила отметить следующее.

Текущий прирост елового элемента в период до опыта (1955—1959 гг.) колебался от 1,99 (секция 1) до 3,49 (секция 4) м³/га. На большинстве секций он был близок к приросту контроля. Прирост у оставленных после первого приема постепенной рубки деревьев березового элемента в этот же период составлял 0,13—3,91 м³/га.

Под влиянием изреживания в первое пятилетие после постепенной рубки приросты ели на опытных вариантах составили 103,3—165,7% от прироста ели на контроле. Во второй период (1965—1969 гг.), когда, наряду с изреживанием, начало оказывать влияние и внесенное в 1968 г. азотное удобрение, приросты опытных секций по сравнению с контролем оказались более высокими, чем в первый период (134,1—282,4%). Наибольшим оказался прирост на участке, где было проведено сильное изреживание и внесено 55 кг/га азота (282,4%). Под влиянием 150 кг/га азота, внесенного на умеренно прореженный участок, энергия формирования прироста повысилась в 1,9 раза (секция 1), а под влиянием примерно такого же изреживания при внесении 55 кг/га азота — в 2 раза (табл. 1). Вместе с этим на прореженной и обильно удобренной азотом секции 1 почти удвоился темп формирования прироста березовым элементом леса, чего не наблюдалось в более полном и менее удобренном древостое (секция 3). В последний исследуемый период (1970—1974 гг.) положительное влияние выполненных опытных вариантов продолжало возрастать. Особенно усилилась энергия формирования прироста на секции 2 (в 4,2 раза). Продолжали оказывать действие на рост ели и одни изреживания (секции 4 и 5), но наиболее эффективным было сочетание изреживания лиственного полога с внесением азотного удобрения. Ускорение формирования прироста березового элемента леса скорее всего достигается сильным изреживанием в сочетании с высокой дозой удобрения. Ель же лучше реагирует на умеренные дозы азота, причем степень использования его повышается при внесении после сильного изреживания верхнего полога. Принимая во внимание качественную оценку древесины разных пород, можно считать, что последний вариант наиболее эффективен.

В осиново-еловых насаждениях прирост по запасу елового элемента леса в период до опыта колебался от 2,28 до 4,24 м³/га (табл. 2). В первые 7 лет после осветительной рубки он возрос до 3,03—6,79 м³/га. В это же время на контрольной секции он практически не изменился. Увеличение прироста ели было наибольшим на секциях, где проведена сильная вырубка деревьев лиственных пород (1а, 1б, 2). Повторная

Таблица 1

Номер секции	Издержка, рубки, % от запаса	Доза удобрения, кг/га по действующему веществу	Порода	Прирост по запасу											
				1955—1959 гг.			1960—1964 гг.			1965—1969 гг.			1970—1974 гг.		
				м ³ /га	% к приросту контроля	до опыта	м ³ /га	% к приросту контроля	до опыта	м ³ /га	% к приросту контроля	до опыта	м ³ /га	% к приросту контроля	до опыта
6	—	—	Е	2,45	100,0	100,0	2,45	100,0	100,0	2,79	100,0	113,9	3,35	100,0	136,7
				3,82	100,0	100,0	3,84	100,0	100,0	5,22	100,0	136,6	5,58	100,0	146,1
1	36,2	150	Е	6,27	100,0	100,0	6,29	100,0	100,0	8,01	100,0	127,8	8,98	100,0	142,4
				1,99	81,2	120,8	2,96	148,7	3,76	134,8	188,9	4,33	129,3	217,6	
			Б	3,07	80,4	88,3	3,39	110,4	6,31	120,9	205,5	8,70	155,9	283,4	
2	96,2	55	Е	5,06	80,7	101,0	6,35	125,5	10,07	125,7	199,0	13,03	145,9	257,5	
				2,78	113,5	160,4	3,98	141,4	7,88	282,4	283,5	11,73	350,1	421,8	
			Б	0,13	3,4	3,4	0,13	100,0	0,13	2,5	100,0	0,14	2,5	107,7	
3	32,0	55	Е	2,91	46,4	64,5	4,06	139,5	8,01	100,0	275,3	11,87	132,3	407,9	
				2,09	85,3	127,3	3,12	149,3	4,17	149,5	199,5	4,76	142,1	227,8	
			Б	3,04	95,3	67,2	2,58	70,9	2,91	55,8	79,9	4,75	85,1	130,5	
4	20,5	—	Е	5,73	91,4	90,6	5,70	99,5	7,08	88,4	123,6	9,51	106,5	166,0	
				3,49	142,4	165,7	4,06	116,3	4,91	176,0	140,7	5,49	163,9	157,3	
			Б	3,91	102,4	116,9	4,49	114,8	4,81	92,1	123,0	5,18	92,8	132,5	
5	37,2	—	Е	7,40	118,0	135,9	8,55	115,5	9,72	122,0	131,4	10,67	119,5	144,2	
				2,50	102,0	103,3	2,53	101,2	3,74	134,1	149,6	5,04	150,4	201,6	
			Б	2,23	58,4	59,6	2,29	102,7	2,43	46,6	109,0	2,38	42,7	106,7	
			Итого	4,73	75,4	76,7	4,8	101,9	6,17	77,0	130,4	7,42	83,1	156,9	

Таблица 2

Номер секции	Интенсивность изреживания, % от запаса	Доза в 1968 г., кг/га	Прирост по запасу, м ³ /га, в периоды			Дополнительный прирост, м ³ /га, в периоды после рубки	
			до опыта	после рубки		первый	второй
				первый	второй		
4	—	—	2,80	2,86	2,90	—	—
5	17,7	—	2,28	3,03	3,10	0,69	0,72
6	22,1	—	3,05	3,13	3,40	0,02	0,25
7	46,3	—	2,64	3,31	4,21	0,61	1,47
2	42,7	N ₁₅₅	3,95	4,20	6,40	0,19	2,35
Ia	76,2	N ₁₀₀	3,75	5,57	7,97	1,76	4,12
16	75,2	N ₁₀₀	4,24	6,79	8,80	2,49	4,46

рубка в 1970 г. и внесение на ряде секций аммиачной селитры обусловили дальнейшее повышение прироста ели.

За 8 лет, прошедшие с 1968 г., приросты на удобренных секциях по сравнению с приростами до опыта возросли на 2,45—4,56 м³/га и в лучших вариантах достигли 7,97—8,80 м³/га. На неудобренных и менее изреженных секциях изменения приростов за этот же промежуток времени составляли 0,35—1,57 м³/га, а приросты достигли только 3,10—4,21 м³/га (на контроле — 2,9 м³/га).

Дополнительный прирост на опытных секциях с учетом исходных различий по сравнению с контролем в первый семилетний период после сильных рубок интенсивностью 46,3—76,2% составил 0,61—2,49 м³/га, после умеренных и слабых — 0,02—0,69 м³/га, после повторного изреживания и внесения аммиачной селитры — 2,35—4,73 м³/га и после одного изреживания — 0,25—1,47 м³/га. Дополнительный прирост от одного азотного удобрения — 2,0—2,3 м³/га в год.

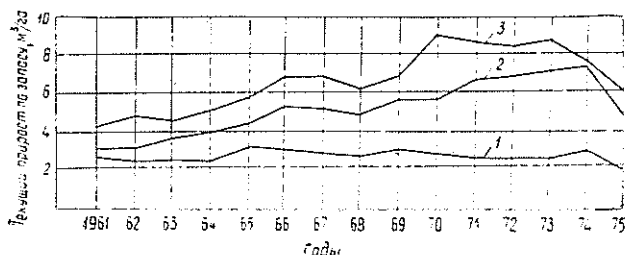


Рис. 1. Динамика текущего прироста по запасу елового элемента леса при разных вариантах постепенной рубки и азотного удобрения.

1 — контроль (секция 4); 2 — осветительная рубка интенсивностью 42,7%, N₁₅₅ (секция 2); 3 — осветительная рубка интенсивностью 76,2%, N₁₀₀ (секция 3).

Материалы, характеризующие динамику текущего прироста, показывают, что изреживания всех степеней интенсивности стимулируют усиление формирования текущего прироста по запасу уже в первый год после рубки, и это влияние с течением времени нарастает (рис. 1). С увеличением интенсивности изреживания верхнего полога текущий прирост ели по абсолютной величине из года в год возрастает все заметнее. Внесение аммиачной селитры летом 1968 г. обусловило, начиная

с 1969—1970 гг., больший дополнительный прирост, чем в годы до удобрения. Так, внесение N_{155} на второй секции повысило данный показатель в 1969—1972 гг. до 2,5—3,8 м³/га, а в 1966—1967 гг. он составил 1,8—1,9 м³/га. Положительное влияние этого варианта удобрения наблюдалось до 1974 г. Под действием N_{100} на участках сильных изреживаний прирост повысился в 1970—1974 гг. на 4,6—6,0 м³/га. Существенное увеличение дополнительного прироста наблюдалось в этом случае через два года после внесения удобрения. Продолжительность действия удобрения отмечалась на протяжении 4—5 лет.

Если принять во внимание дополнительный прирост от одного изреживания в предшествующие два года, то от дозы N_{155} прибавка в приросте в годы наиболее благоприятного влияния составляет 1,8—2,3 м³/га, а за шестилетний период суммарное увеличение составило 7,3 м³/га. При внесении N_{100} на секции 1а дополнительный прирост повысился с 3,6—3,9 м³/га в 1966—1967 гг. до 4,6—6,0 м³/га в 1970—1974 гг. Общий дополнительный прирост от одного азотного удобрения составил 6,6 м³/га на секции 1а и 7,4 м³/га на секции 1б.

Расчеты показали, что применение постепенных рубок в сочетании с азотным удобрением в березово-еловых насаждениях — экономически целесообразный прием. Прибыль от одних рубок составляет 19,52 р./га, а от рубок в сочетании с азотным удобрением — 34,69—109,16 р./га (табл. 3).

Таблица 3

Номер секции	Интенсивность рубки, %	Доза удобрения, кг/га по действующему веществу	Сокращение периода выращивания			Стоимость, р.-к./га		Затраты на удобрение, р.-к./га	Прибыль, р.-к./га
			лет	в результате которого может быть получено дополнительно		Дополнительный прирост	Всего		
				м ³ /га	р./га				
2	96,2	55	15	26	47—80	71—65	119—45	10—29	109—16
1	36,2	150	3	4,8	8—54	71—36	79—99	20—36	59—54
3	32,0	55	7	13,5	23—37	21—61	44—98	10—29	34—69
4	20,5	—	3	5,7	9—50	10—02	19—52	—	19—52

Обобщая рассмотренное, можно отметить, что положительное влияние на рост ели в условиях свежей и влажной сурамени оказывают сравнительно небольшие и умеренные дозы азотного удобрения.

Степень эффективности использования удобрения, оцениваемая по величине дополнительного прироста еловой древесины, находится в тесной зависимости от интенсивности постепенных рубок. Подбирая тот или иной вариант рубки и удобрения, можно обеспечить получение наивысшего лесорастительного и экономического результата.

Таким образом, применение азотного удобрения — один из приемов повышения эффективности постепенных рубок в лиственно-еловых насаждениях, сформировавшихся в условиях свежей и влажной сурамени.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Алексеев П. В. Чересполосно-коридорно-пасечные рубки в елово-лиственных древостоях. Йошкар-Ола, Марийское книжн. изд-во, 1967. [2]. Гуман В. В. Рубки главного и промежуточного пользования. М.-Л., Сельколхозгиз, 1931. [3]. Кайрюкштис Л. Научные основы формирования высокопродуктивных елово-лиственных насаждений. М., «Лесная промышленность», 1969. [4]. Кожевников А. М., Феофилов В. А. Постепенные и выборочные рубки в лесах Белоруссии. Минск,

«Урожай», 1969. [5]. Мелехов И. С. Рубки главного пользования. М., «Лесная промышленность», 1966, [6]. Нестеров В. Г. Общее лесоводство. М.—Л., Гослесбумиздат, 1954.

Поступила 3 ноября 1977 г.

УДК 630*.385.1 : 630*.561.21

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ОСУШЕННОГО БОЛОТА

В. В. ПАХУЧИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Исследовано влияние осушения и климатических факторов на радиальный прирост сосны. В первое десятилетие после осушения прирост увеличился на 464%. Отмечено возрастные роли температурного режима в формировании прироста текущего года после осушения.

Осушение — мощное средство повышения продуктивности лесов на заболоченных почвах. Прирост насаждений на осушенных лесных землях зависит от возраста древостоя и колебаний климата. Определить степень влияния гидроресомелиорации с исключением этих факторов позволяют дендроклиматические методы.

В данной работе рассматривается влияние осушения и климатических факторов на ширину годичных слоев сосны. Исследовали сосновый древостой, возникший в основном после осушения болота «Сулланда» в 40-х годах прошлого столетия в Лисинской лесной даче Ленинградской области.

Осушение было произведено параллельными каналами через 190—220 м. Глубина каналов в настоящее время около 0,4 м. Краткая характеристика объектов исследования и контрольного участка следующая. Мощность торфа на исследуемом участке — 0,6 м, на контрольном — 0,5 м; степень разложения соответственно 20—50 и 10—25%; зольность — 5—8 и 4—10%; состав древостоя I яруса 7С2Е1Б, II — 9Е1Б, в контроле — 9С1Б; возраст сосны — 125—170 и 115—170 лет; средняя высота — 23 и 15 м; средний диаметр — 33 и 19 см; класс бонитета — III и V; запас — 240 и 130 м³/га; тип леса — сосняк-черничник и сосняк осоково-сфагновый; средняя глубина почвенно-грунтовых вод (V—IX. 76 г.) — 36,0 и 2,0 см.

Методика исследования

Пробные площади закладывали согласно методическим указаниям по определению эффективности лесосоушения [2]. Возрастным буравом на высоте 1,3 м брали образцы древесины: 25 — для осушенного участка и 17 — для контрольного, что обеспечило определение средней ширины годичных колец насаждения с точностью, близкой к 10% (при колебании в разные годы от 7,2 до 15,6%). Ширину годичных колец измеряли с точностью 0,01 мм оптическим винтовым микрометром МОВ-1-15*.

Расчет средних многолетних радиальных приростов произведен способом 20-летних скользящих с шагом 5 лет и последующей интерполяцией для каждого года [1]. Годичные индексы I (в процентах) определены по формуле

$$I = \frac{i \cdot 100}{i_{cp}},$$

где i — действительная ширина годичного кольца;
 i_{cp} — средняя многолетняя ширина годичного слоя.

Ширина годичных колец учетных деревьев и годичные индексы для исследуемого и контрольного участков представлены на рис. 1.

Анализ данных показывает, что резкое увеличение прироста для исследуемого насаждения начинается с 1845 г., т. е. через 3 года после осушения; максимальный прирост отмечен в 1860 г.

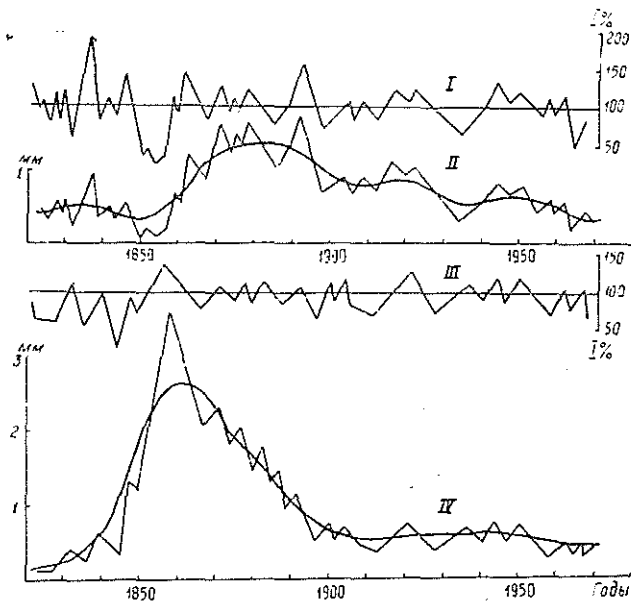


Рис. 1. Годичные индексы (%), средняя ширина годичных колец и средние многолетние (мм), для контрольного (I, II) и исследуемого (III, IV) участков.

Для сравнения сходности кривых роста до осушения взят период 1805—1829 гг. Средний индекс прироста неосушенного насаждения за этот период равен 99%, а исследуемого в том же 25-летию — 86%. Разница в 13% свидетельствует о незначительном различии кривых роста, а следовательно, о возможности использования древостоя неосушенного участка в качестве контрольного.

Так как сравниваемые участки находятся в одинаковых климатических условиях, а возраст древостоев близок, об эффективности осушения судили по соотношению $\frac{(i_{\text{ср.н}} - i_{\text{ср.к}}) \cdot 100\%}{i_{\text{ср.к}}}$, где $i_{\text{ср.н}}$, $i_{\text{ср.к}}$ — средняя ширина годичного кольца исследуемого и контрольного участков за десятилетие.

Эффективность осушения по 10-летиям составила: в 1845—1854 гг. — 464%, в 1855—1864 гг. — 365%. Превышение радиального прироста сосны осушенного участка над приростом сосны контрольного участка продолжается до 1887 г., т. е. до 45 лет.

Обычно после прохождения кульминации прирост по диаметру сосны II—III класса бонитета падает до 1,2 мм в год в течение 55 лет [4]. Для исследуемого участка этот период составил 45 лет, поэтому о снижении прироста после 1860 г. можно говорить как о возрастном процессе, близком к нормальному. Это указывает на удовлетворительный для роста леса водный режим, обеспеченный в результате первичного осушения и поддерживаемый в течение более 40 лет не ремонтируемой осушительной сетью. Внешний вид насаждений в этом возрасте был таким, что во время экскурсии по «Сулланде» в 1886 г. «...большинство (участников) признало возможным повременить с ремонтом канав...» [3]. Повторное увеличение прироста сосны осушенного участка по сравнению с контрольным отмечается во второй поло-

вине текущего столетия. Возможно, это реакция на работы по ремонту осушительной сети, но эффективность их не превышает 25%. Очевидно, вследствие изменения водно-физических характеристик торфа за 100 лет снижение почвенно-грунтовых вод после ремонта каналов незначительно влияло на водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя почвы.

Для сопоставления изменчивости прироста с изменчивостью отдельных климатических факторов использован показатель сходства кривых C_x :

$$C_x = \frac{n^+ \cdot 100}{n - 1},$$

где n^+ — число сходных интервалов;
 n — число сопоставленных годовых колец.

Для изучения связей годичного прироста сосны с климатическими факторами (табл. 1) использовали данные метеорологической станции в п. Любань за 1945—1970 гг.

Таблица 1

Сравниваемые показатели	Показатель сходства C_x , %				
	Средняя температура за июль-июль	Средняя температура за календарный год	Осадки за май-сентябрь	Осадки за календарный год	Осадки за гидрологический год
I сосны контрольного участка	33,3	54,2	62,5	62,5	41,6
I сосны исследуемого участка	46,0	75,0	58,4	58,4	54,2

Установлено, что связь радиального прироста древесины со средними температурами за год для контрольной площади практически отсутствует, но увеличивается для исследуемого участка ($C_x = 75\%$), что указывает на возрастание роли температурного режима с увеличением дренированности почвы в результате осушения.

Отмечается отрицательная связь ($C_x = 41,6\%$) приростов неосушенного участка с осадками за гидрологический год. Это соответствует литературным данным [1]. Использование комплексных показателей, включающих температуру воздуха и количество осадков, при сравнении их с изменчивостью прироста сходства не увеличивало.

Выводы

1. Осушение участка увеличило в первое десятилетие прирост на 464%. Максимальный прирост отмечен через 15 лет после осушения и составил 7,3 мм в год по диаметру по сравнению с 1,2 мм в год для контрольного участка.

2. В течение более 40 лет после осушения осушительная сеть без ремонтов обеспечивала удовлетворительный для роста леса водный режим. Следовательно, при осушении переходных болот с мощностью торфа до 1,0 м и расстоянием между каналами 190—220 м при появлении благонадежного возобновления ремонт осушительной сети можно не проводить или ограничиться прочисткой проводящих каналов до достижения насаждениями среднего возраста.

3. Увеличение дренированности почв после осушения ведет к возрастанию роли температурного режима в формировании прироста текущего года.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Гидрометеониздат, 1974, с. 31—84. [2]. Елпатьевский М. П. Методика определения эффективности лесосоосушения. Л., 1971, с. 17. [3]. Протокол обыкновенного собрания лесного общества 1 ноября 1886 года. — «Лесной журнал», 1886, № 5—6, с. 578—579. [4]. Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора. М.—Л., Голесбуиздат, 1952, с. 480—483.

Поступила 4 июля 1977 г.

УДК 631.893

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ В ПОЧВЕ ПРИСПЕВАЮЩЕГО ЕЛЬНИКА ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

А. П. ЗВИРБУЛЬ

Ленинградская лесотехническая академия

Внесение карбамида и нитроаммофоски способствовало увеличению запаса влаги в гумусовом горизонте лесной слабоподзолистой супесчаной почвы. Усвоение удобрений происходит на фоне весьма ограниченных запасов влаги. Амплитуда колебаний запасов влаги наивысшая (с иссушением) — в подстилке, средняя (без иссушения или дефицита) — в гумусовом горизонте и весьма низкая (в пределах 10%) — в переходном горизонте.

Цель нашей работы — выяснить: каковы в течение вегетационного периода запасы общей и доступной влаги в лесной почве после удобрения; действительно ли внесение удобрений способствует увлажнению лесной почвы.

Исследования проведены на лесном объекте площадью 4 га, находящемся в выделе 15 квартала 69 Лисинского учебно-опытного лесхоза Ленинградской области. Древостой на участке представлен ельником чернично-кисличного типа состава $9E_{60}1E_{150}$, II класса бонитета, с полнотой 0,8 и запасом свыше 220 м³/га. Преобладающие виды почв — модергумусные слабоподзолистые супесчаные на хрящеватом песке размытого оза. Здесь в середине мая 1971 г. на шести площадях (по 0,5 га каждая) внесены по 100, 200, 300 кг/га мочевины и отдельно нитроаммофоски (полного удобрения), а также отграничено два контрольных участка. Исследования, проведенные в том же году, касались изучения динамики подвижных элементов питания в почве, а также определения влияния минеральных удобрений на растительный покров [1, 2].

Для изучения динамики важнейших агрохимических показателей, в том числе полевой влажности, на каждом из вариантов и контрольных участках выбирали по модельному дереву, отвечающему средней таксационной характеристике древостоя. В зоне его влияния на почву, определяемой проекцией кроны и прилегающими к ней оконными пространствами, закладывали почвенные полуямы. Образцы почв в этой зоне брали с четырех сторон света (по отношению к стволу) в трех радиальных положениях: у ствола, на границе проекции кроны, в окне на глубину основной ризосферы ели по генетическим горизонтам A_0 0—4, A_1 4—7 и A_2B 10—20 см.

Полевую влажность (W %) определяли весовым методом через 15 дн. (с 15 мая по 15 октября). В осенне-зимний период 1971/72 гг. в лабораторных условиях по методике А. В. Николаева найдена максимальная гигроскопичность ($MГ$ %) смешанных образцов почв, рассчитан коэффициент завядания ($K_{зав}$ %) и определена их плотность (V г/см³). Результаты этих исследований представлены в табл. 1. Летом 1972 г. изучена объемная масса основных горизонтов ризосферы по всем вариантам опыта в четырехкратной повторности (табл. 1).

Таблица 1

Генетический горизонт	Средняя мощность, см	Объемная масса, г/см ³	Плотность, г/см ³	Пористость, %	МГ по Николаеву, %	Коэффициент завядания, %		
						по методике метеослужбы (МГ · 1,34)	по Качинскому (МГ · 1,5)	по Богданову (МГ · 2)
A ₀	4	0,12	1,67	92,8	30,69	41,13	46,04	61,39
A ₁	3	0,95	1,92	57,3	7,22	9,68	10,83	14,45
A ₂ B	10	1,23	2,41	49,0	2,79	3,74	4,19	5,58

В дальнейшем для определения доступной влаги использовали коэффициент завядания по Богданову, поскольку лес представляет собой сложное растительное сообщество, в котором атмосферные осадки прежде всего перехватываются почвенным растительным покровом. Поков изучен весьма подробно [1], в результате условно выделены две группы вариантов: «моховые» и «травянистые».

Запасы влаги в почве определяли по формулам

$$M_1 = 0,1 W V h;$$

$$M_2 = 0,1 (W - K_{зав}) V h,$$

где M_1 — запас общей влаги, мм, а при умножении на 10 — т/га;

M_2 — запас доступной влаги в тех же единицах;

h — мощность горизонта, см.

Результаты определения этих видов влаги по сезонам вегетационного периода приведены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, наименьшее количество влаги содержат лесные подстилки — около 30 т/га в среднем за сезон, в летний период оно может понижаться почти на 1/3 (до 21 т/га). Процент доступной влаги в подстилках весьма невелик: в среднем немногим более 7%; в летний период, а также в конце мая часто наблюдается дефицит влаги. Осенью количество доступной влаги возрастает и во всех случаях превышает 10%. Амплитуда колебания запасов доступной влаги самая высокая.

В гумусовых горизонтах влаги почти в два раза больше, чем в подстилках — около 55 т/га в среднем за сезон. Процент доступной влаги здесь возрастает до 24% от общей. Дефицита доступной влаги в гумусовых горизонтах в течение вегетационного периода не наблюдалось. Амплитуда колебания этого вида влаги здесь достаточно широка (от 3 до 33 т/га).

В переходных горизонтах (A₂B), где корневая система ели весьма редка, запасы общей влаги возрастают до 183 т/га в среднем за сезон и доступность ее повышается до 62%. Амплитуды колебаний всех видов влаги умеренные, в пределах от нескольких процентов до двух-трех десятков процентов.

Для определения тенденции влияния минеральных удобрений на запас влаги в почве сравнивали однотипные результаты по сезонам вегетационного периода с контрольными (табл. 3). По данным таблицы, существенного изменения запасов влаги в лесных подстилках не произошло. Наиболее оводненными оказались гумусовый и переходный горизонты, однако к осени они значительно «подсушились», особенно в вариантах опыта с травянистым напочвенным покровом.

Весьма интересно исследование режима влажности в элементарном почвенном ареале ели на глубину трех горизонтов основной ризо-

Таблица 2

Сезон	Горизонт	Средняя мощность, см	Объемная масса, г/см ³	Запись общей и доступной влаги в почве для вариантов мочевины (N) и нитраиммифоски (НРК)											
				N — 200** N — 100**			НРК — 100** N — 300**			НРК — 300** НРК — 200**					
				M ₁	M ₂	M ₃ % M ₁	M ₁	M ₂	M ₃ % M ₁	M ₁	M ₂	M ₃ % M ₁			
„Моховые“ варианты															
Весна	A ₀	5	0,10	3,2	0,2	6	3,2	0,1	3	3,0	Нет	—	3,3	0,3	9
	A ₁	3	1,00	5,7	1,4	25	7,7	3,3	43	5,2	0,8	15	3,0	0,6	12
	A _{2B}	10	1,26	17,4	10,4	60	22,2	15,1	68	18,6	11,6	62	16,2	9,2	57
Лето	A ₀	5	0,10	3,3	0,3	9	2,6	Нет	—	2,8	Нет	—	3,3	0,2	6
	A ₁	3	1,00	5,3	1,0	19	7,4	3,0	40	4,9	0,5	10	4,7	0,4	9
	A _{2B}	10	1,26	18,9	11,9	63	23,2	16,1	69	16,9	9,8	58	17,6	10,6	60
Осень	A ₀	5	0,10	3,6	0,5	14	3,6	0,6	18	3,6	0,5	14	3,6	0,5	14
	A ₁	3	1,00	5,1	0,8	16	5,4	1,1	20	4,6	0,3	7	4,3	0,7	16
	A _{2B}	10	1,26	19,0	12,1	64	19,4	12,4	61	16,4	9,3	57	17,1	10,1	60
„Травянистые“ варианты															
Весна	A ₀	3	0,14	2,2	Нет	—	2,7	0,2	7	2,9	0,3	10	2,6	0,1	4
	A ₁	3	0,90	5,6	1,7	30	6,4	2,5	39	6,7	2,8	42	5,2	1,3	25
	A _{2B}	10	1,20	18,4	11,7	64	16,0	9,3	58	14,8	8,1	55	18,4	11,7	64
Лето	A ₀	3	0,14	2,4	Нет	—	3,0	0,4	13	2,1	Нет	—	2,3	Нет	—
	A ₁	3	0,90	5,1	1,2	23	5,1	1,2	23	5,8	1,9	33	5,6	1,7	30
	A _{2B}	10	1,20	17,6	10,9	62	17,9	11,2	63	20,6	13,9	67	20,0	13,3	67
Осень	A ₀	3	0,14	2,9	0,3	10	3,0	0,4	13	2,9	0,3	10	3,0	0,5	17
	A ₁	3	0,90	4,5	0,6	13	5,0	1,1	22	5,6	1,7	30	5,9	2,0	34
	A _{2B}	10	1,20	18,2	11,5	63	16,6	9,9	60	18,2	11,5	63	20,6	13,5	65

* Дозы удобрений в «моховых» вариантах; ** — в «травянистых».

Таблица 3

Сезон	Горизонт	Запасы влаги, мм и % к контролю						Средний процент по отношению к контролю	
		"Моховые" варианты			"Традиционные" варианты			для М ₁	для М ₂
		М ₁	М ₂	М ₃	М ₁	М ₂	М ₃		
		М ₁ % М _{1к}	М ₂ % М _{2к}	М ₃ % М _{3к}	М ₁ % М _{1к}	М ₂ % М _{2к}	М ₃ % М _{3к}	М ₁	М ₂
Весна	A ₀	3,1	0,1	83	2,6	0,2	167	98	100
	A ₁	6,2	1,8	304	6,2	2,3	179	122	242
	A ₂ B	19,4	12,4	131	16,4	9,7	83	101	108
Лето	A ₀	2,9	0,1	50	2,3	Нет	—	99	25
	A ₁	5,9	1,5	375	5,3	1,4	81	110	230
	A ₂ B	19,7	12,6	118	18,3	12,0	90	126	101
Осень	A ₀	3,6	0,6	107	2,9	0,3	67	99	87
	A ₁	5,0	0,7	100	5,0	1,1	57	101	78
	A ₂ B	18,2	11,3	111	17,7	11,0	81	96	96

Таблица 4

Варианты опыта	Горизонт	Запасы влаги при поделении из-тук образцов												Средние значения, мм		Отношение к контролю, %	
		у стилола				в проекции кроны				в окне				М ₁	М ₂	М ₁	М ₂
		М ₁	М ₂	М ₂ % М ₁	М ₁ % М ₂	М ₁	М ₂	М ₂ % М ₁	М ₁ % М ₂	М ₁	М ₂	М ₂ % М ₁	М ₁ % М ₂				
С мочевиной	A ₀	2,5	0,1	4,0	2,6	0,14	5,0	2,7	0,2	7,4	2,7	0,2	2,6	0,15	96	75	
	A ₁	5,0	0,9	18,0	5,6	1,4	25,0	5,5	1,4	25,4	5,4	1,2	5,4	1,2	104	109	
	A ₂ B	18,1	11,2	61,9	16,5	9,6	58,2	18,9	11,1	61,7	17,5	10,6	17,5	10,6	93	88	
С нитроаммофоской	A ₀	2,5	0,1	4,0	2,7	0,2	7,4	2,8	0,4	14,3	2,7	0,2	2,7	0,2	100	100	
	A ₁	6,1	1,5	24,6	5,6	1,5	26,8	6,1	2,0	32,8	5,9	1,7	5,9	1,7	113	154	
	A ₂ B	20,3	13,4	66,0	18,9	12,0	63,5	17,6	10,7	60,8	18,9	12,0	18,9	12,0	100	100	
Контроль 1 и 2	A ₀	2,5	0,1	4,0	2,7	0,3	11,1	2,8	0,3	11,7	2,7	0,2	2,7	0,2	100	100	
	A ₁	4,9	0,8	16,3	5,4	1,3	24,1	5,4	1,3	24,1	5,2	1,1	5,2	1,1	100	100	
	A ₂ B	18,2	11,3	62,1	19,4	12,5	64,4	19,1	12,2	63,8	18,9	12,0	18,9	12,0	100	100	

сферы ели в среднем за вегетационный период (табл. 4). Здесь выявлены следующие закономерности.

1. Начиная от приствольной зоны в направлении к окну, запасы влаги возрастают, особенно в подстилке и гумусовом горизонте.

2. Процент доступной влаги увеличивается в этом же направлении: в подстилке — от 4 до 14,3%, в гумусовом горизонте — от 16,3 до 32,8%.

3. В переходном горизонте тенденция в содержании влаги обратная: наибольшее количество ее в пристволевой части и, очевидно, под стволом.

4. Внесение мочевины сказалось на некотором оводнении гумусового горизонта и заметном иссушении подстилки и переходного горизонта.

5. Нитроаммофоска повлияла лишь на влагонакопление в гумусовом горизонте.

Таким образом, внося удобрение в лесную подзолистую почву, необходимо помнить, что его растворение и поглощение лимитируется весьма скромными запасами доступной влаги в зоне ризосферы: около 1/10 от общего запаса — в подстилке, 1/4 — в гумусовом горизонте и немногим более 1/2 — в переходном. Внесение минеральных удобрений в модергумусную слабоподзолистую супесчаную хрящеватую почву ельника кислично-черничного типа повлияло на запас почти лишь только одного гумусового горизонта.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1]. Звирбуль А. П. Изучение влияния минеральных удобрений на древесной, растительный покров и почву в первый год их внесения. — В сб.: Межвузовские научные труды. Лесная геоботаника и биология древесных растений. Разд. 5, вып. 2. Брянск, 1974, с. 22—26. [2]. Звирбуль А. П., Степанов В. М. Динамика нитратов, подвижной фосфорной кислоты, влажности и актуальной кислотности в удобренной почве приспевающего ельника. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1973, № 2, с. 7—14.

Поступила 17 ноября 1977 г.

УДК 631.516 : 621.96

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО И ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО

А. Ф. СОВКОВ, М. Г. СЛЮСАРЕВ

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт

На свежих вырубках дубово-ясеневых насаждений, созданных в 1880 г., проведены исследования корневых систем. Установлено их распределение в почвенных разрезах по отдельным горизонтам. Образцы корней исследованы на прочность при растяжении, сжатии, сдвиге (скальвании) вдоль волокон и изгибе поперек волокон. Определено сопротивление корней при статическом резании.

Трудность обработки почвы на нераскорчеванных вырубках состоит в том, что рабочие органы почвообрабатывающих машин и различных типов корчевателей должны разрушать лесные почвы, армированные корневыми системами древесных пород и кустарников. При обработке почвы на вырубке корни при воздействии на них рабочих органов машин оказывают значительное дополнительное сопротивление обработке, подвергаясь различным видам деформации. Картина разрушения корневых систем в почве чрезвычайно сложна.

Обработка лесных почв затрудняется еще и тем, что корневые системы древесной растительности размещаются в почве неравномерно, а это вызывает резко переменные нагрузки на рабочие органы машин.

Процесс обработки почв на нераскорчеванных вырубках исследован значительно меньше, чем в условиях старопахотных земель, а фи-

зико-механические свойства корневых систем различных древесных пород и кустарников почти не изучены. Вместе с тем, зная прочностные характеристики корневых систем различных древесных пород, можно рассчитать рабочие органы лесохозяйственных машин и прогнозировать трудность обработки вырубок.

В задачу настоящей работы входило: 1) определить глубину залегания основной массы боковых корней на вырубках после дубово-ясеневого древостоя, возраст которого около 100 лет; 2) исследовать прочностные характеристики корней на растяжение вдоль волокон, сжатие вдоль волокон, изгиб поперек волокон, сдвиг (скалывание) вдоль волокон и определить сопротивление при статическом резании поперек волокон.

Образцы для испытания древесины отбирали согласно ГОСТу 6336—73. Статическое резание (без скольжения) выполняли ножом с двухсторонней заточкой, геометрические параметры которого равны: угол заострения 56°, ширина режущей кромки 0,1 мм. Испытания проводили в лаборатории сопротивления материалов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института на универсальной рычажно-винтовой машине.

Дубово-ясеневые насаждения были созданы в Донском учебно-опытном лесхозе в 1880 г. на почвах типа предкавказские черноземы переходные к южным (по данным проф. М. П. Воскресенского). Состав древостоя 6Д4Я. Рубки проводили дважды: в 1942 г. и 10 октября 1974 г. На момент обследования количество пней было в среднем около 400 шт. на 1 га. Вслед за вырубкой между пней отрывали траншеи для определения глубины залегания основной массы боковых корневых систем и одновременно брали образцы для испытаний. Учитывали корни, диаметр которых свыше 1 мм. На схемах (рис. 1) и фотографиях (рис. 2 и 3) показано типичное расположение боковых корневых систем у исследуемых пород.

В табл. 1 приводятся данные о глубине залегания боковых корней, среднее их количество и суммарная площадь сечения на 1 м² вертикальной стенки траншеи (возраст древостоя 94 года).

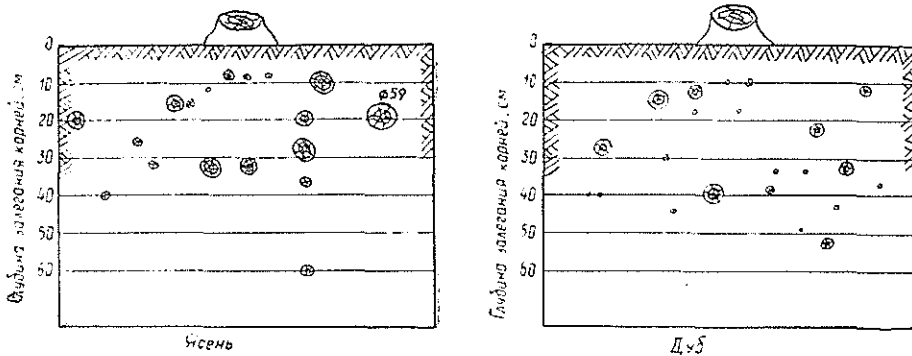


Рис. 1.

Таблица 1

Глубина залегания корней, см	Среднее количество боковых корней на 1 м ² вертикальной стенки траншеи				Суммарная площадь сечения корней на 1 м ² траншеи по горизонтам, %	
	Дуб черешчатый		Ясень обыкновенный		Дуб черешчатый	Ясень обыкновенный
	шт.	%	шт.	%		
0—10	2	8	3	12,5	До 2	До 2
0—20	7	28	9	37,5	31,0	32,1
0—30	12	48	12	50	23,2	29,1
0—40	22	88	18	75	23,0	36,8
0—50	25	100	24	100	20,8	До 2
0—60	Единично	—	Единично	—	—	—
Глубже 60	„	—	„	—	—	—

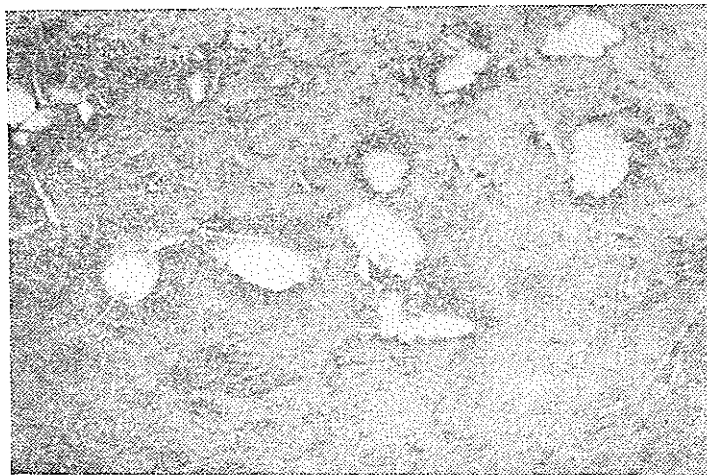


Рис. 2. Корни ясеня.



Рис. 3. Корни дуба.

Как видно из таблицы, на почвах типа предкавказские черноземы основная масса боковой корневой системы залегает на глубине от 10 до 50 см у дуба черешчатого и от 10 до 40 см у ясеня обыкновенного, т. е. на глубине хода рабочих органов плантажных плугов.

Площадь боковых корней по отношению к 1 м² почвенного разреза составляет: для дуба черешчатого — 0,7—2,5%; для ясеня обыкновенного — 1,5—3,5%.

Средние значения диаметров боковых корней и их процентное соотношение на вертикальных стенках траншей до глубины 60 см приводятся в табл. 2, из которой видно, что у ясеня обыкновенного основная масса боковых корней имеет диаметр 30 мм и выше, у дуба черешчатого — от 10 до 40 мм.

В табл. 3 приведены некоторые данные о механических свойствах боковых корней на вырубках, а также показатели, характеризующие прочность ствольной части древесины (влажность корней 30%). Срав-

Таблица 2

Диаметр корневых систем, мм	Соотношение диаметров боковых корней, %	
	Дуб черешчатый	Ясень обыкновенный
До 5	Около 1,0	Около 1,0
Свыше 5 до 10	6,6	2,0
" 10 до 20	17,7	5,0
" 20 до 30	27,1	2,0
" 30 до 40	46,6	19,4
" 40 до 50	Около 1,0	13,1
" 50	—	53,5

Таблица 3

Вид деформации	Дуб черешчатый			Ясень обыкновенный		
	Боковые корни		Стволовая часть	Боковые корни		Стволовая часть
	Число образцов	МПа		Число образцов	МПа	
Растяжение вдоль волокон	620	38,2	92,5	620	45,5	109,5
Сжатие вдоль волокон	270	34,5	31,0	290	38,2	32,5
Изгиб поперек волокон	350	76,0	68,0	350	83,0	74,5
Сдвиг (скалывание) вдоль волокон	620	9,8	7,6	630	12,4	9,4

ивная результаты исследования механических свойств древесины, видим, что корневая часть по прочности превосходит древесину стволовой части, за исключением прочности на растяжение вдоль волокон. Прочность древесины корней ясеня по всем видам деформации выше, чем у корней дуба.

Данные об усилении статического резания корневых систем приводятся в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п.	Корни дуба			Корни ясеня			Удельное сопротивление статическому резанию, МПа	
	d мм	$P_{оп}$ кН	$P_{выч}$ кН	d мм	$P_{оп}$ кН	$P_{выч}$ кН	Корни дуба	Корни ясеня
1	6,5	1,43	1,47	8,5	1,88	1,70	43,0	30,0
2	8	1,80	1,78	9	1,95	1,85	36,0	29,2
3	9	1,96	2,01	10,5	2,19	2,32	31,7	26,8
4	9,5	2,10	2,14	11	2,48	2,49	30,3	24,9
5	10	2,38	2,28	12	2,62	2,83	29,1	25,0
6	11	2,55	2,58	16	4,21	4,32	27,2	21,5
7	13	3,69	3,31	18	5,19	5,13	24,8	20,2
8	16	4,81	4,82	26,5	8,72	9,06	23,8	16,5
9	18	6,02	6,18	30	10,75	10,87	23,6	15,5
10	21	8,88	8,97	37,5	16,07	15,09	23,7	13,7
11	—	—	—	39,5	16,62	16,28	—	13,3

Примечание. d — диаметр корня; $P_{оп}$ и $P_{выч}$ — соответственно опытное и вычисленное значения усилия статического резания; среднее квадратичное отклонение: для дуба $\sigma = 0,1631$; для ясеня $\sigma = 0,4265$.

Для получения данных об усилиях статического резания корневых систем брали боковые корни различных диаметров. Для каждого диаметра корня опыт повторяли 100 раз. Для определения эмпирических зависимостей усилия резания от диаметра корня применяли методы средних и наименьших квадратов. Вычисления производили на ЭВМ «Наири-С».

Как видно из табл. 4, при статическом резании (без скольжения) усилия на резание корней одинаковых диаметров для дуба выше, чем для ясеня, причем удельное сопротивление резанию (смятию) снижается с увеличением диаметра разрезаемого корня. Данное явление можно объяснить изменением физико-механических свойств с возрастом.

Зависимость усилия статического резания корней P от их диаметра при нормальном положении корня относительно плоскости резания и при влажности корней 26,8% выражается следующими эмпирическими формулами:

для корней дуба черешчатого

$$P = 65,845e^{0,124d};$$

для корней ясеня обыкновенного

$$P = 7,389d^{1,467}.$$

Полученные нами данные позволяют ориентировочно с некоторой погрешностью производить прочностные расчеты при проектировании рабочих органов для подготовки почвы под посадку лесных культур на вырубках.

Поступила 25 октября 1977 г.

УДК 634.0.181.28

КУЛЬТУРЫ ХВОЙНЫХ ЭКЗОТОВ В АБХАЗИИ

В. И. БИРЮКОВ, Б. В. МЛОКОСЕВИЧ

Брянский технологический институт, АБНИЛОС

Изучены семь видов сосен и секвойя вечнозеленая. Выявлены наиболее быстрорастущие из них в высоту и по диаметру и рекомендованы к внедрению в различные виды посадок.

В настоящее время во многих районах нашей страны занимаются внедрением в культуры иноземных и инорайонных экзотических пород, изучают опыт интродукции и акклиматизации их. К числу таких районов относится и Абхазия. Здесь в научно-исследовательской лесной опытной станции (АБНИЛОС) проводятся большие опытные работы по интродукции и акклиматизации многих экзотов.

Интродукция новых пород позволит не только повысить продуктивность и улучшить качественный состав лесов, обогатить дендрофлору, но и украсить города и села Абхазии.

В флористическом отношении территория Абхазии, по классификациям А. А. Гроссгейма и Д. К. Сосновского [2], относится к Колхидской провинции. АБНИЛОС находится между предгорьями Кавказа и Черным морем. Высота участков, на которых изучались опытные культуры, колеблется в пределах 10—20 м над уровнем моря. Почвы аллювиально-речные по понижениям, желтоземы по повышениям. Климат влажный субтропический. Для лета характерны высокие температура и влажность

воздуха. В зимний период резкого снижения температуры почти не наблюдается. Среднегодовая температура воздуха составляет 12—15°C, количество осадков — 1300—1500 мм. Такие условия позволяют многим растениям не прекращать рост в течение всего года. Здесь, по исследованиям ряда авторов [1, 3—7], могут успешно произрастать многие виды хвойных пород.

Объектами наших исследований явились опытные культуры семи видов сосны и секвойи вечнозеленой. Почва участка аллювиально-речная. Площади опытных культур колеблются от 100 (у семенной секвойи) до 400—620 м² (у других пород). Количество изученных деревьев семенной секвойи — 23 шт., других пород — от 85 до 146 шт.

Для улучшения условий приживаемости и дальнейшего роста культур за 3—5 месяцев до посадки почву вспахивали на глубину 45 см, а затем перепаживали на 22—28 см. Непосредственно перед посадкой почву бороновали в два следа. Затем по размеченным местам посадки выкапывали посадочные ямы глубиной 40 см, шириной 60 см. Каждую яму заполняли гумусированной землей. Посадку производили вручную под лопату 2—3-летними саженцами в 1961—1969 гг. Секвойю вечнозеленую высаживали саженцами семенного происхождения и черенковыми 2-летними саженцами.

Результаты исследований показывают, что все породы в опытных культурах имеют достаточную сохранность (60,2—98,0%), что говорит об их устойчивости в условиях АбНИЛОС (табл. 1). Исключение составляет секвойя вечнозеленая семенного происхождения, сохранность которой составляет лишь 23,0%.

Таблица 1

Порода	Возраст, лет	Сохранность, %	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Средний годичный прирост	
					по высоте, м	по диаметру, см
Сосны:						
Сосновского	8	98,0	3,1 ± 0,06	9,2 ± 0,16	0,39	1,2
гималайская	14	90,3	6,0 ± 0,14	10,5 ± 0,35	0,43	0,8
замечательная	14	90,8	4,9 ± 0,08	11,3 ± 0,22	0,35	0,8
итальянская	14	70,2	7,5 ± 0,16	14,3 ± 0,28	0,54	1,0
пицундская	16	82,6	7,5 ± 0,09	13,9 ± 0,28	0,47	0,9
приморская	16	60,2	11,8 ± 0,06	18,9 ± 0,42	0,74	1,2
крымская	17	90,4	8,1 ± 0,06	15,4 ± 0,32	0,48	0,9
Секвойя вечнозеленая:						
семенная	14	23,0	11,6 ± 0,11	21,4 ± 0,08	0,83	1,5
черенковая	13	70,1	11,2 ± 0,14	17,4 ± 0,12	0,86	1,4

Однако, как видно из данных табл. 1, секвойя вечнозеленая вегетативного и семенного происхождения более энергично растет в высоту и по диаметру, чем большинство изученных видов сосен. В отдельные годы приросты ее по высоте составляют до 1,28 м. На родине (запад Северной Америки) эта порода, доживая до 2 тыс. лет, достигает высоты 100 м, диаметра 10 м.

Среди сосен в опытных культурах наиболее быстро растет приморская, естественно произрастающая в районе Средиземноморья, где она достигает 30 м в высоту. В АбНИЛОС, по нашим наблюдениям, эта порода более быстро растет в высоту в возрасте 7—11 лет, когда ежегодные приросты составляют до 1,47 м. Начиная с 14 лет прирост замедляется и к 16 годам составляет 0,53 м. Но это не говорит об отрицательной реакции испытываемых растений на естественный грунт, когда их корневые системы вышли за пределы ям с замененным грунтом, а свидетельствует о раннем старении этого вида сосны. Приросты по диаметру у нее до настоящего времени высокие — более 1,0 см в год. Достаточно успешно растут в высоту и по диаметру сосны итальянская, родина которой Средиземноморье, крымская и пицундская.

Сосны гималайская (азиатского происхождения) и замечательная (из Калифорнии) до 5 лет относительно медленно растут в высоту. Однако с 6-летнего их возраста ежегодные приросты по этому признаку увеличиваются и в 14 лет составляют соответственно 0,81 и 0,83 м. По диаметру оба вида растут одинаково, уступая названным выше породам.

Сосна Сосновского медленно растет в высоту до 6-летнего возраста, а с 7 лет приросты увеличиваются и в 8 лет составляют 0,71 м. По диаметру этот вид растет достаточно успешно (табл. 1).

Наряду с различием в росте, у изученных экзотов наблюдается и разница в сроках начала и окончания отдельных фенофаз (табл. 2).

Таблица 2

Порода	Начало сокодвижения	Набухание ростовых почек	Разверзание ростовых почек	Начало роста побегов	Начало облиствения	Полное облиствение
Сосны:						
гималайская	5.II	2.III	19.III	14.III	29.IV	21.V
замечательная	7.II	4.III	20.III	22.III	8.V	27.V
итальянская	6.II	5.III	21.III	27.III	10.V	26.VI
пицундская	9.II	6.III	18.III	21.III	4.V	23.V
приморская	2.II	2.III	15.III	22.III	2.V	25.V
крымская	9.II	6.III	20.III	26.III	29.IV	16.V
Секвойя вечнозеленая	9.II	6.III	20.III	2.IV	7.IV	22.IV

Данные таблицы показывают, что раньше всех пробуждается к жизни сосна приморская, у которой сокодвижение начинается 2 февраля. Самое позднее сокодвижение у сосен пицундской, крымской и у сейквой вечнозеленой. Различия в сроках набухания и разверзания почек небольшие. Позже всех трогаются в рост побеги сейквой вечнозеленой. Однако облиствение у этой породы протекает более энергично. Наиболее медленно протекает фаза облиствения у сосны приморской, хотя начало сокодвижения у нее раннее.

По различиям в сроках начала и окончания отдельных фенофаз можно судить об энергии роста. Как видим, раннее облиствение у секвой вечнозеленой определяет более быстрый рост ее в высоту и по диаметру.

По наблюдениям АбНИЛОС, к моменту исследований в стадию плодоношения вступили только три вида сосны: замечательная, пицундская и приморская. О средних сроках наступления и окончания фенофаз говорят данные, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Порода	Начало цветения	Конец цветения	Начало созревания семян	Конец созревания семян
Сосны:				
замечательная	11.IV	29.IV	VIII	IX
пицундская	13.IV	2.V	X	XI
приморская	13.IV	4.V	X	XI

Результаты наблюдений показывают, что цветение у всех названных сосен начинается почти одновременно, а кончается позже у сосны

приморской. Семена созревают значительно раньше у сосны замечательной. Опадение семян у этого вида заканчивается в декабре. Семена всех сосен вполне доброкачественные, способные давать новые поколения.

Опадение хвои у некоторых изученных пород начинается весной и заканчивается летом, реже осенью, причем хвою сбрасывают побеги не моложе 2-летнего возраста. Под пологом культур образуется жесткая уплотненная подстилка из хвои, коры, сучьев, ветвей и отмершей травы. Обычно подстилка двухслойная, различной мощности (табл. 4). Интенсивное разложение ее приурочено вегетационному периоду с теплой солнечной погодой.

Таблица 4

Порода	Мощность подстилки, см	Сухая масса подстилки по фракциям, т/га				
		Хвоя	Ветви и стебли	Трава	Семена и шишки	Общий
Сосны:						
замечательная	4,6	1,75	0,10	0,11	0,36	2,32
пицундская	3,4	4,89	1,10	0,02	—	6,01
крымская	7,2	9,90	0,53	0,60	—	11,03
приморская	7,0	7,20	0,92	—	0,06	8,18
Секвойя вечнозеленая	0,4	1,98	0,20	0,20	—	2,38

Как видно из табл. 4, большее количество подстилки накапливается в культурах сосен крымской и приморской, меньшее — в культурах сосны замечательной. Разлагающаяся подстилка способствует накоплению гумуса в почве, задержанию влаги, переводу поверхностного стока в подпочвенный, что предохраняет почву от водной эрозии. С возрастом культур мощность подстилки увеличивается.

Результаты наших исследований и наблюдений показывают, что почвенно-грунтовые и климатические условия АБНИЛОС вполне благоприятны для интродукции изученных нами хвойных экзотов. Эти породы устойчивы против низких и высоких температур, сильных ветров, пересыхания и переувлажнения почвы в отдельные периоды. Об успешности акклиматизации их свидетельствует вступление в фазу плодоношения трех видов сосен.

Все это дает основание рекомендовать изученные виды хвойных пород для лесоразведения в испытанных условиях среды, для озеленительных посадок Абхазии и для создания опытных культур в районах Черноморского побережья Кавказа.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1]. Гулисашвили В. З. Общее лесоводство. Тбилиси, 1957. [2]. Колесников А. И., Боровиков В. М. Восстановление и реконструкция лесов Черноморского побережья Краснодарского края. — В сб.: Леса Черноморского побережья Кавказа. М., Госсельхозиздат, 1959. [3]. Колесников А. И., Агаев Г. Условия произрастания и естественное возобновление сосны эльдарской на ее родине. — «Труды АБЛОС». Сухуми, 1961, вып. 1. [4]. Колесников А. И. Декоративная дендрология. М., «Лесная промышленность», 1974. [5]. Малеев В. П. Древесные экзоты Абхазии. — «Советские субтропики», 1935, № 12. [6]. Мацерелия А. В. Преобразование Колхиды. М., Изд-во АН СССР, 1954. [7]. Млокосевич Б. В. К вопросу акклиматизации древесных пород в горных условиях Абхазии. — Тезисы докладов. Сухуми, «Алашира», 1967.

Поступила 3 ноября 1977 г.

УДК 621.825

К РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЭЛЕМЕНТАХ ЛЕСНЫХ МАШИН, ЗАЩИЩЕННЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМИ МУФТАМИ

Л. С. НАРТОВ, В. Р. КАРАМЫШЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Дан анализ некоторых приведенных систем лесных машин с кулачковыми предохранительными муфтами при перегрузках с жесткой, упругой и нелинейной образовавшимися связями, позволяющий оценить динамические нагрузки в их элементах.

Лесные машины работают в условиях непрерывно изменяющихся воздействий, обусловленных разнообразными факторами, к которым, в первую очередь, следует отнести режимы нагружения. Нагрузки лесных машин могут быть двух типов:

действующие в течение всего времени работы и соответствующие периоду нормальной эксплуатации машин;

кратковременные, возникающие в период пуска, торможения, а также при перегрузках. Величина кратковременных нагрузок ограничивается предохранительными муфтами.

Представляет интерес определение динамических нагрузок в элементах лесных машин (рабочих органах, приводных линиях), защищенных кулачковыми предохранительными муфтами, которые широко используются в лесных машинах.

Динамические нагрузки существенно зависят от характера связи между рабочим органом и предметом, которую можно условно разделить на жесткую, упругую и нелинейную.

Рассмотрим простые крутильные динамические системы — рис. 1 (с предохранительной муфтой в массе рабочего органа и вне его), к которым известными методами [1, 2] можно привести большинство лесных машин, считая, что в момент, предшествующий перегрузке, на системы действуют постоянные момент сопротивления M_c и рабочий момент M_n .

Одномассовая динамическая система (почвообрабатывающие фрезы и т. п.) — рис. 1, А. Для жесткой связи (рис. 1, Аа) задача определения динамических нагрузок достаточно проста. При стопорении мгновенно срабатывает муфта и на систему (с моментом инерции I') будет действовать регулировочный момент муфты M_p . Тогда динамический момент

$$M = I'\varepsilon + M_p, \quad (1)$$

где ε — ускорение в момент срабатывания муфты.

После срабатывания муфты наступит пробуксовка. Максимальный динамический момент этого периода определится по уравнению (1), но вместо ускорения ε следует подставить ускорение после соударения кулачков полумуфт $\varepsilon_{уд}$ (более подробно о процессе пробуксовки будет сказано ниже).

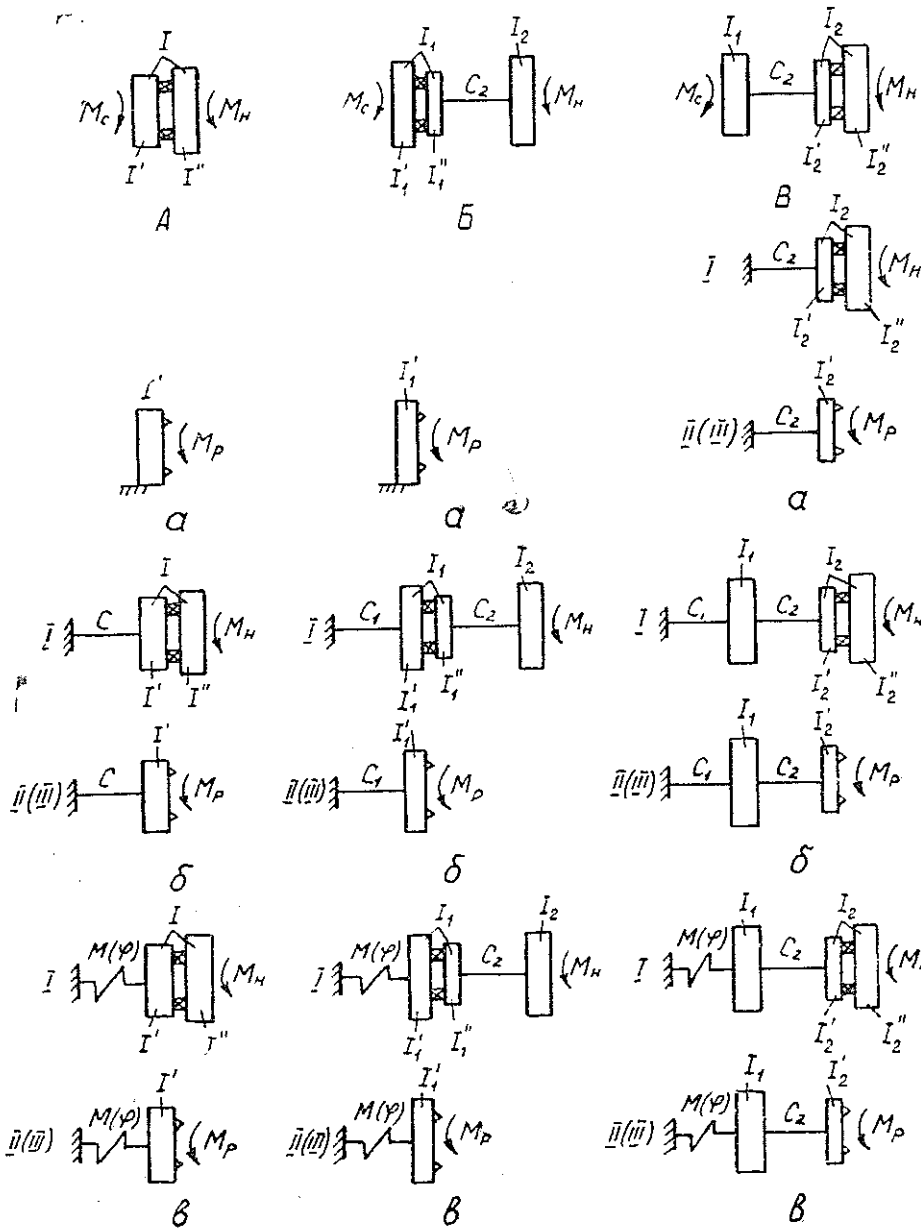


Рис. 1. Приведенные динамические системы с кулачковой предохранительной муфтой.

А — одномассовая; Б — двухмассовая с муфтой в массе рабочего органа; В — двухмассовая с муфтой в массе 2 при перегрузках; а — с жесткой связью; б — с упругой связью; в — с нелинейной связью; I — первый этап (нарастание перегрузки до момента срабатывания муфты); II (III) — второй этап — срабатывание муфты (ему соответствует и III этап — пробуксовка муфты).

Если связь упругая, то динамическая система на первом этапе перегрузки является одномассовой с упругой связью C и моментом инерции I (рис. 1, АБ — I). На систему будет действовать постоянный рабочий момент M_n .

Дифференциальное уравнение движения системы имеет вид

$$I\ddot{\varphi} + C\varphi = M_{II}, \quad (2)$$

где φ — угол закручивания упругой связи.

Вводя круговую частоту свободных колебаний $p^2 = \frac{C}{I}$, после преобразований получим

$$\ddot{\varphi} + p^2\varphi = \frac{M_{II}}{I}. \quad (3)$$

Общее решение уравнения (3), согласно [3], имеет вид:

$$\varphi = A \sin pt_1 + B \cos pt_1 + \frac{M_{II}}{p^2 I}, \quad (4)$$

где t_1 — время первого периода;

A, B — постоянные интегрирования.

После определения коэффициентов A и B уравнение (4) примет вид

$$\varphi = \frac{\omega_0}{p} \sin pt_1 + \frac{M_{II}}{p^2 I}, \quad (5)$$

где ω_0 — угловая скорость системы.

Динамический момент на этом этапе определяется так:

$$M = C\varphi = \frac{C\omega_0}{p} \sin pt_1 + \frac{CM_{II}}{p^2 I}. \quad (6)$$

Учитывая, что $C = p^2 I$ и $p = \sqrt{\frac{C}{I}}$, получим

$$M = \omega_0 \sqrt{IC} \sin pt_1 + M_{II}. \quad (7)$$

Время начала срабатывания муфты определится из условия равенства M регулировочному моменту M_p , тогда

$$t_{cp} = \frac{\arcsin \frac{M_p - M_{II}}{\omega_0 \sqrt{IC}}}{p}. \quad (8)$$

Скорость ω_1 , соответствующая окончанию первого этапа,

$$\omega_1 = \omega_0 \cos pt_{cp}. \quad (9)$$

Максимальные динамические нагрузки возникнут при срабатывании муфты. После этого момент инерции системы I' (рис. 1, AB — II), а дифференциальное уравнение имеет вид

$$I'\ddot{\varphi} + C\varphi = M_p. \quad (10)$$

Решая его, получим

$$M = \omega_1 \sqrt{I'C} \sin pt_2 + M_p. \quad (11)$$

Динамические нагрузки максимальны при $\sin pt_2 = 1$:

$$M_{max} = \omega_1 \sqrt{I'C} + M_p. \quad (12)$$

При пробуксовке муфты возникают ударные динамические нагрузки. Соударение кулачков полумуфт будет определяться двумя скоро-

стями: окружной скоростью ведущей полумуфты и осевой скоростью ведомой полумуфты, зависящей от усилия нажимной пружины.

Можно предположить, что если в процессе пробуксовки кулачки полумуфт в начальный период соприкасаются нерабочими поверхностями, а удар происходит полными рабочими поверхностями и в момент соударения нет отскока ведущей полумуфты, то осевая скорость ведомой полумуфты не будет влиять на процесс удара. Тогда задача упрощается, так как расчетная схема приводится к одномассовой динамической системе с одной степенью свободы с заделкой (рис. 1, *Аб—III*). При определении максимального динамического момента при пробуксовке муфты можно применить гипотезу неупругого удара: в момент соударения полумуфт скорости их мгновенно изменяются таким образом, что дальше они движутся с одной общей скоростью [4],

$$\omega_{уд} = \frac{\omega_0}{1 + \frac{I'}{I''}} \quad (13)$$

Для периода пробуксовки остаются справедливыми расчетные зависимости (12), если скорость ω_1 заменить скоростью после соударения $\omega_{уд}$, тогда

$$M_{max} = \omega_{уд} \sqrt{I' C} + M_p \quad (14)$$

Для подтверждения принятых допущений и справедливости полученной зависимости были проведены экспериментальные исследования методом скоростной киносъемки и электротензометрирования. Киносъемка, проведенная со скоростью 1000 кадров в секунду при пробуксовке муфты 300, 400 и 500 об/мин, показала, что кулачки полумуфт при сходе со своих вершин соприкасаются нерабочими поверхностями. Последующий удар происходит полными рабочими поверхностями. В момент соударения не наблюдается отскока ведомой полумуфты. Следовательно, осевая скорость полумуфты для исследованных динамических систем оказывает на процесс удара малое влияние, так как энергия пружины в этом случае затрачивается на закручивание системы в противоположную сторону и на трение при движении по поверхностям кулачков. Вычисленные значения максимальных динамических нагрузок по уравнению (14) достаточно хорошо согласуются с данными экспериментов (рис. 2), полученных электротензометрированием.

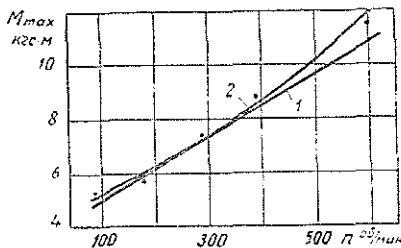


Рис. 2. Зависимость максимального момента упругой связи от скорости пробуксовки.

1 — расчетная; 2 — экспериментальная.

При нелинейной связи задача определения динамических нагрузок сводится к решению нелинейных дифференциальных уравнений. На первом этапе перегрузки (рис. 1, *Ав — I*) дифференциальное уравнение движения системы имеет вид

$$I\ddot{\varphi} + M(\varphi) = M_n \quad (15)$$

где $M(\varphi)$ — момент связи.

На втором этапе (рис. 1, *Ав — II*)

$$I'\ddot{\varphi} + M(\varphi) = M_p \quad (16)$$

Для определения $M(\varphi)$ требуются эксперименты на конкретных машинах в реальных условиях или, что более рационально, физическое моделирование возможного характера образовавшейся связи. Решение уравнения (15) позволит определить начальные условия для второго периода перегрузки, решение уравнения (16) — максимальные динамические нагрузки.

Двухмассовая динамическая система (привод посадочных аппаратов, транспортеры и др.).

1. Муфта установлена в массе рабочего органа (рис. 1, Б). Сравним расчетные схемы двухмассовой динамической системы при жесткой (рис. 1, Ба), упругой (рис. 1, Бб) и нелинейной (рис. 1, Бв) связях со схемами одномассовой системы (рис. 1, А) при тех же связях (рис. 1, Аа, 1, Аб, 1, Ав), можно видеть, что они отличаются на первых этапах перегрузки, но полностью совпадают на вторых и третьих (при пробуксовке муфты) этапах. Следовательно, для определения максимальных динамических нагрузок можно использовать зависимости (1), (2), (14) и уравнение (16), для которых начальные условия определяются из рассмотрения схем первых периодов перегрузки. Ограничимся здесь только приведением дифференциальных уравнений движения, так как их решение незначительно отличается от ранее рассмотренных случаев.

При упругой образовавшейся связи (рис. 1, Бб — Г)

$$\left. \begin{aligned} I_2 \ddot{\varphi}_2 + (\varphi_2 - \varphi_1) C_2 &= M_n; \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 + \varphi_1 C_1 &= (\varphi_2 - \varphi_1) C_2. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

При нелинейной связи (рис. 1, Бв — Г)

$$\left. \begin{aligned} I_2 \ddot{\varphi}_2 + (\varphi_2 - \varphi_1) C_2 &= M_n; \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 + M(\varphi_1) &= (\varphi_2 - \varphi_1) C_2, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где I_2 и I_1 — моменты инерции масс 2 и 1;

φ_2 и φ_1 — углы закручивания связей 2 и 1 с жесткостями C_2 и C_1 ;

$M\varphi_1$ — момент связи 1.

2. Муфта установлена в массе 2 (рис. 1, В). Для определения динамических нагрузок при перегрузке двухмассовой системы с жесткой связью (рис. 1, Ва) остаются справедливыми формулы (12) и (14) для одномассовой системы при упругой перегрузке (рис. 1, Аб), вследствие полного совпадения их расчетных схем.

Дифференциальные уравнения движения двухмассовой системы с предохранительной муфтой в массе 2 при перегрузке с упругой связью (рис. 1, Вб — Г), а также с нелинейной связью (рис. 1, Вв — Г), на первых этапах совпадают соответственно с уравнениями (17) и (18) первых периодов перегрузки двухмассовой системы, когда муфта установлена в массе рабочего органа с упругой (рис. 1, Бб — Г) и нелинейной (рис. 1, Бв — Г) связями. На вторых этапах можно использовать те же уравнения (17) и (18), так как расчетные динамические системы остаются двухмассовыми (рис. 1, Вб — II и Вв — II), но вместо I_2 следует поставить I'_2 , а вместо $M_n - M_p$.

Таким образом, при оценке динамических нагрузок в случае перегрузки лесных машин необходимо учитывать не только их моменты инерции масс и жесткость привода, но и динамику предохранительных муфт, а также характер связи, образовавшейся между рабочим органом и предметом, вызвавшим перегрузку.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями. Киев, АН УССР, 1961. [2]. Комаров М. С. Динамика механизмов и машин. М., «Машиностроение», 1969. [3]. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л., «Машиностроение», 1976. [4]. Расчеты на прочность в машиностроении. Под ред. С. Д. Пономарева. Т. 3. М., «Машиностроение», 1959.

Поступила 14 ноября 1977 г.

УДК 634.0.232.312.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАДИУСА ПОДАЧИ НА СКОРОСТЬ СХОДА СЕМЯН С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ДИСКА В МАШИНЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

А. И. БАРАНОВ, А. И. ЗЕМЛЯНУХИН, М. А. МАЛОФЕЕВА

Воронежский лесотехнический институт

Дан теоретический анализ движения частицы по распределительному диску, вращающемуся вокруг неподвижной оси, и выведены выражения для определения абсолютной скорости частицы в момент схода ее с поверхности диска в зависимости от радиуса подачи.

Ранее [1, 4] были описаны особенности конструкции и кинематики рабочего органа машины для механической обработки семян, включающего в себя рабочий цилиндр, расположенный вертикально, внутри которого находится ротор с распределительным диском.

Семена подаются из разгрузочного бункера в отверстие крышки на распределительный диск, который вращается вместе с валом. За счет центробежной силы они сбрасываются равномерно по периметру на внутреннюю поверхность рабочего цилиндра и в результате удара частично обескрыливаются. Полное отделение крылышек происходит при взаимодействии семян с вращающимся ротором и рабочей поверхностью.

Проведенные исследования показали, что наибольшая вероятность травмирования семян возможна в процессе подачи их на рабочую поверхность распределительным диском. При этом процент травмированных семян зависит от величины и направления скорости схода семян с распределительного диска.

Для определения скорости и траектории перемещения семенного материала по вращающейся поверхности распределительного диска рассмотрим движение единичной частицы.

На горизонтально расположенный диск, вращающийся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, частицы подаются на расстоянии r_0 от оси вращения (рис. 1). Траекторией CD относительного движения частицы по диску в зависимости от физического содержания задачи может быть развертка окружности, логарифмическая спираль или прямая (при большом радиусе подачи r_0 [2]).

Для определения относительной скорости движения частицы по поверхности диска воспользуемся дифференциальным уравнением Лагранжа второго рода [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial r'} \right) - \frac{\partial T}{\partial r} &= Q_r; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi'} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_\varphi, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

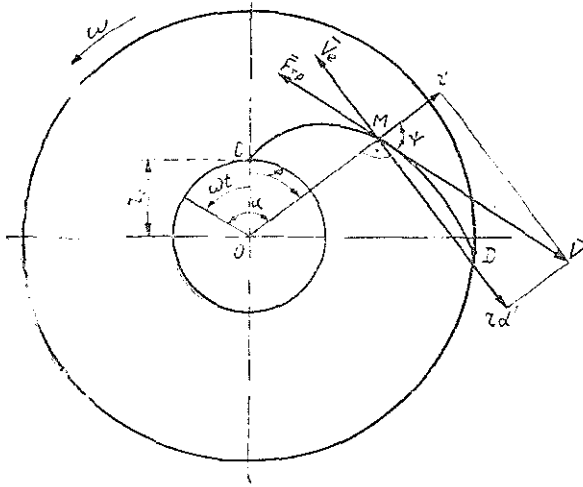


Рис. 1. Схема действующих сил и скоростей при движении частицы по вращающемуся диску.

где Q_r, Q_φ — обобщенные силы;
 r, φ — обобщенные координаты.

В результате решения уравнений (1) получаем закон зависимости относительной скорости частицы от r и S_r в виде

$$V_r^2 = r^2 \omega^2 - 2fgS_r + c_1, \quad (2)$$

где f — коэффициент трения частицы о поверхность диска;
 g — ускорение свободного падения;
 S_r — дуговая координата точки;
 c_1 — произвольная постоянная.

При вертикальной подаче частиц на диск воспользуемся начальными условиями движения; при $t = 0$

$$r = r_0; \quad S_r = 0; \quad V_{r_0} = r_0 \omega.$$

Тогда $c_1 = 0$ и выражение для относительной скорости примет вид

$$V_r = \sqrt{r^2 \omega^2 - 2fgS_r}. \quad (3)$$

Для решения этого уравнения необходимо знать траекторию относительного движения частицы. В зависимости от физического содержания задачи могут быть следующие случаи.

1. При большом радиусе подачи относительное движение считаем прямолинейным (рис. 2, а), при котором

$$r' = \text{const}; \quad dS_r = dr; \quad V_r = \frac{dS_r}{dt} = \frac{dr}{dt},$$

тогда

$$S_r = r - r_0.$$

Решая выражение (2), получим

$$V_r = \sqrt{r^2 \omega^2 - 2fg(r - r_0)}. \quad (4)$$

Абсолютную скорость точки находим по теореме скоростей

$$\bar{V}_a = \bar{V}_r + \bar{V}_e, \quad (5)$$

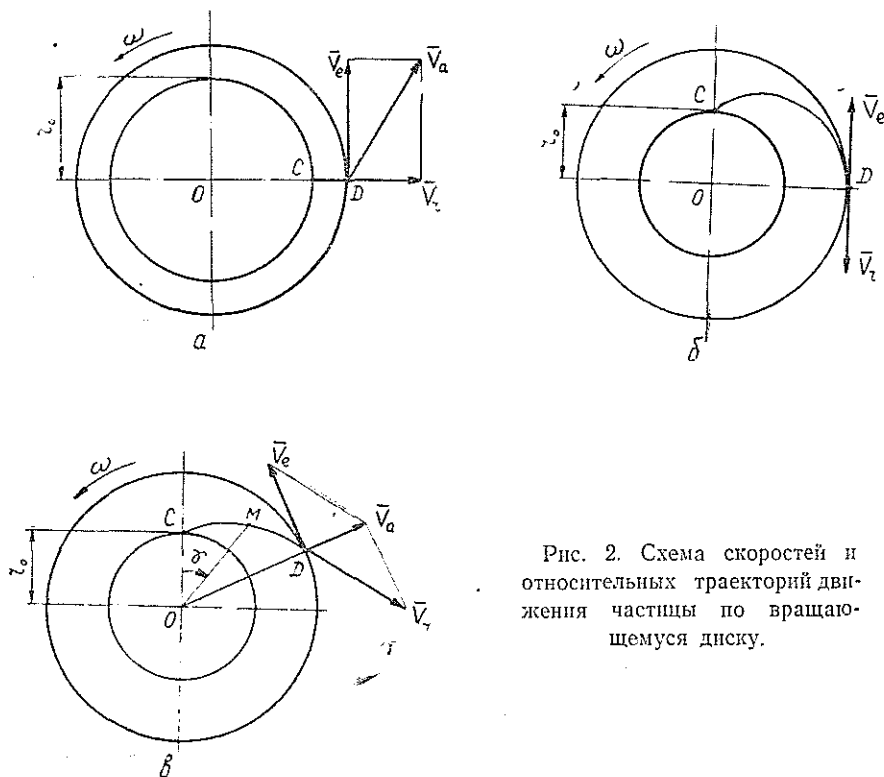


Рис. 2. Схема скоростей и относительных траекторий движения частицы по вращающемуся диску.

где V_a — абсолютная скорость точки;
 $V_e = \omega r$ — переносная скорость точки.

Абсолютная скорость частицы с учетом выражений (4) и (5)

$$V_a = \sqrt{2r^2\omega^2 - 2fg(r - r_0)}. \quad (6)$$

2. Если существует зависимость

$$\frac{r\varphi'}{r'} = \operatorname{tg} \psi = \frac{1}{a} = \operatorname{const},$$

то получим

$$r = re^{a\varphi},$$

где a — коэффициент.

Траекторией относительного движения частицы в этом случае является логарифмическая спираль (рис. 2, б).

Длина дуги этой кривой определяется формулой

$$S_r = \frac{r}{a} \sqrt{1 + a^2} + c_2. \quad (7)$$

Подставляя значение (7) в выражение (3) и определяя постоянные интегрирования из начальных условий, получим выражение для относительной скорости частицы

$$V_r = \sqrt{r^2 \omega^2 - \frac{2fg \sqrt{1 + a^2}}{a} (r - r_0)}. \quad (8)$$

Если угловая скорость велика, то можно считать, что относительная скорость направлена перпендикулярно радиусу диска. Тогда по теореме скоростей при сложном движении точки абсолютная скорость частицы

$$V_a \approx r\omega - \sqrt{r^2\omega^2 - \frac{2fg(1+a^2)}{a}(r-r_0)}. \quad (9)$$

3. Если траекторией относительного движения точки является развертка окружности (рис. 2, в), то закон зависимости дуговой координаты S_r от r имеет вид

$$S_r = \frac{1}{2} r\gamma^2, \quad (10)$$

а элемент дуговой координаты

$$dS_r = \frac{1}{2} \gamma^2 dr + r d\gamma. \quad (11)$$

Подставим выражение (11) в уравнение (2) и считая, что при большом радиусе подачи $r = r_0 = \text{const}$, найдем зависимость между временем и длиной дуги

$$t = \frac{1}{fg} [r_0\omega - \sqrt{r_0^2\omega^2 - 2fg}]. \quad (12)$$

Относительная скорость

$$V_r = r\omega - tfg. \quad (13)$$

Абсолютная скорость частицы определяется по теореме скоростей

$$V_a = \sqrt{(r_0\omega - tfg)^2 + \omega^2 r^2 + 2(\omega r_0 - tfg)\omega r \cos(\bar{V}_e, \bar{V}_r)}. \quad (14)$$

Из выражений (6), (9), (14) видно, что при уменьшении радиуса подачи для каждого из случаев уменьшается абсолютная скорость в момент схода частицы с распределительного диска, а следовательно, и в момент удара о рабочую поверхность. Следует ожидать, что процент травмированных семян будет снижаться с уменьшением радиуса подачи.

Для подтверждения теоретических выводов была проведена экспериментальная проверка влияния радиуса подачи на процент травмиро-

Таблица 1

Номер серии опытов	Дробление, %, при			
	$\frac{r_0}{R_0} > 0,9$	$0,8 < \frac{r_0}{R_0} < 0,9$	$0,5 < \frac{r_0}{R_0} < 0,8$	$\frac{r_0}{R_0} < 0,5$
Исходный материал	0,10	0,10	0,10	0,10
1	1,03	0,09	0,84	0,76
2	1,09	1,06	0,82	0,73
3	1,10	1,06	0,82	0,72
4	1,11	1,05	0,81	0,71
5	1,12	1,04	0,80	0,71
6	1,12	1,04	0,80	0,69
7	1,15	1,03	0,80	0,68
8	1,16	1,02	0,79	0,68
Среднее	1,11	1,05	0,81	0,71

вания семян ели и сосны. Скорость вращения распределительного диска находилась в пределах 50 рад/с. Результаты опытов приведены в табл. 1, из данных которой видно, что на величину дробления оказывает влияние расстояние семян от оси вращения диска в момент их подачи на него. При подаче семян на распределительный диск с расстоянием от оси вращения, равным отношению $\frac{r_0}{R_0} < 0,5$, обеспечивается минимальное дробление при сбросе семян на рабочую поверхность.

Полученные экспериментальные данные подтверждают выводы теоретических исследований о характере изменения траекторий перемещения семян по распределительному диску и абсолютной скорости сброса семян.

Из рассмотренного следует, что оптимальное отношение радиуса подачи семян на распределительный диск к радиусу сброса их на рабочую поверхность соответствует $\frac{r_0}{R_0} < 0,5$ при угловой скорости 50 рад/с.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1]. Баранов А. И., Землянухин А. И., Малофеева М. А. Пути уменьшения повреждения семян при механической обработке. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 2. [2]. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев, 1960. [3]. Воронков И. М. Курс теоретической механики. М., «Наука», 1965. [4]. Седаш Л. Т., Землянухин А. И., Поливяный В. Л., Глуховский В. С. Машина для шлифования семян. Авт. свид. № 411894. — Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974, № 3.

Поступила 14 ноября 1977 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 531 : 634.0.323

**ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ
С ДЕРЕВОМ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ВАЛКИ**

С. Ф. ОРЛОВ, Ю. Г. АРТАМОНОВ, В. М. РУБЦОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Теоретически определяется оптимальный процесс, соответствующий минимуму работы плоского перемещения дерева, срезанного и падающего в приемное устройство машины, анализируются нагрузочные и временные параметры найденного оптимального процесса.

Данная статья посвящена определению оптимального взаимодействия лесозаготовительной машины с деревом в процессе его валки, когда срезанное дерево перемещается из начального (фазового) положения в конечное (предписанное).

При оптимизации перемещения срезанного дерева в качестве критериев оптимальности могут быть приняты: минимум времени перемещения; минимум усилий, действующих в узле связи дерева с машиной; минимум энергетических затрат или работы перемещения.

Первый критерий, обеспечивающий максимальную производительность, не учитывает нагрузок, действующих на машину, и энергетических затрат при перемещении срезанного дерева; второй не учитывает изменение производительности машины.

Наиболее целесообразно в качестве критерия использовать минимум энергетических затрат или работы перемещения, так как в этом случае дифференцированно и комплексно учитывается изменение как нагрузок, так и пути или скорости и времени перемещения.

На рис. 1 дерево представлено твердым телом AB с центром масс в точке C . Точка A (комель дерева) связана с машиной и в общем случае перемещается в процессе падения дерева в плоскости по некоторой траектории, обозначенной пунктирной линией. Начальное положение дерева обозначено A_0B_0 , а конечное — A_kB_k (точка A находится в приемном устройстве машины).

Так как перемещаемое в плоскости дерево имеет три степени свободы, то элементарная работа dA приложенных к дереву сил на обобщенных элементарных перемещениях dz , dx и $d\varphi$ имеет вид

$$dA = (P_z - mg) dz + B_x dx + mgh_c \sin \varphi d\varphi, \quad (1)$$

где P_z и P_x — соответственно вертикальная и горизонтальная составляющие перемещающей силы P , действующей со стороны машины в точке A ;

m — масса дерева;

h_c — расстояние центра масс дерева C от точки A ;

g — ускорение свободного падения.

Коэффициенты при обобщенных элементарных перемещениях в выражении (1) являются обобщенными силами Q_z , Q_x и Q^φ . Они

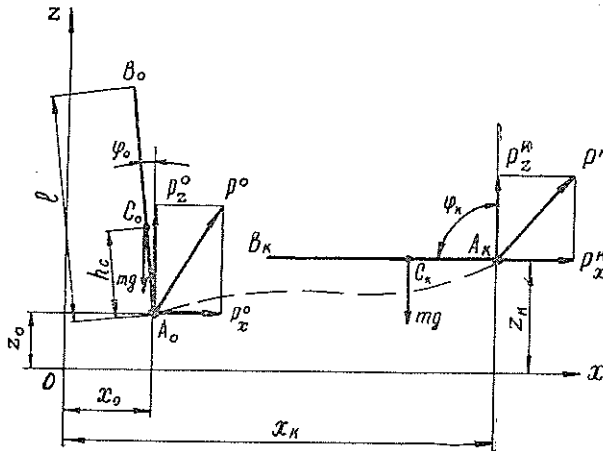


Рис. 1. Схема перемещения дерева в плоскости.

зависят от параметров дерева, его положения при перемещении, скоростей и ускорений перемещения и определяются из дифференциальных уравнений движения дерева, полученных в общем виде ранее*:

$$\left. \begin{aligned} m [\ddot{z} - h_c (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi)] &= Q_z = P_z - mg; \\ m [\ddot{x} - h_c (\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi)] &= Q_x = P_x; \\ I_A \ddot{\varphi} - mh_c (\ddot{z} \sin \varphi + \ddot{x} \cos \varphi) &= Q_\varphi = mgh_c \sin \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где \ddot{z} и \ddot{x} — ускорения перемещения точки A соответственно по координатным осям z и x ;

$\dot{\varphi}$ и $\ddot{\varphi}$ — соответственно угловая скорость и угловое ускорение поворота дерева;

I_A — момент инерции дерева относительно точки A .

Подставляя уравнения системы (2) в выражение (1) и интегрируя, получаем функционал, определяющий работу сил по перемещению дерева из начального положения в конечное:

$$A = \int_0^{t_k} \{ m [\ddot{z} - h_c (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi)] \dot{z} + m [\ddot{x} - h_c (\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi)] \dot{x} + [I_A \ddot{\varphi} - mh_c (\ddot{z} \sin \varphi + \ddot{x} \cos \varphi)] \dot{\varphi} \} dt, \quad (3)$$

где t_k — время перемещения дерева из начального положения в конечное;

\dot{z} и \dot{x} — скорости перемещения точки A соответственно по координатным осям z и x .

Функционал (3) дифференцированно и комплексно учитывает изменение нагрузок, скорости и времени перемещения дерева и принимает определенные значения при любых функциях $z = z(t)$, $x = x(t)$ и

* Орлов С. Ф. и др. Частные случаи применения уравнений Лагранжа при анализе процессов перемещения деревьев. — Межвуз. сб. научн. тр.: Машины и орудия для механизации лесозаготовок. Вып. 2. Л., ЛТА, 1974, с. 3—6.

$\varphi = \varphi(t)$, заданных при $0 \leq t \leq t_k$ и удовлетворяющих начальным и конечным (граничным) условиям.

Задача состоит в определении таких функций $z = z(t)$, $x = x(t)$ и $\varphi = \varphi(t)$, для которых функционал (3) принимает минимальное значение при уравнении связи:

$$I_A \ddot{\varphi} - mh_c (\ddot{z} \sin \varphi + \ddot{x} \cos \varphi) = mgh_c \sin \varphi. \quad (4)$$

Среди различных граничных условий, которые могут быть заданы в рассматриваемой задаче, наибольший практический интерес представляют условия равенства нулю скоростей или скоростей и ускорений перемещения точки A в начальном и конечном положениях дерева.

Применение обычных методов вариационного исчисления, при которых задача по отысканию условного минимума функционала (3) сводится к интегрированию уравнений Эйлера—Лагранжа, приводит к очень трудоемким вычислениям.

Чтобы избежать этого и получить решение в конечном виде, применим более эффективный и простой прямой метод Ритца. Согласно этому методу, ищем приближенное решение, подбирая функции, однозначно удовлетворяющие заданным граничным условиям.

Запишем решение в первом приближении при условии равенства нулю скоростей перемещения точки A в начальном и конечном положениях дерева:

$$\left. \begin{aligned} z &= z_0 + (z_k - z_0) (3\varepsilon^2 - 2\varepsilon^3) + c_1^2 (\varphi - \varphi_0)^2 (\varphi_k - \varphi)^2; \\ x &= x_0 + (x_k - x_0) (3\varepsilon^2 - 2\varepsilon^3) + c_2^2 (\varphi - \varphi_0)^2 (\varphi_k - \varphi)^2; \\ t &= 2 \sqrt{\frac{I_A c_3}{mgh_c}} \ln \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{4}}{\operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{4}}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где z_0, x_0 — координаты точки A в начальном положении дерева;

z_k, x_k — то же в конечном положении дерева;

φ_0 и φ_k — углы поворота дерева от вертикали соответственно в начальном и конечном его положениях;

$$\varepsilon = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_k - \varphi_0};$$

c_1, c_2, c_3 — искомые постоянные первого приближения.

Продифференцировав приближенные решения (5) и подставив полученные выражения в функционал (3) и уравнение связи (4), после интегрирования и преобразований получим

$$A = \frac{mgh_c}{2c_3} \left(\sin^2 \frac{\varphi_k}{2} - \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \right); \quad (6)$$

$$\begin{aligned} c_3 &= \frac{1}{4} - \frac{mh_c}{4I_A \ln \frac{\sin \frac{\varphi_k}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{2}}} \left\{ \left(\frac{6}{\varphi_k^2} - \frac{12}{\varphi_k^3} \right) [(z_k - z_0) - (x_k - x_0)] + \right. \\ &\quad \left. + 2(c_1^2 + c_2^2) (\varphi_k^2 + 6\varphi_k - 12) \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Используя условия $\frac{\partial A}{\partial c_1} = 0, \frac{\partial A}{\partial c_2} = 0$, получим

$$c_1 = c_2 = 0; \quad (8)$$

$$c_3 = \frac{1}{4} - \frac{3mh_c}{2I_A \varphi_k^2 \ln \frac{\sin \frac{\varphi_k}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{2}}} \left(1 - \frac{2}{\varphi_k}\right) [(z_k - z_0) - (x_k - x_0)]. \quad (9)$$

При условии равенства нулю скоростей и ускорений перемещения точки A в начальном и конечном положениях дерева решение в первом приближении имеет вид

$$\left. \begin{aligned} z &= z_0 + (z_k - z_0)(10\varepsilon^3 - 15\varepsilon^4 + 6\varepsilon^5) + c_1^2 (\varphi - \varphi_0)^3 (\varphi_k - \varphi)^3; \\ x &= x_0 + (x_k - x_0)(10\varepsilon^3 + 15\varepsilon^4 + 6\varepsilon^5) + c_2^2 (\varphi - \varphi_0)^3 (\varphi_k - \varphi)^3; \\ t &= 2 \sqrt{\frac{I_A c_3}{mgh_c}} \ln \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{4}}{\operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{4}}. \end{aligned} \right\} (10)$$

В этом случае

$$A = \frac{mgh_c}{2c_3} \left(\sin^2 \frac{\varphi_k}{2} - \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} \right); \quad (11)$$

$$c_1 = c_2 = 0; \quad (12)$$

$$c_3 = \frac{1}{4} - \frac{15mh_c}{I_A \varphi_k^3 \ln \frac{\sin \frac{\varphi_k}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{4}}} \left(1 + \frac{6}{\varphi_k} - \frac{12}{\varphi_k^2}\right) [(z_k - z_0) - (x_k - x_0)]. \quad (13)$$

Решения во втором и т. д. приближениях в обоих случаях дают такой же результат, что и в первом.

Подставляя выражения (8), (9) и (12), (13) в соответствующие решения (5) и (10), получим искомые функции, реализующие минимум работы перемещения дерева из начального положения в конечное. Анализ этих функций показывает, что оптимальной траекторией перемещения точки A является прямая линия. Характер перемещения по этой траектории зависит от заданных граничных условий.

Из формул (6) и (11) и третьих уравнений систем (5) и (10) следует, что при заданных граничных условиях соответствующие значения работы и времени перемещения дерева зависят от значений постоянной c_3 . По формулам (7) и (13) при $h_c = 0,38l$ и $I_A = 0,21m^2l^2$ для $z_0 = x_0 = 0$, $z_k = 2$ м, $x_k = 3,5$ м, $\varphi_0 = 0,0525$ рад (3°), $\varphi_k = \frac{\pi}{2}$ рад (90°), $l = 20$ м, $g = 9,81$ м/с² определены значения c_3 , которые составили соответственно 0,243 и 0,244. Таким образом, соответствующие заданным граничным условиям значения работы и времени перемещения дерева отличаются незначительно.

По первым двум уравнениям системы (2) при решениях (5) и (10) для тех же значений рассчитаны удельные составляющие $\frac{P_z}{mg}$ и $\frac{P_x}{mg}$ силы P в зависимости от угла поворота дерева φ и по данным расчетов построены графики (рис. 2). Из графиков видно, что максимальные значения $\frac{P_z}{mg}$ при решениях (5) и (10) одинаковы и в начале пе-

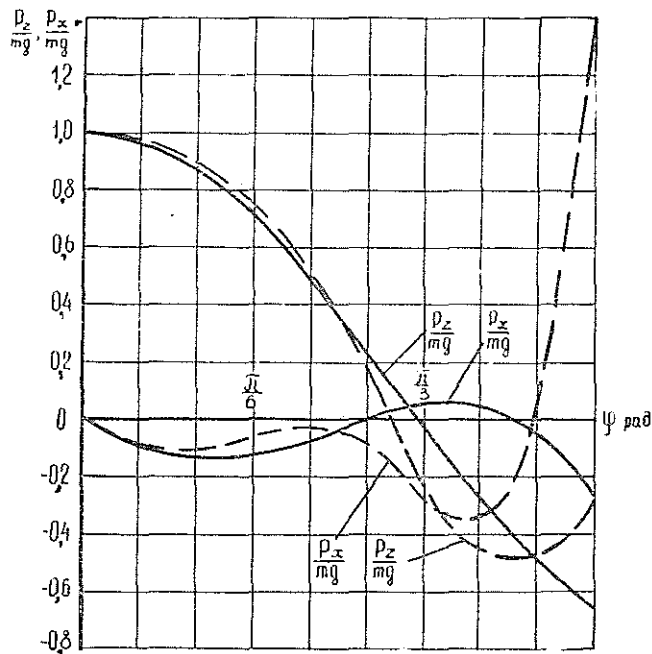


Рис. 2. Изменение сил, действующих в узле связи дерева с машиной, при перемещении узла связи по оптимальной траектории.

Сплошная линия — при условии равенства нулю скоростей перемещения узла связи в начальном и конечном положениях дерева; пунктирная — при условии равенства нулю скоростей и ускорений перемещения узла связи в начальном и конечном положениях дерева.

ремещения дерева не превышают 1,0, а максимальное значение $\frac{P_x}{mg}$ при решении (10) значительно выше, чем при решении (5), и в конце перемещения дерева достигает 1,4.

Из сказанного можно сделать вывод, что условие равенства нулю скоростей перемещения точки *A* в начальном и конечном положениях дерева наиболее приемлемо для выбора оптимальных параметров технологического оборудования машины и автоматизации перемещения узла связи дерева с машиной по определенной оптимальной траектории.

Автоматизация перемещения узла связи дерева с машиной по определенной оптимальной траектории позволит облегчить труд оператора машины и повысить производительность труда.

Поступила 27 октября 1977 г.

УДК 634.0375.4

О НОВОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСЧОКЕРНЫХ ТРАКТОРОВ НА ТРЕЛЕВКЕ

В. А. МЕЛЬНИК

Архангельский лесотехнический институт

Дан критический анализ применяемого способа разработки лесосек с использованием на трелевке бесчокерных тракторов. Рассмотрен новый способ разработки лесосек и приведены результаты производственных испытаний.

Один из основных и наиболее трудоемких видов работы на лесозаготовках — трелевка леса.

Полное устранение физического труда и резкое повышение производительности на трелевке может быть достигнуто путем механизации процесса сбора пачки деревьев на лесосеке.

Бесчокерные трелевочные тракторы марок ТБ-1, ЛП-11, ЛП-18 позволяют механизировать процесс сбора деревьев в пачки и находят все более широкое применение в лесной промышленности. Однако достигнутая на предприятиях отрасли сменная выработка на бесчокерный трактор незначительно превышает ту же выработку на обычный чокерный трактор. Причина заключается не только в новизне метода, отсутствии опыта, конструктивных недостатках бесчокерных тракторов и некоторых других факторах, но и в применяемых технологических схемах разработки лесосек, в частности, пасек.

Наиболее рациональна и широко распространена схема разработки пасек*, при которой деревья валят вершинами в противоположную от волока сторону под углом 15° к продольной оси пасеки. Деревья валят продольно-ленточным способом на предварительно прорубаемую параллельно продольной стороне пасеки ленту шириной 6 м. При движении бесчокерного трактора по пасечному трелевочному волоку механизированным захватным устройством деревья поштучно укладывают комлями в зажимной коник машины. Таким образом формируют пачку леса и транспортируют ее на лесопогрузочный пункт.

Применяемый способ разработки пасек имеет следующие недостатки:

1) укладка на коник трактора деревьев, сваленных вершинами в противоположную от волока сторону и расположенных под углом 15° к продольной оси пасеки, вызывает смещение их относительно продольной оси трактора на угол $15-25^\circ$, что приводит к неравномерной нагрузке ходовой части и буксованию трактора, особенно на лесосеках со слабыми грунтами и расположенных в заболоченной местности;

2) при продольно-ленточном способе валки деревьев значительно увеличиваются непроизводительные переходы вальщика по пасеке;

3) валка деревьев на предварительно прорубаемую ленту ограничивает возможность создания необходимого запаса сваленного леса;

* Алава В. В., Годоев А. А. Эксплуатация тракторов ТБ-1 в Кировском леспромхозе. — «Лесоэксплуатация и лесосплав». Реф. инф. М., 1972, № 25 (ВНИПИЭИлеспром).

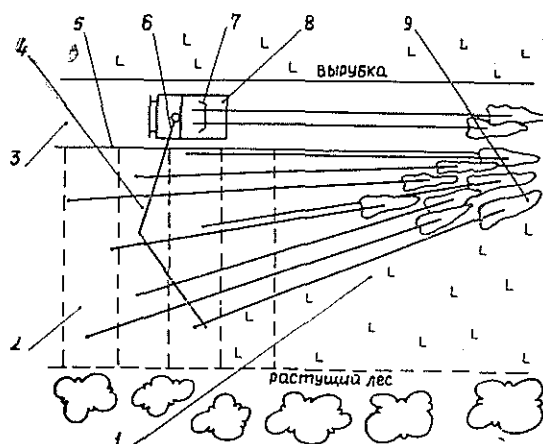


Рис. 1.

4) укладка деревьев, расположенных за коником, вызывает необходимость в подтаскивании их к трактору;

5) при сборе деревьев жизнеспособный подрост повреждается на всей площади лесосеки.

В целях повышения производительности труда и уменьшения энергозатрат на заготовке леса в Каргопольском леспромхозе объединения Архангельсклеспром был испытан новый способ разработки лесосек с использованием бесчokerных трелевочных машин ТБ-1.

На рис. 1 показана схема разработки пасеки по предложенной технологии.

Деревья на пасеке 1 валят поперечно-ленточным способом. На очередной пасечной ленте 2 деревья валят вершинами к трелевочному волоку 3 в промежутки между ранее поваленными деревьями на предыдущей пасечной ленте 4. При этом деревья, расположенные на границе 5 пасеки 1, валят параллельно продольной оси волока 3.

На пасечных лентах в первую очередь валят деревья, расположенные у трелевочного волока 3, двигаясь в дальнейшем по ленте поперек пасеки. Сваленные деревья механизированным захватным устройством 6 поштучно укладывают в зажимной коник 7 бесчokerного трактора 8, который передвигается по пасечному волоку 3. Перед укладкой деревьев трактор 8 устанавливают так, чтобы зажимной коник 7 и комли собираемых деревьев находились на одной линии, перпендикулярной продольной оси волока 3. Затем каждое дерево захватывают за комлевую часть, поднимают и поворачивают относительно точки касания кроны 9 с землей, после чего опускают в зажимной коник трактора. При таком способе укладки на коник продольные оси деревьев и формируемой пачки оказываются параллельными или почти параллельными продольной оси трактора, нагрузка от веса пачки равномерно распределяется на ходовую часть трелевочной машины. В последующем процесс установки трактора на волоке, захвата, подъема, поворота и укладки деревьев на коник повторяется. Пасеку 1 осваивают в два приема. Вначале собирают деревья, комли которых расположены на левой половине пасеки, примыкающей к границе растущего леса, затем — расположенные на правой половине пасеки, примыкающей к трелевочному волоку 3.

Разработка пасек по предложенной технологической схеме позволяет:

1) равномерно распределить нагрузку от укладываемых в зажимной коник деревьев на ходовую часть, что улучшает условия эксплуатации и уменьшает вероятность буксования трактора, особенно на лесосеках со слабыми грунтами или расположенных в заболоченной местности;

2) сократить непроизводительные передвижения валочного механизма на лесосеке;

3) уменьшить энергозатраты на укладке деревьев за счет исключения операции подтаскивания их к бесчokerному трактору;

4) собирать деревья большего веса при той же грузоподъемности механизированного захватного устройства бесчokerного трактора;

5) сохранить жизнеспособный подрост на части площади разрабатываемой пасеки, ограниченной продольной стороной пасеки и вершинами сваленных деревьев;

6) создавать необходимые запасы сваленного леса на лесосеке, в том числе небольшие, во избежание заноса деревьев снегом;

7) собирать сваленные деревья на половине пасеки за один проход бесчokerной машины.

Лесосека, на которой проводили испытания, расположена в среднезаболоченной местности. Таксационная характеристика насаждения: состав 6Е4Б, запас — 135 м³ на 1 га, средний объем хлыста — 0,29 м³. Среднее расстояние трелевки до 300 м. Температура воздуха во время испытаний от +1 до +3°С. Толщина снежного покрова — 12—16 см. Период проведения испытаний — октябрь.

Таблица 1

Вид затрат времени на операции	Средние затраты времени					
	Всего, мин	на смену		на одно дерево	на 1 м ³	на рейс
		мин	%	мин		
Косвенные затраты:						
подготовительно-заключительные работы	78,1	14,73	3,54	0,07	0,22	0,98
переезд на стоянку	6,3	1,20	0,28	0,01	0,02	0,08
прочие затраты	69,4	13,07	3,17	0,06	0,20	0,87
Итого	153,8	29,00	6,99	0,14	0,44	1,93
Прямые затраты:						
холостой ход	209,8	39,62	9,38	0,18	0,60	2,64
разворот в лесосеке	35,6	6,73	1,59	0,03	0,10	0,45
набор пачки	860,0	162,61	38,90	0,72	2,48	10,87
грузовой ход	306,8	57,81	13,71	0,26	0,88	3,86
сброс пачки, разворот	52,3	9,88	2,34	0,04	0,15	0,66
выравнивание штабеля	16,7	3,14	0,75	0,02	0,05	0,21
буксование	112,6	21,24	5,06	0,10	0,32	1,42
Итого	1593,8	301,03	71,73	1,35	4,58	20,11
Всего	1747,6	330,03	78,72	1,49	5,02	22,04
Простои:						
организационные	89,0	16,8	3,98	0,07	0,26	1,12
технические	304,9	57,5	13,81	0,26	0,87	3,84
технологические	18,0	3,4	0,81	0,02	0,05	0,23
Итого	411,9	77,7	18,60	0,35	1,18	5,19
Отдых	59,3	11,2	2,68	0,05	0,17	0,75
Продолжительность смены	2218,8	418,93	100,0	—	—	—
Обед	314,0	59,1	—	—	—	—

Примечание. Число отработанных тракторо-смен — 5,3; среднее число рейсов за смену — 15; средний объем древесины, стрелеванной за смену, — 65,2 м³.

При хронометражных наблюдениях во время испытаний предлагаемого способа разработки лесосек, кроме регистрации общего времени работы бесчokerных тракторов, определяли затраты времени на следующие работы и операции: подготовительно-заключительные работы; переезды на стоянку; движение в холостом направлении; маневры по лесосеке; сбор пачки деревьев; движение в грузовом направлении; отцепка пачки, маневры на погрузочной площадке; выравнивание штабеля; буксование; организационные, технические и технологические простои. На погрузочной площадке замеряли объем стрелеванного бесчokerными тракторами леса за время работы. Результаты наблюдений сведены в табл. 1.

За время проведения испытаний производительность бесчokerных тракторов повысилась на 67%, т. е. при норме на трактор 39 м³ сменная выработка составила 65,2 м³.

Предлагаемый способ разработки лесосек рекомендован для внедрения в производство на предприятиях объединения Архангельсклеспром, особенно на предприятиях, лесосырьевая база которых расположена в заболоченной местности.

Годовой экономический эффект от использования предложенного способа заготовки леса в производственных условиях в пересчете на один бесчokerный трелевочный трактор ТБ-1 составляет 11 140 р. без увеличения эксплуатационных затрат и капитальных вложений на внедрение.

Поступила 18 января 1977 г.

УДК 539.3 : 674-412

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ХЛЫСТОВ

Л. В. КОРОТЯЕВ

Архангельский лесотехнический институт

Изложен экспериментально-аналитический способ определения жесткости хлыстов. Приведены формулы изгибающего момента для хлыстов с переменной плотностью древесины. Даны уравнения и графики зависимости жесткости хлыста в функции его длины. Результаты исследований необходимы для конструирования и эксплуатации лесосечных и лесотранспортных машин.

Изучение параметров хлыстов и деревьев каждой лесорастительной зоны имеет значение для создания оптимального комплекса лесосечных машин.

К числу основных параметров деревьев и хлыстов относится их прогиб под действием собственного веса и внешних сил.

Прогиб деревьев и хлыстов обусловлен, с одной стороны, их геометрическими размерами и весом, а также растягивающими или иными силами, с другой, жесткостью. Менее всего исследована жесткость хлыстов. Между тем модуль упругости свежесрубленной древесины хлыста существенно зависит от ее возраста и засучкованности, меняющихся по длине хлыста. Поэтому в нашу задачу входило исследование жесткости хлыстов в функции их длины, что необходимо для определения прогиба хлыстов.

Хлыст рассматриваем как балку переменного сечения в форме усеченного конуса, лежащую на двух опорах (рис. 1) и прогнувшуюся под действием распределенной нагрузки (собственного веса).

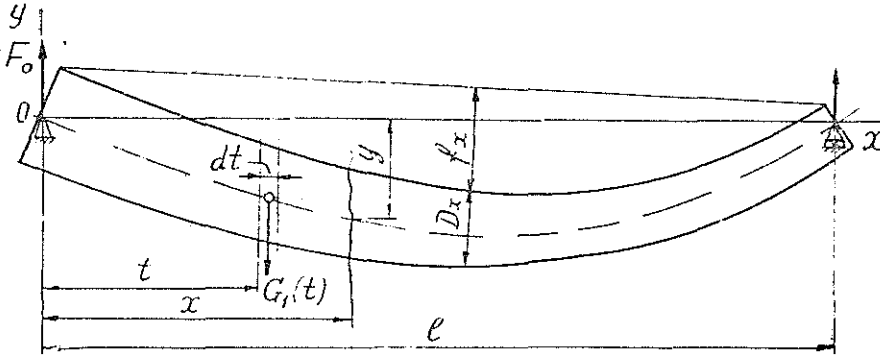


Рис. 1. Схема для расчета изгибающего момента.

Жесткость хлыста $(EI)(x)$ устанавливаем экспериментально-аналитическим способом. Для этого используем дифференциальное уравнение изогнутой оси хлыста и опытное уравнение его прогиба. Из дифференциального уравнения изогнутой оси хлыста его жесткость

$$(EI)(x) = \frac{M(x)}{y''} \sqrt{[1 + (y')^2]^{3/2}}, \quad (1)$$

где y — стрела прогиба хлыста;
 x — абсцисса точки на оси хлыста с ординатой y ;
 $M(x)$ — изгибающий момент, переменный по длине хлыста l .
 Из рис. 1 изгибающий момент

$$M(x) = F_0 x - \int_0^x G_1(t)(x-t) dt, \quad (2)$$

где F_0 — реакция опоры в начале координат;
 t — текущая абсцисса;
 $G_1(t)$ — переменный вес единицы длины хлыста

$$G_1(t) = g m_1(t) = \frac{\pi [D(t)]^2}{4} g \rho, \quad (3)$$

здесь $m_1(t)$ — переменная погонная масса хлыста;
 $D(t)$ — диаметр поперечного сечения хлыста, переменный по его длине;
 g — ускорение свободного падения;
 ρ — плотность неокоренной древесины хлыста.

Изгибающий момент определяем для двух вариантов ориентации хлыста: когда в начале координат расположен комель хлыста или вершина.

Для комлевой части хлыста

$$F_0 = (1 - \xi) G; \quad D(t) = D_k - it,$$

где G — вес хлыста;
 ξ — отношение расстояния от комлевого среза до центра тяжести хлыста к его длине l ;
 i — сбеги хлыста

$$i = (D_k - D_v)/l;$$

D_k, D_v — диаметр комлевого среза и верхнего отруба хлыста.

По данным исследований П. В. Закревского [1], плотность стволовой древесины березы и осины почти не меняется по длине ствола. В этом случае $\rho = \rho_{\text{ср}}$, где $\rho_{\text{ср}}$ — средняя плотность древесины, и

$$G_1(t) = \frac{\pi(D_k - it)^2}{4} g \rho_{\text{ср}}. \quad (4)$$

Подставив значения F_0 и $G_1(t)$ в выражение (2), после интегрирования получим формулу изгибающего момента для хлыстов листовенных пород

$$M(x) = (1 - \xi) Gx - \frac{\pi g \rho_{\text{ср}}}{48} (6D_k^2 - 4D_k i x + i^2 x^2) x^2. \quad (5)$$

Плотность древесины хвойных пород по тем же сведениям [1] сильно меняется по длине ствола, возрастая от комля к вершине. Эту закономерность для стволов ели и сосны П. В. Закревский выразил уравнением квадратной параболы

$$\rho = \rho(x) = (A - Bx + Cx^2) \rho_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где A, B, C — коэффициенты (в наших обозначениях).

Введя теперь значение $G_1(t)$ с учетом $D(t)$ и ρ под знак интеграла с текущей абсциссой t и отыскав его, получим уравнение изгибающего момента для еловых и сосновых хлыстов

$$M(x) = (1 - \xi) Gx - \frac{\pi g \rho_{\text{ср}}}{8} \left[AD_k^2 - (2AD_k i + BD_k^2) \frac{x}{3} + (Ai^2 + 2BD_k i + CD_k^2) \frac{x^2}{6} - (Bi^2 + 2CD_k i) \frac{x^3}{10} + Ci^2 \frac{x^4}{15} \right] x^2. \quad (7)$$

Для вершинной части хлыста

$$F_0 = \xi G; \quad D(t) = D_b + it$$

и по аналогии с первым вариантом изгибающий момент для березовых и осиновых хлыстов при $\rho = \rho_{\text{ср}}$

$$M(x) = \xi Gx - \frac{\pi g \rho_{\text{ср}}}{48} (6D_b^2 + 4D_b i x + i^2 x^2) x^2; \quad (8)$$

для еловых и сосновых хлыстов при $\rho = \rho(t)$

$$M(x) = \xi Gx - \frac{\pi g \rho_{\text{ср}}}{8} \left[AD_b^2 + (2AD_b i - BD_b^2) \frac{x}{3} + (Ai^2 - 2BD_b i + CD_b^2) \frac{x^2}{6} - (Bi^2 - 2CD_b i) \frac{x^3}{10} + Ci^2 \frac{x^4}{15} \right] x^2. \quad (9)$$

Значения первой и второй производных, входящих в формулу (1), находим из уравнения статического прогиба хлыстов, которое нами получено экспериментально.

Опыты проводили в лесосеках Северного, Няндомского и Митинского леспромпхозов с типичными для Европейского Севера лесосырьевыми базами, характеризующимися мелкими еловыми насаждениями со средним диаметром дерева на высоте 1,3 м от шейки корня $D_{1,3} = 20$ см. Прогиб измеряли у хлыстов разных пород и размеров. Для этого каждый хлыст вершиной и комлем укладывали на опоры. Вдоль хлыста сверху туго натягивали струну и замеряли стрелу прогиба и диаметр поперечного сечения хлыста в комле, на расстоянии 1 м от комля и далее через 2 м по длине, а также в верхнем отрубе. Средние арифметические значения измеренных величин приведены в табл. 1 для хлыстов ели как породы, господствующей на Севере, основного, III разряда.

Таблица 1

$D_{1,3}$ см	Число хлыс- тов, шт.	Диаметр сечения, мм (числитель) и стрела прогиба, мм (знаменатель) на расстоянии от комля, м											l м
		0	1	3	5	7	9	11	13	15	17	l	
12	5	$\frac{155}{0}$	$\frac{123}{48}$	$\frac{108}{87}$	$\frac{94}{91}$	$\frac{82}{44}$	—	—	—	—	—	$\frac{55}{0}$	8,7
16	5	$\frac{185}{0}$	$\frac{164}{65}$	$\frac{156}{154}$	$\frac{146}{221}$	$\frac{130}{236}$	$\frac{108}{198}$	$\frac{81}{81}$	—	—	—	$\frac{66}{0}$	12,1
20	18	$\frac{236}{0}$	$\frac{205}{87}$	$\frac{183}{233}$	$\frac{171}{354}$	$\frac{156}{431}$	$\frac{143}{453}$	$\frac{124}{405}$	$\frac{98}{266}$	$\frac{75}{69}$	—	$\frac{69}{0}$	15,3
24	2	$\frac{308}{0}$	$\frac{250}{132}$	$\frac{228}{292}$	$\frac{218}{416}$	$\frac{202}{514}$	$\frac{190}{586}$	$\frac{170}{594}$	$\frac{140}{536}$	$\frac{120}{345}$	$\frac{85}{32}$	$\frac{82}{0}$	17,2
28	3	$\frac{350}{0}$	$\frac{290}{120}$	$\frac{255}{290}$	$\frac{230}{440}$	$\frac{222}{600}$	$\frac{215}{738}$	$\frac{200}{807}$	$\frac{190}{872}$	$\frac{150}{823}$	$\frac{112}{575}$	$\frac{77}{0}$	19,0

Для установления тесноты и формы связи $y = f(x)$ вычислены статистические показатели: коэффициент корреляции r , корреляционное отношение η , их ошибки m_r , m_η и достоверность r/m_r , η/m_η , а также среднее квадратическое отклонение σ (табл. 2, n — число измерений). Они свидетельствуют о наличии тесной криволинейной корреляционной зависимости стрелы прогиба хлыста в функции его длины.

Таблица 2

$D_{1,3}$ см	n	r	$\pm m_r$	r/m_r	η	$\pm m_\eta$	η/m_η	σ см
12	30	-0,054	0,182	0,3	0,855	0,049	17	0,4
16	40	+0,077	0,158	0,5	0,911	0,027	34	0,4
20	180	+0,065	0,075	0,9	0,935	0,0091	103	0,7
24	21	+0,213	0,217	1,0	0,942	0,0024	38	1,8
28	33	+0,459	0,238	1,9	0,998	0,0012	832	5,0

Кривая прогиба хлыста нами выражена уравнением кубической параболы, которое выбрано способом наименьших квадратов,

$$y = ax + bx^2 + cx^3 \quad (10)$$

(в этом уравнении x в метрах, y в сантиметрах).

Опытные значения коэффициентов a , b , c приведены в табл. 3.

Таблица 3

$D_{1,3}$ см	a см/м	b см/м ²	c см/м ³
12	4,00	-0,45	-0,00195
16	6,74	-0,1924	-0,02587
20	7,89	-0,04	-0,03084
24	9,84	-0,15	-0,0241
28	6,643	+0,6865	-0,053

Для качественной оценки уравнения (10) сравнивали измеренные в натуре y и вычисленные по уравнению связи y значения прогибов. В 70% случаев их разность $\frac{y - \bar{y}}{y}$ не превышает 6,9% от прогиба в

сечении. Разность же $\frac{y-\bar{y}}{y_{\max}}$, которая лучше характеризует отклонения вычисленных значений прогибов от измеренных, в 93% случаев менее 5%, а в остальных (в вершинной части с малыми ординатами \bar{y}) не превышает 6—11% от максимального прогиба. Это говорит о возможности использования уравнения прогибов (10) для практических расчетов, в частности, для определения жесткости хлыстов. С этой целью дважды дифференцируем уравнение (10):

$$y' = a + 2bx + 3cx^2; \quad (11)$$

$$y'' = 2b + 6cx. \quad (12)$$

Подставив теперь значение изгибающего момента, а также первой и второй производных в уравнение (1), найдем жесткость хлыста для разных значений абсциссы.

На результаты вычислений изгибающего момента, кроме массы, в сильной степени влияют значения диаметра комлевого среза и сбега хлыста. В расчетах диаметр комлевого среза может быть взят фактический (табл. 1), усредненный по данным многих наших замеров и равный $D_k = 1,225D_{1,3}$ или условный $D_k = D_{1,3} + 130 \frac{D_{1,3} - D_b}{l - 130}$, который имел бы хлыст как усеченный конус с одинаковым сбегом по всей длине $i = \frac{D_{1,3} - D_b}{l - 130}$. В зависимости от этого будет меняться объем хлыста и его расчетные вес или плотность древесины. Например, для среднего хлыста диаметром $D_{1,3} = 20$ см фактический его объем, полученный как сумма объемов двухметровых цилиндров, составил $V = 0,283$ м³ (в коре). При фактическом диаметре $D_k = 23,6$ см объем хлыста как усеченного конуса составляет 0,311 м³, что на 10% больше фактического; при $D_k = 1,225D_{1,3} = 24,5$ см $V = 0,332$ м³, или на 17% больше фактического, а при условном диаметре $D_k = 21,5$ см $V = 0,265$ м³, что лишь на 6% меньше фактического. Это говорит в пользу условного диаметра.

В целях выявления наиболее приемлемого диаметра комля, а следовательно, среднего сбега и объема хлыста, мы на ЭВМ «Мир-2» вы-

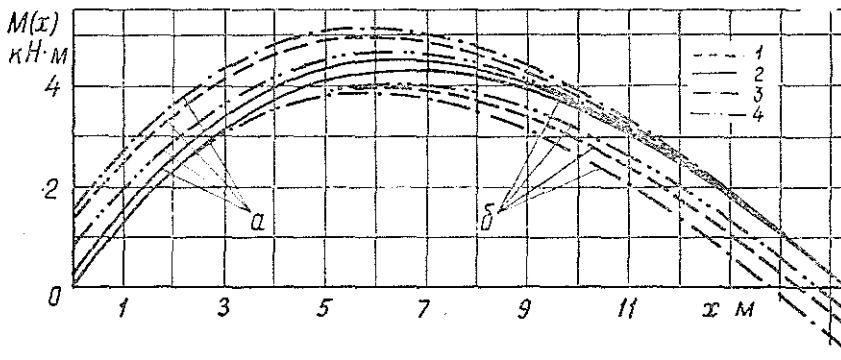


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов.

$a, б$ — варианты ориентации хлыстов; 1 — $D_k = 21,5$ см, $\rho = \rho_{cp}$; 2 — $D_k = 21,5$ см, $\rho = \rho(x)$; 3 — $D_k = 23,6$ см, $\rho = \rho_{cp}$; 4 — $D_k = 23,6$ см, $\rho = \rho(x)$.

числили значения и построили эпюры изгибающих моментов для хлыста толщиной $D_{1,3} = 20$ см и усредненной массой 229 кг при $D_k = 23,6$ см и условном диаметре $D_k = 21,5$ см (рис. 2). Из эпюр видно, что разница между значениями максимального изгибающего момента, вычисленными для двух вариантов ориентации хлыстов, равна 36% при $D_k = 23,6$ см и $\rho = \rho_{cp}$, 26% при $D_k = 21,5$ см и $\rho = \rho_{cp}$ и 14% при $D_k = 23,6$ см и $\rho = \rho(x)$. Наименьшая разница (5%) оказалась при условном диаметре комля и $\rho = \rho(x)$, которые мы и принимаем при исследованиях жесткости и прогиба хлыстов. Эта разница могла быть, по-видимому, еще меньше, если бы в наших расчетах была установлена и фигурировала плотность древесины в функции длины хлыста для еловых древостоев Европейского Севера.

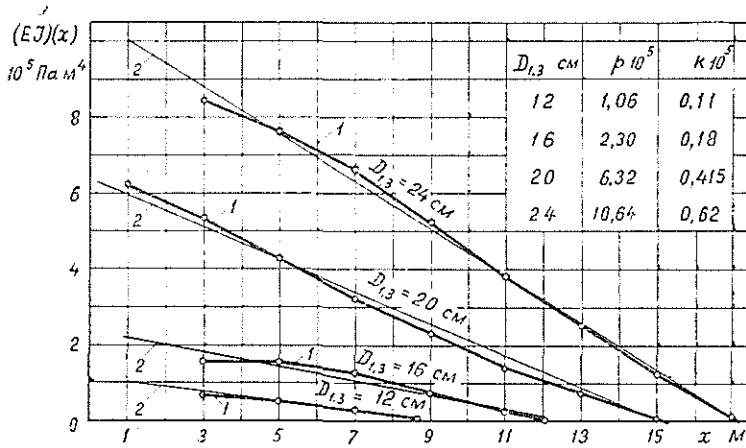


Рис. 3. Графики изменения жесткости еловых хлыстов по их длине.

1 — по данным натуральных измерений; 2 — по уравнению связи.

В результате исследований нами выявлена линейная зависимость жесткости елового хлыста в функции его длины (рис. 3), что подтверждается статистическими показателями ($r \approx \eta = 1$, табл. 4).

Таблица 4

$D_{1,3}$ см	r	$\pm r/m_r$	кПа · м ⁴	
			σ	m
12	-0,95	42	13	4,3
16	-0,975	106	20	4,0
20	-0,992	1240	24	2,4
24	-0,996	611	24	2,1

От комля к вершине жесткость понижается.

Уравнение связи $(EI)(x)$ имеет следующий вид:

$$(EI)(x) = p - kx, \tag{13}$$

где p, k — опытные коэффициенты, их значения даны на рис. 3.

Ошибка уравнения m приведена в табл. 4.

Таблица 5

х м	E без учета прогиба хлыстов при $D_{1,3}$ см								E с учетом прогиба хлыстов при $D_{1,3}$ см, без коры			
	В коре				Без коры				12	16	20	24
	12	16	20	24	12	16	20	24				
1	22	19	70	28	29	26	93	38	11,1	7,5	26,6	8,4
3	91	49	97	61	126	62	131	80	11,7	3,4	4,6	3,0
5	161	79	101	68	223	93	135	87	13,4	2,1	1,8	1,4
7	168	94	107	80	241	125	143	102	—	2,0	1,0	0,9
9	—	111	111	81	—	150	168	105	—	2,2	0,8	0,6
11	—	142	119	92	—	220	169	119	—	—	0,8	0,5
13	—	—	161	130	—	—	235	180	—	—	1,7	0,7
15	—	—	56	122	—	—	88	173	—	—	—	1,2
17	—	—	—	41	—	—	—	59	—	—	—	—

Для выяснения причин снижения жесткости нами попутно определен модуль упругости древесины как жесткого стержня в коре (условный) и без коры, а также с учетом смещения оси и сечений (табл. 5, в 10^2 МПа). Как видно из таблицы, вычисления модуля упругости для хлыста как жесткого стержня дают искаженные значения. Они, однако, могут быть использованы для практических расчетов в целях их упрощения.

Вычисления величины E с учетом смещения оси хлыста вследствие его прогиба дают более реальные, хотя и ориентировочные значения.

Модуль упругости, как и предполагалось, в основном снижается от комля к вершине, что, наряду с уменьшением диаметра сечения хлыста, вызывает понижение его жесткости.

При расположении опор хлыста в разных уровнях с большим смещением изогнутой нейтральной его линии от оси абсцисс, как например при трелевке в полупогруженном положении, характер связи $(EI)(x)$ и значения условного модуля упругости могут оказаться несколько иными.

Результаты наших исследований рекомендуются для использования при конструировании и эксплуатации лесотранспортных машин и другой лесозаготовительной техники. Для получения более полных сведений о жесткости хлыстов разных пород и размеров ее изучение должно быть продолжено.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Закревский П. Б. Изменение объемного веса ствола и кроны растущих деревьев по высоте. — «Труды ЦНИИМЭ. Вопросы технологии и механизации лесосечных работ». Химки, 1972, 123, с. 92—102.

Поступила 20 мая 1977 г.

УДК 634.0.375.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ХЛЫСТОВ*

Г. Ф. ХРАМЦОВ

Хабаровский политехнический институт

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований динамических характеристик хлыстов, уложенных на двухзвенный автопоезд, с учетом свисающих концов за коником роспуска.

Расчет собственных колебаний перевозимых грузов необходим при создании любой транспортной машины во избежание работы ходовой и несущей ее частей в зоне резонанса. Сказанное целиком относится и к хлыстам, перевозимым лесовозными автопоездами.

При исследовании колебаний лесовозного автопоезда пачку хлыстов обычно рассматривают как составной элемент динамической системы; в этом случае широко используют метод дискретизации масс [2—4]. Такое допущение не позволяет сохранить физическую сущность пакета хлыстов как упругого тела, обладающего бесконечным числом степеней свободы. При аналитическом исследовании вертикальной динамики лесовозного подвижного состава пакет хлыстов заменяют системой твердых тел, которые подвешивают на пружинах такой жесткости, чтобы частота колебаний приведенных масс и пакета хлыстов совпадали. Поэтому экспериментально или аналитически (как показано ниже) необходимо определять собственную частоту колебаний самого пакета хлыстов.

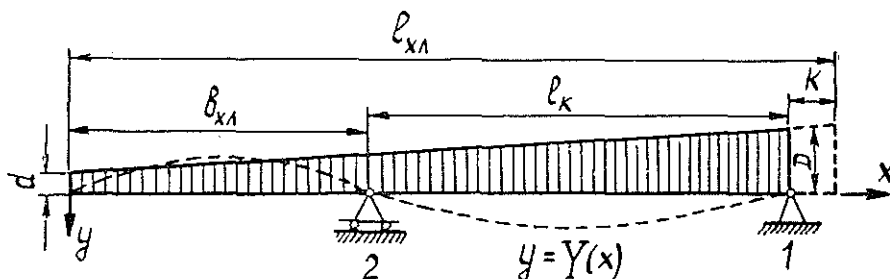


Рис. 1. Схема весоной балки (хлыстов) на двух опорах с консолью.

Расчетная схема — балка в виде усеченного конуса [7] на двух опорах с консолью $b_{xл}$ (рис. 1). При размещении на лесовозном двухзвенном автопоезде хлыстов комлями в одну сторону их передний свес составляет менее 5% полной длины, поэтому консолью K можно пренебречь. Задней консолью $b_{xл}$ пренебречь нельзя из-за ее значительной величины.

* Имеется в виду основная частота колебаний хлыстов, уложенных на двухзвенный автопоезд.

Пользуясь принципом Даламбера [5], согласно принятой схеме, получим уравнение поперечных колебаний хлыстов в виде

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI^{x\lambda}(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Применительно к единичному хлысту

$$EI^{x\lambda}(x) = \frac{E\pi}{64} \left(d + \frac{D-d}{l_{x\lambda}-K} x \right)^4; \quad (2)$$

$$m(x) = \frac{\gamma}{\rho} \left[\frac{\pi d^2}{4} + \frac{\pi}{4(l_{x\lambda}-K)} (D^2 - d^2) x \right], \quad (3)$$

где Q и d — диаметры хлыста соответственно в плоскости коника автомобиля и его вершинной части.

Следуя методу Фурье [1], уравнение (1) при помощи одностипных подстановок $y = Y(x)T(t)$ можно привести к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$(EI^{x\lambda}(x) Y''(x))'' - m(x) p^2 Y(x) = 0 \quad (4)$$

и уравнению

$$T(t) = \sin(pt + \varphi). \quad (5)$$

Уравнение (4) имеет переменные коэффициенты, поэтому решить его в замкнутой форме затруднительно. Для определения частоты собственных колебаний используем метод Дж. Релея [8].

Отклонение y любой точки балки (рис. 1) от положения статического равновесия под действием собственного веса $q(x)$ при поперечных колебаниях может быть представлено произведением двух функций [8]:

$$y(x, t) = Y(x) \sin(pt + \varphi), \quad (6)$$

где $Y(x)$ — уравнение изогнутой оси от нагрузки $q(x)$.

Тогда выражения кинетической T и потенциальной Π энергии примут следующий вид:

$$T = \frac{p^2}{2} \cos^2(pt + \varphi) \int_0^{l_{x\lambda}-K} m(x) [Y(x)]^2 dx; \quad (7)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \sin^2(pt + \varphi) \int_0^{l_{x\lambda}-K} \left\{ \frac{d^2}{dx^2} [Y(x)] \right\}^2 EI^{x\lambda}(x) dx. \quad (8)$$

Имея в виду, что $T_{max} = \Pi_{max}$ при $\sin(pt + \varphi) = 1$, получим

$$\frac{1}{2} p^2 \int_0^{l_{x\lambda}-K} m(x) [Y(x)]^2 dx = \frac{1}{2} \int_0^{l_{x\lambda}-K} [Y''(x)]^2 EI^{x\lambda}(x) dx. \quad (9)$$

Отсюда находим

$$p = \sqrt{\frac{\int_0^{l_{x\lambda}-K} [Y''(x)]^2 EI^{x\lambda}(x) dx}{\int_0^{l_{x\lambda}-K} m(x) [Y(x)]^2 dx}}. \quad (10)$$

Определение собственной частоты изгибных колебаний хлыстов по формуле (10) требует вычисления действительных их прогибов, что трудно. Удобнее воспользоваться выражением, вытекающим из энергетического метода Релея [6, 10]

$$p^2 = \frac{\int_0^{l_{хл}-K} m(x) Y^2(x) dx}{\int_0^{l_{хл}-K} \frac{1}{EI^{хл}(x)} M_y^2(x) dx}, \quad (11)$$

где $M_y(x)$ — изгибающий момент массовой нагрузки.

При расчете частоты по формуле (11) упругую линию, исходя из априорных соображений, необходимо заменить кривой, соответствующей крайевым условиям задачи. Применительно к хлыстам как балке на двух опорах с консолью

$$Y(x) = \frac{x}{b_{хл}} \sin \frac{\pi x}{l_{хл}-K} - \sin \frac{\pi x}{l_{хл}-K}. \quad (12)$$

Подставляя в уравнение (11) значения $m(x)$, $I^{хл}(x)$, $Y(x)$, $M_y(x)$ и введя обозначение $l_{хл}-K = S$, получим развернутую формулу для определения собственной частоты колебаний хлыстов $\omega_{хл}$:

$$\omega_{хл} = 9,55 \sqrt{\frac{\frac{\gamma}{\rho} \int_0^S \left[\frac{\pi d^2}{4} + \frac{\pi}{4S} (D^2 - d^2) x \right] \left(\frac{x}{b_{хл}} \sin \frac{\pi x}{S} - \sin \frac{\pi x}{S} \right)^2 dx}{\frac{64}{E\pi\rho^2} \int_0^S \frac{\left[\frac{\gamma\pi d^2 x^2}{8} - \frac{\gamma\pi D^2 - \gamma\pi d^2}{24S/x \gg b_{хл}} - \frac{0,37\gamma\pi S^2 (d^2 - dD + D^2) (x - b_{хл})}{12(S - b_{хл})} \right] dx}{\left(d + \frac{D-d}{S} x \right)^4}} \quad \text{кол/мин}, \quad (13)$$

где γ — объемная масса древесины.

Исходя из предположения, что длина $l_{хл}$ и диаметры D и d хлыстов, составляющих пакет, приняты средними, частота колебаний пакета хлыстов $\omega_{п}$ будет в φ_3 раз больше, чем одиночных хлыстов, т. е.

$$\omega_{п} = \varphi_3 \omega_{хл}, \quad (14)$$

где φ_3 — экспериментальный коэффициент увеличения жесткости хлыстов в пакете за счет взаимного трения на поверхности хлыстов, определяемый соотношением

$$\varphi_3 = \frac{I_{п}}{\sum_{i=1}^m I^{хл}}, \quad (15)$$

где m — количество хлыстов в пакете;

$I_{п}$, $I^{хл}$ — соответственно момент инерции поперечного сечения пакета хлыстов и хлыста в плоскости коника автомобиля.

(Экспериментальное исследование хлыстов производилось на лабораторной установке, краткое описание которой приведено в работе автора [9]).

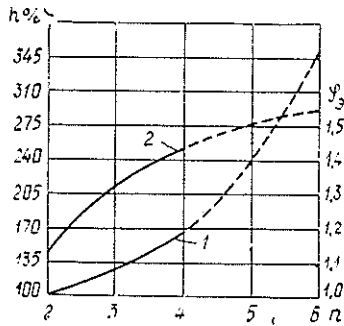


Рис. 2. Увеличение коэффициента затухания h и жесткости φ_3 пакета от количества рядов хлыстов.

$$1 - h = 10,5 n^2 - 28,5n + 115;$$

$$2 - \varphi_3 = -0,0367n^3 + 0,26n^2 - 0,3933n + 1,17.$$

Графическое изображение зависимости коэффициента затухания h и жесткости φ_3 пакета от количества рядов хлыстов n представлено на рис. 2.

Исследование выражения (13) с помощью ЭЦВМ «Минск-22» и сравнение результатов с данными экспериментов позволило получить

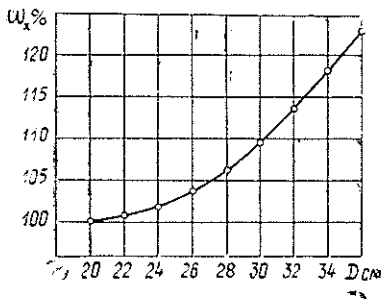


Рис. 3. Зависимость частоты собственных колебаний одиночных хлыстов ω_x от их диаметра в плоскости коника автомобиля D .

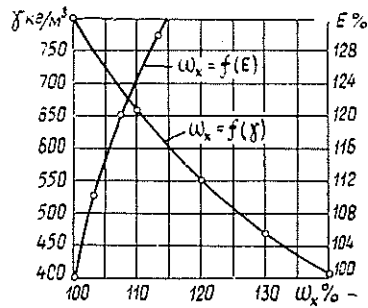


Рис. 4. Зависимость частоты собственных колебаний одиночных хлыстов ω_x от объемной массы γ и модуля упругости E древесины.

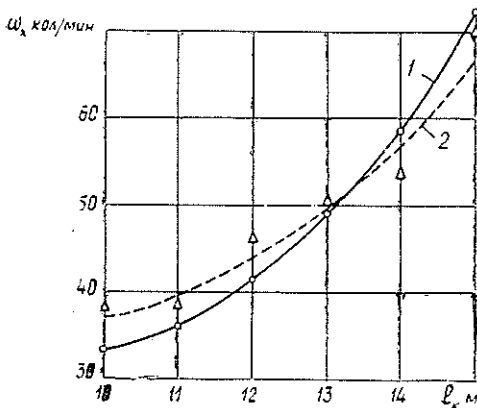


Рис. 5. Зависимость частоты собственных колебаний хлыстов ω_x от расстояния между опорами l_K .

Порода — ель; $l_x = 21,76$ м;
 $D = 20$ см; $d = 8,3$ см; 1 — теоретическая кривая; 2 — экспериментальная, описанная уравнением

$$\omega_x = 0,3145 l_K^3 - 10,5786 l_K^2 + 12,2937 l_K - 431,3564.$$

необходимые основные зависимости, представленные графически на рис. 3, 4, 5 (расчеты проведены для хлыстов хвойной породы, на долю которых приходится подавляющая часть лесозаготовительной программы). Максимальное расхождение между значениями собственной частоты, найденными аналитически по выражению (13), и экспериментальными, не превышает 10%.

Приведенные графики дают наглядное представление о характере изменения собственных колебаний низшего тона хлыстов, уложенных на двухзвенный автопоезд с учетом консоли за коником роспуска, в зависимости от их основных геометрических и физических характеристик. Полученные зависимости могут быть использованы в практических расчетах конструкций лесотранспортных и лесозаготовительных машин.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ананьев И. В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. М., Гостехиздат, 1946. [2]. Гастев Б. Г. Свободные колебания связанной системы. — Сборник ЛЛТИ, 1957, № 5. [3]. Гастев Б. Г., Мельников В. И. Основы динамики лесовозного подвижного состава. М., 1967. [4]. Лах Е. И. Исследование вертикальной динамики лесовозного автомобильного поезда. — «Труды ЦНИИМЭ». М., 1960, т. 14, вып. 3. [5]. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Теоретическая механика. Т. 3. М.—Л., ГИТТЛ, 1934. [6]. Маслов Г. С. Расчеты колебаний валов. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1968. [7]. Орлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках. М., Гослесбумиздат, 1963. [8]. Пономарев С. Д., Бидерман В. Л., Лихарев К. К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. 3. М., Машгиз, 1959. [9]. Храмцов Г. Ф. Установка для экспериментального исследования статических и динамических характеристик хлыстов в лабораторных условиях. — Межвуз. сборн. научн. тр.: Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. Вып. 2. Л., 1973, с. 55—58. [10]. Шиманский Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций. Л., Изд-во судостроительной литературы, 1948.

Поступила 9 ноября 1977 г.

УДК 634.0.323.4

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ВЫХОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСКРЯЖЕВКЕ ХЛЫСТОВ С УЧЕТОМ КРИВИЗНЫ

В. А. ЧЕРВИНСКИЙ

Воронежский лесотехнический институт

Установлены аналитические зависимости между длиной сортиментов, стрелой искривления, длиной искривленной части хлыста и средним сбегом в месте вырезки сортимента. Аналитическим и графическим способами определены оптимальные отношения длин сортиментов к длинам искривленной части хлыста в случае простой и сложной кривизны, а также место перерезания хлыста в искривленной части для получения максимального выхода цилиндрических сортиментов с учетом кривизны хлыста.

Для получения максимального объемного выхода продукции из сортиментов, предназначенных для пиления, лущения и строгания, необходимо, чтобы при раскряжевке хлыстов на сортименты обеспечилось максимально возможное увеличение цилиндрической зоны древесины. Очевидно, что цилиндрическая зона сортимента заданной стандартной длины максимальна, если стрела кривизны не выходит за пределы сбеговой зоны.

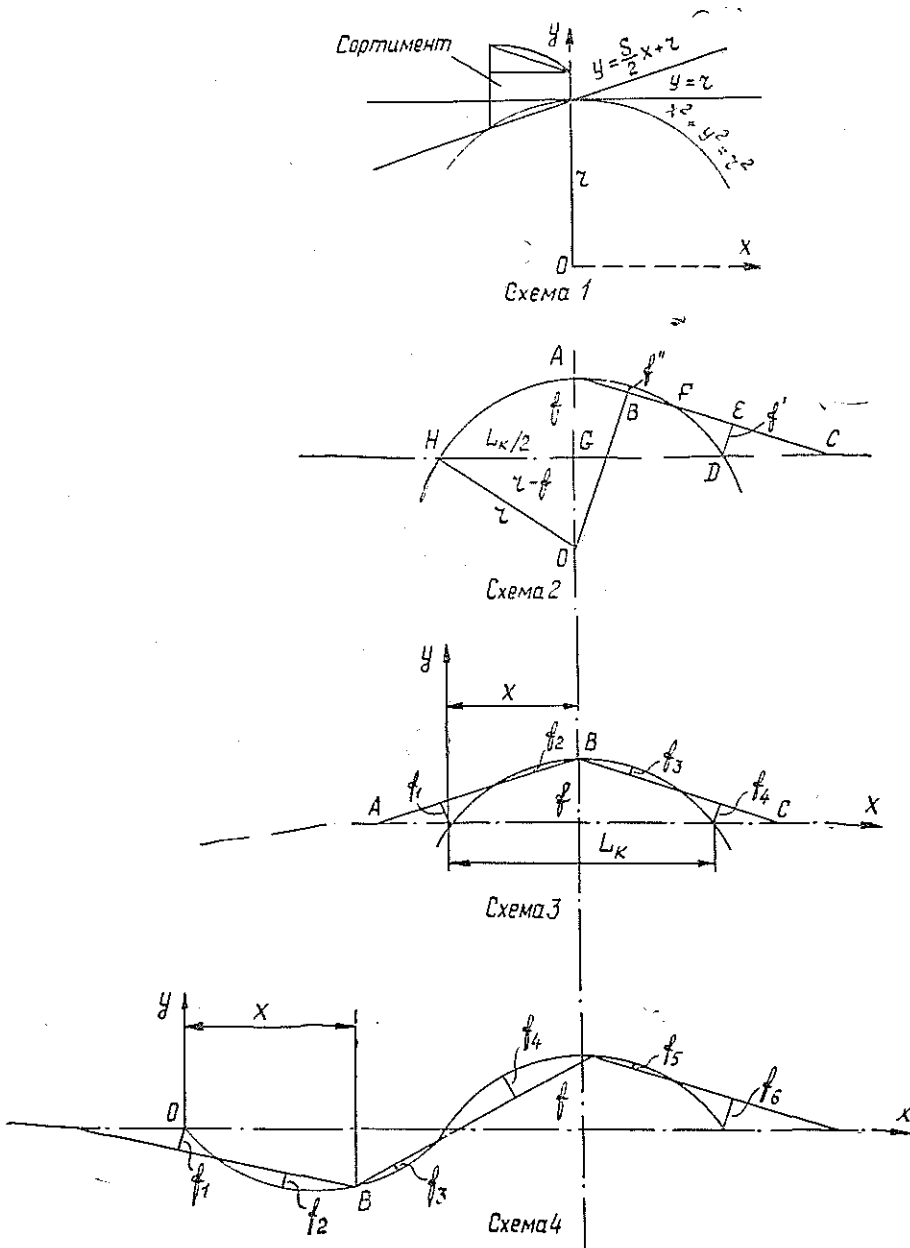


Рис. 1. Схемы кривизны хлыстов.

Пусть на рис. 1 (схема 1) уравнение $x^2 + y^2 = r^2$ характеризует образующую хлыста, $y = r$ — образующую цилиндра, построенного на вершинном сечении сортимента, $y = \frac{S}{2}x + r$ — образующую конуса, построенного на том же вершинном сечении. В этом случае абсцисса пересечения образующей сортимента, не имеющего кривизны, с образующей хлыста представит собой максимально возможную длину сор-

тимента, у которого стрела кривизны еще находится в пределах сбеговой зоны. Для определения длины такого сортимента решаем совместно уравнения образующих хлыста и сортимента, не имеющего кривизны. Получаем

$$x \leq \frac{rS}{1 + \frac{S^2}{4}}, \quad (1)$$

где x — максимальная длина сортимента, у которого стрела кривизны еще находится в пределах сбеговой зоны;

S — средний сбег;

r — радиус кривизны.

Радиус кривизны можно найти, проведя условную хорду в каком-либо месте искривления, например, как показано на схеме 2 (рис. 1), из прямоугольного треугольника OHG :

$$r = \frac{0,25L_k + f^2}{2f}, \quad (2)$$

где L_k — длина хорды;

f — стрела кривизны для L_k .

Исследование зависимости x от f/L_k показало, что условием (1) можно воспользоваться только при $f/L_k < 0,25\%$ и $S > 2$ см/м. В этом случае величина x соизмерима с минимальными длинами сортиментов, предназначенных для лущения и строгания. Например, при $f/L_k = 0,0025$ (0,25%) и $S = 0,02$ (2 см/м) $x = 1$ м, а при $S = 0,03$ (3 см/м) $x = 1,5$ м.

Таким образом, условием (1) можно пользоваться для комлевой части хлыстов.

При раскряжевке хлыстов, имеющих кривизну более 0,25%, стрела кривизны сортиментов всегда выходит за пределы сбеговой зоны. В этом случае положение сортиментов относительно искривленной части хлыстов необходимо выбирать таким, чтобы стрела кривизны сортиментов была минимальной.

На схеме 3 (рис. 1) показана искривленная часть хлыста, ось x направлена по неискривленной части хлыста. При раскряжевке на сортименты равных длин ($AB = BC$) простая кривизна со стрелой f преобразуется в сложную со стрелой кривизны f_1 и f_2 для сортимента AB и f_3 и f_4 для сортимента BC . Соотношение стрел кривизны f_1 , f_2 , f_3 и f_4 и определяет выбор места реза (точка B) по отношению к началу кривизны (начало координат).

На рис. 2 показаны зависимости величины стрелы кривизны (прогиба) сортиментов от места реза для простой и сложной кривизны (схема 4, рис. 1). Зависимости получены графически, путем вычерчивания хлыстов в масштабе.

При любом расстоянии от начала кривизны до места реза, т. е. при любом x/L_k кривизна сортимента определяется длиной перпендикуляра, проведенного из значения x/L_k до пересечения с самой верхней кривой. Таким образом, зависимость стрелы кривизны сортимента от x/L_k выражается сложной комплексной кривой, обведенной на графиках двойной линией (рис. 2). Минимальная ордината этой комплексной кривой характеризует оптимальное значение x/L_k .

Из графиков видно, что расстояние от начала искривления хлыста до сечения, при раскряжевке в котором стрела кривизны сортиментов

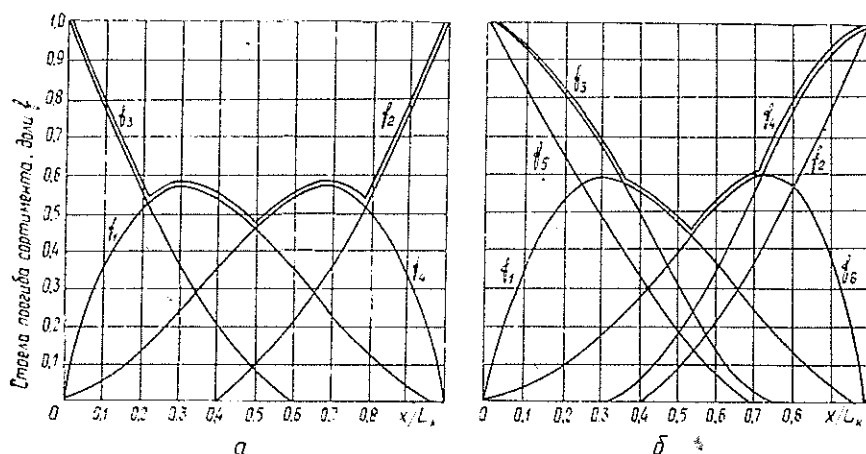


Рис. 2. Зависимость стрелы кривизны сортиментов от расстояния между началом кривизны и местом перерезания хлыста.

a — кривизна простая, $L_c = L_k$, $f/L_k = 20\%$; *b* — кривизна сложная, $L_c = L'_k = L''_k$, $f'/L'_k = f''/L''_k = 20\%$.

наименьшая (0,45 от стрелы кривизны хлыста), для простой кривизны равно 0,5, а для сложной приблизительно 0,55 длины искривленной части.

Исследование зависимости стрелы кривизны сортиментов от его длины и первоначальной кривизны хлыста производили аналитически (схема 2, рис. 1). Если длина сортиментов L_c (на схеме *AF*) намного меньше длины искривленной части хлыста L_k , то стрела кривизны сортиментов

$$f'' = r - \sqrt{r^2 - \frac{L_c}{4}}. \quad (3)$$

Если начало сортиментов поместить в точку *A*, т. е. в середину искривленной части (схема 2, рис. 1), а конец сортиментов — в какую-либо точку *F* и увеличивать длину сортиментов, то точка *F* будет передвигаться по кривой части хлыста, пока не сольется с точкой *D* (конец искривленной части). Длина *AD* в последнем случае определяет максимальную длину сортиментов с максимальной стрелой кривизны f'' , для вычисления которой еще справедлива формула (3):

$$L_{c \max} = \sqrt{\frac{L_k}{4} + f^2}. \quad (4)$$

Если L_c больше $L_{c \max}$, то сортименты имеют две стрелы кривизны f' и f'' (схема 2, рис. 1), которые определяются из уравнений

$$f' = \frac{f}{L_c} \left(\sqrt{L_c^2 - f^2} - \frac{L_k}{2} \right); \quad (5)$$

$$f'' = r \left(1 - \frac{\sqrt{L_c^2 - f^2}}{L_c} \right). \quad (6)$$

В формулах (3), (5), (6) f и L_c выражали в относительных величинах от $L_k r$ определяли по формуле (2). Результаты расчетов показаны на рис. 3.

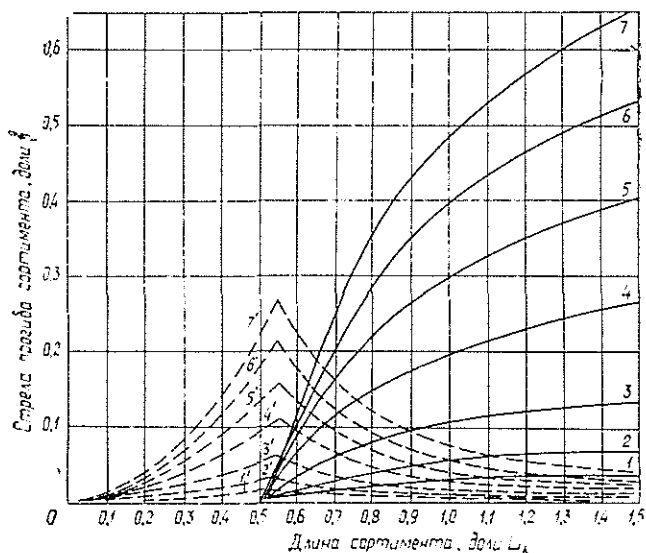


Рис. 3. Зависимость стрелы кривизны сортимента от его длины для разных значений первоначальной кривизны хлыста.

1 — f' для $f/L_k = 1\%$; 2 — 2%; 3 — 4%; 4 — 8%; 5 — 12%; 6 — 16%;
7 — 20%; 1' — f'' для $f/L_k = 1\%$; 2' — 2%; 3' — 4%; 4' — 8%;
5' — 12%; 6' — 16%; 7' — 20%.

Таким образом, при $L_c \leq L_{c \max}$ сортимент имеет одну стрелу кривизны, которая растет с увеличением L_c (пунктирные восходящие кривые на рис. 3). При $L_c > L_{c \max}$ сортимент приобретает еще одну стрелу кривизны (схема 2, рис. 1). По мере увеличения L_c значение f'' уменьшается (нисходящие пунктирные кривые на рис. 3), а f' в это время растет (восходящие сплошные кривые). Точки пересечения пунктирных и сплошных кривых для одной и той же первоначальной кривизны хлыста указывают оптимальные значения стрелы кривизны сортимента и его длины.

Из графиков на рис. 3 видно, что оптимальные значения L_c/L_k для кривизны хлыста от 1 до 20% находятся в пределах соответственно 0,62—0,66 L_k .

Если учесть, что переход кривой части хлыста в прямую происходит с некоторым радиусом закругления, то при сохранении показанных на рис. 3 закономерностей точки пересечения кривых несколько сместятся вниз вправо.

При радиусе закругления в месте перехода кривизны в прямую часть хлыста, равном $0,25r$, f' составляет около 0,9 от расчетных значений. Оптимальные длины сортиментов находятся в пределах 0,64—0,67 L_k .

Поступила 13 октября 1977 г.

УДК 621.86.065.3

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА БЛОКАХ С РИФЛЕНОЙ И ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЖЕЛОБА

В. Д. МАРТЫНИХИН, М. А. ЦВИРКО

Белорусский технологический институт

Приводятся формулы для расчета контактных напряжений с учетом геометрии желоба и прогибов проволок от вторичного изгиба. Расчетные формулы по определению пятен контакта проверены экспериментально люминесцентным методом на пробном стенде. Полученные результаты свидетельствуют о снижении контактных напряжений на рифленых блоках в 1,9—2,1 раза по сравнению с блоками, имеющими стандартный профиль желоба.

Опыт эксплуатации различных канато-блочных систем показывает, какую большую роль в процессе износа стальных канатов двойной свивки на блоках с гладкой поверхностью желоба играют контактные напряжения. Теоретическое объяснение этого явления содержится в ряде публикаций [2, 4, 7, 9]. Однако при решении контактной задачи не принимаются во внимание упругие свойства пряди и проволок и связанные с ними явления вторичного изгиба, учет которых важен как для повышения точности расчета, так и для обоснования целесообразности применения рифленого желоба блоков.

При работе канатов на рифленых блоках [6] в корне меняется характер контакта проволок с желобом. Главные кривизны контактирующих тел в этом случае равны:

$$K_{12} = \frac{\sin^2 \alpha}{r}; \quad K_{22} = -\frac{\sin^2 \alpha}{r_p}; \quad K_{11} = \frac{2}{\delta}; \quad K_{21} = -\frac{\cos^2 \beta}{r_p}, \quad (1)$$

где α — угол свивки проволок в пряди;

r — радиус свивки наружного слоя проволок в пряди;

r_p — радиус кривизны поперечного сечения рифления по линии контакта;

δ — диаметр наружной проволоки;

β — угол свивки прядей.

Индексы 1 и 2 относятся соответственно к кривизмам проволоки в канате и поверхности желоба блока.

Сопоставление показывает, что K_{12} и K_{22} отличаются крайне незначительно и по абсолютной величине их можно принять равными, в то время как K_{11} и K_{21} существенно различны. В этом случае вполне применима схема контакта цилиндра (проволока) с плоскостью (желоб).

Тогда максимальное контактное давление может быть определено по формуле [8]

$$p_{max} = \sqrt{\frac{2}{\pi \delta \nu} \frac{q_0}{l_k}}, \quad (2)$$

где l_k — длина линии контакта проволоки с желобом;

q_0 — максимальная нагрузка на проволоку в центральном контакте;

ν — упругая постоянная контактирующих тел.

При расчете контактных давлений по этой формуле требуется найти величину l_k с учетом упругого прогиба проволоки при контакте с поверхностью желоба. Рассматривая прядь каната двойной свивки в рифлении как спиральный канат в желобе блока, воспользуемся некоторыми выводами работы [1] для спиральных канатов линейного касания.

Для опорного участка проволоки деформации и нагрузки могут быть выражены следующим образом [1]:

$$\left. \begin{aligned} y &= \left(y_0 - \frac{X_0}{\omega^2} \right) \cos \omega S + \frac{X_0}{\omega^2}; \\ y_0 &= \frac{X_0}{2I^2} \frac{1 + 2 \frac{\lambda^2}{\omega^2} (1 - \cos \omega S_0) + 2 \frac{\lambda}{\omega} \sin \omega S_0}{\cos \omega S_0 - \frac{\omega}{\lambda} \sin \omega S_0}; \\ M_0 &= -X_0 H; \quad F_0 = 0; \\ f_{ж} &= k_0 y, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

y — радиальное перемещение оси проволоки;
 S — дуга контакта проволоки с поверхностью рифленной впадины желоба;

X_0 — разность кривизн проволоки и поверхности рифления желоба по линии контакта;

$f_{ж}$ — реакция желоба, или интенсивность внешней распределенной нагрузки, передающейся на проволоку;

F_0 — проекция внутренней силы по направлению нормали к оси проволоки;

M_0 — проекция внутреннего момента на бинормаль;

$\omega^2 = K^2 + \tau^2$ (K, τ — соответственно кривизна и кручение проволоки в пряди);

k_0 — коэффициент упругого основания, характеризующий радиальную податливость пряди (определяется экспериментально);

$H = EJ$ — жесткость проволоки при изгибе;

y_0 — прогиб оси проволоки в центре опорной дуги;

$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_0}{4H}}$ — коэффициент упругого отпора пряди;

S_0 — конечное значение половины дуги контакта проволоки с рифлением для определенной нагрузки.

С другой стороны, сумма проекций сил реакции желоба по дуге контакта равна внешней нагрузке на проволоку. Это условие выражается в виде

$$q_0 = 2 \int_0^{S_0} f_{ж} \cos \omega S dS. \quad (4)$$

На границе контакта реакция желоба принимается равной нулю. Подставив в формулу (4) исходные данные из уравнений (3) и проинтегрировав по дуге S_0 , получим

$$\frac{q_0 \omega^3}{4HX_0 \lambda^3} = \frac{(\omega S_0)^2 + 2\lambda^2 \omega S_0}{\lambda \cos \omega S_0 - \omega \sin \omega S_0}. \quad (5)$$

Численное определение дуги контакта по данному уравнению представляет определенную сложность. Анализ показывает, что для пряди величина ωS_0 не превышает 3° , поэтому функции синуса и косинуса из уравнения (5) можно исключить, приняв

$$\sin \omega S_0 \approx \omega S_0; \quad \cos \omega S_0 \approx 1,0.$$

С учетом принятых упрощений и после преобразований длина контакта проволоки выражается следующим образом:

$$l_k = \frac{r_p}{\lambda \operatorname{tg} \alpha_n} \sqrt{\frac{q_0 \omega}{HX_0 (1 + 2\lambda)} + \lambda^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_n}, \quad (6)$$

где α_n — угол свивки проволоки, вычисленный по наружному диаметру пряди.

Формулы (2) и (6) позволяют определить максимальные контактные давления в проволоках каната на блоках с рифленным желобом.

На блоках с гладким желобом имеет место контакт двух тел двойной кривизны с формой пятна контакта в виде эллипса. Однако при максимальных нагрузках из-за вторичного изгиба проволоки характер контакта приближается к линейному, когда длина пятна контакта в 3—4 раза превышает его ширину.

В этом случае длина контакта l_k зависит не только от контактного сближения взаимодействующих тел, но и от вторичного изгиба проволоки. Контактное смятие и вторичный изгиб всегда взаимозависимы и действуют одновременно, являясь следствием силового взаимодействия каната с желобом блока. Поэтому длина контакта l_k

$$l_k = 2a + l_{11}, \quad (7)$$

где a — величина большой полуоси эллипса контакта, определенная с учетом изменения кривизны проволоки в результате ее вторичного изгиба;

l_{11} — часть длины контакта, которая вызывается вторичным изгибом проволоки и определяется ее прогибом:

Опуская промежуточные преобразования, окончательную формулу для определения длины контакта проволоки каната ЛК с гладким желобом запишем в следующем виде:

$$l_k = 2n_a \sqrt{\frac{3}{2} \frac{v g_0}{\Sigma K}} + 2 \sqrt{\frac{q_0 r}{k^{\frac{2}{3}} H}}, \quad (8)$$

где

n_a — коэффициент, зависящий от величины главных кривизн контактирующих тел, определяется из таблицы [8];

$\Sigma K = K_{11} + K_{12} + K_{21} + K_{22}$ — сумма главных кривизн контактирующих тел (проволоки и поверхности желоба).

В этом случае

$$\left. \begin{aligned} K_{12} &= - \left[\frac{\cos^2(\alpha \pm \beta)}{R} + \frac{\sin^2(\alpha \pm \beta)}{r_{ж}} \right]; \\ K_{21} &= - \frac{1}{r_{ж}}; \quad K_{22} = \frac{1}{R}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Знак плюс принимается для канатов односторонней свивки; минус — для канатов крестовой свивки.

Полученное значение длины контакта l_k из формулы (8) подставляем в формулу (2) и определяем максимальное контактное давление на блоках с гладким желобом.

Максимальное контактное напряжение может быть найдено по теории наибольших касательных напряжений с учетом сил трения [5]:

$$\sigma_k = 0,35p_{max} \quad (10)$$

Результаты сопоставимого расчета контактных напряжений на рифленых и гладких блоках показаны на рис. 1 (канат ГОСТ 2688—69,

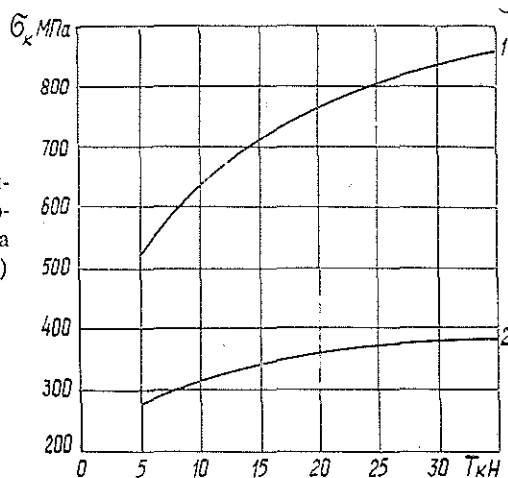


Рис. 1. Максимальные контактные напряжения в проволоках каната при работе на блоках с гладким желобом (1) и с рифленым (2).

$d_k = 15$ мм, $\sigma_b = 1800$ МПа; блоки с чугунным гладким и рифленым желобом: НВ 170, $D_b = 300$ мм; $r_{ж} = 0,53d_k$). Они свидетельствуют о больших контактных напряжениях на гладких блоках и об уменьшении напряжений в 1,9—2,1 раза при работе канатов на рифленых блоках.

Для экспериментальной проверки характера и величины контакта проволок каната с гладким и рифленым желобами блоков с целью подтверждения достоверности

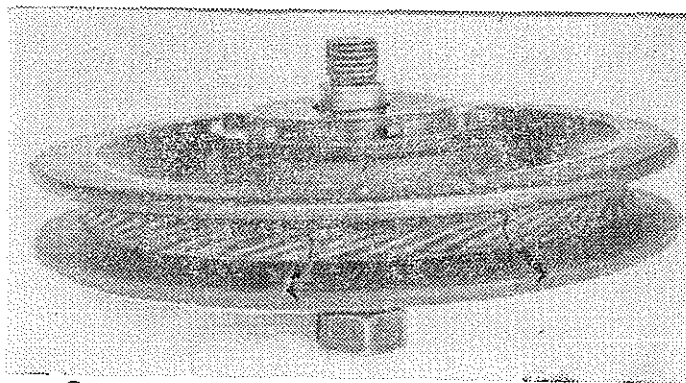


Рис. 2. Рифленый блок.

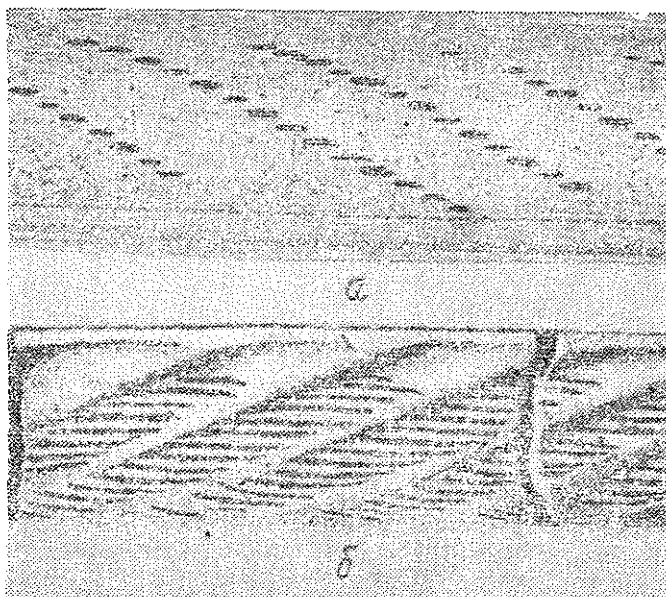


Рис. 3. Отпечатки контакта проволок каната с поверхностью желоба блока.

полученных теоретических выводов, было проведено фотографирование пятен каната с помощью люминесцентного метода [3]. Эксперименты проводили с канатом и блоками, о которых говорилось выше. Рифленый блок (рис. 2) состоял из ролика, в кольцевой выточке которого расположена опорная часть секционного рифленого желоба. Секции установлены с зазорами, между их торцевыми гранями расположены пластинчатые пружины, которые при сборке сжаты. Для сборки секционного желоба на внутренних поверхностях реборд ролика предусмотрены местные вырезы на длину одной секции. После закладки последней секции в местах вырезов устанавливаются вставки, которые прикрепляют к ребордам винтами.

Эксперименты проводили на пробегной машине. Суть эксперимента состояла в следующем. Полированную поверхность желоба блока покрывали тонким слоем люминофором, растворенного в спирте. После высыхания раствора на блок, установленный на тележке пробегной машины, заводили канат и натягивали. При движении тележки и повороте блока происходил контакт проволок каната с участком желоба, покрытым слоем люминофора. При обратном движении тележки исследуемый участок блока освобождался от каната и производилось фотографирование пятен контакта при ультрафиолетовом облучении. Для этого использовали ртутно-кварцевую лампу высокого давления ПРК-4, которая была оборудована системой зажигания, алюминиевым отражателем и фильтром УФС-4. Фотографировали на высокочувствительную пленку через желтый светофильтр ЖС-17 при нагружении каната осевым усилием от 5000 до 35 000 Н с интервалом в 5000 Н. Размеры отпечатков определяли после их увеличения в 4 раза. На рис. 3 показаны фотографии отпечатков проволок на гладком и рифленом блоках.

Этот эксперимент позволил определить характер контакта проволок на блоках с гладким и рифленым желобом, число контактов одной пряди, их длину. Средняя длина одного контакта проволоки каната на гладком блоке составляет $(2-3)\delta$, на рифленом — $(7-10)\delta$, а число контактов проволок одной пряди соответственно 10—15 и 8—13 при нагрузках на канат от 5 до 35 кН.

Сопоставление экспериментальных данных с расчетными показывает, что на гладких блоках различие в длинах контакта равно 5—8%, на рифленых — 8—12%. Большое отклонение значений l на рифленых блоках объясняется принятыми упрощениями при выводе формулы (6).

Полученные данные подтверждают теоретические расчеты по контактными напряжениям при работе канатов на блоках с гладким и рифленным желобами.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ветров А. П. Напряжения вторичного изгиба в спиральных канатах линейного касания на шкивах. — В сб.: Вопросы рудничного транспорта. Вып. 8. М., «Недра», 1965. [2]. Гавриш Н. П. О причинах разрушения металлической футеровки в направляющих шкивах канатного транспорта. — «Научные труды ХГИ», 1955, № 11. [3]. Коваленко Г. Д. Измерения напряжений в зубчатых передачах. М., «Машиностроение», 1969. [4]. Коваленко Н. И. Увеличение стойкости стальных канатов. М., «Металлургия», 1964. [5]. Ковальский Б. С. Контактная задача в инженерной практике. — ИВУЗ, «Машиностроение» 1960, № 6. [6]. Мартынихин В. Д., Цвирко М. А., Доменикан А. В. Блоки с рифленной поверхностью желоба. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып. 6. Минск, «Высшая школа», 1976. [7]. Нестеров П. П., Ветров А. П. Влияние параметров свивки стальных канатов на их долговечность. — ИВУЗ, «Горный журнал», 1964, № 7. [8]. Рудницын М. Н. и др. Справочное пособие по сопротивлению материалов. Минск, «Высшая школа», 1970. [9]. Слепко И. И. Исследование напряженного состояния проволоки несущего каната. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 6.

Поступила 21 ноября 1977 г.

УДК 621.311.1 : 634.0.848.674 : 008.01

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. М. АЛЯБЬЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Предлагаемая методика расчета предусматривает уточненное определение преобладающих в условиях лесопромышленных предприятий реактивных нагрузок и обеспечивает учет специфики эксплуатации электрооборудования, особенностей электрических нагрузок и электроснабжения предприятий.

Современные комплексные лесопромышленные предприятия стали мощными потребителями электрической энергии. Поэтому особое значение приобретает задача правильного расчета электрических нагрузок технологических участков, цехов и заводов, основная при проектировании схем электроснабжения лесопромышленных предприятий.

От точности определения расчетных и ожидаемых электрических нагрузок зависят капитальные затраты, расход проводниковых и кабельных изделий, потери электроэнергии, эксплуатационные расходы и надежность электроснабжения.

Со времени выхода в свет «Временной инструкции по определению электрических нагрузок лесозаготовительных предприятий» [7] прошло более 10 лет. В ней, естественно, не нашли отражения некоторые новые положения теории и расчета, например выделение электроприемников с практически постоянным графиком нагрузок, уточненные способы определения реактивных нагрузок и др. Кроме того, в этой инструкции используется основная формула статистического метода [6], базовым материалом при получении которой служили данные обследования нагрузок предприятий химической, нефтеперерабатывающей, резиново-технической и некоторых других отраслей промышленности, характеризующиеся значительно более ритмичным и стабильным производственным процессом, а также более высокой средней загрузкой электрооборудования, чем лесопромышленные предприятия.

В связи с изложенным стала очевидной настоятельная необходимость разработки, практической проверки и утверждения новой методики расчета, которая позволит полнее учитывать специфику режимов электропотребления лесопромышленных объектов и повысит точность расчета их электрических нагрузок. Этот вывод подтверждается анализом материалов обследования электрических нагрузок более 150 промышленных объектов девяти передовых лесозаготовительных предприятий [1—4]. В частности, сравнение расчетных, полученных по методике [7], и действительных (статистически обработанных) нагрузок показало существенное превышение первых над вторыми. Особенно заметные различия (30—50% и более) наблюдались у объектов с эффективным числом электроприемников $n_э < 16$, преобладающих в условиях лесозаготовительной промышленности.

По экспериментальным материалам обследования электрических нагрузок лесопромышленных предприятий были получены статистические корреляционные зависимости коэффициента спроса K_c от коэффициента использования K_n по активной мощности [2]. Эти корреляционные уравнения положены в основу предлагаемой методики расчета электрических нагрузок.

Определение основных величин и коэффициентов

1. Установленную активную мощность рассматриваемой группы электроприемников находят как сумму их номинальных (паспортных) активных мощностей, приведенных к $PВ = 1$,

$$P_y = \sum_1^n p_{n_i} \quad (1)$$

где n — число электроприемников группы.

2. Если число электроприемников в группе четыре и более, при отношении

$$m = \frac{P_{n_{max}}}{P_{n_{min}}} \leq 3,$$

где $P_{n_{max}}$ и $P_{n_{min}}$ — номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в группе, допускается эффективное число электроприемников $n_э$ считать равным фактическому их числу n .

Примечание. При определении $n_э$ могут быть исключены те наименьшие электроприемники группы, суммарная мощность которых не превышает 5% установленной мощности всей группы.

При $m > 3$ эффективное число электроприемников может быть определено по формуле

$$n_э = \frac{2P_y}{P_{n_{max}}} \quad (2a)$$

Если найденное $n_э$ окажется больше фактического, то следует принять $n_э = n$. При $n < 10$ или наличии резко выдающихся по мощности одного или нескольких крупных электроприемников рекомендуется использовать точную формулу

$$n_э = \frac{P_y^2}{\sum_1^n p_n^2} \quad (2б)$$

3. Среднее взвешенное значение коэффициента использования активной мощности находят по формуле

$$K_H = \frac{\sum_1^n k_H p_H}{\sum_1^n p_H} = \frac{P_{см}}{P_y}, \quad (3)$$

где n — число электроприемников разного режима работы, входящих в данную группу;

k_H — индивидуальное значение коэффициента использования отдельных электроприемников, взятое из отраслевых справочников [5];

$P_{см}$ — средняя активная мощность группы за наиболее загруженную смену.

4. Среднее взвешенное значение коэффициента реактивной мощности за наиболее загруженную смену:

$$\operatorname{tg} \varphi_r = \frac{\sum_1^n k_H p_H \operatorname{tg} \varphi}{\sum_1^n k_H p_H} = \frac{Q_{см}}{P_{см}}, \quad (4)$$

где $Q_{см}$ — средняя реактивная мощность группы за наиболее загруженную смену.

Индивидуальные $\operatorname{tg} \varphi$ выбирают из [5].

5. Средняя кажущаяся мощность группы электроприемников за наиболее загруженную смену

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}. \quad (5)$$

6. Среднее взвешенное значение коэффициента реактивной мощности группы, соответствующее получасовому максимуму активной мощности группы P_M , находят по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi'_r = \frac{\sum_1^n k_c p_H \operatorname{tg} \varphi'}{\sum_1^n k_c p_H}, \quad (6)$$

где k_c — индивидуальное значение коэффициента спроса по активной мощности;

$\operatorname{tg} \varphi'$ — индивидуальный коэффициент реактивной мощности электроприемника, соответствующий максимуму его активной нагрузки.

Значения k_c и $\operatorname{tg} \varphi'$ в зависимости от типа и назначения электроприемника выбирают из [5].

Определение расчетных максимумов нагрузки

7. Расчетные максимумы нагрузки группы, содержащей один или два отдельных электроприемника, принимают равными сумме номинальных мощностей этих электроприемников:

$$P_M = p_{H_1} + p_{H_2}; \quad Q_M = q_{H_1} + q_{H_2}. \quad (7)$$

8. При значительном составе группы выделяют электроприемники длительного режима работы с практически постоянным графиком нагрузки, если их мощность более 25% установленной мощности потребителей группы. Это могут быть электродвигатели вентиляторов, водяных насосов, нерегулируемых дымососов, компрессоров, а также печи сопротивления, сушильные шкафы и нагревательные приборы, характеризующиеся следующими показателями за наиболее загруженную смену: коэффициент использования активной мощности $K_n \geq 0,6$; коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{з.г} \geq 0,9$.

Для электроприемников с практически постоянным графиком нагрузки расчетный максимум активной и реактивной нагрузок приравняют средним активной и реактивной мощностям за наиболее загруженную смену, т. е.

$$P_M = P_{см}; \quad Q_M = Q_{см}. \quad (8)$$

9. При наличии в расчетном узле электроприемников как с практически постоянным, так и с переменным графиками нагрузки расчетные нагрузки этих электроприемников определяют отдельно. Суммарный максимум нагрузки по узлу в целом находят их сложением:

$$\left. \begin{aligned} P_{M\Sigma} &= P_{см} + P_M; \\ Q_{M\Sigma} &= Q_{см} + Q_M, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где P_M и Q_M — расчетные максимумы активной и реактивной нагрузки группы электроприемников с переменным графиком нагрузки.

10. При числе электроприемников с переменным графиком нагрузки в группе более двух получасовой максимум активной нагрузки определяют из выражений:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } K_n \leq 0,25 \quad P_M &= P_y \left[K_n + \frac{(0,7K_n + 0,06) \sqrt{a}}{\sqrt{n_g}} \right]; \\ \text{при } K_n > 0,25 \quad P_M &= P_y \left[K_n + \frac{(0,29 - 0,22K_n) \sqrt{a}}{\sqrt{n_g}} \right], \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где a — коэффициент, зависящий от средней кажущейся мощности группы $S_{см}$ (5), находится из табл. 7—3 [6], а остальные величины и коэффициенты по формулам (1) — (4).

Примечание. Значение P_M должно быть не менее суммы номинальных мощностей двух наиболее мощных электроприемников группы.

Реактивная нагрузка группы, соответствующая получасовому максимуму активной нагрузки,

$$Q_M = P_M \operatorname{tg} \varphi'_r, \quad (11)$$

где $\operatorname{tg} \varphi'_r$ — групповой коэффициент реактивной мощности, соответствующий максимуму активной нагрузки (6).

Получасовой максимум кажущейся мощности и тока группы

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}; \quad I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} V_n}. \quad (12)$$

11. Расчетные максимумы нагрузки для выбора токопроводящих элементов и трансформаторов следует определять с учетом постоянной времени их нагрева, что обеспечит снижение расхода цветного метал-

ла и установленной мощности трансформаторов. При этом должны быть различны и интервалы осреднения максимальных нагрузок $T \geq 30$ мин [6]. Пересчет получасовых максимумов нагрузки на большую длительность легко выполнить по уравнениям (10)—(12). При этом в формуле (10) достаточно принять $a = 1$.

Расчетные нагрузки для выбора силовых трансформаторов, с учетом постоянной времени их нагрева, принимают равными средним мощностям за наиболее загруженную смену, т. е.

$$P_T = P_{см}; \quad Q_T = Q_{см}; \quad S_T = S_{см}.$$

Рекомендуемая методика расчета разработана на базе материалов обследования электрических нагрузок действующих лесопромышленных предприятий с учетом особенностей эксплуатации их электрооборудования. Проверка показала, что ее применение позволит сократить существенные расхождения между расчетными и фактическими нагрузками лесопромышленных объектов, повысит качество проектирования электроснабжения и эффективность капиталовложений в электроэнергетику лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Алябьев В. М. Эксплуатационные статистические характеристики электропотребления и электрические нагрузки крановых установок. — Межвуз. сб. научн. тр.: Машины и орудия для механизации лесозаготовок. Вып. 5. Л., ЛТА, 1975, с. 87—92. [2]. Алябьев В. М. Корреляционные уравнения для определения электрических нагрузок лесопромышленных предприятий. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1977, № 6, с. 76—81. [3]. Алябьев В. М., Пашкина Л. Ф., Распопин А. А. Сравнение действительных и расчетных электрических нагрузок лесопильных цехов и заводов. — Межвуз. сб. научн. тр.: Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Вып. 3. Л., ЛТА, 1974, с. 51—57. [4]. Алябьев В. М., Распопин А. А. Электрические нагрузки оборудования для раскряжевки хлыстов и сортировки круглых лесоматериалов. — Межвуз. сб. научн. тр.: Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса. Вып. 4. Л., ЛТА, 1975, с. 126—130. [5]. Алябьев В. М., Распопин А. А. Методика определения и численные значения коэффициентов, применяемых при проектировании электроснабжения лесозаготовительных предприятий. Технический указатель. Гипролестранс, 1977, февраль, с. 22—32. [6]. Волобрынский С. Д., Каялов Г. М., Клейн П. Н., Мешель Б. С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Л., «Энергия», 1971, 264 с. [7]. Временная инструкция по определению электрических нагрузок лесозаготовительных предприятий. М., ЦНИИМЭ, 1966, 28 с.

Поступила 6 июня 1977 г

ПОПРАВКИ К СТАТЬЕ В. М. АЛЯБЬЕВА, ПОМЕЩЕННОЙ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ» № 6 ЗА 1977 г.

Напечатано:

Следует:

Стр. 76	Пропущена 1-я снизу строка		фактические нагрузки являются базовым материалом при разработке
Стр. 77	2-я строка сверху	экономическому использованию	экономическому использованию
Стр. 78	17-я строка сверху	Вследствие большой	Вследствие большей
Стр. 80	14-я строка сверху	Поэтому при замерах эксплуатационных	Поэтому при эксплуатационных замерах
Стр. 81	7-я, 8-я строки сверху	30 мин (с учетом a) или при постоянном времени нагрева	30 мин ($a \geq 1$) или с учетом постоянной времени нагрева

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.049.2 : 620.19

ИССЛЕДОВАНИЕ
АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРЕССОВАННОЙ
ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОЧЕВИНОЙ

А. Е. ЧААДАЕВ, В. А. ШАМАЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Приведены результаты испытаний на трение и износ прессованной древесины, модифицированной мочевиной. Показано, что обработка древесины мочевиной перед прессованием не ухудшает ее антифрикционных свойств.

Прессованную древесину (ДП) широко используют для изготовления различных деталей трения [6]. В результате обработки древесины различными модификаторами удалось значительно повысить ее физико-механические показатели и в первую очередь ее формостабильность и прочность [1, 3]. Так, обработка древесины растворами мочевины повышает ее прочность и снижает водо- и влагопоглощение [8, 9].

Благодаря высоким прочностным свойствам и сравнительно небольшой формоизменяемости ДП, модифицированную мочевиной, применяют в качестве подшипников скольжения, работающих в условиях повышенной влажности и в воде [2]. Однако антифрикционные свойства такой древесины изучены недостаточно. В связи с этим нами определены закономерности изменения коэффициента трения в зависимости от удельных нагрузок и скоростей скольжения, что позволило установить влияние обработки древесины мочевиной на ее антифрикционные свойства.

Исследования проводили на модернизированной машине трения МИ-1М. Испытывали образцы древесины трех пород — березы, осины и сосны. Образцы брали в форме колодочки с рабочей поверхностью 2 см², их плотность — 1150—1200 кг/м³. Технология получения прессованной древесины, модифицированной мочевиной, описана в работе [9].

В зависимости от принятого режима испытаний (скольжение на торец или поперек волокон) образцы имели различное расположение волокон относительно поверхности трения. Контртело — ролики диаметром 40 мм — изготавливали из стали 45. Шероховатость поверхности роликов соответствовала восьмому классу, твердость 45—50 HRC.

Были приняты следующие нагрузочно-скоростные режимы: 1) при сухом трении скорость скольжения — 0,1 м/с; удельная нагрузка — 0,5 и 1,0 МПа; 2) при смазке маслом «Индустриальное-45» скорость скольжения — 0,05 и 0,10 м/с; удельная нагрузка — 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 МПа; 3) при смазке водой скорость скольжения — 0,05 и 0,1 м/с; удельная нагрузка — 0,5; 1,0; 2,0 МПа.

Продолжительность одного опыта составляла 4—6 ч. опыты ставили с двух-трехкратной повторностью. Коэффициент трения f определяли по моменту трения

$$f = \frac{M_{тр}}{Pr},$$

где $M_{тр}$ — момент трения, Н·м;
 P — нормальная нагрузка, Н;
 r — радиус ролика, м.

Испытания на изнашивание проводили при скорости скольжения 0,2 м/с, удельной нагрузке 4,0 МПа и смазке маслом «Индустриальное-45». Продолжительность од-

ного опыта составляла 50 ч. Опыты ставили с трехкратной повторностью. Износ образцов определяли методом вырезанных лунок [7]. Температура образцов для принятых режимов испытаний не превышала 368 К.

Испытания материалов начинали с приработки образцов при скорости скольжения 0,1 м/с и удельной нагрузке 1,0 МПа. Приработку считали законченной, если значение коэффициента трения оставалось неизменным в течение 2 ч.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости коэффициента трения от удельной нагрузки при скоростях скольжения 0,05 и 0,1 м/с для модифицированной березы, осины и сосны при смазке маслом «Индустриальное-45».

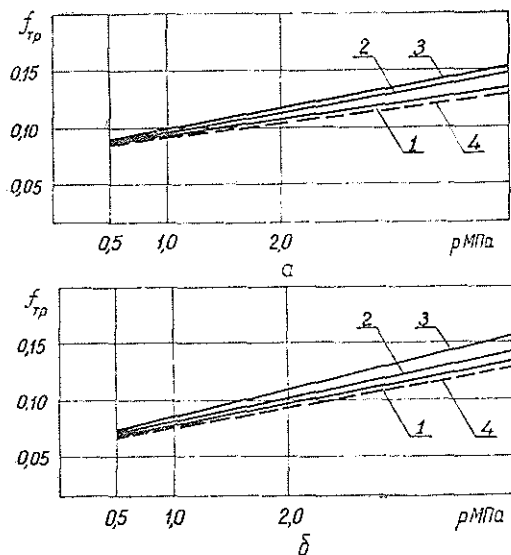


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения модифицированной древесины при трении на торец и скорости скольжения 0,05 м/с (а) и 0,1 м/с (б) от удельной нагрузки.

1 — береза; 2 — осина; 3 — сосна; 4 — ДПО-П₂ (ГОСТ 9629-75).

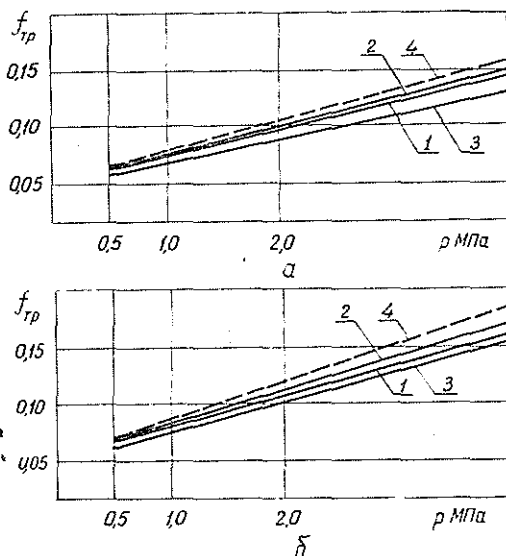


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения модифицированной древесины при трении поперек волокон и скорости скольжения 0,05 м/с (а) и 0,1 м/с (б) от удельной нагрузки.

1 — береза; 2 — осина; 3 — сосна; 4 — ДПО-П₂ (ГОСТ 9629-75).

Анализ показал, что коэффициент трения для модифицированной древесины при исследуемых режимах мало зависит от скорости скольжения и находится в пределах 0,07—0,16 м/с. Обнаруживается тенденция к возрастанию коэффициента трения до 0,13—0,16 при нагрузках

свыше 2 МПа, что можно объяснить частичным разрушением граничной пленки в связи с повышением температуры в зоне контакта до 95—100°C [4, 5].

С целью получения сравнительных данных на рис. 1 и 2 приведены также зависимости коэффициента трения от удельной нагрузки для прессованной древесины березы марки ДПО-П₂. Рассматривая эти зависимости, видим, что коэффициент трения модифицированной мочевиной ДП по величине незначительно отличается от коэффициента трения прессованной древесины марки ДПО-П₂.

В табл. 1 представлены средние значения коэффициента трения для модифицированной ДП сосны при смазке водой. Нагрузка практически не влияет на изменение коэффициента трения.

Таблица 1

Материал	Нагрузка, МПа	Коэффициент трения при скольжении поперек волокон	
		V = 0,05 м/с	V = 0,1 м/с
Сосна, модифицированная мочевиной	0,5	0,22	0,15
	1,0	0,20	0,13
	2,0	0,22	0,14
	4,0	0,25	0,16

В табл. 2. приведены средние значения коэффициента сухого трения модифицированной и прессованной древесины марки ДПО-П₂ (скорость скольжения 0,1 м/с). Анализ показывает, что при трении без смазки коэффициенты трения мало зависят от нагрузки.

Таблица 2

Материал	Нагрузка, МПа	Коэффициент трения при скольжении	
		на торец	поперек волокон
Береза модифицированная	0,5	0,73	0,63
	1,0	0,70	0,66
Осина модифицированная	0,5	0,65	0,58
	1,0	0,68	0,58
Сосна модифицированная	0,5	0,68	0,63
	1,0	0,70	0,63
ДПО-П ₂ березы (ГОСТ 9629—75)	0,5	0,73	0,65
	1,0	0,75	0,67

Таблица 3

Материал	Износ, мкм, за время испытаний, ч							Интенсивность изнашивания, мкм/км, за 50 ч
	7	14	21	28	35	42	50	
Модифицированная ДП	2,2	2,8	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	0,086
ДПО-П ₂ (ГОСТ 9629—75)	1,9	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9	2,9	0,081

В табл. 3 показана динамика износа образцов из ДП березы, модифицированной мочевиной, и ДПО-П₂ березы при трении на торец (скорость скольжения 0,2 м/с; нагрузка 4,0 МПа, смазка — масло «Индустриальное-45»). Из данных этой таблицы видно, что по износо-

стойкости модифицированная ДП практически не уступает прессованной древесине марки ДПО-П₂. Причем наиболее интенсивный износ происходит в первые 14 ч испытаний, а в дальнейшем процесс износа образцов носит затухающий характер.

Следовательно, модификация древесины мочевиной не ухудшает ее антифрикционных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вихров В. Е. Термохимическая модификация древесины синтетическими смолами. — В сб.: Модификация древесины синтетическими полимерами. Минск, 1973, с. 9—16. [2]. Ельков Л. В., Шамаев В. А., Хатунцев Д. И., Бочаров В. И. Подшипники скольжения из модифицированной древесины. Воронеж, 1976, 4 с. (ЦНТИ. Информ. листок. № 291). [3]. Кальниньш А. И. Химическая пластификация древесины. — «Вестник АН СССР», 1972, № 7, с. 44—48. [4]. Крагельский И. В. Трение и износ. М., «Машиностроение», 1968, 479 с. [5]. Купчинов Б. И. Узлы трения с использованием природных и синтетических полимеров. — Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Композиционные полимеры, материалы и их применение». Гомель, 1972, с. 64—67. [6]. Прессованная древесина в народном хозяйстве. М., ГОСИНТИ, 1964, 248 с. [7]. Чаадаев А. Е., Смоляков А. И. Определение износа прессованной древесины. — Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Стандартизация и унификация средств и методов испытаний на трение и износостойкость». М., 1975, с. 19—20. [8]. Шамаев В. А., Ельков Л. В., Самодуров И. С. Некоторые свойства пластифицированной мочевиной прессованной древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 1, с. 92—94. [9]. Шамаев В. А., Ельков Л. В., Попова Н. И. Стабилизация древесины, модифицированной мочевиной. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5, с. 97—101.

Поступила 14 февраля 1977 г.

УДК 634.0.812

О ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КРУПНОГО РАЗМЕРА

Ю. М. ИВАНОВ

ЦНИИ строительных конструкций

Произведен анализ данных Б. Мэдсена о длительных испытаниях ступенчатой нагрузкой образцов крупного размера.

В наших работах [4, 5] приведены данные и сделан вывод о единой закономерности длительной прочности древесины разных пород и влажности для различных видов напряженного состояния, выражаемой известной экспоненциальной зависимостью [1]

$$t = Ae^{-\alpha\sigma}, \quad (1)$$

где σ — напряжение;

t — время до разрушения под действием неизменного напряжения;

A и α — постоянные (при постоянной температуре).

В полулогарифмических координатах эта зависимость выражается уравнением прямой

$$\lg t = \lg A - 2,3\alpha\sigma, \quad (2)$$

отсекающей на осях координат отрезки $\lg A = 17,1$; $\sigma_0 = 103\%$. Прямая, построенная по уравнению (2) (рис. 1, а), проведена нами [4] на основании данных Н. Л. Леонтьева [6] и Л. В. Вуда [12] об испы-

Таблица 1

Порода	Древесина	Вид напряженного состояния	Число образцов	Время среднее			Разрушающее напряжение среднее		
				t_1 мин	t с	$\lg t$	Ф/дм ² /МПа	%	%
				5	6	7			
Тсуга (пихта гемлок)	Воздушно сухая (влажность 6,4—7,8%) чистая, марки № 2	Изгиб	46	1	1,75	0,242	9843/68,90	100	89,7
				1·10 ¹	1,73·10 ¹	1,238	9987/69,90	101,4	91,0
				1·10 ²	1,82·10 ²	2,260	9438/66,06	95,8	86,0
				1·10 ³	1,99·10 ³	3,298	8643/60,50	87,7	78,7
				1·10 ⁴	1,88·10 ⁴	4,274	9189/64,32	93,2	83,6
				1·10 ⁵	2,04·10 ⁵	5,310	8475/59,32	86,0	77,1
				—	0,513	—0,29	—	111,5	100
				1	1,76	0,245	4365/30,56	100	89,0
				1·10 ¹	1,69·10 ¹	1,227	4578/32,05	104,5	93,1
				1·10 ²	1,75·10 ²	2,242	4377/30,64	100,3	89,5
1·10 ³	1,78·10 ³	3,250	4320/30,24	99,0	88,2				
1·10 ⁴	2,01·10 ⁴	4,304	3834/26,84	87,9	78,2				
1·10 ⁵	2,18·10 ⁵	5,340	3546/24,82	80,8	72,0				
—	0,513	—0,29	—	112,3	100				
Лжесуга тиссолист- гласова пихта)	Насмешная влажной (влажность > 30%) с пороками, марки № 2	»	60	1	1,60	0,204	4922/34,45	100	88,2
				1·10 ¹	1,75·10 ¹	1,242	4486/31,40	91	89,5
				1·10 ²	1,89·10 ²	2,276	4159/29,11	84,5	83,0
				1·10 ³	1,96·10 ³	3,270	4252/29,76	86,3	84,6
				1·10 ⁴	2,07·10 ⁴	4,316	3804/26,63	77,2	75,8
				1·10 ⁵	2,13·10 ⁵	5,328	3701/25,91	75,1	73,7
				—	0,513	—0,29	—	102,0	100
				1,225	1,93	0,286	1871/13,10	100	101,0
				11	1,73·10 ¹	1,238	1690/11,83	90,3	89,6
				104	1,63·10 ²	2,212	1604/11,23	85,7	85,0
961	1,51·10 ³	3,180	1441/10,09	77,0	76,5				
9512	1,49·10 ⁴	4,172	1443/10,10	77,6	77,0				
83700	1,32·10 ⁵	5,120	1273/ 8,91	68,0	67,5				
—	0,513	—0,29	—	109,5	100				

Продолжение табл. 1

Порода	Древесина	Вид напряженного состояния	Число образцов	Время среднее			Разрушающее напряжение среднее			
				t _I мин	t с	lg t	Ф/дм ² /МПа	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Лжетсуга тиссолистная (дугласова пихта)	Воздушно сухая (влажность 10—12%) с пороками, марки № 2, конструкционная	Сдвиг	30	1,093	1,72	0,285	822/5,75	100	91,3	
				11,74	1,84.10 ¹	1,264	858/6,01	103,4	95,5	
				101,7	1,60.10 ²	2,204	755/5,28	83,9	83,9	
				30	1061	1,67.10 ³	3,222	764/5,35	93,0	85,0
					8649	1,36.10 ⁴	4,133	687/4,81	83,7	76,5
					83 800	1,30.10 ⁵	5,114	667/4,67	81,2	75,2
	Воздушно сухая чистая	Растяжение поперек волокон	11	—	0,513	—0,29	—	—	109,5	100
				1	1,57	0,196	191,2/1,34	100	—	
				1·10 ¹	1,80.10 ¹	1,255	166,6/1,17	87,2	—	
				13	1·10 ²	1,89.10 ²	2,276	158,1/1,11	82,8	—
					1·10 ³	2,12.10 ³	3,326	141,8/0,99	74,2	—
					1·10 ⁴	2,72.10 ⁴	4,434	110,4/0,77	57,8	—
				15	1·10 ⁵	3,55.10 ⁵	5,550	84,5/0,59	44,2	—
					1	1,57	0,196	141,2/0,99	100	—
					1·10 ¹	1,74.10 ¹	1,240	136,7/0,96	90,2	—
Воздушно сухая с порокми, марки коммерческой	Растяжение поперек волокон	15	1·10 ²	1,88.10 ²	2,274	117,7/0,82	83,3	—		
			1·10 ³	2,38.10 ³	3,326	93,2/0,65	66,0	—		
			1·10 ⁴	3,14.10 ⁴	4,496	70,6/0,49	50,0	—		
			15	1·10 ⁵	2,41.10 ⁵	5,382	92,3/0,65	65,3	—	

Примечание. Цифры в графах 4, 5, 8 — по данным работ [7—10]. В графе 8 в числителе—единицы измерения напряжения по Б. Мэдсену; в знаменателе — наши пересчеты.

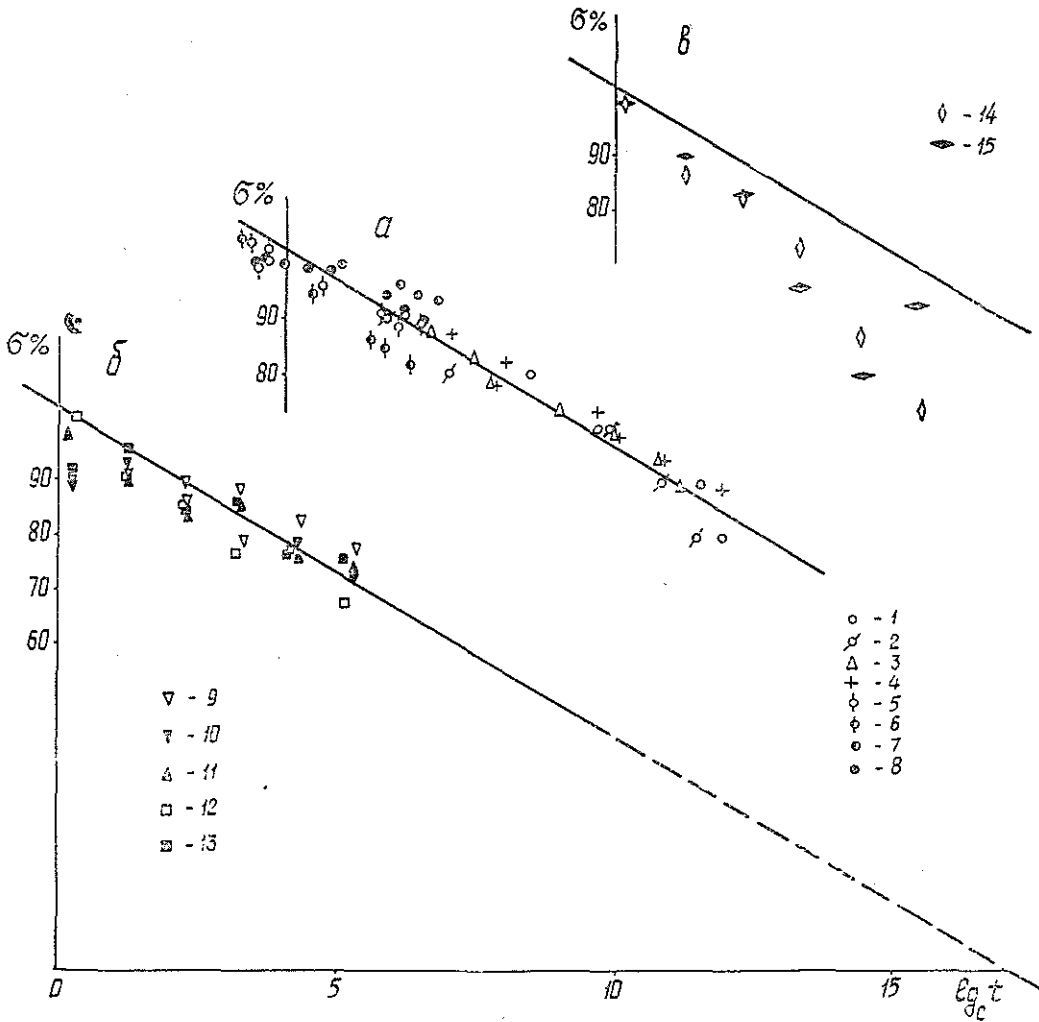


Рис. 1. График длительной прочности образцов.

а — лабораторных [5] при изгибе, скальвании и сжатии вдоль волокон: 1, 3, 4, 7, 8 — опытные точки для изгиба; 2 — скальвания; 5, 6 — сжатия; 1, 2 [6] — для ели; 3, 4 [12] — лжетсуги тиссолистной; 5, 6, 7, 8 [5] — сосны; 1, 2 — влажностью 13,5%; 3 — 12%; 4 — 6%; 5, 7 — 15%; 6, 8 — 30%; 1-4 — при длительных и 5-8 — при машинных испытаниях с разной скоростью нагружения; б — крупных при изгибе и сдвиге; 9 — опытные точки для изгиба древесины тсуги воздушно сухой чистой; 10 — с пороками; 11 — насыщенной влагой с пороками; 12 — опытные точки для сдвига древесины лжетсуги тиссолистной воздушно сухой чистой; 13 — с пороками. Точки построены по данным работ [7-9]; в — крупных при растяжении поперек волокон; 14 — опытные точки для древесины лжетсуги тиссолистной воздушно сухой чистой; 15 — с пороками. Точки построены по данным работы [10].

таниях длительной нагрузкой (с временем до разрушения t около трех лет) образцов древесины следующих размеров: $20 \times 20 \times 300$ мм [6] (для ели), $50 \times 50 \times 762$ мм [12] (для лжетсуги тиссолистной) на изгиб и $20 \times 20 \times 50$ мм [6] (для ели) на скальвание вдоль волокон.

Б. Мэдсеном [7, 8, 11] выполнены в Канаде работы по обширной программе с длительным ступенчатым нагружением крупных образцов балок размером $50 \times 152 \times 3660$ мм из древесины тсуги по качеству марки № 2 воздушно сухой чистой, с пороками и насыщенной влагой

с пороками. Сравним, насколько близко данные Б. Мэдсена можно описать уравнением (2).

1. Б. Мэдсен испытания проводил при возрастающем напряжении, что достигалось ступенчатым приложением нагрузки к образцу (ступень напряжения при изгибе 375 ф/дм^2 или $2,63 \text{ МПа}$) с выдерживанием нагрузки каждой ступени в течение одинаковых промежутков времени для одной и той же серии образцов (в серии — от 14 до 60 образцов). Эти промежутки времени принимались различными в разных сериях, так что общая продолжительность нагружения t'_1 до разрушения образцов в опыте менялась в среднем от 1 до $1 \cdot 10^5$ мин [7, 8]. Для сравнения необходимо: 1) по указанным в работах [7, 8] продолжительностям ступенчатого нагружения t'_1 найти время до разрушения t , приведенное к действию неизменного разрушающего напряжения σ_r . Принимая приближенно, что при нагружении напряжение растет непрерывно, можем определить время до разрушения по формуле [3]

$$t = \frac{1}{\alpha W}.$$

где

$$W = \frac{\sigma_i}{t'_1}; \quad \alpha = \frac{2,31gA}{\sigma_0}$$

или

$$t = \frac{t'_1}{2,31gA} \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma_i}; \quad (3)$$

2) абсолютные значения напряжений, приводимые Б. Мэдсенем, пересчитать в относительные, для чего определить величину напряжения $\sigma_{вр}$, принимаемого за 100%, которое соответствовало бы времени до разрушения $t = 0,513 \text{ с}$ ($\lg t = -0,29$), как это было принято при построении прямой по уравнению (2). Для этого на вспомогательный график в координатах $\sigma_1 - \lg t$ наносили точки для каждого опыта Б. Мэдсена (σ принимали условно в процентах к наибольшему уровню напряжений, табл. 1, графа 9) и проводили (по методу средних) среднюю прямую через точку с координатами $\sigma = 0; \lg t = 17,1$, поскольку при постоянной температуре (для которой делаем сравнение) положенные точки пересечения прямой по уравнению (2) с осью абсцисс (полос) постоянно [2]. По средней прямой находили напряжение для абсциссы $\lg t = -0,29$, которое и принимали в этом опыте за 100%, с соответствующим пересчетом ординат опытных точек (табл. 1, графа 10). В разных опытах средние прямые наклонены к координатным осям под различными углами; приравняв 100 процентам их ординаты при $\lg t = -0,29$, получим совмещение этих прямых с прямой, построенной по уравнению (2), в случае, если опытные данные подчиняются единой закономерности.

Полученные значения σ и $\lg t$ наносили на график (рис. 1, б). Эти точки располагаются достаточно близко к прямой по уравнению (2) для лабораторных образцов (рис. 1, а [5]). Лишь три первые точки в опытах 9 и 10, а также 13 (для сдвига см. ниже) отклоняются вниз от этой прямой несколько больше. Возможно, это результат принятого способа испытания возрастающей нагрузкой, влияния концентрации напряжений. В ту же сторону влияет погрешность, введенная при сделанном в рассматриваемых работах [7, 8] округлении продолжительности нагружения t'_1 . Так, при росте напряжения со скоростью

5000 ф/дм²/мин разрушающее напряжение 9843 ф/дм² достигается через $\frac{9843}{5000} \approx 2$ мин, а не через 1 мин, как указано в работе [7].

С учетом этого замечания можно сделать вывод, что данные Б. Мэдсена по испытаниям балок подтверждают закономерность, выражаемую уравнением (2), в пределах точности построения опытных точек. Таким образом, относительное снижение во времени прочности древесины не подвержено масштабному эффекту, т. е. не зависит от абсолютных размеров образцов. Указанная закономерность действительна для древесины с пороками, размер и расположение которых в поперечном сечении конструктивных элементов ограничены нормами. При этом длительная прочность изгибаемого элемента, как и в опытах с лабораторными образцами, соответствует крайнему напряжению, определяемому по треугольной эпюре.

II. Рассмотрим опыты Б. Мэдсена со сдвигом древесины лжетсуги тиссолистной чистой и с сучками при кручении кольцевых цилиндрических образцов диаметром внешним 50 мм и внутренним 36 мм, длиной 330 мм [9]. Эти опыты производили, как и в предыдущем случае, при том же временном режиме нагружения, с непосредственной отметкой продолжительности нагружения t'_1 образцов до разрушения. Опытные точки, координаты которых определяли аналогично вышеизложенному (табл. 1), были нанесены на этот же график (рис. 1, б); они оказались так же близко расположенными к прямой, построенной по уравнению (2). Значит поведение древесины разных пород при различных видах напряженного состояния здесь, как и в опытах с лабораторными образцами [5], подчиняется одной и той же закономерности.

III. Рассмотрим данные Б. Мэдсена для растяжения поперек волокон образцов воздушно сухой древесины чистой и с пороками, поперечными размерами 135×135 мм, длиной $25,4 \times 24 = 635$ мм [10]. Результаты показали (рис. 1, в; здесь за 100% условно взят наибольший уровень напряжений, табл. 1) прогрессирующее со временем отклонение опытных точек от прямой (2) в сторону сокращения времени до разрушения. Это свидетельствует о коренном отличии работы под нагрузкой древесины в образце на растяжение поперек волокон от ее работы в основных элементах конструкций, что можно пояснить следующим. Годичные кольца в сечениях досок, из которых склеен образец, расположены различно: если в какой-то доске напряжение действует, например, по направлению, близкому к радиальному, то здесь действительная величина его в тонких стенках ранних трахенд превышает среднее напряжение, отнесенное к площади поперечного сечения образца. Повышенному уровню напряжений отвечает уменьшенное время до разрушения t_p ранней древесины, вызывающее сокращение времени до разрушения t всего образца, и т. п. Случай испытания образцов на растяжение поперек волокон должен быть исключен из рассмотрения длительной прочности конструкционной древесины, поскольку ему свойственно незакономерное снижение прочности во времени.

В итоге можно сделать вывод, что установленная ранее единая закономерность длительной прочности конструкционной древесины [4, 5] имеет место независимо от абсолютного размера образцов, а также при нормированных пороках строения для разных пород и влажности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Журков С. Н. Проблема прочности твердых тел. — «Вестник АН СССР», 1957, № 11. [2]. Журков С. Н., Абасов С. А. Роль химических и межмолекулярных связей при разрыве полимеров. — «Высокомолекулярные соединения», 1961, т. 3,

№ 3. [3]. Журков С. Н., Томашевский Э. Е. Временная зависимость прочности при различных режимах нагружения. В сб.: Некоторые проблемы прочности твердых тел. М.—Л., 1959, АН СССР. [4]. Иванов Ю. М. Длительная прочность древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 4. [5]. Иванов Ю. М. Влияние влажности на длительную прочность древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал» 1975, № 5. [6]. Леонтьев Н. Л. Длительное сопротивление древесины. М.—Л., Гослесбуиздат, 1957. [7]. Madsen B. Duration of Load Tests for Dry Lumber in Bending. — «Forest Products Journal», 1973, v. 23, No. 2. [8]. Madsen B. Duration of Load Tests for Wet Lumber in Bending. — «Forest Products Journal», 1975, v. 25, No. 5. [9]. Madsen B. Duration of Load Tests for Dry Lumber Subjected to Shear. — «Forest Products Journal», 1975, v. 25, No. 10. [10]. Madsen B. Duration of Load Tests for Wood in Tension Perpendicular to Grain. — «Forest Products Journal», 1975, v. 25, No. 8. [11]. Warren W. G. Duration of Load Tests for Dry Lumber in Bending. Comment. — «Forest Products Journal», 1973, v. 23, No. 12. [12]. Wood L. W. Relation of Strength of Wood to Duration of Load. — US Forest Products Laboratory. Dec. 1951, No. 1916.

Поступила 12 сентября 1977 г.

УДК 634.0.865

ДИАГРАММА РАВНОВЕСНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПЛАСТИКОВ

З. И. ПОДОЙНИКОВА, И. А. КУЛИНИЧЕВА

Уральский лесотехнический институт

Освещены методические вопросы определения равновесной влажности пластиков при температурах 25—100°C, относительных влажностях 5—80%. Приведена диаграмма равновесной влажности лигноуглеводных древесных пластиков, построенная по экспериментальным данным.

В Уральском лесотехническом институте разработана и внедрена технология получения лигноуглеводных древесных пластиков из древесных частиц без добавления связующих веществ, основанная на использовании реакционной способности клеточных стенок древесины — лигнина и углеводов [3]. При прессовании древесные частицы подвергаются кратковременному воздействию повышенных температур (порядка 150—180°C), что приводит к уменьшению гигроскопичности древесины. Равновесная влажность пластиков вследствие химических изменений в строении клеточных стенок отличается от равновесной влажности древесины. Особенность технологического процесса изготовления пластиков — необходимость их кондиционирования после прессования. Диапазон температур кондиционирования в зависимости от вида используемого сырья при изготовлении пластиков — 40—90°C [2, 5].

На качество пластиков влияет химический состав исходной древесины, поэтому при определении равновесной влажности мы исследовали пластики из сосновых, лиственничных частиц, их смеси и основной дробленки.

Так как для правильного ведения режима кондиционирования, при котором происходит высушивание пластиков, необходимо знать зависимость их влажности от температурно-влажностных условий, то возникла потребность в диаграмме равновесной влажности. При разработке методики определения равновесной влажности пластиков было учтено, что плиты кондиционировали сразу после прессования и, следовательно, в материале происходил процесс десорбции. Поэтому в основной части опытов определяли устойчивую влажность десорбции. Учитывая, что пластики в процессе эксплуатации находятся в различных температурно-влажностных условиях, мы провели опыты и по определению сорбции пластиков.

Образцы пластика запрессовывали при оптимальных режимах в зависимости от породы древесных частиц; для каждого вида пластика должны соблюдаться определенные требования по фракционному составу сырья, его влажности, температуре и продолжительности горячего прессования. Исследовали диапазон температур 40—100°C, диапазон относительных влажностей воздуха 20—80%.

Нами были проведены четыре серии опытов: 1) определение устойчивой влажности десорбции пластика из смеси древесных частиц сосны и лиственницы при температурах 40—100°C; 2) определение устойчивой влажности десорбции пластика из смеси древесных частиц сосны, лиственницы и осины при температурах 40—100°C; 3) определение устойчивой влажности сорбции и десорбции всех видов пластика при температуре 25°C; 4) определение устойчивой влажности сорбции пластика при повышенных температурах.

Величину изменения влажности материала и степень близости состояния между влажностью образцов и влагосодержанием воздуха устанавливали в результате периодических взвешиваний. Устойчивую влажность сорбции и десорбции при комнатной температуре определяли в эксикаторах с растворами серной кислоты, обеспечивающими относительную влажность воздуха 5, 20, 40, 60, 80%. Относительная влажность воздуха 92% была создана над насыщенным раствором бикарбоната натрия. Эксикаторы с образцами выдерживали при постоянной (комнатной) температуре. Образцы периодически взвешивали на аналитических весах с точностью 0,0001 г через 1, 2, 3, 5, 10 сут и далее через каждые 10 сут до установления постоянной массы.

При повышенных температурах образцы выдерживали в специальных камерах с принудительной циркуляцией до установления постоянной массы. Заданный режим выдержки поддерживался автоматически, скорость циркуляции воздуха составляла 1,5—2,0 м/с, что способствовало уменьшению продолжительности достижения образцами устойчивой влажности десорбции. Заданная относительная влажность воздуха создавалась за счет подачи пара извне с помощью специального кипятильника или подсоса свежего воздуха при низкой относительной влажности воздуха. С целью определения гистерезиса сорбции при температуре 80°C параллельно с образцами на десорбцию устанавливали абсолютно сухие образцы на сорбцию.

В камеру на специальные решетчатые стеллажи одновременно устанавливали по 15—20 образцов каждого вида пластика. Поскольку из плиты получалось по 5—8 групп образцов, остальные образцы до опыта хранили в герметичной упаковке для предотвращения их высухания. Изменение массы образцов контролировали периодическим взвешиванием их на аналитических весах (точность 0,0001 г) через каждые 12 ч. Массу считали постоянной, если в течение 24 ч. она изменялась не более, чем на 0,001 г. На момент взвешивания образцы помещали в заранее подготовленные бюксы, а весы устанавливали рядом с камерой, так что вся операция занимала не более 3 мин.

По окончании каждого опыта определяли устойчивую влажность сорбции (десорбции) для отражения динамики процесса и строили изотермы для каждого вида пластика. Чтобы контролировать равномерность распределения влаги по толщине плиты, определяли послойную влажность образцов. На приспособлении типа гильотины образец разделяли на пять слоев, влажность которых определяли весовым способом. Установлено, что перепад влажности между слоями составляет 0,1—0,2%, что не превышает точность определения влажности весовым способом.

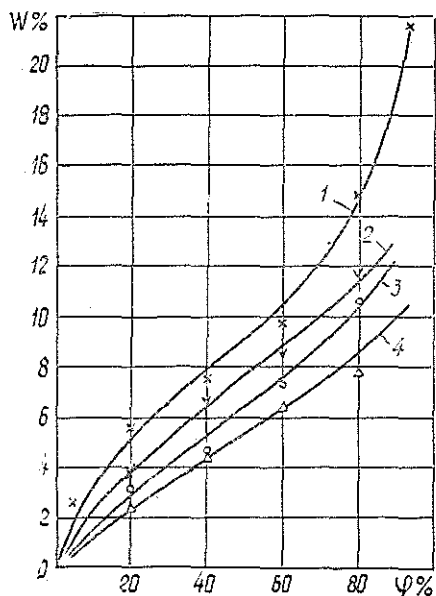


Рис. 1. Диаграмма равновесной влажности пластика.

1 — при $t_{\text{сух}} = 25^\circ\text{C}$; 2 — 40; 3 — 60; 4 — 80°C.

На экспериментальном материале получены значения устойчивой влажности сорбции и десорбции пластиков из древесных частиц хвойных и лиственных пород. При комнатной температуре изотермы имеют S-образную форму. При указанной температуре для всех исследованных типов плит обнаружен гистерезис сорбции, максимальное значение его 3,4% для пластиков из частиц лиственницы при относительной влажности воздуха 60%. Результаты этих исследований опубликованы ранее [6]. При повышенных температурах не наблюдается гистерезиса сорбции, аналогичное явление было отмечено Малмквистом, Вейхертом, Келси для древесины [1].

Сравнивая полученные и ранее опубликованные данные [4, 6], можем заключить, что строгой зависимости между влажностью пластиков и их видом нет, поэтому для каждого сочетания температуры и относительной влажности воздуха полученные данные по всем видам пластиков усреднены. На рис. 1 приведена диаграмма равновесной влажности пластиков. Каждое значение влажности — среднее арифметическое из 60—75 наблюдений, точность опытов не превышает 3%, среднее квадратическое отклонение влажности составляет 0,3—0,6%.

Диаграмма может быть использована для определения равновесной влажности пластиков при различных температурно-влажностных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Клеточная стенка древесины и ее изменение при химическом воздействии. Рига, «Зинатне», 1972. [2]. Петри В. Н., Подойникова З. И., Кулиничева И. А. Совершенствование технологии кондиционирования пластиков. — В сб.: Совершенствование технологии гидротермической обработки древесины, Л., 1974, [3]. Плитные материалы и изделия из древесины. Под ред. В. Н. Петри. М., «Лесная промышленность», 1976. [4]. Подойникова З. И. Равновесная влажность ЛУДП при повышенных температурах. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 6. [5]. Подойникова З. И. Режимы кондиционирования ЛУДП. — В сб.: Древесные плиты и пластики. Свердловск, 1975. [6]. Подойникова З. И., Кулиничева И. А., Волкова В. Д. Равновесная влажность плит из древесных частиц сосны и осины. — В сб.: Сушка древесины. Архангельск, 1975.

Поступила 16 сентября 1977 г.

УДК 624.04:539.385:691.11

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ СДВИГА ДРЕВЕСИНЫ ИЗ ОПЫТОВ НА КРУЧЕНИЕ

Б. В. ЛАБУДИН

Ленинградский инженерно-строительный институт

Приведены некоторые результаты, полученные в процессе разработки методики, и значения модулей сдвига G_{1a} и G_{ra} из кручения чистых образцов древесины сосны, ориентированных в осях упругой симметрии, как ортотропного материала.

При расчете элементов деревянных строительных конструкций, работающих в сложном напряженном состоянии, включая кручение, необходимо использовать модули сдвига [9]. В нормативных документах [12] эти характеристики для древесины не приведены; литературные данные по этому вопросу весьма ограничены, а в некоторых случаях противоречивы. Последнее, видимо, можно объяснить как раз-

личием методов испытания, так и неоднородностью материала, требующего применения большого числа образцов в эксперименте.

Существующий метод определения модулей сдвига древесины [3] в радиальной, тангенциальной и поперечной плоскостях при сжатии под углом в 45° к направлению волокон и годичных слоев — не только косвенный, но и трудоемкий. Немаловажную роль при этих испытаниях играет строгое центрирование передаваемого на образец усилия. Но, как известно, даже при центральной сжатии (растяжении) вдоль волокон этого достичь сложно, так как неоднородность слоистого материала по площадке прикладываемого усилия, другими словами естественный эксцентриситет [6], приводит к искажению напряженного состояния в образце. По-видимому, в образцах, ориентированных под углом 45° [3], этот фактор сказывается еще больше.

В связи с этим сделана попытка разработать более простой, с нашей точки зрения, метод определения модулей сдвига древесины. При этом принимали, что для чистой древесины справедлива модель ортотропного материала [1].

Анализ литературных источников показал, что наряду со сжатием [3] модули сдвига анизотропных материалов, в том числе и древесины, можно определять из опытов на растяжение, сдвиг (перекосивание), изгиб балок и пластинок, кручение [4, 7, 8].

На основании сопоставления существующих методов был принят способ определения модулей сдвига из опытов на кручение, в наибольшей степени отвечающий как практической реализации поставленной цели, так и работе материала в элементах строительных конструкций.

При разработке этого метода были поставлены и рассмотрены следующие вопросы: 1) выбор формы и размеров образца; 2) ориентация образцов в осях упругой симметрии и обозначение модулей сдвига; 3) способ нагружения и конструкция захватов; 4) тип измерительного прибора и регистрация показаний; 5) режим нагружения; 6) влияние и оценка скорости нагружения; 7) вычисление модулей сдвига; 8) подготовка и проведение испытаний.

1. Обычно при испытании на кручение используют образцы круглого (сплошные и трубчатые) и прямоугольного (с произвольным соотношением сторон, средней толщины, тонкие) сечений. Нами были взяты тонкие образцы прямоугольного сечения с отношением высоты сечения к ширине, равным 10, позволяющие благодаря своей гибкости уменьшить возможность обмятия древесины в захватах, а при подсчете (в первом приближении) — пренебречь влиянием модуля по короткой стороне [15]. После установочных испытаний был принят образец размером $5 \times 50 \times 220$ мм с рабочей длиной $L = 200$ мм.

2. С целью упрощения заготовки два образца ориентировали продольной осью вдоль волокон, а по высоте — поперек волокон в радиальной и тангенциальной плоскостях соответственно; третий образец может быть выпилен в поперечном срезе кряжа. Ориентация образцов в осях упругой симметрии и напряженное состояние чистого сдвига при определении модулей $G_{ta}(a)$, $G_{ra}(b)$, $G_{rt}(b)$ показаны на рис. 1 (индекс ta — тангенциальное направление вдоль волокон; ra — радиальное вдоль волокон; rt — радиально-тангенциальное направление).

3. Для нагружения можно использовать любую испытательную машину на кручение. Мы применяли маятниковую машину Амслера с ручным приводом, обеспечивающую крутящий момент $M_{кр} = 15$ Н·м (150 кгс·см) с точностью 0,01 Н·м (0,1 кгс·см).

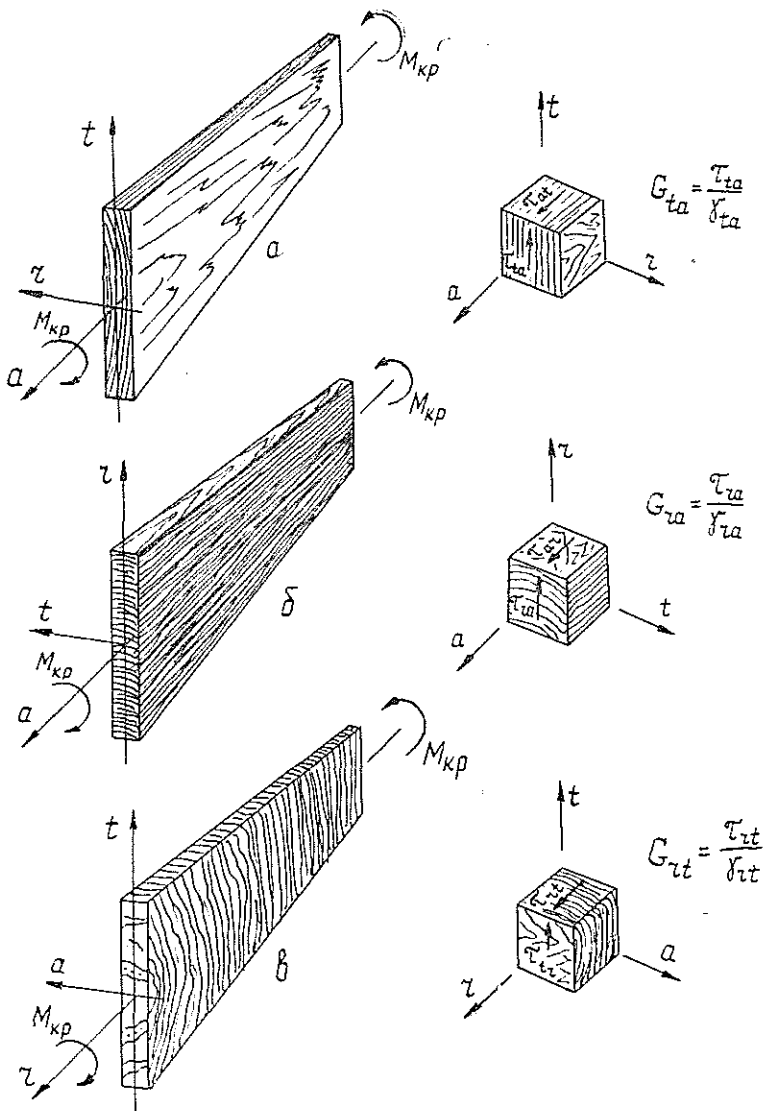


Рис. 1.

Приложение момента производили нагрузкой, распределенной по торцам широких граней образца. Для этого были разработаны и изготовлены специальные захваты (рис. 2), позволяющие испытывать плоские образцы толщиной до 15 мм. Предложенная конструкция захватов обеспечивает равномерность защемления, удобство и точность установки образцов.

4. Углы закручивания в подобных испытаниях чаще всего определяют приборами Мартенса, индикаторами и прогибомерами. В наших испытаниях углы закручивания (деформации) измеряли прогибомерами по разности углов (дуг) поворота дисков, жестко посаженных на захваты (рис. 2). При разности отсчетов $\Delta_1 - \Delta_2 = \Delta$, длине

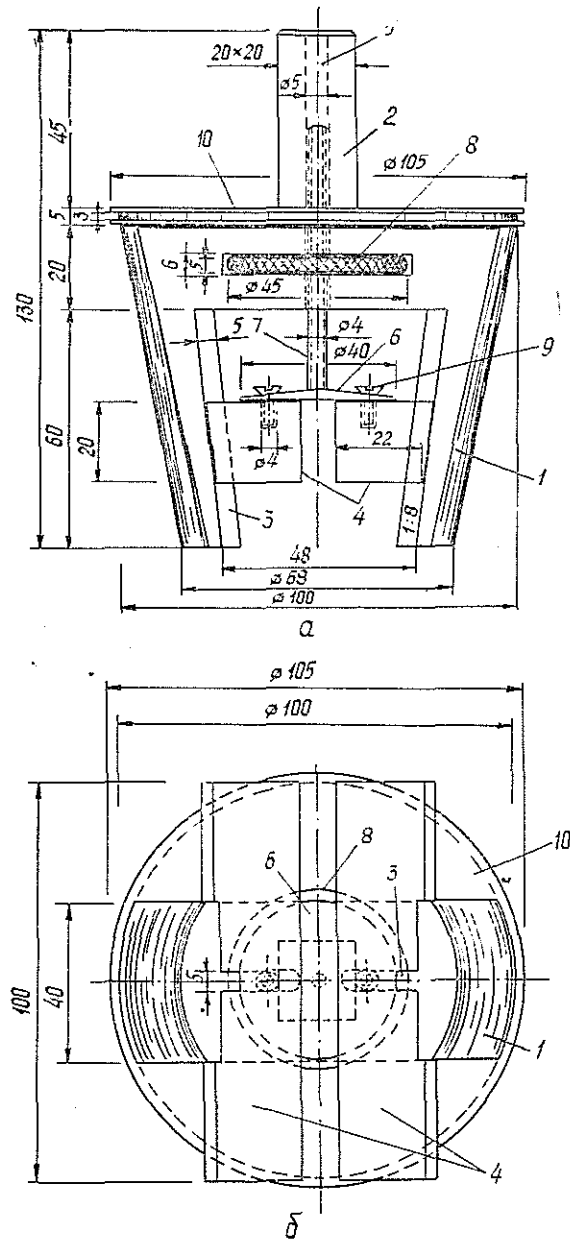


Рис. 2. Конусный захват.

а — вид сверху; б — вид спереди; 1 — щечки; 2 — хвостовик;
 3 — шлицы; 4 — кулачки; 5 — канал толкателя; 6 — траверса
 толкателя; 7 — толкатель; 8 — гайка толкателя; 9 — винты;
 10 — диск для измерения деформаций.

рабочей части образца $L = 20$ см и радиусе дисков $R = 5$ см величина относительного угла закручивания

$$\theta = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{RL} = \frac{\Delta}{100}.$$

Так как деформации измеряли на рабочей длине образцов (между кулачками), то, естественно, возник вопрос оценки краевого эффекта. Было испытано шесть образцов при ступенчато-возрастающей нагрузке с шагом $0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($5 \text{ кгс}\cdot\text{см}$) в интервале $0-2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($0-25 \text{ кгс}\cdot\text{см}$). Деформации измеряли на рабочей длине $L=20 \text{ см}$ и на базе $l=10 \text{ см}$ одновременно. По результатам испытаний расхождение составило $\pm 3,3\%$, что позволяет регистрировать углы поворота на рабочей длине (20 см), пренебрегая влиянием стесненности деформации сечения образца в захватах при малых деформациях.

5. Для выбора режима нагружения предварительно было испытано несколько образцов при ступенчато-возрастающей (*a*) и повторно-циклической (*b*) нагрузках. Замечено, что в первом случае значения деформаций на каждой ступени нестабильны: разброс результатов измерений достигает 30% и более, а с увеличением угла закручивания (большие деформации) величина относительной деформации уменьшается, что, по-видимому, свидетельствует о влиянии продольных нормальных напряжений [2, 13]. Во втором случае после 2—3 нагружений величина деформации изменяется в незначительных пределах. Подтверждением служат результаты испытаний образцов при 16-кратной повторно-циклической нагрузке; результаты показали, что после 2-3 нагружений деформации стабилизируются в пределах 5% -ного уровня от среднего; при этом величина первого отсчета всегда меньше последующих.

Очевидно, для нагружения может быть рекомендован 6-кратный цикл приложения нагрузки.

Пределы нагружения можно установить в каждом конкретном случае, исходя из геометрических размеров образцов и типа испытательной машины путем предварительных испытаний в области упругой работы материала. С достаточным для древесины запасом максимальный момент при кратковременных испытаниях не должен превышать половины разрушающего [5].

Для испытания наших образцов был принят минимальный диапазон нагружения $M_{кр} = 0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($2 \text{ кгс}\cdot\text{см}$) на уровне $(0,1 \div 0,3) + 0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ или $(1 \div 3) + 2 \text{ кгс}\cdot\text{см}$, что значительно меньше $0,2 M_{кр}^{разр}$, равного приблизительно $3 \div 4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ или $30 \div 40 \text{ кгс}\cdot\text{см}$.

6. Образцы чистой древесины сосны влажностью $(9 \pm 1)\%$ и размерами $5 \times 50 \times 220 \text{ мм}$, с целью оценки влияния скорости приложения нагрузки на величину углов закручивания (модулей сдвига), были испытаны в диапазоне $M_{кр} = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($4 \text{ кгс}\cdot\text{см}$) при двукратном нагружении на каждом из уровней скорости с определением сред-

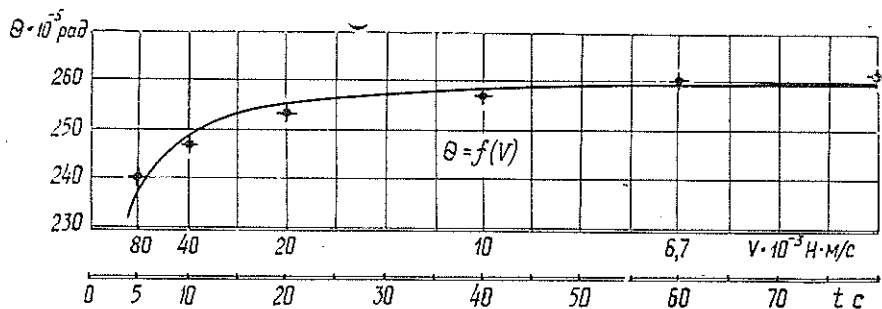


Рис. 3.

него угла закручивания (для образцов на рис. 1, а, б). Продолжительность нагружения изменяли от 5 до 80 с (всего 6 уровней). На рис. 3 по опытным точкам построена кривая, показывающая зависимость угла закручивания Θ от скорости нагружения V или длительности нагружения t при кручении образцов чистой древесины сосны ($5 \times 50 \times 220$ мм).

Для данного испытания с точностью до 1% зависимость $\Theta = f(V)$ хорошо аппроксимируется степенной функцией

$$Y = 2,94X^{-0,03}, \quad (1)$$

где Y — относительная деформация;

X — скорость нагружения.

Из анализа графика $\Theta = f(V)$ следует, что для принятых образцов наиболее целесообразен диапазон скоростей нагружения $(0,5 \div 2,0) \cdot 10^{-2}$ Н·м/с или $(5 \div 20)^{-2} \cdot 10$ кгс·см/с, что соответствует длительности приложения нагрузки 20—80 с в диапазоне $M_{кр} = 0,4$ Н·м. Отсюда в диапазоне нагружения $M_{кр} = 0,2$ Н·м (2 кгс·см) можно рекомендовать длительность нагружения $t = (20 \pm 5)$ с или среднюю скорость $V = (1 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$ Н·м/с или $(10 \pm 5) \cdot 10^{-2}$ кгс·см/с.

7. В первом приближении, пренебрегая влиянием модуля сдвига по короткой стороне, модули сдвига G можно определить из формулы Сен-Венана [11] для кручения призм

$$G = \frac{M_{кр}}{\Theta I_p}, \quad (2)$$

где Θ — относительный угол закручивания ($\Theta = \frac{\Delta}{LR}$);
 I_p — полярный момент инерции сечения образца ($I_p = ahb^3$);
 h, b — высота и ширина образца соответственно;
 α — коэффициент, зависящий от h/b ; при $h/b = 10$ $\alpha \approx \frac{1}{3}$.

В соответствии с обозначением ориентированных в осях упругой симметрии образцов (рис. 1) формулу (2) можно записать

$$G_{ta} = \frac{3M_a}{\Theta_a h b^3}; \quad G_{ra} = \frac{3M_a}{\Theta_a h b^3}; \quad G_{rt} = \frac{3M_r}{\Theta_r h b^3}, \quad (3)$$

где индексы у M и Θ показывают, вокруг какой оси производится кручение образца.

Вычисленные по формулам (3) результаты или их средние могут быть уточнены по методу последовательных приближений [10].

8. Перед проведением испытаний образцы необходимо разметить, измерить высоту и ширину по концам и в середине с вычисленным средних с точностью 0,05 мм. В захваты образец устанавливают с ориентацией продольной оси его с осью вращения захватов путем совмещения рисок на кулачках с осью на образце.

Порядок испытаний следующий. Образец первоначально нагружают до нижнего предела и снимают отсчеты по прогибомерам. Затем с постоянной скоростью образец нагружают до верхнего предела и снова снимают отсчеты. После этого образец равномерно разгружают до величины, несколько меньшей нижнего предела, и снова нагружают до нижней отметки. Каждый образец подвергают шести циклам приложения нагрузки в пределах и со скоростью, указанными в

Таблица 1

Модуль сдвига	Количество образцов n	Среднее арифметическое M , ГПа	Среднее квадратическое отклонение σ , ГПа	Вариационный коэффициент V , %	Средняя ошибка среднего арифметического m , ГПа	Показатель точности P , %	Модуль сдвига G , ГПа ($W=12\%$)		
							из кручения (с уточнением по методу последовательных прибо- жений)	из динамических испытаний (РТМ)	из статических испытаний (РТМ)
G_{ta}	11	0,656	0,091	14	0,027	4,2	0,66	0,74	0,76
G_{ra}	11	0,647	0,069	11	0,021	3,2	0,65	0,69	1,23

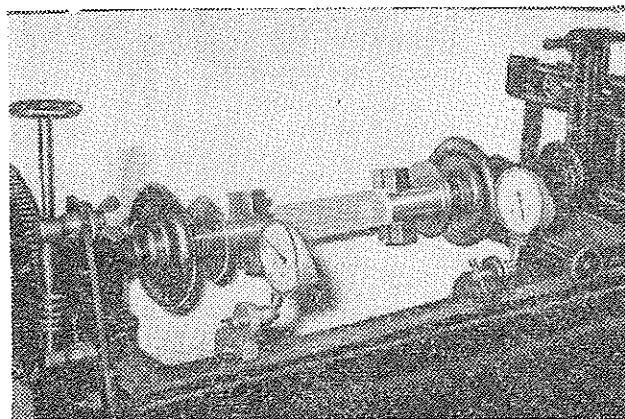


Рис. 4. Образец в захватах, оснащенных прогибомерами, в испытательной машине.

пунктах 5 и 6. Отсчеты снимают с точностью 0,01 мм. Среднее вычисляют по трем последним отсчетам.

В расчетах элементов строительных конструкций модуль G_{rt} практически не нужен. Модули G_{ta} и G_{ra} экспериментально определяли на двух других типах образцов, вырезанных из брусков ядровой древесины сосны.

Испытания проводили в механической лаборатории ЛИСИ на маятниковой машине Амслера с использованием разработанных автором захватов (рис. 4) по описанной методике. Результаты испытания 22 образцов (влажность 8—10%) и статистической обработки (табл. 1) в сопоставлении с РТМ. (Руководящие технические материалы. «Древесина. Показатели физико-механических свойств») показывают удовлетворительное согласие, однако они несколько меньше результатов В. В. Тулузакова [14]. Более объективные выводы можно сделать после испытания парных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ашкенazi Е. К. Анизотропия механических свойств древесины и фанеры. М.—Л., 1958. [2]. Белянкин Ф. П. Прочность и деформативность деревянных стержней при кручении. Киев, 1949. [3]. ГОСТ 16483.30—73. Древесина. Метод определения модулей сдвига. М., 1974. [4]. Жигун И. Г., Якушин В. А., Таневский В. В., Михайлов В. В. Анализ некоторых методов определения модулей сдвига. — «Механика полимеров», 1976, № 1. [5]. Иванов Ю. М. Предел пластического течения древесины. М., 1948. [6]. Иванов В. Ф. Проблемы долговечности деревянных конструкций. М.—Л., 1950. [7]. Леонтьев Н. Л. Показатели упругих деформаций основных древесных пород СССР и методы их определения. Дис. на

соиск. учен. степени докт. техн. наук. Химки, 1950. [8]. Митинский А. Н. Модули кручения и модули сдвига древесины как анизотропного материала. — «Груды ЛТА», 1949, № 65. [9]. Светозарова Е. И., Душечкин С. А., Серов Е. Н. Конструкции из клееной древесины и водостойкой фанеры. Примеры проектирования. Л., 1974. [10]. Семенов П. И. Определение модулей сдвига ортотропных материалов из опытов на кручение. — «Механика полимеров», 1966, № 1. [11]. Сен-Венан Б. Мемуар о кручении призм. Мемуар об изгибе призм. М., 1961. [12]. СНиП II-B.4-71. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. М., 1972. [13]. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М., 1975. [14]. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М., 1975. [15]. Шленский В. Ф. Определение механических характеристик слоистых пластиков при кручении. — «Прикладная механика», 1967, т. III, вып. 4.

Поступила 2 ноября 1977 г.

УДК 634.0.812

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВСИНЫ ВЕТВЕЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД СИБИРИ

В. А. БАРХАТОВ, А. В. ВАРДУГИН, В. И. ДИТРИХ

Сибирский технологический институт

Дана методика определения физико-механических свойств древесины ветвей. Приведены уравнения зависимости между плотностью и механическими свойствами при сжатии древесины сучьев сосны, ели, кедра и лиственницы с естественной влажностью.

Знать механические характеристики древесины ветвей с естественной влажностью необходимо для проектирования более совершенных сучкорезных и окорочных машин и деревообрабатывающих станков.

Нахождение большинства показателей механических свойств древесины ветвей связано с большими трудностями, чем определение плотности [3], поэтому возникает необходимость экспресс-методов вычисления этих показателей по величине плотности без проведения трудоемких и дорогостоящих опытов.

Нами были экспериментально определены пределы прочности σ_a , σ_r , σ_t , σ_{rt}^{45} , модули упругости E_a , F_r , E_t , E_{rt}^{45} , влажность W и плотности ρ_0 и ρ_w образцов древесины сучьев сосны, ели, кедра и листвен-

Физические величины	Коэффициенты парной корреляции					
	ρ_0	ρ_w	W	y	d	σ_a
ρ_0 г/см ³	1					
ρ_w г/см ³	0,629	1				
W %	-0,424	0,402	1			
y %	0,055	-0,255	-0,227	1		
d мм	0,017	-0,180	-0,237	0,112	1	
σ_a	0,759	0,586	-0,219	-0,061	0,0024	1
кгс/см ²						

венницы, выпиленных из околостволовой наружной зоны ветвей на расстоянии до 35 мм от ствола.

Образцы были изготовлены на лесосеках Ново-Козульского леспромхоза в начале сентября 1974 г. Для их изготовления использовали 83 сучка сосны, 125 — ели, 65 — лиственницы, 88 — кедра диаметром (в коре) соответственно для каждой породы 3,5—14 см; 3,3—7,5; 4,1—16; 3,8—7,7 см.

Образцы размером поперек волокон 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм с предельными отклонениями 0,5 мм были получены трех видов: радиальные со средним углом наклона годовичных колец к направлению воздействия сжимающей силы, равным 90° ; тангенциальные с углом 0° ; радиально-тангенциальные с углом 45° . Из ветвей кедра и ели вследствие малости диаметров их заготовок были изготовлены образцы только одного вида — радиальные. Для сохранения естественной влажности образцы хранили в полиэтиленовых пакетах. Плотность образцов древесины ветвей с естественной влажностью ρ_w определяли стереометрическим способом по ГОСТу 16483.0—70, а плотность в абс. сухом состоянии ρ_0 — способом вытеснения воды [3].

Деформации древесины образцов измеряли индикаторным тензометром (рис. 1). К образцу 1 через кнопочные металлические подкладки 2 прикрепляли с помощью

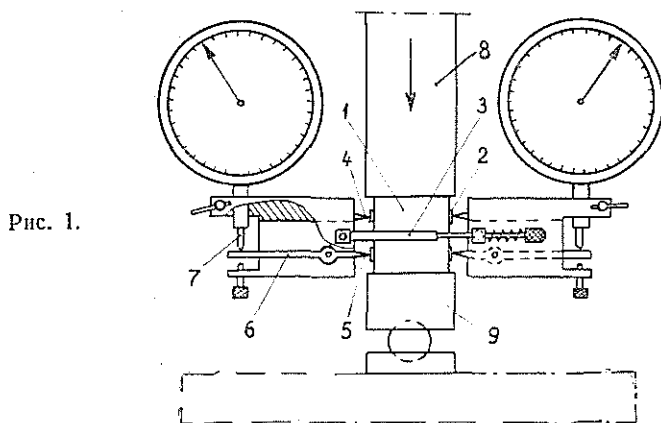


Рис. 1.

пружинной струбцины 3 два тензометра. Верхние ножи 4 неподвижны, нижние ножи 5 при деформации образца поворачиваются и отклоняют рычаги 6, на которые опираются штифты 7 индикаторов с ценой деления 0,001 мм. Соотношение плеч рычагов равно 1:2. Следовательно, цена деления каждого индикатора соответствует 0,0005 мм.

Образцы нагружали на испытательной машине УМ-5А с применением специальной верхней головки 8 и шаровой опоры 9, закрепленных на верхнем и нижнем захватах машины.

Таблица 1

Статистические показатели					
n	M	$\pm\sigma$	$\pm m$	$\sigma \%$	$\rho \%$
52	0,529	0,0931	0,0129	17,5	2,4
52	0,690	0,1088	0,0150	15,7	2,1
52	46,12	21,00	2,91	45,5	6,3
52	11,67	2,38	0,33	20,4	2,8
52	74,50	15,96	2,21	21,4	2,9
52	209,8	50,08	6,94	23,8	3,3

Таблица 2

Механические свойства	Порода	Средние арифметические значения физических свойств					Статистические показатели				
		ρ_0 , г/см ³	ρ , г/см ³	W, %	У, %	d, мм	M, кгс/см ²	$\pm \sigma$, кгс/см ²	$\pm m$, кгс/см ²	v, %	p, %
E_a	С	0,528	0,697	47,6	11,4	74,8	17 763	4140	333,6	23,6	1,8
	Е	0,802	0,899	27,9	14,9	50,4	24 771	5285	573,2	21,3	2,3
	К	0,684	0,794	21,2	9,46	60,8	23 947	6193	696,7	25,8	2,9
	Л	0,811	1,058	48,2	13,3	92,4	42 639	10 376	913,6	24,3	2,1
E_r	С	0,525	0,684	46,8	11,4	71,5	4103	2257	257,0	55,0	6,2
	Е	0,813	0,905	26,8	14,1	50,2	4662	1490	172,0	31,9	3,6
	К	0,681	0,794	28,2	9,69	57,7	5806	1872	227,0	32,2	3,9
	Л	0,781	1,024	49,1	13,6	78,9	7201	2982	381,8	41,4	5,3
E_t	С	0,539	0,703	46,7	11,2	76,3	4196	1948	324,0	46,3	7,7
	Л	0,765	1,045	49,4	11,8	109,9	6560	2084	444,3	31,7	6,7
E_{rt}^{45}	С	0,544	0,720	48,5	11,8	79,5	3948	1700	272,2	43,0	6,9
	Л	0,860	1,115	46,4	13,7	97,8	7812	2716	404,8	34,7	5,1
σ_a	С	0,529	0,691	46,1	11,6	74,5	209,8	50,08	6,9	23,8	3,3
	Е	0,810	0,903	27,8	14,4	51,8	368,9	78,3	12,39	21,2	3,3
	К	0,672	0,804	26,9	9,15	56,3	272,2	46,6	7,88	17,1	2,9
	Л	0,814	1,067	48,7	13,2	98,7	364,4	60,15	7,7	16,5	2,1
σ_r	С	0,525	0,678	45,5	11,2	71,9	31,5	13,59	2,0	43,0	6,3
	Е	0,818	0,910	26,6	14,0	49,2	43,3	8,44	1,36	19,4	3,1
	К	0,669	0,783	29,5	10,0	59,2	44,8	9,67	1,71	21,5	3,8
	Л	0,770	1,007	49,5	14,1	74,4	47,8	14,25	2,37	29,7	4,9
σ_t	С	0,545	0,707	46,6	11,1	76,2	38,1	11,4	2,2	30,0	5,7
	Л	0,802	1,060	47,2	10,7	99,0	70,0	17,7	5,1	25,3	7,3
σ_{rt}^{45}	С	0,539	0,726	51,6	11,9	79,0	29,6	10,2	1,9	34,7	6,5
	Л	0,880	1,129	44,9	13,6	90,8	56,2	12,6	2,75	22,4	5,2

Примечание. С — сосна; Е — ель; К — кедр; Л — лиственница.

При определении величины E_r , E_t , E_{rt}^{45} образцы нагружали в пределах 40—90 кгс, при определении E_a — в пределах 100—400 кгс. Интервалы нагружений были выбраны на основании предварительных экспериментов по определению зоны условно упругих деформаций. По результатам испытаний определяли величину модулей упругости E_a , E_r , E_t , E_{rt}^{45} (a — направление вдоль волокон; t — тангенциальное; r — радиальное; rt — радиально-тангенциальное направление) [1].

Предел прочности вдоль волокон σ_a и условные пределы прочности σ_r , σ_t , σ_{rt}^{45} поперек волокон были определены при скорости нагружения 4 мм/мин с использованием устройства для автоматического вычерчивания диаграммы «нагрузка — деформация».

В табл. 1 в качестве примера приведены значения предела прочности вдоль волокон σ_a , плотности ρ_0 при $W = 0\%$, плотности ρ_W с естественной влажностью W , влажности W , объемной усушки y , диаметра ветви d , а также результаты статистической обработки и коэффициенты парной корреляции между показателями физико-механических свойств древесины основания сучьев сосны.

В табл. 2 показаны результаты статистической обработки механических свойств древесины сучьев с естественной влажностью, а также приведены результаты средних арифметических значений физических величин.

В результате корреляционного анализа проведенных исследований получены следующие уравнения:

для сучьев сосны

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 408,74\rho_0 - 6,78; & m &= \pm 32,6; & r &= 0,759; & W &= 24,2 \div 111,3; & \rho_0 &= 0,408 \div 0,769 \\ \sigma_a &= 269,8\rho_W + 23,4; & m &= \pm 40,6; & r &= 0,586; & W &= 24,2 \div 111,3; & \rho_W &= 0,502 \div 0,917; \\ \sigma_r &= 107,176\rho_W - 41,197; & m &= \pm 10,7; & r &= 0,625; & W &= 25,1 \div 87,5; & \rho_W &= 0,505 \div 0,847; \\ \sigma_r &= 114,78\rho_0 - 28,81; & m &= \pm 9,2; & r &= 0,733; & W &= 25,1 \div 87,5; & \rho_0 &= 0,380 \div 0,696; \\ \sigma_t &= 103,1\rho_0 - 18,07; & m &= \pm 7,4; & r &= 0,755; & W &= 25,4 \div 97,2; & \rho_0 &= 0,385 \div 0,724; \\ \sigma_t &= 69,13\rho_W - 10,74; & m &= \pm 9,58; & r &= 0,523; & W &= 25,4 \div 97,2; & \rho_W &= 0,565 \div 0,854; \\ \sigma_{rt}^{45} &= 73,07\rho_0 - 9,8; & m &= \pm 8,4; & r &= 0,559; & W &= 29,6 \div 105; & \rho_0 &= 0,420 \div 0,700 \\ E_r &= 14\,816,6\rho_0 - 3678,7; & m &= \pm 1800; & r &= 0,595; & W &= 25,1 \div 107,7; & \rho_0 &= 0,380 \div 0,769; \\ E_t &= 19\,909,6\rho_0 - 6553,2; & m &= \pm 1327; & r &= 0,815; & W &= 25,4 \div 97,2; & \rho_0 &= 0,385 \div 0,724; \\ E_t &= 13\,199,0\rho_W - 5095,0; & m &= \pm 1578; & r &= 0,583; & W &= 25,4 \div 97,2; & \rho_W &= 0,551 \div 0,854; \\ E_{rt}^{45} &= 13\,142,0\rho_0 - 3211,7; & m &= \pm 1360; & r &= 0,608; & W &= 29,6 \div 105; & \rho_0 &= 0,420 \div 0,700; \\ E_{rt}^{45} &= 9512\rho_W - 2902,8; & m &= \pm 1580; & r &= 0,498; & W &= 29,6 \div 105; & \rho_W &= 0,502 \div 0,845; \\ E_a &= 16\,615\rho_0 + 8988,0; & m &= \pm 3730; & r &= 0,361; & W &= 24,7 \div 111,3; & \rho_0 &= 0,380 \div 0,769; \\ E_a &= 13\,616\rho_W + 8257,0; & m &= \pm 3809; & r &= 0,304; & W &= 24,7 \div 111,3; & \rho_W &= 0,502 \div 0,914; \\ E_r &= 10\,305,7\rho_W - 2946,1; & m &= \pm 2035; & r &= 0,431; & W &= 25,1 \div 107,7; & \rho_W &= 0,505 \div 0,917; \end{aligned}$$

для сучьев ели

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 820\rho_0 - 295,78; & m &= \pm 46,2; & r &= 0,811; & W &= 23,4 \div 38,3; & \rho_0 &= 0,625 \div 0,913; \\ \sigma_a &= 889,25\rho_W - 434,27; & m &= \pm 48,6; & r &= 0,771; & W &= 23,4 \div 38,3; & \rho_W &= 0,772 \div 1,007; \end{aligned}$$

для сучьев кедра

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 259,76\rho_W + 63,28; & m &= \pm 41,1; & r &= 0,4717; & W &= 17,9 \div 57,4; & \rho_W &= 0,673 \div 0,999; \\ \sigma_r &= 91,8\rho_0 - 16,61; & m &= \pm 7,2; & r &= 0,667; & W &= 17,8 \div 55,7; & \rho_0 &= 0,540 \div 0,880; \\ \sigma_r &= 71,0\rho_W - 10,81; & m &= \pm 7,5; & r &= 0,579; & W &= 17,8 \div 55,7; & \rho_W &= 0,674 \div 1,018; \\ E_r &= 17\,291\rho_0 - 5952; & m &= \pm 1441; & r &= 0,662; & W &= 17,8 \div 57,4; & \rho_0 &= 0,540 \div 0,880; \\ E_r &= 12\,162,5\rho_W - 3858; & m &= \pm 1535; & r &= 0,550; & W &= 17,8 \div 57,4 & \rho_W &= 0,673 \div 1,018; \end{aligned}$$

для сучьев лиственницы

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 441,1\rho_0 + 5,4; & m &= \pm 52,3; & r &= 0,492; & W &= 31 \div 74,2; & \rho_0 &= 0,684 \div 0,966; \\ \sigma_r &= 108,4\rho_0 - 35,6; & m &= \pm 9,96; & r &= 0,715; & W &= 31,5 \div 65,7; & \rho_0 &= 0,556 \div 0,947; \\ \sigma_r &= 91,37\rho_W - 44,2; & m &= \pm 11; & r &= 0,635; & W &= 31,5 \div 65,7; & \rho_W &= 0,776 \div 1,171; \\ \sigma_t &= 140,6\rho_W - 78,98; & m &= \pm 15,2; & r &= 0,527; & W &= 32,8 \div 60; & \rho_W &= 0,944 \div 1,154; \\ E_t &= 17\,314,6\rho_0 - 7038,9; & m &= \pm 1687; & r &= 0,587; & W &= 32,8 \div 74,2; & \rho_0 &= 0,684 \div 0,929; \\ E_t &= 14\,928\rho_W - 9041; & m &= \pm 1754; & r &= 0,540; & W &= 32,8 \div 74,2; & \rho_W &= 0,922 \div 1,175. \end{aligned}$$

В приведенных уравнениях m (кгс/см²) — средняя ошибка уравнения [2]; r — коэффициент парной корреляции.

Полученные уравнения можно использовать для определения механических характеристик древесины ветвей по известной плотности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Леонтьев Н. Л. Упругие деформации древесины. Гослесбумиздат, 1952.
[2]. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М., «Лесная промышленность», 1966. [3]. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М., «Лесная промышленность», 1976.

Поступила 14 ноября 1977 г.

УДК 674.8-41

О НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПРЕССМАТЕРИАЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ

В. В. ЖЕЛДАКОВА, В. А. ГЛУМОВА, Г. В. МЕДВЕДЕВА,
В. Н. ПЕТРИ

Уральский лесотехнический институт

Установлена взаимосвязь между влажностью и химическим составом древесины сосны при изменении температуры горячего прессования для трех ступеней давления

Одна из разновидностей пластиков без связующих — лигноуглеводные древесные пластики, принцип получения которых основан на использовании реакционной способности компонентов самой древесины [1].

Пластики, полученные при оптимальных условиях изготовления, имеют влажность, близкую к влажности исходного сырья до прессования [3, 4], за счет мягких условий изготовления и высокой плотности получаемого материала. Прирост влаги вследствие деструкции материала равен количеству влаги, идущей на диффузию и испарение. Исследования, проведенные при давлении 2,5 МПа [2], показали, что если при изготовлении пластиков имеет место ужесточение режима горячего прессования, то их влажность увеличивается за счет выделения воды при термическом разложении компонентов древесины.

Данная работа посвящена установлению зависимости влажности и химического состава древесины сосны от температуры горячего прессования для трех ступеней давления: 2,5; 5,0 и 9,0 МПа.

Для каждого значения давления плиты запрессовывали при температуре оптимальной, а также значительно ниже и выше оптимальной. Влажность прессматериала и продолжительность прессования во всех случаях были зафиксированы на оптимальном уровне и равнялись соответственно 19,0; 13,0; 8,0% и 1,4; 1,0; 1,3 мин/мм.

Результаты представлены в табл. 1.

Известно, что при образовании пластика основная роль наряду с лигнином принадлежит водорастворимым и легкогидролизуемым полисахаридам [1]. В связи с этим мы подробно изучили состав водорастворимых углеводов методом бумажной хроматографии, позволившем выяснить, какие из легкогидролизуемых полисахаридов в процессе прессования подвергаются частичному гидролизу и переходят в водорастворимое состояние. Разделению подвергали водорастворимые вещества из сырья и плит, а также гидролизаты выделенных из них полисахаридов.

Таблица 1

Показатели	Сырье	Пластик											
		2,5			5,0			9,0					
		140	170	200	140	170	200	140	170	200	160	180	200
Давление горячего прессования, МПа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Температура горячего прессования, °С	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Абсолютная влажность, %	—	17,9	18,4	25,3	12,6	13,0	17,2	7,1	8,0	11,2	7,1	8,0	11,2
Вещества, экстрагируемые спирто-бензольной смесью, %	7,93	7,45	8,30	16,8	7,93	8,47	11,78	7,26	7,49	10,63	7,26	7,49	10,63
Вещества, растворимые в горячей воде, %	3,02	4,05	5,89	7,04	4,25	4,69	8,48	3,78	3,82	6,20	3,78	3,82	6,20
В том числе:													
спиртоосаждаемые полисахариды (% к водорастворимым)	64,57	69,13	53,80	21,87	59,29	57,57	27,00	57,57	60,21	42,74	57,57	60,21	42,74
РВ водного экстракта до ипверсии	0,37	0,47	0,70	1,72	0,41	0,47	1,65	0,42	0,37	0,87	0,42	0,37	0,87
Легкогидролизуемые вещества, %	18,55	18,28	15,44	5,63	18,25	16,70	8,44	18,44	17,91	11,49	18,44	17,91	11,49
Лигнин по Комарову, %	25,39	26,38	26,53	27,92	26,19	26,61	28,14	26,63	27,47	30,45	26,63	27,47	30,45

Данные хроматографирования показали, что в водорастворимых веществах сырья и лигнит моносахара почти нигде не обнаружены, а гидролизаты водорастворимых полисахаридов в процессе прессования претерпевают весьма существенные изменения. На рис. 1 представлены диаграммы, из которых видно, как меняется состав водорастворимых полисахаридов в зависимости от температуры горячего прессования.

Результаты исследований показали, что независимо от давления прессования при заниженных температурах гидролитические процессы, а следовательно, и дальнейшие реакции конденсации пошли в незначительной степени. Содержание легкогидролизуемых компонен-

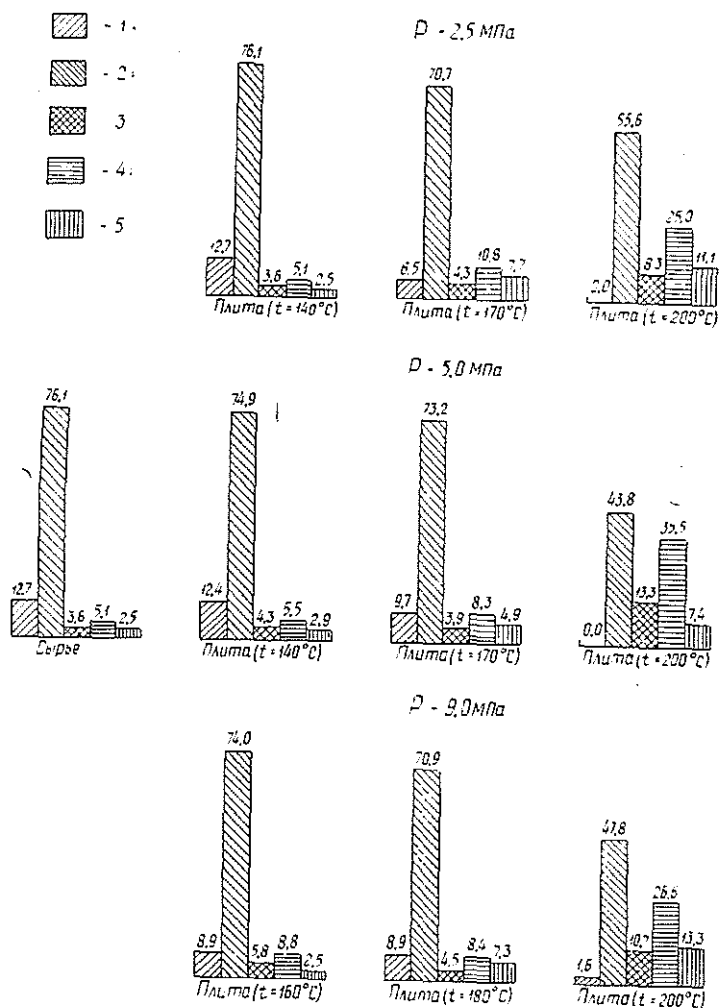


Рис. 1. Влияние температуры горячего прессования на состав водорастворимых полисахаридов.

1 — арабиноза; 2 — галактоза; 3 — глюкоза; 4 — манноза; 5 — фруктоза.

тов в пластиках по сравнению с сырьем практически не снизилось. Несущественные изменения произошли и в составе водорастворимых полисахаридов. Пластики, полученные при этих режимах, имеют влажность несколько ниже влажности используемого сырья. Очевидно, из-за недостаточной пластичности, являющейся функцией заниженной температуры, улучшается возможность испарения влаги.

С ужесточением режима прессования наблюдается тенденция к снижению содержания легкогидролизуемых веществ, увеличению экстрактивных и лигнина. Причем с возрастанием давления прессования гидролитические процессы замедляются, по-видимому, одна из причин этого — снижение влажности используемого прессматериала.

Изменение состава водорастворимых полисахаридов, зафиксированное при хроматографическом анализе, хорошо согласуется с изме-

нением влажности получаемых пластиков. Так, с увеличением температуры горячего прессования в гидролизатах полисахаридов пластиков возрастает содержание таких сахаров, как глюкоза, манноза и ксилоза, вследствие частичного гидролиза полисахаридов типа глюкоманнана и глюкуроноксилана. Уменьшение дозы арабинозы в полисахариде свидетельствует о том, что гидролизу подвергается также и арабогалактан.

Заметное снижение полисахаридов в водном экстракте и практически отсутствие в нем моносахаров указывает на дальнейшее разложение последних, что, как известно, сопряжено с выделением воды. Это подтверждается данными, полученными при изучении изменения влажности готового пластика. Так, с увеличением температуры горячего прессования влажность пластика возрастает, причем независимо от давления прессования при заниженной температуре влажность меньше влажности используемого сырья, при оптимальной — приблизительно равна ей, а при завышенной — больше. Кроме того, необходимо отметить, что с увеличением давления прессования скорость возрастания влажности уменьшается, а это также находится в соответствии с данными химических анализов.

Следовательно, характер и направление химической реакции не зависят от величин давления пьезотермической обработки древесных частиц. С увеличением давления прессования меняется лишь глубина химических превращений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аккерман А. С., Антакова В. Н., Бабайлов В. Е. и др. Плитные материалы и изделия из древесины и одревесневших растительных остатков без добавления связующих. М., «Лесная промышленность», 1976, 360 с. [2]. Глумова В. А., Желдакова В. В., Медведева Г. В. Изучение химического состава древесных пластиков в зависимости от температуры горячего прессования. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 4, с. 117—121. [3]. Заверткина Т. Д., Петри В. Н. О взаимосвязи между влажностью и физико-механическими характеристиками древесных пластиков без добавления связующих. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 5, с. 96—98. [4]. Ошуркова И. К. Исследования в области технологии получения трехслойных лигноуглеводных древесных пластиков. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Свердловск, 1968, 178 с.

Поступила 31 мая 1977 г.

УДК 621.923/924 : 674.815-41

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАСАЛИВАНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ НА СИНТЕТИЧЕСКИХ КЛЕЯХ

М. А. КЛЕЙНЕР, И. Г. НАЗАРЕНКО

Ленинградская лесотехническая академия, ВНИИАШ

Показано, что в процессе шлифования древесностружечных плит шлифовальной шкуркой на синтетических клеях наиболее глубокие впадины забиваются частицами сошлифованного материала и происходит налипание этих частиц на мелкие зерна, не участвующие в шлифовании, что не влияет на работоспособность шлифовальной шкурки.

Известно, что при шлифовании древесных материалов происходит быстрое засаливание, т. е. заполнение сошлифованным материалом межзернового пространства шлифовальной шкурки, изготовленной на мездровом клее.

Для рационального выбора связующих необходимо выяснить, является ли засаливание одной из причин потери работоспособности шлифовальной шкурки на синтетических связках. Косвенно этот процесс можно характеризовать изменением высоты неровностей шлифовальной шкурки. Неровности представляют собой части абразивных зерен, выступающие над клеевым слоем. Условно высоту этих неровностей называют высотой зерна. Мы проводили замеры высоты абразивных зерен шлифовальной шкурки методом снятия профилограмм.

Для фиксирования профиля шкурки было изготовлено приспособление, состоящее из стойки с неподвижным валком, имеющим две иголки на расстоянии 10 мм друг от друга. Шлифовальную ленту рабочим участком надевали на приспособление так, чтобы намеченный участок ленты накальвался на иголки. Приспособление с лентой помещали в поле инструментального микроскопа и при 50-кратном увеличении профиль участка ленты проектировали и зарисовывали.

После снятия профилограмм ленты испытывали на ленточно-шлифовальном станке «Нерис» при шлифовании образцов древесностружечных плит (со скоростью резания 19,2 м/с и удельным давлением 0,2 кгс/см²) до уменьшения удельной производительности лент в 10 раз, по сравнению с первоначальной, после чего производили зарисовку тех же участков.

Высоту абразивных зерен измеряли от горизонтали, проходящей через наиболее глубокие впадины (рис. 1). В случае засаливания шлифовальной ленты впадины между зернами забиваются частицами сошлифованного материала. Горизонталь, проходящая через наиболее глубокие впадины, перемещается вверх, и высота всех абразивных зерен, в том числе и не участвующих в работе, уменьшается. Известно, что в процессе резания принимают непосредственное участие только 5—10% зерен [1, 2].

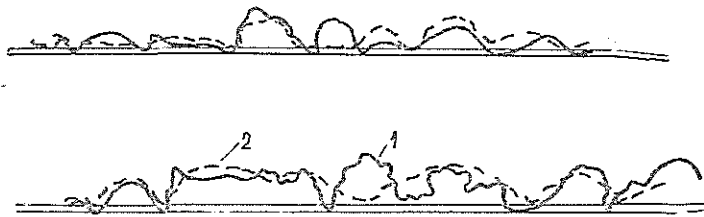


Рис. 1.

Исследовали шлифовальные ленты, изготовленные на синтетических связующих фенолфурфуроформальдегидных смолах типа ФМ и фенолформальдегидных типа ЛАРС, на тканевой основе из зерна карбида кремния зеленого и нормального электрокорунда зернистостью 40. На каждой ленте были сняты профилограммы десяти участков в направлении, перпендикулярном движению ленты, на расстоянии 10—15 см; длина каждого участка 10 мм. На рис. 1 показаны участки профилограммы шлифовальной ленты до (кривая 1) и после шлифования (кривая 2).

По результатам замеров все абразивные зерна были разбиты на три группы: к 1-й группе отнесены зерна высотой от 20 до 180 мкм, ко 2-й — от 190 до 260 мкм, к 3-й — 270 мкм и выше.

Данные об изменении высоты абразивных зерен в процессе шлифования представлены в табл. 1.

Увеличение высоты некоторых зерен, по-видимому, можно объяснить двумя причинами: налипанием частиц сошлифованного материала на вершину абразивного зерна и некоторым изменением угла наклона зерен относительно оси. Уменьшение высоты можно объяснить износом абразивных зерен, участвующих в шлифовании; смещением горизонтали, от которой ведется отсчет высоты зерен в связи с зарастанием впадин (через которые проходит эта горизонталь) частицами сошлифованного материала; смещением оси наклона абразивных зерен.

Таблица 1

Характеристика шлифовальной шкурки (шлифовальное зерно, смзика)	Начальная высота зерен, мкм	Колличес- тво зерен до шли- фован- ия, шт.	Количество зерен после шлифо- вания, %, при условии, что			Количе- ство вы- крошен- ных зерен после шлифова- ния, %	Среднее изме- нение высоты зерен, мкм, и доверительные интервалы*	
			не изме- нилась	увеличи- лась	уменьши- лась			
								высота
Карбид кремния зеленый зернистостью 40, смола ФМ	20—180	46	41,5	29,0	26,8	2,7	+7±3	
	181—260	47	15,0	12,5	72,5	—	—	-61±3
	261 и выше	47	—	—	93,5	6,5	—	-130±3
Электрокорунд нормальный зернистостью 40, смола ФМ	20—180	32	33,4	41,7	21,0	3,9	+4±3,5	
	181—260	40	20,0	20,0	60,0	—	—	-30±3
	261 и выше	42	4,0	8,0	88,0	—	—	-100±3
Карбид кремния зеленый зернистостью 40, смола ЛАГС	20—180	46	36,0	21,0	38,0	5,0	+22±3	
	181—260	37	4,0	11,0	78,0	7,0	—	-50±3,5
	261 и выше	43	—	3,0	91,0	6,0	—	-120±3
Электрокорунд нормальный зернистостью 40, смола ЛАРС	20—180	35	29,0	37,0	26,0	8,0	+12±3,5	
	180—260	51	18,0	14,0	64,0	4,0	—	-30±3
	261 и выше	43	10,0	6,0	84,0	—	—	-106±3

* При доверительной вероятности $\beta = 0,95$. Погрешность измерений составила 10 мкм.

Как видно из табл. 1, средняя высота зерен первой группы после шлифования несколько увеличилась; средняя высота зерен второй группы уменьшилась на 30—74 мкм, а зерен третьей группы снизилась на 100—136 мкм. Учитывая, что зерна второй группы не участвуют в работе шлифования, уменьшение их средней высоты можно объяснить только вертикальным смещением горизонтали, от которой ведется отсчет. Наиболее глубокие впадины забиваются частицами сошлифованного материала на 30—64 мкм. На зерна первой группы налипает в среднем несколько больший слой сошлифованного материала.

ла, чем на впадины, так как высота их не уменьшается, а даже несколько растет.

Проведенный анализ показал, что в процессе шлифования происходит небольшое налипание сошлифованного материала на впадины между абразивными зернами и в несколько большей степени — на вершины мелких зерен. При этом высота мелких зерен с налипшими на их вершины частицами сошлифованного материала значительно меньше высоты рабочих (активных) зерен.

Следовательно, в случае применения синтетических клеев для изготовления шлифовальной шкурки процесс засаливания лент при шлифовании древесностружечных плит незначителен и не оказывает решающего влияния на их работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Зайцева М. А. Исследование влияния различных технических характеристик шлифовальных шкурок на процесс шлифования древесины. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1967 (ЛТА). [2]. Назаренко И. Г. Исследование процесса шлифования древесины и древесных материалов новыми абразивными материалами и новыми методами шлифования. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1969 (ЛТА).

Поступила 4 июля 1977 г.

УДК 674.049.3

ВЛИЯНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ДОБАВОК НА ВЗРЫВЧАТЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА И ПЫЛИ

Т. К. ЕФРЕМОВА, В. А. МИТУСОВ, С. А. ВАСЬКИН

Уральский электромеханический институт инженеров
железнодорожного транспорта

Рассмотрены результаты исследований по установлению влияния огнезащитных добавок, вводимых в технологическом процессе, на изменение взрывчатых свойств древесного волокна и пыли, образующихся при производстве древесноволокнистых плит сухим способом.

Сотрудниками Ленинградской лесотехнической академии и ВНИИДрева разработаны и испытаны добавки на основе дициандиамида и мочевины, используемые для повышения огнестойкости древесноволокнистых плит (ДВП) [2, 4].

Анализ технологического процесса производства ДВП показал, что с точки зрения возможности возникновения пожаров и взрывов наиболее опасны сушильные и формовочные узлы, а также связывающие их системы пневмотранспорта, в которых образуется значительное количество тонких фракций древесной пыли.

В образцы проб пыли из данных технологических узлов вводили следующие компоненты огнезащитного состава (на 100 массовых частей абс. сухого волокна): ортофосфорная кислота — 9,8 мас. частей; дициандиамид — 12,6 мас. частей; мочевина — 18,0 мас. частей.

Содержание огнезащитного состава, вводимого в волокно, меняли в следующих пределах: 3,5; 7,0; 14,0 и 28% по отношению к массе волокна в абс. сухом состоянии. Для сравнения были взяты образцы древесного волокна, не обработанные и обработанные диаммоний фосфатом (3,5%) и тиомочевинной (5,0%).

Исследования проводили на модернизированной установке ВНИИПО с записью основных параметров взрыва на осциллограммах. Модернизация заключалась в из-

менении узла распыла применительно к волокнистым материалам. Изменение конструкции пылепитателя было вызвано тем, что технологические добавки (парафин и церезин) вызывают комкование пыли и коагуляцию древесного волокна.

Для получения более равномерного распределения пыли и тем самым более полного сгорания материалов наиболее эффективной оказалась модель распылителя, представляющая собой игольчатый ротор, вращающийся со скоростью около 2500 об/мин.

При проведении опытов определяли основные параметры, характеризующие взрывчатые свойства пылей: нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ), $г/м^3$; максимальное давление, развиваемое при взрыве, Па и скорость его нарастания, Па/с.

Исследования показали, что если НКПВ необработанного волокна составляет $40 г/м^3$ для хвойных и $42 г/м^3$ для лиственных пород древесины, то при 3,5%-ной добавке диаммоний фосфата НКПВ возрастает соответственно до 48—52 $г/м^3$, при 5%-ной добавке тиомочевины — до 47—49 $г/м^3$; при добавлении 7% огнезащитного состава ЛТА НКПВ увеличивается до 52—54 $г/м^3$, при добавлении 14% этого же состава — до 56—58 $г/м^3$ и 28% — до 86—88 $г/м^3$.

Полученные экспериментальные данные показали, что наиболее существенное влияние оказывают добавки, разработанные в ЛТА, которые снижают взрывчатость пыли примерно в 2,1—2,2 раза (при 28%-ном содержании огнезащитного состава).

Одновременно было выявлено влияние технологических добавок, применяемых в производстве ДВП, в частности, парафина, по данным Льюиса и Эльбе [3], большинство парафиновых углеводородов имеет ярко выраженный «полуостров» воспламенения, т. е. область, в которой возможно так называемое «низкотемпературное» воспламенение, характеризующееся значительным периодом индукции от 0,3 до 30 с.

Известно, что уже при температуре 70—80°C парафин начинает плавиться с выделением предельных и непредельных углеводородов, которые, обволакивая пылевые частицы, уменьшают доступ кислорода к их активной поверхности. Накопившиеся в течение этой стадии процесса воспламенения промежуточные продукты разложения парафина при дальнейшем повышении температуры до 230°C и достижении ниж-

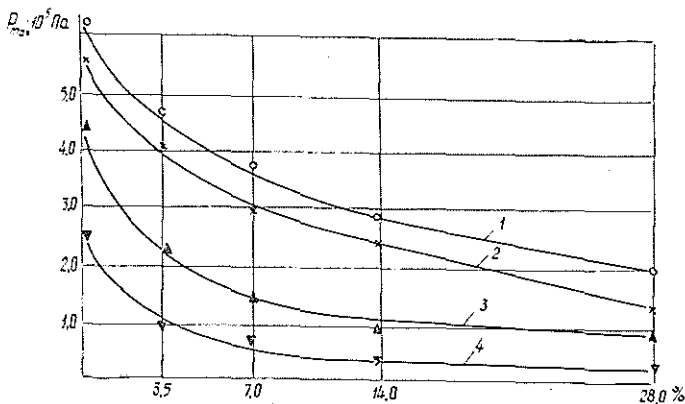


Рис. 1. Кривые зависимости избыточного давления, развиваемого при взрыве древесной пыли, от процентного содержания огнезащитного состава.

1 — концентрация пылевого облака $C = 250 г/м^3$; 2 — $C = 250 г/м^3 + 4\%$ парафина; 3 — $C = 200 г/м^3$; 4 — $C = 150 г/м^3$.

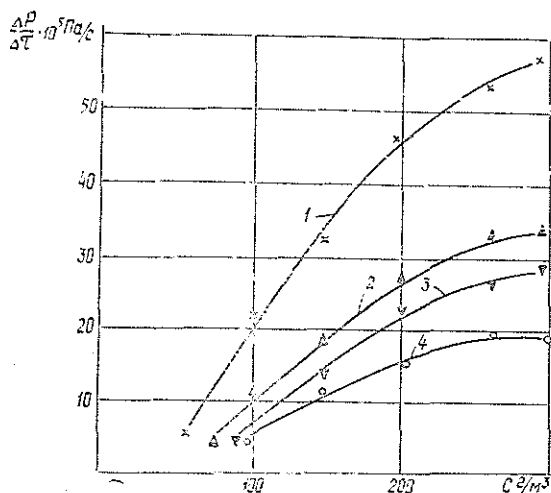


Рис. 2. Влияние добавок огнезащитного состава и плотности древесной пыли на скорость нарастания давления при взрыве.

1 — образцы, не обработанные огнезащитным составом; 2, 3, 4 — образцы соответственно с 7-, 14-, 28%-ным содержанием огнезащитного состава ЛТА.

него концентрационного предела взрываемости этой газовой смеси могут вызвать взрыв, в котором принимают участие и пылевые частицы. Подобные температурные режимы могут наблюдаться, например, в узле прессования ДВП. Поэтому эти узлы должны иметь надежную противопожарную и противовзрывную защиту.

Результаты исследований по влиянию огнезащитных добавок на величину и скорость нарастания давления при взрыве указанных образцов древесного волокна представлены на рис. 1, 2. Анализ результатов показывает, что уже при 7%-ной добавке огнезащитного состава ЛТА максимальное давление при взрыве снижается примерно в два раза для большинства испытанных образцов пыли. Дальнейшее увеличение содержания огнезащитного состава до 28% приводит к постепенному уменьшению максимального давления. Максимальное давление $5,5 \cdot 10^5$ Па развивается, как показали эксперименты, при плотности пылевого облака около 250 г/м^3 для необработанных образцов пыли.

Математическая обработка полученных экспериментальных данных показывает, что все кривые зависимости максимального давления от добавок огнезащитного состава (рис. 1) имеют общий характер и могут быть описаны во всем диапазоне исследованных концентраций $160\text{--}250 \text{ г/м}^3$ экспоненциальной зависимостью.

Для концентрации $C = 250 \text{ г/м}^3$ полученная зависимость описывается уравнением

$$P = 4,8e^{-0,004x}; \quad (1)$$

для концентрации $C = 150 \text{ г/м}^3$

$$P = 1,9e^{-0,1x}; \quad (2)$$

где P — избыточное давление при взрыве, Па;

x — процентное содержание огнезащитных добавок в волокне.

Семейство кривых (рис. 2) наиболее точно в диапазоне $50\text{--}300 \text{ г/м}^3$ аппроксимируется параболической зависимостью.

Для не обработанного огнезащитными добавками волокна скорость нарастания давления при взрыве $\left(\frac{\Delta P}{\Delta \tau}\right)$ в зависимости от концентрации имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \tau} = -0,0009C^2 + 0,54C - 23. \quad (3)$$

При содержании огнезащитного состава 28% темп нарастания давления резко снижается

$$\frac{\Delta P}{\Delta \tau} = -0,00036C^2 + 0,215C - 11,6. \quad (4)$$

и составляет $(12 \div 16) \cdot 10^5$ Па/с. Для не обработанной огнезащитным составом пыли это значение в четыре раза выше.

По предложенной Таубкиным С. И. и Таубкиным И. С. [5] классификации для оценки пожаровзрывоопасности пыли принят показатель $\frac{\Delta P}{\Delta \tau}$. При $\frac{\Delta P}{\Delta \tau} = 20 \cdot 10^5$ Па/с и более пыль взрывоопасна, если даже ее НКПВ более 65 г/м³. Следовательно, пыль с содержанием огнезащитного состава 28% пожароопасна, так как в этом случае $\frac{\Delta P}{\Delta \tau}$ меньше указанной величины и нижний предел взрываемости составляет 86—88 г/м³. Все другие образцы пыли с меньшим содержанием огнезащитного состава могут быть отнесены к группе взрывоопасных.

Для приближенной оценки различных огнезащитных составов рядом исследователей предложено использовать критерии эффективности антипиренов Ф. В частности, в работе [1]

$$\Phi = \frac{[O_2] \cdot \delta V}{[I] \cdot V_0},$$

где $[O_2]$ — начальная концентрация кислорода;

δV — изменение скорости горения под действием ингибитора;

$[I]$ — начальная концентрация антипирена;

V_0 — скорость горения материала без ингибитора.

Полученные при проведении исследований характеристики горения и взрыва древесного волокна с различными антипиренами позволяют определить численные значения критерия эффективности огнезащитных составов, используемых для обработки древесноволокнистых плит. Так, для диаммоний фосфата $\Phi = 4,1$; для тиомочевины $\Phi = 2,8$; для огнезащитного состава ЛТА $\Phi = 7,9$.

Расчеты показали, что наиболее эффективен огнезащитный состав ЛТА.

Таким образом, огнезащитные составы в древесном волокне, не ухудшая технологических и физико-механических свойств ДВП, снижают возможность возникновения пылевых взрывов в рассматриваемом технологическом процессе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кодолов В. И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М., «Химия», 1976. [2]. Леонович А. А., Шалун Г. Б. Огнезащита древесных плит и слоистых пластинок. М., «Лесная промышленность», 1974. [3]. Льюис Б., Пиз Р. Н., Тейлор Х. С. Процессы горения. Государственное изд-во физико-математической литературы. М., 1961, с. 163—172. [4]. Мерецкий В. Ю. и др. Способ обработки волокнистых и пылевидных частиц органического происхождения. Авт. свид. № 499132.— Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1976, № 2. [5]. Таубкин И. С., Таубкин С. И. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки. М., «Химия», 1976.

Поступила 12 декабря 1977 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 66.093.8/067.1 : 001.57

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА
НА РАСПАД МОНОСАХАРИДОВ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРКОЛЯЦИОННОГО ГИДРОЛИЗА
РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. С. САПОТНИЦКИЙ, Б. В. ЕРМОЛОВ, А. И. КИПРИАНОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Исследованы математические модели реакции распада моносахаридов в реакторах вытеснения и смешения с равномерно распределенными по объему источниками массы.

Для снижения распада моносахаридов при перколяционном гидролизе растительного сырья необходимо обеспечить оптимальную структуру жидкостных потоков, фильтрующихся через гидролизуемый материал, т. е. надо знать, при какой структуре потоков распад моносахаридов минимален. Были приняты следующие допущения: 1) реакция распада моносахаридов происходит в гомогенном реакторе, объем которого равен свободному объему слоя гидролизуемого материала. При этом реакции моносахаридов, находящихся в неподвижной жидкости, не зависят от гидродинамической структуры потоков и не учитываются; 2) источники массы — частицы гидролизуемого сырья, представляющие сахар в подвижную жидкость, — равномерно распределены по объему реактора; 3) интенсивность источников массы постоянна; 4) данный гомогенный реактор изотермический.

Поставленную задачу можно сформулировать следующим образом: найти гидродинамическую структуру потоков, минимизирующую степень превращения компонента A в реакции распада моносахаридов первого порядка типа $A \xrightarrow{k} P$ при заданных температурах и условном времени пребывания в реакторе.

Модели структуры потоков, включающие застойные зоны и байпасы, которые неблагоприятно влияют на процесс массопередачи, не рассматриваем. Однако и при отсутствии застойных зон и внутренних байпасов поток может следовать различным промежуточным моделям, лежащим между крайними идеализированными моделями: вытеснением и смешением. Известно, например [1, 3], что в определенных условиях степень превращения реагента в реакторе смешения значительно ниже, чем в реакторе вытеснения. Чтобы решить эту задачу, необходимо определить, как протекает реакция распада моносахаридов при идеальном вытеснении и идеальном смешении потоков в реакторе.

Реактор идеального вытеснения. Если предположить, что поступающие в подвижную жидкость моносахариды не участвуют в реакции распада, то математически модель можно описать следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -W \frac{\partial C}{\partial z} + m \quad (1)$$

с начальным условием

$$C=0; \quad \tau=0, \quad (2)$$

где C — концентрация моносахаридов;
 τ — условное время пребывания частиц потока в реакторе;
 W — линейная скорость потока;
 z — линейная координата;
 m — интенсивность источника массы.

В стационарных условиях

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = 0, \quad (3)$$

тогда уравнение (1) имеет вид

$$W \frac{dC}{dz} = m. \quad (4)$$

В соответствии с третьим допущением

$$m = \text{const}. \quad (5)$$

Переходя от линейной скорости W к объемной v_0 и от линейной координаты z к текущему объему реактора V и интегрируя уравнение (4) по частям, получим

$$C = \frac{m}{v_0} V. \quad (6)$$

Так как $\frac{V}{v_0} = \tau$, то

$$C = m\tau. \quad (7)$$

С учетом реакции распада моносахаридов уравнение (4) имеет вид

$$v_0 \frac{dC}{dV} + (-kC) = m, \quad (8)$$

здесь k — константа скорости распада моносахаридов.

Решение уравнения (8) при начальных условиях (2)

$$C = \frac{m}{k} (1 - e^{-\tau k}). \quad (9)$$

Степень превращения моносахаридов в реакторе вытеснения можно определить по известному соотношению

$$X = \frac{C_0 - C_k}{C_0}, \quad (10)$$

где C_0 — начальная концентрация;
 C_k — конечная концентрация.

В уравнении (10) в качестве C_0 используем C из выражения (7), а в качестве C_k — величину C из равенства (9)

$$X = \frac{m\tau - \frac{m}{k} (1 - e^{-\tau k})}{m\tau} = 1 - \frac{1 - e^{-\tau k}}{\tau k}. \quad (11)$$

Реактор идеального смешения. Согласно этой модели принимаем равномерное распределение вещества во всем потоке. Для определения степени превращения моносахаридов можно воспользоваться типовой моделью [2]

$$X = \frac{\tau k}{1 + \tau k}. \quad (12)$$

Поскольку выражения (11), (12) применимы к любой реакции первого порядка типа $A \xrightarrow{k} P$, то при экспериментальной проверке адекватности моделей реакцию распада моносахаридов можно заменить любой другой реакцией указанного типа. Учитывая это, в эксперименте мы исследовали реакцию гидролиза мальтозы в 0,5N соляной кислоте при 100°C.

Количество мальтозы, оставшейся после окончания реакции, определяли по методу Бертрана с использованием калибровочной кривой [2], устанавливающей соотношение мальтозы и продукта ее гидролиза — глюкозы — в их смеси. Константа скорости гидролиза мальтозы K при этой температуре была определена интегральным методом и равнялась $2,818 \text{ ч}^{-1}$.

Проточный реактор вытеснения и реактор периодического действия можно описать одной и той же математической моделью с той лишь разницей, что в первом случае вытеснение идет по координате длины, а во втором — по координате времени [2]. Поэтому эксперимент проводили в непроточном периодическом реакторе с обратным холодильником с равномерно распределенными во времени источниками массы. Перед началом опыта в реактор задавали $0,5N \text{ HCl}$ и раствор доводили на плитке до кипения. При помощи перистальтического насоса в реактор через холодильную трубку в кипящий раствор с постоянной скоростью подавался раствор мальтозы в $0,5N \text{ HCl}$. Реакцию проводили в течение 15, 30, 60 мин. По окончании реакции реактор охлаждали в холодной воде. Поскольку константа скорости гидролиза мальтозы сильно снижается с уменьшением температуры (по данным [2] константа скорости гидролиза мальтозы при 80°C равна $0,312 \text{ ч}^{-1}$), то при охлаждении раствора реакция практически сразу прекращается. В полученных растворах количественно определяли мальтозу и по формуле (10) рассчитывали степень превращения мальтозы в ходе реакции.

Таблица 1

$\tau \text{ ч}$	X_M	X_p
0,25	0,28	0,30
0,50	0,46	0,42
1,00	0,86	0,89

В табл. 1 приведены решения математической модели реактора идеального вытеснения X_M (11) при $k = 2,818 \text{ ч}^{-1}$ и экспериментально определенные при тех же параметрах степени превращения мальтозы X_p . Как следует из данных табл. 1, экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными и адекватность модели (11) можно считать доказанной.

Математическая модель реактора смешения типовая, адекватность ее доказана [1, 3], поэтому необходимость в экспериментальной проверке модели (12) отпадает.

На рис. 1 показаны полученные на основе моделей (11) и (12) зависимости степени превращения моносахаридов в реакторах вытеснения X_p и смешения X_v от критерия распада глюкозы $r = \tau k$ [3] (k — константа скорости реакции распада глюкозы). Как видно из рис. 1, степень превращения в реакторе вытеснения ниже, чем в реак-

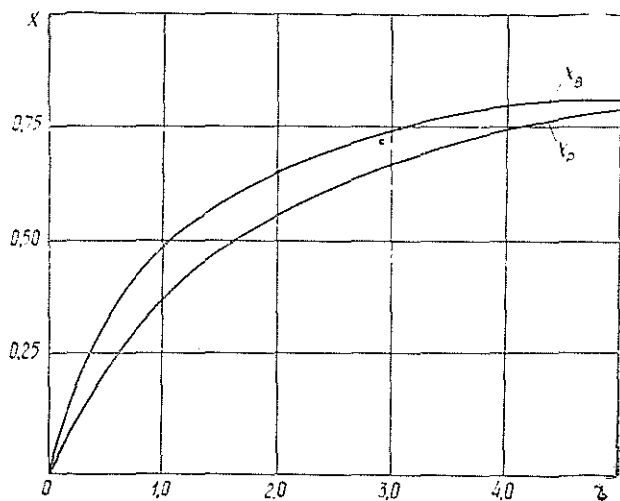


Рис. 1.

торе смешения. Однако различие это непостоянно и зависит от численного значения критерия r . Аналитически эту зависимость можно определить из уравнения

$$\frac{X_B}{X_P} = \frac{(\tau k)^2}{(1 + \tau k)(\tau k + e^{-\tau k} - 1)}, \quad (13)$$

полученного делением равенства (12) на выражение (11).

Полученная на основе уравнения (13) зависимость отношения степеней превращения моносахаридов в реакторах идеального вытеснения и идеального смешения $\frac{X_B}{X_P}$ от критерия распада глюкозы r показана на рис. 2. С увеличением r различие между степенями превращения X_B и X_P уменьшается и отношение $\frac{X_B}{X_P}$ асимптотически приближается к единице. При $r = 0$ функция не определена, но при $r \rightarrow 0$ $\frac{X_B}{X_P} \rightarrow 2$. Численные значения критерия r , соответствующие оптимальным режимам гидролиза, лежат в интервале $0,05 \leq r \leq 1$.

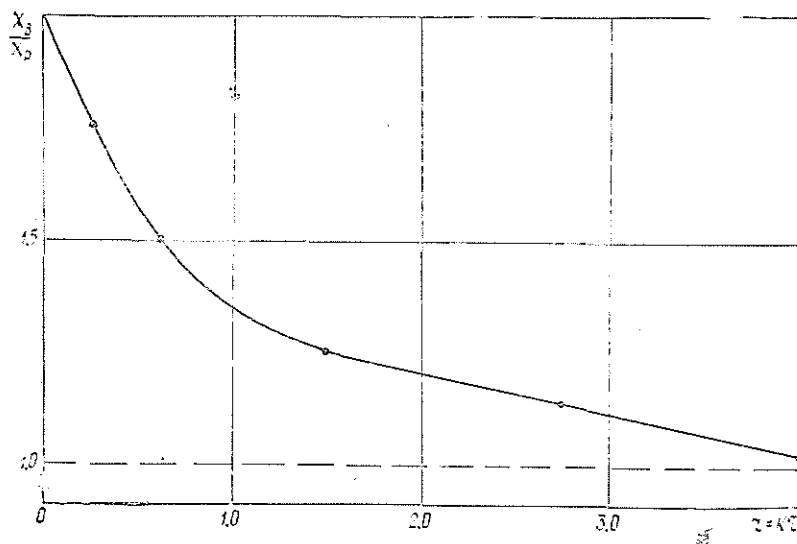


Рис. 2.

Как следует из рис. 2, этому диапазону изменения r соответствует следующий диапазон изменений $\frac{X_B}{X_P}$:

$$1,36 < \frac{X_B}{X_P} < 1,92.$$

Следовательно, для существующих оптимальных режимов гидролиза структура идеального вытеснения минимизирует степень превращения моносахаридов в реакции их распада. Особенно это важно для проточных реакторов непрерывного действия, так как процесс гидролиза в них установлен и выбранные оптимальные характеристики гидродинамической структуры потоков могут оставаться неизменными в течение всего времени работы аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М., «Химия», 1971. [2]. Корольков И. И., Шарков В. И., Леванова В. П. — «Труды ВНИИГСа». М., Гослесбумиздат, 1956, т. 5, с. 26—35. [3]. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М., «Химия», 1969.

Поступила 27 октября 1977 г.

УДК 676.017.9

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КАНИФОЛЬНОЙ ПРОКЛЕЙКИ БУМАГИ В МАССЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

В. Л. КОЛЕСНИКОВ, В. С. МАЛЫГИН

Белорусский технологический институт, Госплан СССР

Приведена пятифакторная сетчатая номограмма в сопряженных квадрантах. Оптимальную проклеивающую смесь предложено составлять из канифольного молочка и раствора резината натрия, которые следует смешивать в требуемой пропорции перед каждой бумагоделательной машиной, применительно к конкретным условиям данного технологического потока.

На многих бумажных фабриках для проклейки бумаги применяют белый канифольный клей с разным содержанием свободной смолы, причем на каждом производстве характеристику традиционного вида проклеивающей дисперсии стремятся сохранить постоянной. Поэтому процесс проклейки различных видов бумаги, вырабатываемых на одном предприятии, отличается лишь величиной удельного расхода канифоли. Оптимальным считают такой минимальный расход канифоли, который обеспечивает заданную степень проклейки бумаги при сложившейся в данный момент технологической ситуации.

Белый канифольный клей состоит из фазового вещества дисперсии, растворимого резината натрия и воды. Резинат натрия, обладая поверхностной активностью, определяет характер коллоидно-химических взаимодействий в микрогетерогенной системе. Присутствие резината натрия при электролитной коагуляции влияет на размер частиц образующегося осадка, что отражается на эффекте проклейки и расходе канифоли. Следовательно, при одном и том же суммарном расходе канифоли, но при разном соотношении свободная смола — резинат натрия в исходном белом клее может быть получен разный результат, что позволяет сформулировать задачу оптимизации процесса с использованием нового принципа коллоидно-химического регулирования процесса проклейки бумаги.

Для исследования нами выбраны пять факторов и уровни их варьирования: x_1 — степень помола массы 20, 40°ШР; x_2 — концентрация массы при проклейке 0,5; 3,5%; x_3 — содержание свободной смолы в исходном клее 15, 35%; x_4 — расход канифольного молочка (по сухим) 0; 0,25; 0,73; 1,0; 1,25; 1,50; 2,0; 3,0% от абс. сухого волокна; x_5 — расход раствора резината натрия (по сухим) 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 2,0; 3% от абс. сухого волокна.

Выходной параметр характеризовался определяемым на приборе ОС-1 привесом воды на единицу поверхности бумаги при односторон-

нем смачивании за 60 с (метод Кобба) [2]. Для количественной оценки качества опытных образцов бумаги в широком диапазоне значений водостойкости применяли метод Кобба потому, что возможности стандартного штрихового метода ограничены особенностями конструкции рейсфедера и шкала показателей бумаги в областях 0,5 и 3,0 мм оказывается нетарированной.

Эксперимент осуществляли по несимметричному и неравномерно-му плану $2^3 \times 8^2$ с числом опытов 512. Первые три фактора изменяли по условиям матрицы полного факторного эксперимента (ПФЭ) [8], и для каждой строчки матрицы реализованы все сочетания уровней варьирования факторов x_4 и x_5 . Принимая во внимание разные величины дисперсии степени проклейки бумаги при малых и больших расходах проклеивающих агентов, а также различный уровень требований к точности измерений, эксперимент проводили с разным числом дублирующих опытов внутри серии, по которым брали средний результат.

Для аппроксимации наиболее целесообразным оказалось аналитическое выражение вида

$$y = e^{b_0} x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} x_4^{b_4} x_5^{b_5}. \quad (1)$$

В качестве волокнистого материала применяли сульфитную беленую целлюлозу Калининградского ЦБК № 2, которую размальзовали до заданной степени в лабораторном роле с двухлитровой ванной при концентрации 2%. Из сосновой живичной канифоли (ГОСТ 797—55) Борисовского комбината по обычной методике варили как исходный белый клей с установленным содержанием свободной смолы и концентрацией 20 г/л, так и бурый клей, из которого готовили раствор резината натрия с концентрацией 20 г/л. Перед введением в волокнистую массу составляли проклеивающую смесь из исходного белого клея и раствора резината натрия. Следовательно, искусственно изменяли природу канифольного клея: увеличение объема раствора резината натрия, добавляемого к одинаковому объему канифольного молочка, приводило к уменьшению содержания свободной смолы в проклеивающей смеси. Принимали во внимание и учитывали содержание канифоли как в исходном клее, так и в растворе резината натрия. Для коагуляции дисперсии применяли 10%-ный раствор технического сульфата алюминия, который добавляли в бумажную массу после проклеивающей смеси до pH=4,5. Лабораторные отливки бумаги получали по обычной методике [7].

Для нахождения коэффициентов модели (1) использовали математический аппарат метода наименьших квадратов [6], причем для линеаризации $\ln x_i$ и $\ln y$ приравнивали соответственно V_i и W , после чего составляли и методом Гаусса [5] решали систему шести уравнений с шестью неизвестными. Данные статистически обрабатывали на ЭЦВМ «Мир-2».

В результате получено адекватное уравнение, описывающее процесс проклейки бумаги в зависимости от пяти факторов

$$y = \frac{e^{5,03} x_2^{0,326}}{x_1^{0,25} x_3^{0,07} x_4^{0,157} x_5^{0,29}}. \quad (2)$$

Задача оптимального управления процессом проклейки бумаги сводится к нахождению таких расходов канифольного молочка x_1 и раствора резината натрия x_5 , которые удовлетворяют уравнению (2) и минимизируют функцию цели, суммарный расход проклеивающих агентов $R = x_4 + x_5$ при заданных значениях критерия качества y и известном векторе начального состояния объекта по x_1 , x_2 и x_3 .

Для облегчения пользования результатами исследования на производстве решение задачи представлено в виде номограммы, где на последнем этапе из множества допустимых управлений выбирают одно, наилучшее для каждого набора текущих значений x_1 , x_2 и x_3 . Так

как в условии есть одно ограничение в виде равенства, то имеется возможность снизить размерность задачи и исключить одно искомое независимое переменное путем подстановки значения

$$x_5 = y \frac{1}{b_5} e^{-\frac{b_1}{b_5} x_1 - \frac{b_2}{b_5} x_2 - \frac{b_3}{b_5} x_3 - \frac{b_4}{b_5} x_4}$$

в целевую функцию

$$R = y \frac{1}{b_5} e^{-\frac{b_1}{b_5} x_1 - \frac{b_2}{b_5} x_2 - \frac{b_3}{b_5} x_3 - \frac{b_4}{b_5} x_4} + x_4.$$

Для многопараметрических уравнений с отдельной функциональной зависимостью переменных лучше всего подходят сетчатые номограммы с равномерными шкалами в сопряженных квадрантах [1].

На номограмме (рис. 1), полученной по модели (2), изображена процедура определения оптимального управления при получении бумаги с требуемым привесом воды единицей поверхности в 22 г/м² (применительно к качеству писчей бумаги № 1) и текущих значениях степени помола массы 33°ШР, концентрации при проклейке 2,0% и содержании свободной смолы в исходном белом клее 35%.

Сущность процедуры заключается в том, что из точки шкалы y , равной заданной величине степени проклейки бумаги, в каждой паре сопряженных квадрантов $I-V$ проводят прямые, параллельные вспомогательным осям номограммы, до пересечения с линией требуемого текущего значения замеренного показателя технологического процесса; тогда в последнем, пятом квадранте перпендикуляр из точки пересечения линии хода решения с отрезком одной из прямых $x_4 = 7,5$ отсекает на оси R величину оптимального суммарного расхода канифоли для указанных условий. Содержание проклеивающей смеси определяют по разности между найденным суммарным расходом канифоли и расходом канифоли молочка, численно равным величине характеристики изолинии x_4 в пятом квадранте, с отрезком которой пересеклась линия хода решения. Для указанного примера оптимальный расход канифоли составляет 19 кг/т, а содержание резината натрия в проклеивающей смеси равно 11,5 кг/т (19—7,5).

Используя приведенную номограмму, убеждаемся в том, что для различных условий проведения процесса, например при повышении степени помола массы, понижении концентрации массы при проклейке и при применении исходного белого клея с более высоким содержанием свободной смолы можно значительно сократить суммарный расход канифоли (при оптимальном соотношении резинат натрия—смола в проклеивающей смеси). Номограмма позволяет сделать еще одно важное замечание: если участки ломаной линии, ограничивающие левую часть площади пятого квадранта, представить плавной кривой, то ее асимптота, перпендикулярная оси R , укажет предельный расход канифоли, при котором теряет смысл регулирование процесса при помощи изменения соотношения компонентов проклеивающей смеси и учет действия рассматриваемых факторов, так как при любой технологической ситуации результат решения задачи оптимизации будет одним и тем же (расход канифоли 33—37 кг/т при любом содержании резината натрия в смеси). Близость найденной цифры к норме расхода канифоли на предприятиях отрасли говорит о том, что существуют резервы понижения нормы за счет совершенствования технологии подготовки бумажной массы к отливу.

Анализ полученной математической модели позволяет сделать вывод, что применение для проклейки бумаги смесей белого и бурого

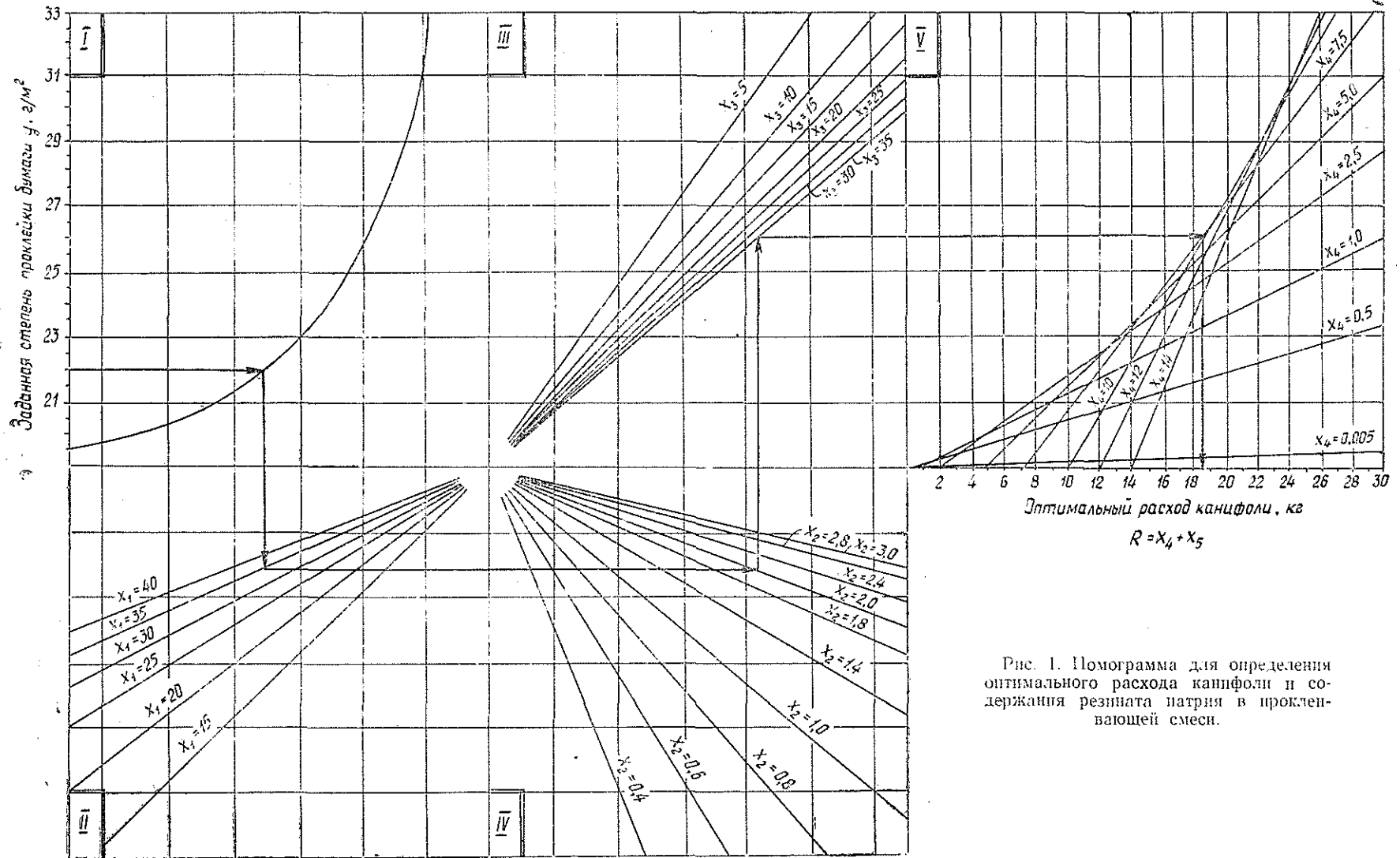


Рис. 1. Помограмма для определения оптимального расхода кашифоли и содержания резина в проклеивающей смеси.

го клеев дает возможность получить заданный эффект с различными по размерам затратами, значительно меньшими, чем при использовании либо одного бурого, либо одного белого клея, и что для конкретных технологических условий существует наилучшее сочетание канифольное молочко — резинат натрия в проклеивающей смеси. Поэтому резинат натрия или другое подходящее поверхностно-активное вещество можно назвать коллоидно-химическим регулятором проклейки, а изменение количества его в проклеивающей смеси так же важно, как и расход канифоли и pH среды, создаваемое солями алюминия.

По нашему мнению, минерально-клеяные отделы бумажных фабрик должны готовить два вида канифольного клея — исходный белый, например с 35% свободной смолы, и бурый (резинат натрия), играющий роль регулятора проклейки. Оптимальный для данных технологических условий вид канифольного клея следует составлять непосредственно перед введением его в бумажную массу путем смешения необходимых количеств канифольного молочка и раствора резината натрия, подвешенных раздельно к потокам каждой бумагоделательной машины по двум магистральным трубопроводам [4].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Блох Л. С. Практическая номография. М., «Высшая школа», 1971, с. 56—65.
 [2]. Грант Ю. Лабораторный справочник по производству целлюлозы и бумаги. М., «Лесная промышленность», 1965, с. 251—253. [3]. Денисенко В. П., Терпицкий М. И. Корреляционный анализ в целлюлозно-бумажном производстве. М., «Лесная промышленность», 1968, с. 50. [4]. Колесников В. Л., Малыгин В. С. Способ проклейки бумажной массы. Авт. свид. № 306217. — Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1971, № 19. [5]. Крылов В. И. и др. Вычислительные методы высшей математики. Минск, «Высшая школа», 1973, с. 22. [6]. Кузин Л. Т. Основы кибернетики. Т. 1. М., «Энергия», 1973, с. 81. [7]. Методическое руководство к выполнению лабораторных заданий. Л., Изд-во ЛТИ ЦБП, 1965, с. 70. [8]. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., «Наука», 1965, с. 30—42. [9]. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента. М., «Легкая индустрия», 1974, с. 150—155.

Поступила 16 мая 1977 г.

УДК 634.0.813.1

О ВЕЩЕСТВАХ, ВЫДЕЛЕННЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ ЛИГНОУГЛЕВОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ, И О ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКАХ

В. А. ПИВОВАРОВА, Б. Д. БОГОМОЛОВ

Архангельский лесотехнический институт

Приведены результаты исследования веществ, сопутствующих лигноуглеводному комплексу при его выделении из древесных сосны, а также древесных остатков после выделения из древесины лигнина Бьеркмана и лигноуглеводного комплекса.

При очистке лигноуглеводного комплекса (ЛУК) по методу Бьеркмана [8] основная часть сопутствующих веществ (СВ) остается в растворе, представляющем смесь 1,2-дихлорэтана с этанолом (2:1).

Интересно было изучить количество и состав веществ, теряемых при очистке ЛУК, в зависимости от продолжительности тонкого размола древесины. Проведенное исследование позволило получить представление о той части древесины, которая экстрагируется вместе с ЛУК, но не является ЛУК, растворяется в тех же растворителях, что и лигнин Бьеркмана, но не является этим лигнином. В литературе мы не нашли сведений о составе СВ.

Образцы ЛУК мы выделяли из древесины сосны, тонко размолотой в течение 12, 18, 24 и 30 ч [1]. Полученные при очистке этих образцов темно-красные растворы упаривали под вакуумом досуха. Так как лигнин Бьеркмана (ЛМР — лигнин механического размола) растворяется в смеси 1,2-дихлорэтана с этанолом, можно было предположить, что сопутствующие ЛУК вещества имеют лигнинный характер. Поэтому сухие остатки очищали по методу Бьеркмана [7], предложенному им для очистки лигнина. После очистки было получено четыре образца в виде коричневых порошков: СВ-12, СВ-18, СВ-24, СВ-30; цифрой обозначена продолжительность размола древесины в часах.

В табл. 1 приведены данные о выходе образцов СВ, содержаниях в них метоксильных групп [6], лигнина Класона [5], моносахаридов в гидролизате от определения лигнина [4]. С увеличением продолжительности размола исходной древесины сосны выход СВ повышается, а содержание лигнина уменьшается при соответственном увеличении моносахаридов в гидролизатах. Как следует из полученных результатов, СВ состоят, в основном, из лигнина с небольшой примесью полисахаридов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика сопутствующих веществ и лигнина Бьеркмана

Показатели	Численные значения показателей, %, для							
	сопутствующих веществ				лигнина Бьеркмана			
	при продолжительности размола, ч							
	12	18	24	30	12	18	24	30
Выход от исходной древесины	0,62	1,1	1,4	1,9	8,7	9,0	18,4	10,9
Содержание в образце метоксильных групп лигнина Класона	13,97	13,07	15,68	15,40	15,57	15,33
моносахаридов в гидролизате	86,0	80,0	79,0	75,0	92,4	92,7	90,0	89,0
В том числе:	2,82	3,31	3,1	4,5	0,49	Следы	1,53	0,75
галактозы	0,63	0,66	0,50	0,63	0,05	Следы	0,16	0,13
глюкозы	0,46	0,50	0,49	0,56	0,09	—	0,22	0,41
маннозы	0,69	1,0	1,26	1,91	0,07	—	0,39	0,07
арабинозы	0,49	0,50	0,34	0,60	0,17	—	0,53	0,07
ксилозы	0,55	0,65	0,49	0,81	0,11	—	0,23	0,07

Так как СВ выделяли из тех же образцов древесины сосны, что и ранее полученные препараты ЛМР [3], интересно было сопоставить результаты анализов СВ и соответствующих препаратов ЛМР (табл. 1). Сопоставление показало, что сравниваемые образцы близки по компонентному составу, но ЛМР содержит больше лигнина Класона (92,4 и 89% соответственно для 12 и 30 ч размола исходной древесины).

Образцы СВ на 75—86% состоят из лигнина, поэтому интересно сравнить по полидисперсности лигниновую часть СВ с соответствующими лигнинами Бьеркмана.

С этой целью мы использовали метод гель-фильтрации на сефадексе G-75, набухшем в диметилсульфоксиде (ДМСО). Исследовали 1%-ные растворы образцов

СВ и ЛМР в ДМСО в колонке диаметром 15 мм и высотой слоя геля 270 мм [3]. В полученных фракциях содержание лигнина определяли на спектрофотометре СФ-4 при длине волны 280 нм. На рис. 1 представлены кривые гель-фильтрации для образцов СВ (график А) и ЛМР (график В). Для удобства сравнения на обоих графиках площади под кривыми приведены к площади 50 см².

Сравнивая кривые на рис. 1, отмечаем, что образцы ЛМР по сравнению с СВ состоят, в основном, из более однородного вещества, так как форма кривых представляет собой острый пик с максимумом, соответствующим объему элюирования около 30 мл.

Для кривых лигнина СВ характерна пологая форма. Максимум пика сдвинут в область высокомолекулярных фракций (примерно соответствует объему элюирования 27 мл). Следовательно, лигнин СВ представляет собой полидисперсное вещество, менее однородное по фракционному составу, чем ЛМР.

На графиках А и В были условно выделены высоко-, средне- и низкомолекулярные фракции (I, II и III) и для каждой фракции рассчитана площадь под соответствующей частью кривой гель-фильтрации. (Для установления границ фракций объем элюирования делили на три равные части). Доля каждой фракции была рассчитана по отношению ко всей площади под кривой гель-фильтрации образца.

Данные расчетов приведены в табл. 2, из которой видно, что для лигнина СВ характерна значительная доля высокомолекулярных фракций (в среднем 30%) и среднемолекулярных (в среднем 50%).

Таблица 2

Сравнительная характеристика полидисперсности образцов СВ и ЛМР

Фракция	Содержание фракции, %, для образцов							
	СВ-12	СВ-18	СВ-24	СВ-30	ЛМР-12	ЛМР-18	ЛМР-24	ЛМР-30
Высокомолекулярная (I)	26,5	33,6	30,1	34,0	30,4	20,0	16,0	9,1
Среднемолекулярная (II)	61,4	48,7	54,7	52,0	47,0	60,0	70,0	76,0
Низкомолекулярная (III)	12,1	17,7	15,2	14,0	22,6	20,0	14,0	14,9

В составе образцов лигнина Бьеркмана более половины среднемолекулярных фракций, причем количество этих фракций растет с уве-

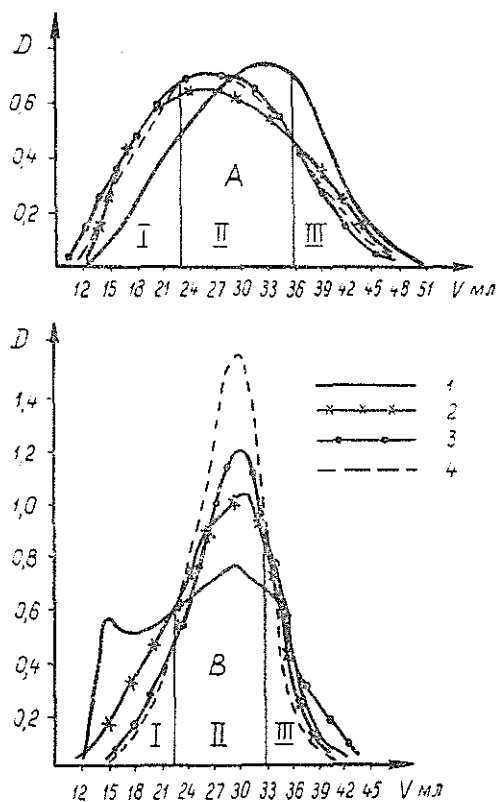


Рис. 1.

1 — при продолжительности размола 12 ч; 2 — 18; 3 — 24; 4 — 30 ч.

личением продолжительности размола древесины. При этом доли высоко- и низкомолекулярной фракций соответственно уменьшаются. Следовательно, образцы ЛМР, в основном, состоят из среднемолекулярной фракции, т. е. более однородны, чем лигнины СВ.

В литературе имеется обширный материал по исследованиям ЛУК, выделенного разными методами из различных пород древесины. Но мы не нашли сведений о том, что же представляют собой древесные остатки после извлечения из них лигнина и ЛУК. В данной статье мы представили некоторые результаты анализов древесных остатков в зависимости от продолжительности тонкого размола древесины сосны, из которой нами были выделены образцы лигнина Бьеркмана и ЛУК.

После ступенчатых экстракций полученные древесные остатки отделяли центрифугированием от последнего экстракта, затем в центрифужных стаканчиках промывали один раз небольшим количеством экстрагента и далее водой. Промытые древесные остатки высушивали сначала на воздухе, затем в вакуум-сушильном шкафу над фосфорным ангидридом. После высушивания подсчитывали выход древесных остатков. Затем древесные остатки растирали в агатовой ступке и анализировали на содержание метоксильов, лигнина Класона и углеводов.

Полученные результаты представлены в табл. 3, из данных которой видно, что древесные остатки получены с выходом в среднем 50%. Содержание лигнина в них падает с увеличением продолжительности размола, соответственно уменьшается и количество метоксильных групп. Это понятно, так как с возрастанием длительности размола из древесины извлекаются все большие количества лигнина Бьеркмана и лигноуглеводных комплексов.

Таблица 3

Состав древесных остатков

Показатели	Численные значения показателей, %, при продолжительности размола, ч			
	12	18	24	30
Древесный остаток от исходной древесины	55,8	49,3	46,1	51,2
Содержание в древесном остатке лигнина Класона	21,5	13,0	8,1	6,5
метоксильов	2,75	1,6	1,3	0,88
моносахаридов в гидролизате				
В том числе:				
галактозы	2,2	1,5	2,7	1,5
глюкозы	46,0	65,0	72,0	74,0
маннозы	4,4	3,8	3,5	2,7
арабинозы	1,3	0,9	0,7	0,6
ксилозы	2,0	1,4	1,4	0,7
Моносахаридов (относительные количества)				
В том числе:				
галактозы	4,0	2,0	3,2	1,9
глюкозы	82,0	90,0	90,0	93,0
маннозы	7,4	5,0	4,2	3,4
арабинозы	2,4	1,1	0,9	0,8
ксилозы	3,7	1,9	1,7	0,9

Что касается углеводного состава (табл. 3), то следует сказать, что древесные остатки содержат полисахариды, состоящие из звеньев галактозы, глюкозы, маннозы, арабинозы и ксилозы, причем глюкоза составляет 82—93%.

Таким образом, при извлечении ЛУК из тонко размолотой древесины сосны экстракцией диметилформамидом целлюлоза не переходит

в экстракт, а остается в древесном остатке с небольшим количеством полисахаридов, состоящих из звеньев галактозы, маннозы, арабинозы, ксилозы, причем по мере увеличения продолжительности размола содержание этих углеводов в древесных остатках уменьшается с одновременным повышением содержания глюкозы. Значит, при экстракции извлекаются одновременно гемицеллюлозы и лигнин; это вещество и получило название лигноуглеводного комплекса. Так, нами получены образцы ЛУК, состоящие на 75—80% из гемицеллюлоз и на 20—25% из лигнина [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Богомолов Б. Д., Пивоварова В. А., Бабикова Н. Д. Выделение лигноуглеводных комплексов из древесины сосны. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 2, с. 113—115. [2]. Богомолов Б. Д., Пивоварова В. А. О составе углеводов в различных образцах лигноуглеводных комплексов из древесины сосны. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 3, с. 120—123. [3]. Богомолов Б. Д., Бабикова Н. Д., Пивоварова В. А., Степовая Л. П. Исследование физико-химических свойств лигнина Бьеркмана сосны. — В кн.: Химия и использование лигнина. Рига, «Зинатне», 1974, с. 102—106. [4]. Гелес И. С. Исследование состава сахаров ускоренным бумажно-хроматографическим методом. — «Химическая переработка древесины». Реф. информ., 1967, № 15, с. 10—12. [5]. Оболенская А. В., Щеголев В. П., Аким Г. Л., Аким Э. Л., Коссович Н. Л., Емельянова И. З. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1965, с. 85—86. [6]. Шарков В. И., Куйбина Н. И., Соловьева Ю. П. Количественный химический анализ растительного сырья. М., 1968, с. 13—16. [7]. Björkman A. Studies on Finely Divided Wood. Part I. Extraction of Lignin with Neutral Solvents. — «Svensk Papperstidn.», 1956, h. 59, s. 477—485. [8]. Björkman A. Studies on Finely Divided Wood. Part III. Extraction of Lignin-Carbohydrate Complexes With Neutral Solvents. — «Svensk Papperstidn.», 1957, h. 60, s. 243—251.

Поступила 20 апреля 1977 г.

УДК 676.017

О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Б. П. ЕРЫХОВ, А. П. ПЛОТНИКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Теоретически и экспериментально на модельных образцах и образцах типографской бумаги показано, что величина углового коэффициента зависимости результирующего модуля сдвига от так называемого кажущегося в методе крутильных колебаний может служить объективным количественным параметром неравномерности просвета при отливе целлюлозно-бумажных материалов.

Просвет, характеризующий степень однородности структуры бумаги, оценивают при помощи приборов, основанных на фиксации прохождения через бумажное полотно β -лучей и электромагнитных волн видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов. Для получения количественной и осредненной характеристики просвета требуется весьма трудоемкая обработка данных [1].

В настоящей статье показано, как с помощью метода крутильных колебаний можно получить осредненный количественный критерий неоднородности целлюлозно-бумажного образца более простым способом.

Как известно из нашей работы [2], результирующий модуль сдвига целлюлозно-бумажного образца G определяют по формуле

$$G = \frac{12\pi^2 I L}{b d^3 T^2}, \quad (1)$$

где I — момент инерции системы, совершающей затухающие крутильные колебания;

L , b , d — длина, ширина и толщина образца;

T — период свободных крутильных колебаний.

Величина G представляет собой комбинацию из двух слагаемых

$$G = G_0 + \frac{1}{4} \left(\frac{b}{d} \right)^2 \sigma, \quad (2)$$

здесь G_0 — модуль сдвига самого материала;

$G_k = \frac{1}{4} \left(\frac{b}{d} \right)^2 \sigma$ — кажущийся модуль сдвига, обусловленный измерительным напряжением σ за счет веса коромысла с зажимом в прямом крутильном маятнике.

Естественно, если $G_0 \gg G_k$, то можно не учитывать второго члена в формуле (2) и модуль сдвига рассчитывать по выражению (1).

Рассчитаем вклад в результирующий модуль сдвига G кажущегося модуля сдвига G_k в зависимости от толщины исследуемого образца. Для этого рассмотрим два образца из одного и того же материала (тонкого и блочного) с одинаковой шириной ($b_1 = b_2 = b$), но с различными толщинами ($d_1 < d_2$) при одном и том же измерительном напряжении растяжения ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$). После несложных преобразований получим

$$\frac{G_{k_1}}{G_{k_2}} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = h, \quad (3)$$

где G_{k_1} и G_{k_2} — кажущиеся модули сдвига для тонкого и толстого образцов;

d_1 и d_2 — толщины тонкого и толстого образцов.

Следовательно, если даже эти образцы по толщине отличаются всего лишь в 10 раз, то вклад кажущегося модуля сдвига при любом значении G_0 для тонкого образца в 100 раз больше, чем для толстого. В случае более тонких образцов эта разница может составить от двух до трех порядков.

При исследовании податливых и хрупких образцов целлюлозно-бумажных материалов неучет вклада G_k может привести к значительным ошибкам даже при большей толщине, так как само значение инвариантной характеристики материала G_0 , не зависящей от веса коромысла, может быть достаточно малым. Типичным примером могут служить целлюлозно-бумажные материалы (типа тарного картона или «тетра-пака»), толщина которых сравнительно большая (0,2—0,6 мм).

Формулы (1)—(3) получены в предположении, что целлюлозно-бумажный образец квазизотропный и все его сечения подвержены постоянному растягивающему напряжению σ . На самом деле гетерофазность исследуемых материалов и их неравномерный просвет приводят к тому, что формула (2) приобретает вид

$$G = G_0 + \text{tg } \alpha G, \quad (4)$$

здесь $\operatorname{tg} \alpha$ — угловой коэффициент зависимости $G = f(G_k)$, получаемой экспериментально при вариации измерительных растягивающих напряжений σ , создаваемых дополнительными грузами.

Для изотропного образца $\operatorname{tg} \alpha = 1$ и формула (4) превращается в выражение (2). Инвариантную характеристику материала G_0 получаем путем графической экстраполяции зависимости $G = f(G_k)$ к $\sigma = 0$. Многочисленные испытания различных целлюлозно-бумажных материалов (газетная и типографская бумаги, бумага типа «тетрапак» и др.) показали, что $\operatorname{tg} \alpha$ изменяется в широких пределах (0,5—1,5). Выясним причины этого.

Из уравнения (4) найдем выражение для углового коэффициента

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G - G_0}{\frac{1}{4} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma}. \quad (5)$$

Проанализируем эту формулу. В знаменателе содержится выражение для G_k , в котором σ — расчетное значение измерительной нагрузки на образец в предположении его изотропности. В числителе, по сути дела, находится то же выражение для кажущегося модуля сдвига G_k [формула (2)], определяемого независимым путем по результирующему модулю сдвига G и инвариантной характеристике образца G_0 . Единственный параметр, зависящий от действительной нагрузки на образец, — период колебаний T [уравнение (1)]. Все остальные величины, входящие в формулу (1), при нагружении образца не изменяются.

Исходя из этих соображений, выражение (5) можно переписать в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{1}{4} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma_{\text{эф}}}{\frac{1}{4} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma} = \frac{\sigma_{\text{эф}}}{\sigma} = q, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{эф}}$ — эффективное напряжение, обусловленное неоднородностью структуры образца;

q — безразмерный коэффициент, характеризующий концентрацию напряжений за счет неравномерного просвета в исследуемом материале.

Следовательно, экспериментально определяемая величина углового коэффициента $\operatorname{tg} \alpha$ является интегральной характеристикой неоднородности структуры целлюлозно-бумажного образца. Физический смысл этого коэффициента аналогичен структурно-чувствительному коэффициенту γ , отвечающему за величину перенапряжения в твердых телах по кинетической концепции прочности твердых тел С. Н. Журкова [3]. Если исследуемый образец изотропен, то естественно, $\sigma_{\text{эф}} = \sigma$ и $\operatorname{tg} \alpha = 1$. Покажем, что перераспределение напряжений по сечению образца действительно вызывает изменение тангенса угла наклона зависимости $G = f(G_k)$.

Для упрощения задачи предположим, что перераспределение напряжений происходит только по ширине ленточного образца. Из работы [2] известно, что суммарный возвращающий момент сил M_1 , обусловленных весом коромысла, вычисляют по формуле

$$M_1 = 2 \int_0^{\frac{b}{2}} r dF, \quad (7)$$

а выражение для момента кажущихся упругих сил M_2 для тонкой ленты, в соответствии с решенной в теории упругости задачей, имеет вид

$$M_2 = \frac{1}{3} G_k \frac{\alpha}{L} d^3 b. \quad (8)$$

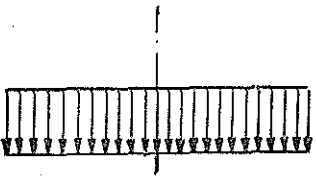

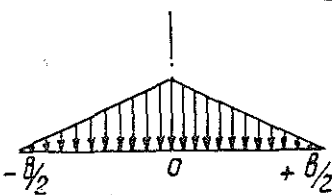
Из равенства выражений (7) и (8) следует, что выражение для кажущегося модуля сдвига G_k при любом распределении напряжений по сечению образца примет вид

$$G_k = \frac{2 \int_0^{\frac{b}{2}} r dF}{\frac{1}{3} \frac{\alpha}{L} d^3 b}, \quad (9)$$

где α — угол поворота нижнего сечения образца.

В табл. 1 приведены рассчитанные значения для возвращающего момента M_1 , кажущегося модуля сдвига G_k и углового коэффициента α при трех случаях распределения напряжения в образце.

Таблица 1

Вид распределения напряжения по сечению образца	M_1 по формуле (7)	G_k по формуле (9)	$\text{tg } \alpha$ по формуле (6)
	$\frac{1}{12} \frac{Pb^2}{L} \alpha$	$\frac{1}{4} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma_{\text{эф}}$	1
	$\frac{1}{8} \frac{Pb^2}{L} \alpha$	$\frac{3}{8} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma_{\text{эф}}$	1,5
	$\frac{1}{24} \frac{Pb^2}{L} \alpha$	$\frac{1}{8} \left(\frac{b}{d}\right)^2 \sigma_{\text{эф}}$	0,5


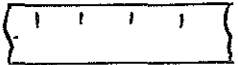


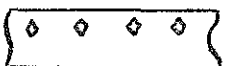

Примечание. P — вес коромысла.

Перераспределение напряжений вызывает изменение тангенса угла наклона примерно в тех же пределах, какие дает эксперимент.

Поскольку бумага — мозаичный материал, в ней всегда возникает перераспределение напряжений, обусловленное формированием ее структуры при отливе. Отсюда следует вывод, что чем больше отклонение значения тангенса от единицы, тем больше неоднородность структуры образца.

Для проверки указанного вывода были испытаны образцы различных материалов: резиновой и полиэтиленовой пленок, бумаги. Пленку брали в качестве материалов, наиболее близких к изотропным. Для резинового образца длиной 10 см, шириной 2 см и толщиной 0,093 см получили $G_0 = 0,34 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ и $\text{tg } \alpha = 0,92$ (значение, близкое к единице). Эксперименты с полиэтиленовой пленкой проводили следующим образом: сначала испытывали бездефектный образец (длиной 15 см, шириной 2,5 см и толщиной $6,5 \cdot 10^{-3}$ см), затем, с целью создания неоднородности распределения напряжений, на образец наносили разрезы длиной 0,5 см через каждые 1,5 см. В другом варианте сравнивали результаты испытаний бездефектного исходного образца и того же образца с бумажными наклейками в виде квадратиков размером $0,5 \times 0,5$ см через каждые 1,5 см.

Таблица 2

Номер опыта	Вид дефекта	Расположение дефектов	$G_0 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$	$\text{tg } \alpha$
1	Бездефектный образец		2	0,91
	Поперечные разрезы		2	0,95
	Дополнительные разрезы		2	1,03
2	Бездефектный образец		2	0,84
	Наклейки		2	0,84
	Дополнительные наклейки		13	0,75

Результаты испытаний приведены в табл. 2, из которой видно, что при создании искусственных дефектов тангенс угла наклона прямой $G = f(G_0)$ изменяется и, следовательно, он может характеризовать неоднородность структуры образца.

Аналогичные эксперименты проведены с типографской бумагой. И в этом случае нарушение структуры ведет к изменению тангенса угла наклона прямой.

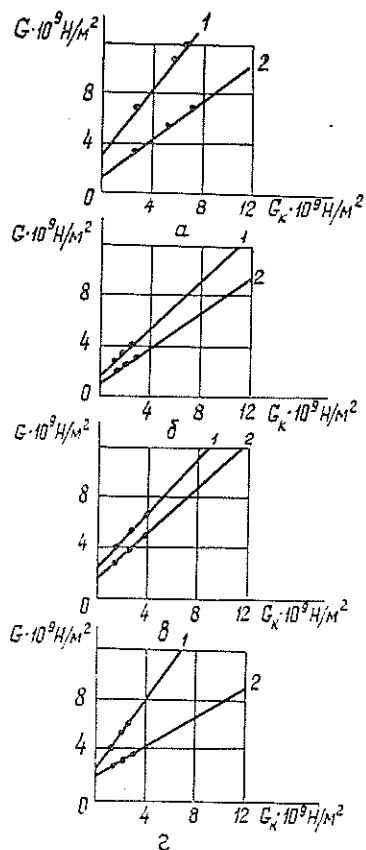


Рис. 1.

а — бумага высокого качества; б — хорошая; в — средняя; г — плохая; 1 и 2 — соответственно для машинного и поперечного направлений БДМ.

Приведем результаты испытаний четырех образцов бумаги различного качества, представленной научно-исследовательской лабораторией Сыктывкарского ЛПК. Первый образец был взят из бумаги заведомо высокого качества, остальные были разделены визуально на «хорошую», «среднюю» и «плохую». Хорошая и средняя бумаги мало отличались друг от друга, плохая являлась явным браком: имела крайне неравномерный просвет с крупными хлопьями.

Зависимости $G = f(G_k)$ для каждого исследуемого образца представлены на рис. 1, из которого видно, что наибольший модуль сдвига G_0 и наименьшие отклонения тангенса от единицы имеет бумага высокого качества. Окончательная оценка второго и третьего образцов по модулю сдвига и по отклонению $\text{tg } \alpha$ не совпадала с визуальной. У плохой бумаги получены наименьшие значения динамического модуля сдвига и наибольшие отклонения $\text{tg } \alpha$ от единицы. Проведенные затем механические испытания стандартными методами подтвердили выводы, сделанные по испытаниям методом крутильных колебаний, а именно: та бумага, которая имеет больший модуль сдвига и меньшие отклонения тангенса от единицы, имеет больший разрывной груз и большую разрывную длину (табл. 3).

Таким образом, теоретически и экспериментально нами показано, что величина углового коэффициента зависимости $G = f(G_k)$ и его

Таблица 3

Предварительная визуальная оценка бумаги	$G_0 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$	$\text{tg } \alpha$	Разрывной груз P , кгс	Разрывная длина X , м	Окончательная оценка бумаги
Высококачественная	3,5	1,1	3,60	3360	Высококачественная
	1,5	0,74	1,65	1625	
Хорошая	1,8	0,72	2,85	3045	Средняя
	1,3	0,56	1,95	2020	
Средняя	2,4	1,20	3,20	3200	Хорошая
	1,6	0,98	1,85	1840	
Плохая	1,7	1,5	3,80	3800	Плохая
	1,5	0,70	1,35	1240	

Примечание. В числителе величины для машинного (продольного) направления; в знаменателе — для поперечного.

отклонение от единицы в методе крутильных колебаний — характеристика неоднородности структуры целлюлозно-бумажных материалов и, следовательно, величина этого коэффициента может служить мерой их неизотропности. Физический смысл коэффициента обусловлен формированием структуры при отливе; этот коэффициент характеризует концентрацию напряжений за счет неравномерного просвета в исследуемом материале.

Гауссовская кривая распределения угловых коэффициентов или их гистограмма для данного отбора может являться количественным критерием культуры производства и воспроизводимости изготовления целлюлозно-бумажных материалов при изменении исходного сырья и других технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вайсман Л. М. Структура бумаги и методы ее контроля. М., «Лесная промышленность», 1973, 150 с. [2]. Ерыхов Б. П., Фляте Д. М. Применение метода крутильных колебаний для определения упругих характеристик бумаги. В кн.: Вопросы долговечности документа. М.—Л., «Наука», 1973, с. 77—81. [3]. Регель В. Р., Слущер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., «Наука», 1974, с. 130—134.

Поступила 28 декабря 1976 г.

УДК 547.458.81 : 546.171.1/4

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПУТЕМ ЕЕ ОБРАБОТКИ ЖИДКИМ АММИАКОМ

В. И. ШАРКОВ, В. А. КАЛАШЕВ

Ленинградская лесотехническая академия, ВНПОбумпром

Установлено, что при применении в качестве инклюдированного агента хлороформа и дихлорэтана значительно повышается реакционная способность целлюлозы, набухшей в жидком аммиаке, к процессу гетерогенного ацетилирования.

Известно, что при получении эфиров целлюлозы большое значение имеет скорость реакции этерификации, которая в значительной степени зависит от доступности целлюлозы к проникновению этерифицирующего агента и размеров ее внутренней поверхности. Поэтому для быстрого и полного протекания реакции целлюлозу предварительно активируют.

Исследователями предложено большое количество активаторов — химических соединений различных классов. Так, при обработке целлюлозы первичными моно-, ди-, триаминами размеры элементарной ячейки волокна изменяются, что обусловлено изменением межплоскостных расстояний [2, 3]. Эти изменения увеличиваются с удлинением цепи амина. Но высшие первичные амины не вызывают непосредственного набухания целлюлозного волокна. Наиболее глубокие нарушения в структуре целлюлозы происходят под действием этиламина, этилендиамина. Конечная структура целлюлозного волокна после взаимодействия с аминами в значительной степени зависит от растворителя, примененного для удаления амина. С этой целью можно использовать различные неводные растворители низкой полярности, такие как хлоро-

форм, гексан и другие. При такой обработке ослабление межмолекулярного взаимодействия в структуре активированной аминами целлюлозы приводит к значительному повышению ее реакционной способности.

Представляет интерес изучить действие жидкого безводного аммиака на структуру целлюлозы. В работе [1] показано, что при обработке целлюлозы жидким аммиаком в зависимости от условий могут быть получены различные модификации, одна из которых — целлюлоза III. Кларк и Паркер [6], обрабатывая целлюлозу жидким аммиаком в течение одного часа, обнаружили трехкратное увеличение толщины волокна рами. Исследуя действие жидкого аммиака на волокна хлопковой целлюлозы, М. Левин и Л. Ролдан [4] показали, что проникновение его во вторичную стенку хлопкового волокна происходит не только вдоль концентрических колец, как в случае с водой, но также радиально поперек колец. В результате проникновения молекулы аммиака в кристаллиты расстояние между цепями в структуре целлюлозной решетки значительно увеличивается.

В. И. Шарков с сотрудниками [5], изучая реакционную способность целлюлозы, набухшей в жидком аммиаке и инклюдированной хлороформом, нашли почти трехкратное увеличение количества рыхлой фракции в условиях этанолиза.

Цель настоящей работы — изучить изменение надмолекулярной структуры целлюлозы в результате обработки ее жидким безводным аммиаком, а также возможность повышения реакционной способности к процессам этерификации методом инклюдирования набухшей в аммиаке целлюлозы хлорированными производными метана и этана.

В качестве исходного сырья использовали еловую блененую сульфитную целлюлозу Приозерского целлюлозного завода. Для характеристики реакционной способности целлюлозы, подвергшейся обработке, использовали реакцию гетерогенного ацетилирования в среде, состоящей из 25% уксусного ангидрида и 75% бензола, в присутствии катализатора — хлорной кислоты; количество хлорной кислоты было постоянным и равным 0,5% от веса сухой целлюлозы.

Для характеристики структуры целлюлозных волокон нами был использован метод рентгенографии; рыхлую фракцию определяли методом этанолиза. Навеску целлюлозы обрабатывали жидким аммиаком при температуре -35°C в течение одного часа, модуль обработки 1:15; после этого целлюлозу сушили при 105°C . Высушенную целлюлозу ацетилировали при $+45^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Целлюлоза	Количество связанной уксусной кислоты после 16-часового ацетилирования, %	Содержание рыхлой фракции, %
Исходная сульфитная	29,6	14,6
Обработанная жидким аммиаком	38,9	18,3
Обработанная жидким аммиаком с отмывкой аммиака хлороформом	61,6	51,9
То же с отмывкой дихлорэтаном	58,4	48,1

Характеристики образцов исходной древесной целлюлозы и обработанной жидким аммиаком представлены в табл. 1, из данных которой видно, что обработка целлюлозы аммиаком не улучшает ее реакционной способности. Содержание рыхлой фракции при этанолизе и

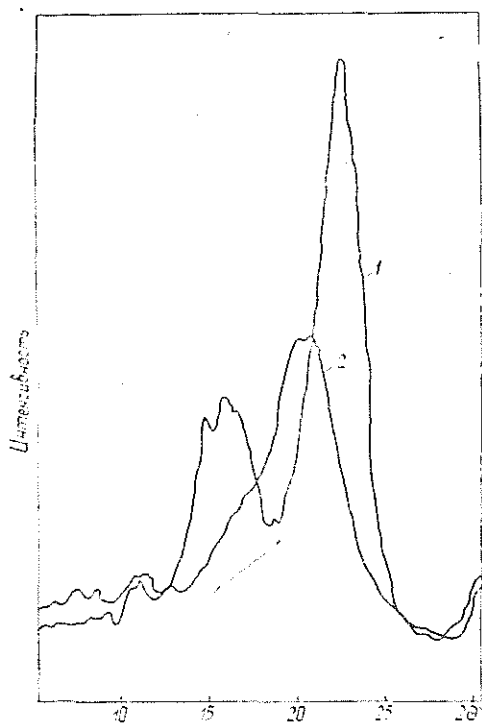


Рис. 1. Диаграммы образцов сульфитной целлюлозы.

1 — исходной; 2 — обработанной жидким аммиаком.

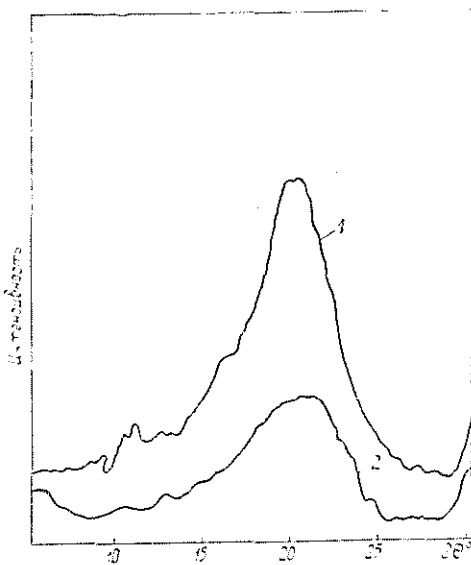


Рис. 2. Диаграммы образцов сульфитной целлюлозы.

1 — обработанной жидким аммиаком; 2 — обработанной жидким аммиаком с последующим инклюдированием хлороформом.

количество связанной уксусной кислоты (то есть количество замещенных гидроксильных групп в молекуле целлюлозы, определенное после ацетилирования) изменяются незначительно.

На рис. 1 представлены диаграммы образцов целлюлозы исходной и обработанной жидким аммиаком. В результате обработки только жидким аммиаком с последующей сушкой изменяется структура волокна. Происходит сдвиг рефлекса 002 с угла 2θ , равного $22,4^\circ$, на $2\theta = 19^\circ$, т. е. переход структурной модификации целлюлозы I в целлюлозу III.

Незначительное уменьшение интенсивности рефлекса 002 говорит о том, что в процессе сушки целлюлозы, обработанной жидким аммиаком, кристаллическая решетка уплотняется. Этим, по-видимому, можно объяснить небольшое увеличение скорости проникновения этерифицирующего агента в структуру волокна.

Иной эффект наблюдается, если агент набухания, в данном случае жидкий аммиак, отмыть каким-либо органическим растворителем. При такой обработке резко увеличивается количество рыхлой фракции при этанолизе и улучшается доступность образца целлюлозы к проникновению этерифицирующего агента; как следствие этого возрастает скорость ацетилирования (табл. 1).

Рентгенографические данные (рис. 2) показывают, что для целлюлозных образцов, набухших в безводном аммиаке и в дальнейшем про-

мытых хлороформом, характерна глубокая аморфизация продукта; содержание рыхлой фракции достигает 52%.

Следовательно, реакционная способность целлюлозы, набухшей в жидком аммиаке, значительно повышается при применении в качестве инклюдированных агентов хлороформа и дихлорэтана.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аким Э. Л., Перепечкин Л. П. Целлюлоза для ацетилирования и ацетаты целлюлозы. М., «Лесная промышленность», 1971. [2]. Кленкова Н. И., Кулакова О. Н., Матвеева Н. А., Волкова Л. А., Цимари Н. Д. Действие метиламина в различных средах на структуру и реакционную способность хлопковых волокон. — ЖПХ, 1965, 38, 1077. [3]. Кленкова Н. И. Пути активации целлюлозы и повышение ее реакционной способности в процессах глубокой химической модификации. Дис. на соиск. учен. степени докт. хим. наук. Л., АН СССР ИВС, 1966. [4]. Левин М., Ролдан Л. Влияние жидкого безводного аммония на структуру и морфологию хлопковой целлюлозы. — J. Polymer Sci Part C, 1971, No. 36, pp. 213—229. [5]. Шарков В. И., Дмитриева О. А., Потапова Н. П. Инклюдирование целлюлозы, набухшей в жидком аммиаке. — ЖПХ, 1961, 34, 1133. [6]. Clark G. L., Parker E. A. — J. Phys. Chem., 1937, 41, 777.

Поступила 9 августа 1976 г.

УДК 674.815-41

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИГНИНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

Т. В. СУХАЯ, Л. П. ПИУНОВСКАЯ, А. А. ЛЕОНОВИЧ

Белорусский технологический институт
Ленинградская лесотехническая академия

Изучены изменения изолированных препаратов лигнина и лигноуглеводного комплекса Браунелла в условиях производства древесноволокнистых плит мокрым способом. Изменения носят конденсационный характер и коррелируют с потерей растворимости препаратов в водном диоксане и снижением выхода альдегидов при щелочном нитробензольном окислении.

В процессах производства древесноволокнистых плит (ДВП) размягчение лигнина и его внутри- и межмолекулярные перегруппировки играют существенную роль. Эти превращения могут быть оценены термомеханическим методом, который был применен к исследованию механизма образования ДВП [4, 5]. На примере сернокислотного лигнина были показаны его изменения при горячем прессовании [6]. В настоящей работе поставлена задача изучить лигнин на стадиях технологического процесса с использованием изолированного препарата, близкого нативному. Наряду с лигнином был проанализирован лигноуглеводный комплекс (ЛУК).

Объектом исследования служила древесина березы (*Betula verrucosa* Ehrh.) как наиболее перспективное сырье из лиственных пород. Лигнин и ЛУК выделяли по методике Браунелла [10]. Препараты лигнина и ЛУК Браунелла близки по свойствам препаратам Бьеркмана, но более просты по технике выделения и очистки [2, с. 43]. Характеристика исходных препаратов приведена в табл. 1.

Термомеханические кривые (ТМ-кривые) снимали на модифицированном приборе «весы Каргина» [3]. Анализировали порошкообразный препарат. Условия снятия ТМ-кривых: нагрузка индикатора 10кПа, скорость монотонного нагрева 1,5 град/мин.

Таблица 1

Препарат	Содержание, %			Растворимость в 10%-ном водном диоксиде, %
	лигнина	суммарное углеводов	метоксильных групп	
Лигнин Браунелла	88,0	12,0	20,6	100,0
ЛУК Браунелла	47,2	52,8	13,9	48,8

интервал температуры 20—240°C. Значения деформации приведены в единицах прибора*.

Щелочное нитробензольное окисление препаратов проводили по методике, описанной в работе [7]. Для хроматографического разделения использовали метод Стоуна и Бланделла [12].

Препараты лигнина и ЛУК обрабатывали в условиях, имитирующих процесс изготовления древесноволокнистых плит мокрым способом. Исходные препараты I увлажняли до 40%-ной влажности и обрабатывали насыщенным паром при температуре 160°C в течение 120 с (препараты II). Препараты II, имеющие нейтральную реакцию, подкисляли H_2SO_4 до $pH = 4,5$ и прессовали по графику, характерному для производства плит, при температуре 180°C, максимальном давлении 5,5 МПа, продолжительности 450 с (препараты III). Препараты IV получали путем термооб-

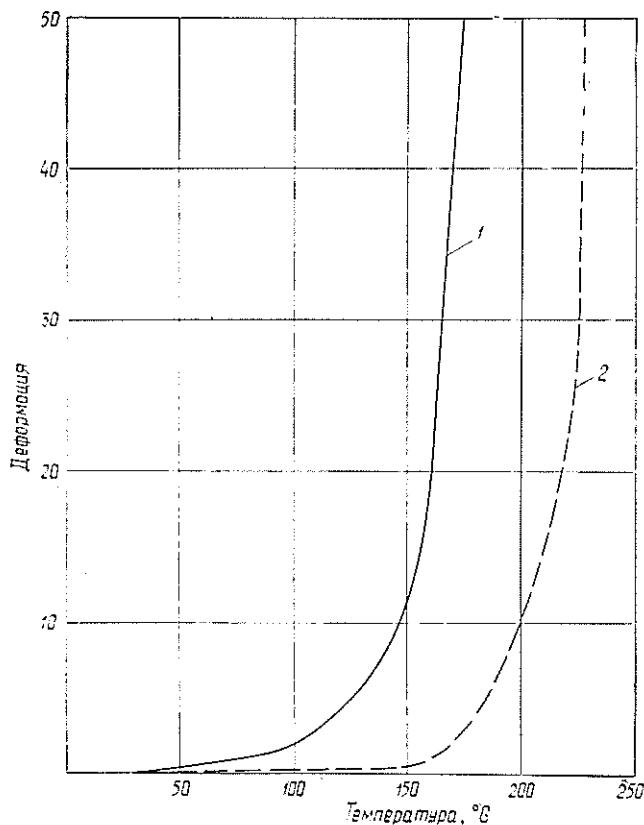


Рис. 1. Изменение температуры размягчения лигнина.

1 — исходного; 2 — предварительно нагретого до 165°C.

* В снятии ТМ-кривых принимала участие С. А. Карымова.

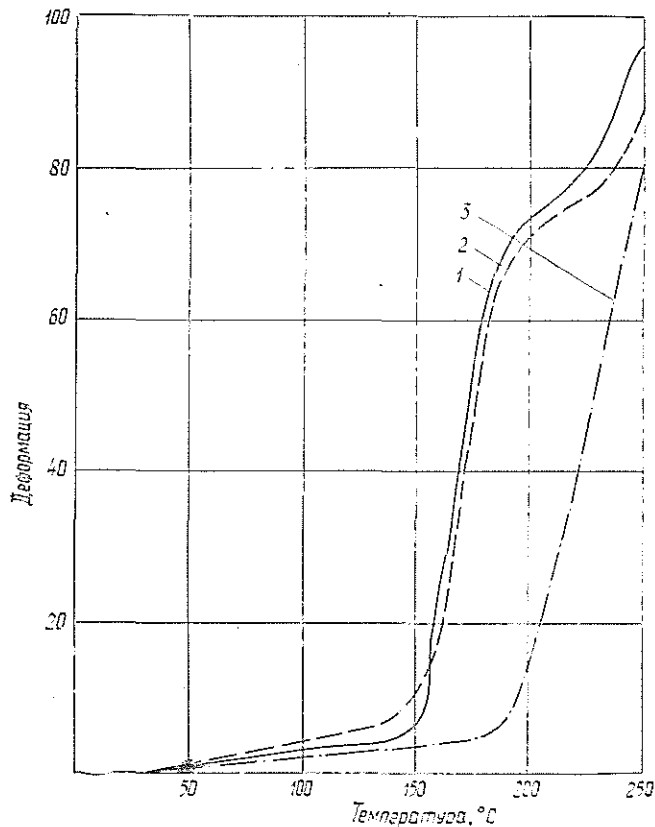


Рис. 2. Термомеханические кривые лигнина, обработанного по схеме изготовления древесноволокнистых плит.
1 — после пропарки; 2 — после прессования; 3 — после термообработки.

работки препаратов III при температуре 160°C в течение 180 мин. Перед исследованием препараты кондиционировали до влажности 6—8%.

На рис. 1 и 2 представлены ТМ-кривые препаратов лигнина. Общий ход ТМ-кривых отражает в начальной стадии некоторое снижение упругих характеристик препаратов вследствие возрастания теплового движения. По достижении определенной температуры свойства препаратов существенно изменяются. В соответствии со сложившимися в области исследований полимеров представлениями [1] этими изменениями определяется переход, полагая, что ему соответствуют изменения в структуре материала.

Из рис. 1 и 2 видно, что переход для лигнина, отражающий размягчение препарата, наблюдается при температуре $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Это значение близко согласуется с данными Горинга, полученными с использованием методики, основанной на определении температуры спекания [11]. Последующие пропарка, прессование и термообработка сдвигают температуру перехода в область повышенных значений. Данные изменения некоторых свойств препаратов лигнина на стадиях изготовления ДВП представлены в табл. 2.

Из приведенных данных следует, что на стадиях изготовления древесноволокнистых плит лигнина претерпевает изменения, снижающие

Таблица 2

Препарат	Температура размягчения, °С	Содержание лигнина в препарате, %	Суммарное содержание углеводов, %	Растворимость в 10 %-ном водном диоксане, %	Выход альдегидов щелочного нитробензольного окисления, %	
					суммарный	по отношению к лигнину
I	140	88,0	—	100	22,1	25,0
	160	47,2	52,8	—	13,5	29,0
II	145	90,0	—	84,6	20,4	22,6
	180	49,4	50,6	—	12,2	24,9
III	150	91,3	—	51,5	14,1	16,0
	185	50,7	49,3	—	8,0	15,9
IV	185	92,0	—	5,3	12,9	14,0
	170	50,9	49,1	—	7,2	14,1

Примечание. В числителе данные для лигнина; в знаменателе — для ЛУК.

его способность к размягчению. Это происходит вследствие возникновения новых химических связей и образования конденсированных структур, что подтверждается данными по потере растворимости исследованных препаратов в 10 %-ном водном диоксане: лигнин I растворяется полностью, а последующая обработка снижает растворимость. Наиболее существенное снижение ее происходит в результате термообработки.

Прямым доказательством течения конденсации лигнина с образованием новых углерод-углеродных связей служит снижение выхода ароматических альдегидов при щелочном нитробензольном окислении [8, 9]. Применение данного метода к анализу препаратов I, II, III и IV показало, что суммарный выход ванилина и сиреневого альдегида уменьшается по мере обработки с 22,1 до 12,9%. Такое значительное изменение этой величины указывает на глубокую конденсацию лигнина на стадии термообработки.

Нагрев образцов до температуры выше 160—170°C приводит к существенной перестройке структуры размягченного лигнина. В диапазоне 190—220°C на ТМ-кривых препаратов лигнина II и III (кривые 1 и 2, рис. 2) наблюдается плато, которое принято относить к процессу структурирования полимеров и которое в данном случае отражает активное протекание конденсационных процессов в полном соответствии с химическими данными. Если конденсирование лигнина произошло до термомеханического анализа, в частности при термообработке, то на ТМ-кривой (рис. 2, кривая 3) плато отсутствует, так же как и отсутствует размягчение в области температур 140—160°C. В этом случае переход реализуется при температуре ~ 185°C. По всей вероятности, данный переход, как и второй температурный переход у препаратов лигнина II и III, отвечает размягчению одноптичных структур, возникающих, в первом случае, в условиях термообработки, а во втором, в условиях термомеханического анализа.

Из данных ТМ-анализа следует, что определяющим в протекании конденсации лигнина в условиях изготовления плит является тепловое воздействие, тогда как пропарка и подкисление менее существенно изменяют его деформируемость при термомеханическом анализе. Основное изменение деформируемости обусловлено термообработкой: ход кривой 2 на рис. 1 практически совпадает с ходом кривой 3 на рис. 2,

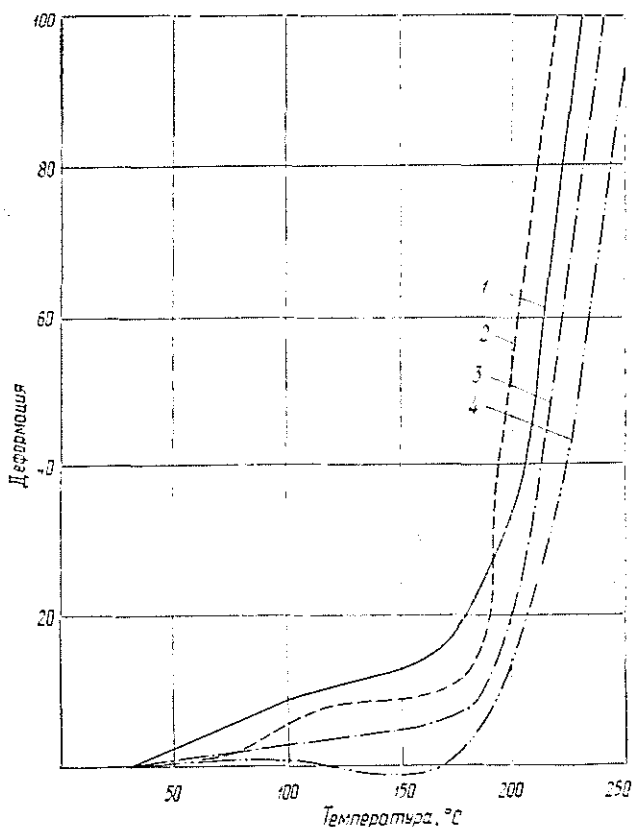


Рис. 3. Термомеханические кривые лигноуглеводного комплекса, обработанного по схеме изготовления древесноволокнистых плит.

1 — исходного; 2 — после пропарки; 3 — после прессования;
4 — после термообработки.

несмотря на то, что последняя кривая характеризует поведение препарата, подвергнувшегося более сложной обработке. Совпадение значений температуры размягчения препаратов (около 185°C) согласуется с потерей растворимости в водном диоксане препарата IV (табл. 2) и термообработанного препарата I, растворимость которого составила 8,1%.

Как видно из рис. 3, температура размягчения ЛУК сдвигается вправо по сравнению с соответствующими значениями температуры для препаратов лигнина. Это свидетельствует о большей устойчивости ЛУК к тепловому размягчению. В табл. 2 приведены также данные изменения некоторых свойств препаратов ЛУК на стадиях изготовления ДВП, которые показывают, что ЛУК II размягчается при более высокой температуре, чем ЛУК I. При дальнейшем нагревании это изменение становится неоднозначным и может быть следствием разнонаправленного характера превращений ЛУК на стадиях производства древесноволокнистых плит. В этом отличие ЛУК от лигнина, где повышение устойчивости к размягчению можно было объяснить однозначно — конденсацией. Сравнение данных по суммарному выходу альдегидов при щелочном нитробензольном окислении лигнина и ЛУК показывает, что лигнин в ЛУК подвергается конденсации на последних

стадиях изготовления плит в такой же степени, как и изолированный лигнин. Некоторое различие в содержании альдегидов в соответствующих препаратах ЛУК и лигнина — вероятно, следствие наличия в них разных структурных фрагментов лигнина, обладающих различной реакционной способностью к щелочному нитробензольному окислению.

Химические изменения ЛУК в процессе теплового воздействия находят отражение в снижении содержания углеводов и повышении количества веществ, определяемых как лигнин Класона. Однако последнее не отражается на ТМ-кривых препаратов в отличие от изолированного лигнина. Ход ТМ-кривых ЛУК, по всей вероятности, определяется углеводной его составляющей, так же как размягчение древесного волокна в значительной степени связано с температурным переходом целлюлозы [6]. Изменение характера ТМ-кривой ЛУК IV можно связать с деструкцией углеводов, для которой в процессе производства плит имеются все необходимые условия.

В заключение следует отметить, что температура выхода на плато при термомеханическом анализе лигнина коррелирует с номинальной температурой прессования древесноволокнистых плит, которая составляет 190°C. Меньшее, но продолжительное тепловое воздействие также обеспечивает протекание конденсации лигнина и в производственных условиях реализуется на стадии термообработки плит. С этой точки зрения, нецелесообразно исключать операцию термообработки (закалки) из технологического процесса изготовления ДВП без добавления связующих.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бойер Р. Ф. Переходы и релаксационные явления в полимерах. Сборник статей. Пер. с англ. Под ред. А. Р. Малкина. М., «Мир», 1968. 384 с.
- [2]. Грушников О. П., Елкин В. В. Достижения и проблемы химии лигнина. М., «Наука», 1973, с. 43. [3]. Дворкина Л. С., Сосновцев В. М., Пересторин А. И. Модификация прибора «весы Каргина». — В сб.: Машини и технология переработки полимеров. Л., 1969, с. 124—128. [4]. Леонович А. А., Бровкина В. И. Влияние температуры горячего прессования на эффективность закалки древесноволокнистых плит. — «Механическая обработка древесины», 1971, № 10, с. 12—13. [5]. Леонович А. А. Изучение свойств дефибраторного волокна при нагревании. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1972, № 5, с. 143—147. [6]. Леонович А. А. Применение термомеханического метода к изучению свойств древесного волокна. — Химическая и механическая переработка древесины и древесных отходов. Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 2. Л., 1976, с. 74—79. [7]. Милешкевич Я. Г., Резников В. М., Сенько И. В. Микрометод определения продуктов нитробензольного окисления лигнина лиственной древесины. В сб.: Химия древесины. Вып. 6. Рига. «Зинатне», 1970, с. 115—119. [8]. Милешкевич Я. Г. Исследование лигнина тополя и его превращений в кислой среде. Дис. на соиск. учен. степени канд. хим. наук. Рига, 1976. [9]. Сенько И. В. Исследование структурных изменений лигнина в процессе кислотной инактивации. Дис. на соиск. учен. степени канд. хим. наук. Рига, 1971. [10]. Brownell H. H. Droc. Can. Wood chem. Symp. 1963, pp. 99—103. [11]. Goring I. D. A. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. — «Pulp and Paper Magazines of Canada», 1963, vol. 64, pp. 517—527. [12]. Stone I. E., Blundell M. I. Rapid Micromethod for Alkaline nitrobenzene Oxidation of Lignin and Determination of Aldehydes. — «Anal. Chem.», 1951, v. 23, No. 5—6, pp. 771—774.

Поступила 10 мая 1977 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 634.0.36:519

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ
МНОГООПЕРАЦИОННЫХ МАШИН

И. В. ТУРЛАЙ, А. С. ФЕДОРЕНЧИК

Белорусский технологический институт

Предложен метод исследования функционирования многооперационных лесозаготовительных машин, проведен анализ целесообразности совмещения в машинах различного числа операций.

Поиск наиболее эффективных средств механизации лесосечных работ продолжается ускоренным темпом. При этом значительное место уделяется вопросу установления оптимального сочетания различных операций в лесозаготовительных машинах.

Проанализируем работу многооперационной лесозаготовительной машины с целью разработки математической модели ее функционирования и нахождения некоторых рациональных параметров.

Предположим, что цикл работы многооперационной машины можно разбить на n «элементарных циклов»: захват дерева, срезание, отрыв от пня и т. д. На основании наблюдений за работой ЛП-2 в Бобруйском опытном леспромхозе установлено, что время цикла работы распределено по закону Эрланга с параметром $k = n$.

Рассмотрим формализованную схему работы многооперационной машины, состоящей из n фаз. Каждая фаза характеризуется индивидуальным временем обработки дерева с параметрами соответственно $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$. Математические ожидания продолжительности элементарных циклов равны $\frac{1}{\mu_1}, \frac{1}{\mu_2}, \dots, \frac{1}{\mu_n}$.

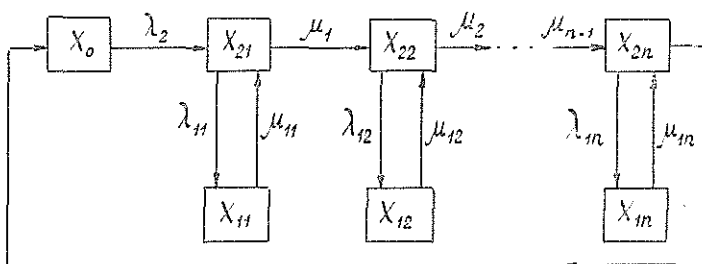


Рис. 1. Схема состояний многооперационной машины.

Функционирование многооперационной машины с учетом формализованной схемы опишем системой дифференциальных уравнений, которые получены на основании схемы рис. 1. На этом рисунке обозначено:

X_0 — свободное состояние машины;

$X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$ — состояния обработки дерева соответственно во время первого, второго и так далее элементарных циклов;

$X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$ — состояния отказов, наступивших в период первого, второго и так далее элементарных циклов.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= \mu_n P_{2n} - \lambda_2 P_0; \\ \frac{dP_{21}}{dt} &= \lambda_2 P_0 - (\lambda_{11} + \mu_1) P_{21} + \mu_{11} P_{11}; \\ \frac{dP_{22}}{dt} &= \mu_{12} P_{12} - (\lambda_{12} + \mu_2) P_{22} + \mu_1 P_{21}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{2n}}{dt} &= \mu_{1n} P_{1n} - (\lambda_{1n} + \mu_n) P_{2n} + \mu_{n-1} P_{2; n-1}; \\ \frac{dP_{11}}{dt} &= \lambda_{11} P_{21} - \mu_{11} P_{11}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dP_{1n}}{dt} &= \lambda_{1n} P_{2n} - \mu_{1n} P_{1n}. \end{aligned} \right.$$

Характеристики P_{ij}, P_0 имеют смысл вероятностей состояний, записанных выше с соответствующими индексами i, j для X .

$$i \in \{1, 2\}; \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}.$$

Нормировочное условие

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n P_{ij} + P_0 = 1.$$

Начальные условия для решения системы (машина исправна и свободна): $t = 0; P_0 = 1; P_{ij} = 0$.

Параметры функционирования:

$\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{1n}$ — интенсивность восстановления работоспособности машины соответственно для первого, второго и так далее элементарных циклов;

$\lambda_{11}, \lambda_{12}, \dots, \lambda_{1n}$ — интенсивность отказов машины в период первого, второго и так далее элементарных циклов;

λ_2 — интенсивность поступления деревьев на обработку.

Указанные параметры определяют как величины, обратные математическим ожиданиям.

Для машин ЛП-2, ЛП-19 можно выделить четыре элементарных цикла: наводка рычагов и зажим дерева; срезание; перенос; укладка дерева и разжатие рычагов. Тогда система дифференциальных уравнений для указанных состояний примет вид

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= \mu_4 P_{24} - \lambda_2 P_0; \\ \frac{dP_{21}}{dt} &= \lambda_2 P_0 - (\lambda_{11} + \mu_1) P_{21} + \mu_{11} P_{11}; \\ \frac{dP_{22}}{dt} &= \mu_{12} P_{12} - (\lambda_{12} + \mu_2) P_{22} + \mu_1 P_{21}; \\ \frac{dP_{23}}{dt} &= \mu_{13} P_{13} - (\lambda_{13} + \mu_3) P_{23} + \mu_2 P_{22}; \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_{24}}{dt} &= \mu_{14} P_{14} - (\lambda_{14} + \mu_4) P_{24} + \mu_3 P_{23}; \\ \frac{dP_{11}}{dt} &= \lambda_{11} P_{21} - \mu_{11} P_{11}; \\ \frac{dP_{12}}{dt} &= \lambda_{12} P_{22} - \mu_{12} P_{12}; \\ \frac{dP_{13}}{dt} &= \lambda_{13} P_{23} - \mu_{13} P_{13}; \\ \frac{dP_{14}}{dt} &= \lambda_{14} P_{24} - \mu_{14} P_{14}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Параметры P_{ij} и P_0 в общем случае зависят от времени t ;

$$i \in \{1, 2\}; \quad j \in \{1, 2, 3, 4\};$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 P_{ij} + P_0 = 1.$$

Для случая, когда параметры $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ соизмеримы (что действительно имеет место на практике*), принимаем их одинаковыми, т. е. $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$. Кроме того, при анализе работы функционирующей машины (исключены периоды ввода в эксплуатацию) полагаем характеристики стационарными.

Решение системы (1) даст следующее:

$$P_{21} = P_{22} = P_{23} = P_{24} = \frac{1}{H}, \quad (2)$$

где

$$H = 4 + \frac{4\mu}{\lambda_2} + \frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}} + \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} + \frac{\lambda_{13}}{\mu_{13}} + \frac{\lambda_{14}}{\mu_{14}}; \quad (3)$$

$$P_{11} = \frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}} \cdot \frac{1}{H}; \quad P_{12} = \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} \cdot \frac{1}{H};$$

$$P_{13} = \frac{\lambda_{13}}{\mu_{13}} \cdot \frac{1}{H}; \quad P_{14} = \frac{\lambda_{14}}{\mu_{14}} \cdot \frac{1}{H}.$$

Производительность машины

$$\Pi = \mu P_p, \quad (4)$$

где $P_{24} = P_p$ — вероятность успешного окончания и укладки одного дерева.

Переходя к общему случаю с n операциями, имеем

$$P_p = \frac{1}{n + n \frac{\mu}{\lambda_2} + \frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}} + \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} + \dots + \frac{\lambda_{1n}}{\mu_{1n}}}. \quad (5)$$

Проанализируем выражение (4) с учетом уравнения (5). Следует отметить, что $\frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}}, \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}}, \dots, \frac{\lambda_{1n}}{\mu_{1n}} < 1$ и для действующих машин в сумме не превышают 0,3. Число элементарных циклов всегда целое и ≥ 1 , отношение $\frac{\mu}{\lambda_2} \geq 1$, причем

* Перфилов М. А. Многооперационные лесосечные машины. М., «Лесная промышленность», 1974.

$$\lim_{n \rightarrow 1} \frac{\mu}{\lambda_2} \rightarrow 1.$$

Для увеличения параметра P_p и, как следствие, возрастания производительности машины необходимо:

а) уменьшить отношения $\frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}}, \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}}, \dots, \frac{\lambda_{1n}}{\mu_{1n}}$ за счет повышения надежности машины ($\lambda_{11}, \lambda_{12}, \dots, \lambda_{1n} \rightarrow 0$) либо за счет улучшения ее техобслуживания (рост $\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{1n}$);

б) сократить общий цикл работы машины и отдельно каждый элементарный цикл (уменьшить μ);

в) уменьшить общее число элементарных циклов ($\lim n \rightarrow 1$).

Обозначив сумму

$$\frac{\lambda_{11}}{\mu_{11}} + \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} + \dots + \frac{\lambda_{1n}}{\mu_{1n}} = \rho_1$$

получим выражение (5) в виде

$$P_p = \frac{1}{n + n \frac{\mu}{\lambda_2} + \rho_1}. \quad (6)$$

При фиксированных параметрах μ_n и λ_2 $P_p = f(n, \rho_1)$. Для всех $n \geq 1$ и $1 > \rho_1 \geq 0$ это гладкая поверхность (рис. 2).

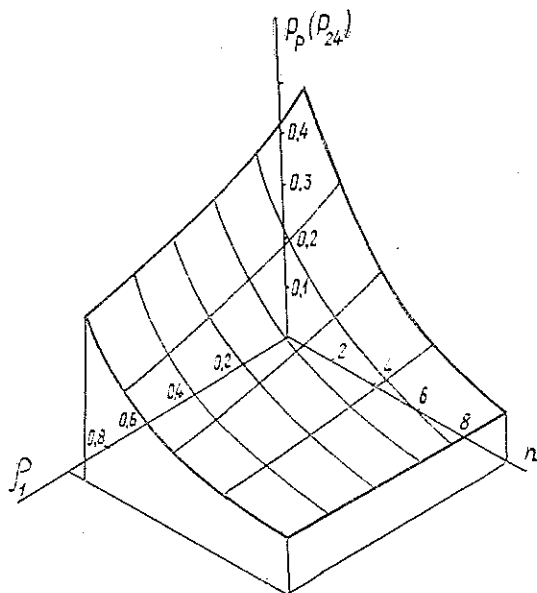


Рис. 2. Зависимость величины вероятности работы многооперационной машины от параметров ρ_1, n .

Анализ показал, что P_p имеет наибольшее значение при $n = 1$ и $\rho_1 = 0$. Так как величина ρ_1 имеет большую степень малости, чем n ($n \gg \rho_1$), то функция P_p чувствительна практически только к изменениям характеристики n , т. е. числа элементарных циклов. Так, из

рис. 2 следует, что если машина выполняет одну операцию ($n = 1$), то $P_p = 0,53$ при $\rho_1 = 0$. В случае увеличения n до 2 $P_p = 0,42$ и до 3 $P_p = 0,20$. Начиная с $n = 3$ убывание существенно замедляется и на каждое единичное увеличение n оно составляет 0,033, т. е. основное падение величины вероятности успешного окончания рабочего цикла приходится на интервал $n \{1, 3\}$.

Проведенный анализ разработанной модели функционирования многооперационной машины позволяет сделать вывод, что подобные машины имеют наилучший показатель вероятности успешного завершения рабочего цикла (повал дерева) при $n = 1$. Эта вероятность снижается на 0,20 при возрастании n до 2 и на 0,33, если число циклов достигает 3. Следовательно, с точки зрения использования возможностей по производительности предпочтительнее одно- и двухоперационные машины.

Поступила 5 апреля 1976 г.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 634.0.31/36.004.17

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗМЕРА ВЫБИТИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ

Е. С. РОМАНОВ

Архангельский лесотехнический институт

Предлагается в период, предшествующий ликвидации предприятия, не рассчитывать мощности обычным путем, а устанавливать планомерный режим их снижения, в соответствии с которым выводить из предприятия средства производства.

В лесозаготовительной промышленности происходит практически непрерывное выбытие производственных мощностей. Оно выражается в двух формах: полное выбытие (ликвидация) и частичное, или снижение мощности.

Полное выбытие заключается в том, что предприятие закрывают, либо в нем прекращают лесозаготовки. Частичное выбытие обычно предшествует полному и обусловлено истощением запасов леса, резким и необратимым ухудшением условий лесозаготовки и др. В обоих случаях требуется с достаточной точностью определять размер выбытия.

Это необходимо для планирования объемов производства и капитального строительства (точнее, ввода новых мощностей), для чего используют специальные балансы производственных мощностей. Баланс представляет собой алгебраическую сумму наличной мощности, ее прироста и уменьшения.

Ранее [5] мы отмечали, что все эти показатели должны быть качественно однородны и количественно соизмеримы и что на практике эти требования не выдерживаются.

Особенно неблагоприятно обстоит дело с определением величины выбытия мощности. По этому вопросу имеется лишь краткая инструкция [1]. В ней перечислены ситуации, в которых мощность лесозаготовительного предприятия считается полностью выбывшей, но нет ни слова о том, как установить размер выбытия. Об определении частичного выбытия мощности вообще нет никаких указаний.

Такое положение не случайно. Определить размер выбытия мощности намного сложнее, чем ее наличие или величину ввода. Требование соизмеримости всех элементов баланса мощности: ввода, наличия, выбытия не сводится к тому, чтобы они выражались в одних и тех же единицах. На лесозаготовках все названные показатели мощности измеряются в кубометрах вывезенной древесины, но чтобы получить их, необходимо выполнить ряд условий.

Известно, что лесозаготовительное производство включает, как правило, три стадии (фазы): лесосечные работы, лесотранспорт, нижескладские процессы. Вводом мощности считается сдача в эксплуатацию всего этого комплекса, а размер ввода выражается его проектной мощностью [2].

Наличную производственную мощность действующего предприятия определяют с учетом количества и производительности оборудования на

трелевке, вывозке, раскряжевке и сортировке леса, класса и состояния основных сооружений — лесовозных дорог и, наконец, наличия производственных площадей на нижних складах*.

Будем называть эти сооружения, оборудование и площади носителями производственной мощности лесозаготовительного предприятия. В момент, когда предприятие должно быть закрыто (или, по крайней мере, прекращены лесозаготовки), носители мощности в большинстве случаев еще дееспособны. Если часть из них приходит в ветхость, то другие еще могут быть использованы; вероятность одновременного полного износа столь разнородных объектов ничтожна.

Из рассмотрения можно сразу исключить все оборудование, особенно самоходное. Его можно быстро пополнить или, наоборот, вывести; с переводом в другое место его производственная мощность не утрачивается. Таким образом, производственная мощность оборудования не может служить для определения величины выбытия мощности, а само оборудование не является носителем выбывшей мощности. Из однородности (гомогенности) понятий выбытия и наличия мощностей [4] следует, что мощность оборудования не может считаться решающим фактором и при установлении величины наличной мощности; оборудование, следовательно, не является главным носителем наличной мощности на лесозаготовках.

Производственные площади нижних складов также не могут служить для расчета величины выбытия мощности, но уже по совершенно противоположной причине: они попросту не выбывают, не уменьшаются с истощением запасов леса. Пропускная способность производственных площадей — стабильная характеристика мощности, и поэтому сами эти площади должны выступать как один из главных носителей наличной мощности. Это положение несколько не противоречит и представлениям о выбытии мощности: в самом деле, если площади отчуждаются, например, под застройку, затопление и т. п., то и мощность соответственно ликвидируется или уменьшается. Но в условиях наиболее распространенной причины выбытия мощности лесозаготовительных предприятий — сокращения и исчерпания запасов леса — производственные площади нижних складов никак не характеризуют выбытия мощности.

Остается последний фактор мощности — обеспеченность лесовозными дорогами. Но именно в нем в наибольшей степени отражается процесс выбытия, старения мощности. Действительно, с истощением запасов леса все труднее поддерживать дорожную сеть на том уровне, чтобы к построенным путям тяготело все то же количество древесины: удлиняются транзитные участки, в эксплуатацию вовлекаются недорубы, осваиваются площади, прежде считавшиеся неэксплуатационными, и т. д.

Пополнять парк дорожно-строительных машин в этих условиях нецелесообразно, и даже при сохранении объема дорожно-строительных работ на прежнем уровне мощность по наличию путей, выражаемая в кубометрах тяготеющего к ним запаса, снижается. Здесь уместно отметить, что величина остатка ликвидного запаса сырьевой базы сама по себе не может служить для точного количественного суждения о выбытии мощности. Если, к примеру, по дороге вывозят 100 тыс. м³ в год, то остаток ликвида 400—500 и даже 200 тыс. м³ лишь свидетель-

* На практике определяют еще показатель мощности по жилфонду. При всей спорности этого показателя (мы считаем его не мощностью, а ограничением использования мощности), он также определяется по наличию площадей.

ствует о приближении конца эксплуатации, но не дает никаких расчетных придержек.

Итак, объективным носителем мощности лесозаготовительного предприятия в стадии ее выбытия, а следовательно (в силу принципа однородности [4]), и одним из главных носителей наличной мощности (в фазе ее «расцвета») является мощность по обеспеченности лесовозными дорогами.

Однако в стадии выбытия предприятия расчеты этого показателя довольно затруднительны, правильность их трудно проверить (данные об остатках запаса редко бывают точными). Поэтому более плодотворным представляется диаметрально противоположный подход: не из фактического, как правило, расстроенного состояния факторов мощности близкого к выбытию предприятия, выводить ее (мощности) величину, а управлять ею, устанавливая и проводя в жизнь режим планомерного снижения мощности.

На практике за 5—8 лет до полного исчерпания запаса, а зачастую и намного раньше, начинают снижать объемы вывозки, но это делается совершенно произвольно, без каких-либо обоснований. Наше предложение принципиально иное:

1) обосновать длительность периода выбытия данной мощности, установить ограничение минимального объема производства в последнем году эксплуатации и, увязав эти величины со значением остатка ликвида в сырьевой базе и наличной мощностью, составить программу выбытия (снижения) мощности;

2) утвердить эту программу в плановом порядке, после чего ее показатели для каждого года становятся мощностями для этого года, а их уменьшение покажет размер выбытия (выше мы назвали его частичным); мощность последнего года по этой программе будет той величиной, которую надлежит записать в акте на ликвидацию предприятия (мощности);

3) в соответствии с программой осуществить планомерный вывод из предприятия производственного и дорожно-строительного оборудования, что превратит уменьшающуюся плановую мощность в убывающую реально. Соответственно можно выводить и рабочую силу и уменьшать другие ресурсы.

Таким образом, системное рассмотрение вопроса о факторах выбытия производственной мощности лесозаготовительного предприятия привело нас к упрощенной представлений о главных факторах наличной мощности [3] и к идее управления процессом выбытия. Приемы обоснования и расчета программы снижения мощности также в основном ясны, но не уместаются в рамках данной статьи.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1]. Временная инструкция по определению выбытия производственных мощностей по вывозке древесины, 1967 (Минлеспром СССР). [2]. Методические указания по определению в технических проектах лесозаготовительных предприятий мощности и состава пусковых комплексов. Л., 1971 (Гипролестранс. Автор — О. С. Блянов). [3]. Романов Е. С. Основные фонды и производственные мощности леспромпхозов. М., «Лесная промышленность», 1974. [4]. Романов Е. С. Производственная мощность как объект системного анализа. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 5, с. 136—139. [5]. Тезисы докладов семинара «Пути повышения эффективности основных фондов, производственных мощностей и новой техники на лесозаготовках». Архангельск, 1975, с. 30—31.

Поступила 12 декабря 1977 г.

УДК 630*.651

**К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПЕРЕДВИЖНЫХ СУЧКОРЕЗНЫХ МАШИН**

В. П. ФЕФЕЛОВ, Ю. И. ДЕМИНЦЕВ

Уральский лесотехнический институт

На примере предприятий Сведлеспрома рассматривается экономическая эффективность работы сучкорезных машин СМ-2 (ЛО-72) при разных технологических схемах по сравнению с обрубкой вручную. Эффективность рассматривается по показателям трудоемкости и себестоимости 1 м³.

Для механизации обрезки сучьев в объединении Свердловском с 1970 г. стали применять передвижные сучкорезные машины СМ-2, а с 1974 г. — ЛО-72. Кафедра экономики и организации производства Уральского лесотехнического института совместно с объединением Свердловском исследовали фактическую эффективность работы сучкорезных машин в Красноуфимском ЛПХ по двум показателям: затратам труда в человеко-днях на 1000 м³ и себестоимости вывезенной древесины. Учитывали затраты от валки леса до вывозки древесины на нижний склад. Затраты на нижнескладские работы были одинаковы для всех технологических схем, поэтому их не рассматривали. В течение анализируемого периода сучкорезные машины работали по двум технологическим схемам:

1) находились в лесу на погрузочных площадках и входили в состав комплексных лесосечных бригад по одной машине в бригаде;

2) группы из 2—5 машин располагались на промежуточной площадке (промплощадке) у трассы лесовозной дороги в нескольких километрах от лесосеки.

Сводные показатели работы сучкорезных машин по этим схемам даны в табл. 1.

Таблица 1

Номер схемы	Вид обрубки	Объем, м ³	Обрабо- вано машинно- смен	Выработка в машинно- смену, м ³	Трудозатраты на 1000 м ³ , чел.-дн.			Себестоим- ность, р./м ³
					основ- ных рабочих	вспомога- тельных рабочих	всего	
1	СМ-2	15 790	17,2	92	128	130,9	258,0	7,0
	Вручную	46 338	—	—	155	122,0	277,0	6,16
2	Отклонение				-27	+8	-19	+0,84
	СМ-2	89 975	758	119	141	149,2	290,2	6,43
	Вручную	106 800	—	—	159	128,0	287,0	5,42
	Отклонение				-18	+21,2	+3,2	+1,01

Полученные данные позволяют оценить работу сучкорезных машин в сравнении с обрубкой вручную, а также дать сравнительную оценку разных технологических схем.

Из табл. 1 видно, что по обеим схемам трудозатраты при обрубке сучьев машинами в сравнении с обрубкой вручную по основным

работам снизились, а по подготовительно-вспомогательным возросли. Общие трудозатраты при схеме 1 снизились, а при схеме 2 возросли. Себестоимость при обрубке сучьев машинами в обоих случаях оказалась выше, чем при обрубке вручную. В состав основных работ включены погрузка деревьев с кроной, разгрузка и штабелевка их на промплощадке.

Таблица 2

Вид подготовительно-вспомогательных работ	Трудозатраты на 1000 м ³ , чел.-дн.	
	Схема 1	Схема 2
Расчистка площадки и установка сучкорезных машин	0,6	2,6
Уборка отходов от машин и выравнивание деревьев	0,8	4,7
Перевозка машин на новые площадки, охрана их в ночное время, подогрев воды	2,1	3,2
Ремонтно-профилактические работы	2,4	3,2
Прочие работы (освоение машин, учет—приемка хлыстов, освещение места работы)	2,1	5,5
Итого	8,0	21,2

Из табл. 2 видно, что устройство по схеме 2 специальных площадок и организация работы сучкорезных машин на них вызвали больший рост подготовительно-вспомогательных работ, чем по схеме 1.

При сравнении работы сучкорезных машин по двум схемам (табл. 1) видно, что по схеме 2 возросли также и трудозатраты по основным работам на 13 чел.-дн. при одновременном росте выработки на 27 м³ за машино-смену. Этот противоречивый, на первый взгляд, факт объясняется тем, что при работе по схеме 2 потребовались дополнительные основные затраты в размере 24,5 чел.-дн. на 1000 м³. Состав их оказался следующим: погрузка деревьев с кроной на лесосеке на лесовозный транспорт — 6,3; подвозка деревьев к промплощадке — 12,6; разгрузка и штабелевка деревьев с кроной и хлыстов на промплощадке — 5,6 чел.-дн.

Приведенные данные говорят о низкой, в целом, эффективности работы сучкорезных машин. Применение их, как и всяких новых механизмов, снижает трудозатраты по основным работам, но, как правило, увеличивает их по подготовительно-вспомогательным. В этих условиях, чтобы работа сучкорезных машин была эффективной по показателю трудозатрат, необходим такой рост выработки на машино-смену, который перекрывал бы рост трудозатрат по подготовительно-вспомогательным работам. В исследуемом случае рост выработки на машино-смену хотя и наблюдался, но оказался недостаточным.

Исследования показали наличие значительных резервов увеличения выработки в смену. По различным причинам организационного характера (несвоевременный ремонт машин, отсутствие запаса деревьев около них, низкая квалификация операторов) внутрисменные потери составляли 30—70% рабочего времени. Наиболее важная причина — отсутствие запаса деревьев перед сучкорезной машиной. При работе машин в лесу в составе лесосечных бригад (схема 1) эта причина оказалась определяющей. Она возникла потому, что в условиях

пересеченной местности погрузочные площадки в лесу были небольшими по размерам и это не позволяло создавать запаса деревьев на них. При работе машин на промплощадке (схема 2) размеры ее позволяют создавать нужные запасы деревьев. Кроме того, более оперативным становится ремонт машин, так как их обслуживает специальная бригада слесарей, находящихся постоянно на промплощадке. Это сразу сказалось на росте сменной выработки (на 30%). Однако отсутствие и здесь постоянного запаса деревьев и другие причины сдержали возможный рост выработки на смену. В отдельные периоды при удовлетворительной организации работ по схеме 2 выработка в машиносмену повышалась значительно, и это сразу давало хорошие экономические результаты. Так, в I квартале при работе на промплощадке четырьмя сучкорезными машинами обрубил 38 616 м³ леса, выработка составила в среднем 150 м³ на машиносмену. При этом удельные трудозатраты на 1000 м³ по сравнению с обрубкой вручную снизились на 19 чел.-дн. В марте средняя выработка на машиносмену составила 167 м³, при этом удельные трудозатраты снизились на 26 чел.-дн., а производственная себестоимость 1 м³ — на 9 к. по сравнению с обрубкой вручную. В отдельные смены выработка достигала 250—300 м³. Одновременно на промплощадке был организован сбор хвойной лапки для дальнейшей переработки.

На основании изложенного можно сделать вывод, что технически возможная производительность сучкорезных машин СМ-2 (ЛО-72) достаточно высока, но используется далеко не полностью, вследствие чего экономическая эффективность работы остается низкой. Основные причины слабого использования технических возможностей сучкорезных машин организационные, из них главная — отсутствие постоянного запаса деревьев с кроной перед машиной.

Поступила 17 ноября 1977 г.

УДК 629.114.003.13

УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ЭНЕРГИИ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

М. Ю. МАРУШКЕЙ, А. А. ОХОТНИКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Рассмотрены показатели, характеризующие удельную стоимость энергии, вырабатываемой трелевочными тракторами за ресурс, и проведен анализ этих показателей для тракторов Онежского и Алтайского тракторных заводов.

Удельная стоимость массы машины α_m , характеризующая ее металлоемкость и стоимость, ресурс T , отражающий надежность, и удельная номинальная мощность $N_{уд.н}$, характеризующая уровень энергоснабженности, — важные показатели эффективности лесотранспортных машин.

Для оценки сравнительной эффективности трелевочных тракторов проведен анализ на примере машин, выпускаемых Онежским и Алтайским тракторными заводами (табл. 1).

Рассмотрим изменение массы, мощности и удельной стоимости лесотранспортных машин по маркам и заводам (рис. 1). Показатели для тракторов ТДТ-40 и ТДТ-60 принимаем за 100%.

Таблица 1

Завод-изготовитель	Марка машины	Масса (вес) т	Стоимость машины, р.	Ресурс, ч	Мощность двигателя, л. с. (кВт)	Удельная стоимость энергии, р./т
ОТЗ	ТДТ-40	6,5	3000	4000	45 (33,1)	461,54
	ТДТ-40М	6,5	3600	4000	50 (36,8)	553,69
	ТДТ-55	8,2	5400	4000	62 (45,6)	658,54
	ТДТ-55А	8,7	6000	4000	75 (55,2)	689,66
АТЗ	ТДТ-60	9,8	3900	4000	60 (44,1)	397,96
	ТДТ-75	10,0	5740	4000	75 (55,2)	521,64
	ТТ-4	12,5	8000	4000	110 (80,9)	640,00

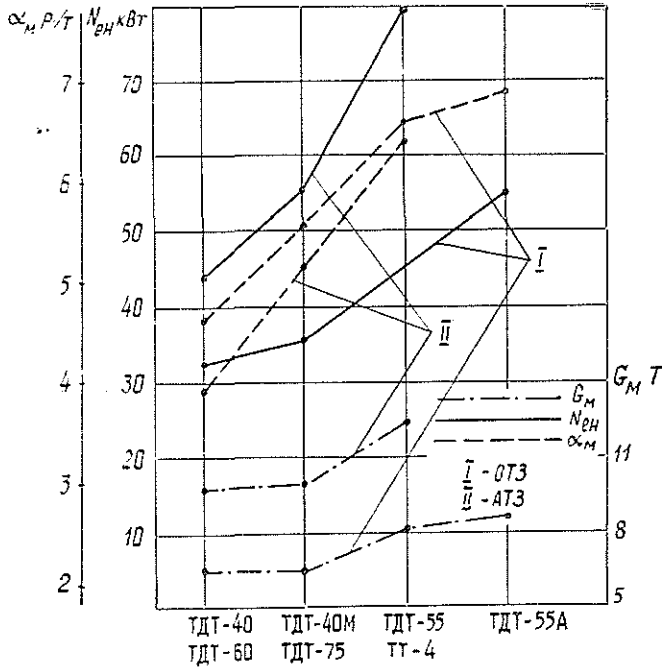


Рис. 1. График изменения массы G_M , номинальной мощности $N_{ен}$ и удельной стоимости массы α_M тракторов.

Процентное изменение основных показателей представлено в табл. 2.

Для сравнения энергонасыщенности и удельной стоимости лесотранспортных машин воспользуемся коэффициентом удельной стоимости энергии, вырабатываемой машинами за ресурс (β) [2, 3],

$$\beta = \frac{\alpha_M}{TN_{уд.н}}$$

Таблица 2

Показатели	Завод-изготовитель	Увеличение показателей, %
Масса	ОТЗ	33,8
	АТЗ	27,6
Мощность	ОТЗ	66,7
	АТЗ	45,5
Удельная стоимость	ОТЗ	49,4
	АТЗ	60,8

где α_M — удельная стоимость массы машины, р./т;
 T — ресурс машины, ч;
 $N_{уд.н} = \frac{N_{ен}}{G_M}$ — номинальная удельная мощность, кВт/т;
 $N_{ен}$ — номинальная мощность двигателя, кВт;
 G_M — масса машины, т.

Данные расчетов приведены в табл. 3, а характер изменения расчетных величин показан на рис. 2, из которых видно, что у тракторов

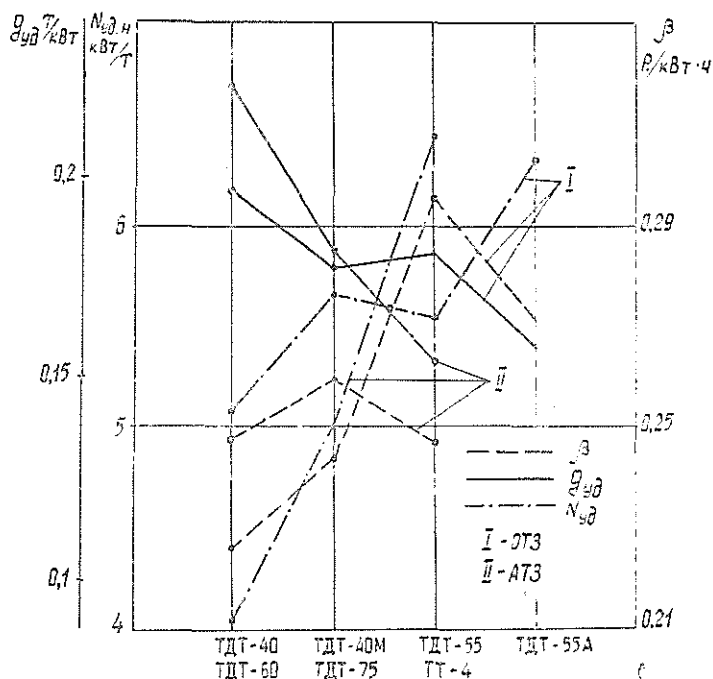


Рис. 2. График изменения удельной номинальной мощности $N_{уд.н}$, удельного веса $g_{уд}$ и удельной стоимости энергии β тракторов.

ОТЗ удельный вес уменьшается менее интенсивно, чем у тракторов АТЗ, а удельная номинальная мощность последних растет быстрее. Это говорит о том [1], что среди тракторов одинакового технологического назначения лучшие показатели пока у тракторов АТЗ. Однако с выпуском трактора ТДТ-55А они почти сравнялись с показателями ТТ-4.

Таблица 3

Завод-изготовитель	Марка машины	Удельный вес, т/кВт	Удельная номинальная мощность, кВт/т	Удельная энергия за ресурс, кВт · ч/т	Удельная стоимость энергии за ресурс, р./кВт · ч
ОТЗ	ТДТ-40	0,196	5,09	20 368,0	0,02266
	ТДТ-40М	0,177	5,66	22 630,8	0,02446
	ТДТ-55	0,180	5,56	22 244,4	0,02960
	ТДТ-55А	0,158	6,34	25 362,1	0,02719
АТЗ	ТДТ-60	0,222	4,01	16 047,2	0,02479
	ТДТ-75	0,181	5,01	20 059,2	0,02600
	ТТ-4	0,154	6,47	25 889,6	0,02472

Удельная стоимость энергии, вырабатываемой машинами, у последних марок тракторов снижается на 8,1% у ТДТ-55А по сравнению с ТДТ-55 и на 4,9% у ТТ-4 по сравнению с ТДТ-75. Можно сказать, что с точки зрения энергонасыщенности трактор ТДТ-55 был неудачной разработкой.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1]. Прохоров В. Б. Основы производственной эксплуатации лесозаготовительных машин. Л., ВЗЛТИ, 1960. [2]. Прохоров В. Б. Эксплуатация лесозаготовительных машин. Л., ЛТА, 1977. [3]. Прохоров В. Б., Бадмаева С. Д. Анализ себестоимости работ лесозаготовительного производства. — Межвуз. сб. научн. тр.: Машины и орудия для механизации лесозаготовок. Вып. 5. Л., ЛТА, 1976, с. 56—58.

Поступила 10 ноября 1977 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 627.532.5/6 : 551.481.2

ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ БОЛОТ
НА СТОК И ВОДНОЕ ПИТАНИЕ РЕК

Б. В. БАБИКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Многолетнее изучение элементов водного баланса осушенных болот, сформировавшихся на ленточных глинах, показало, что после осушения сток с болот увеличивается. Модули стока возрастают с повышением степени осушения и в течение всего года остаются выше, чем в реке. Следовательно, осушение болот, сформировавшихся на слабопроницаемых почвах северо-запада, благоприятно сказывается на водном питании рек.

Осушение лесных земель — мощное средство повышения продуктивности лесов. Целесообразность осушения избыточно увлажненных земель доказана многолетней практикой ведения лесного хозяйства на осушенных землях. На избыточно увлажненных землях, занятых древостоями V—Va классов биогенета с запасом древесины в возрасте спелости 50—60 м³ на 1 га, после осушения запасы древостоев достигают 400—500 м³ на 1 га. Известно много примеров высокой эффективности осушения лесных земель и нет необходимости рассматривать их в данной статье. Высокая результативность гидромелиорации лесных земель привела к значительному увеличению объемов осушения. В настоящее время в нашей стране ежегодно осушается свыше 300 тыс. га таких земель. Объектами осушения являются земли разных категорий, в том числе и лесные болота, на долю которых приходится в среднем около 25—35%, а в отдельных районах до 50% гидроресурсного фонда. Из известных типов болот — верхового, переходного и низинного — в целях лесного хозяйства в европейской части нашей страны к осушению назначаются в основном болота переходные и частично верховые, покрытые лесом. Болота низинного типа могут после осушения дать наивысший эффект, но их целесообразно осушать для сельскохозяйственного освоения.

Увеличение объемов осушительных работ на лесных болотах получило в печати и негативное освещение, когда предполагается, без экспериментального подтверждения, возможность отрицательного влияния осушения на водный режим окружающих территорий и водное питание рек.

Дискуссия о роли болотных ландшафтов страны в формировании водного режима рек имеет давнюю историю. Один исследователи считали болота накопителями влаги и регуляторами стока, другие — в основном потребителями воды. Согласно данным Е. В. Оплокова [6], «болота подобно лесам являются наибольшими испарителями влаги в природе, а... не отдают ее для меженного стока рек». Не отмечает регулирующей роли болот и В. Д. Лопатин [5].

Оценивая роль болот в водном питании рек, следует учитывать характер образования и возраст болот и рек. Вероятно, большинство рек образовалось раньше, чем болота. В. В. Докучаев [3] отмечал, что формирование большей части речных долин происходило за счет соединения протоками озерных систем. Озера после образования речных долин являлись первоначальными источниками водного питания рек. Следовательно, истоками многих рек в начальном периоде их существования служили озера. С течением времени происходило постепенное зарастание озер и формирование на их месте болот [7]. Поэтому большинство рек равнинной части страны в современную эпоху вытекает из болот, бывших когда-то озерами. Однако болото — специфическое формирование. Болотная растительность, появившаяся в озерах, в процессе развития оказывает отрицательное влияние на расход воды, уменьшая сток. Сокращение зеркала водной поверхности снижает испарение, а появившаяся растительность увеличивает транспирацию. После окончательного зарастания озера и формирования вместо него болота значительно снижается внутриболотная фильтрация воды. Известно, что основная масса воды в болотах находится в межклеточных растении, часть воды осмотически связана. Поэтому в развитых

болотных массивах, состоящих по объему на 90—98% из воды, сток воды очень незначителен. Исследования В. Д. Лопатина [5] и К. Е. Иванова [4] показали, что перемещение воды на болотах происходит в основном в верхнем деятельном относительно маломощном — 20—30 см — горизонте. Остальная масса воды в болотах практически неподвижна.

Для движения воды в болотах необходимы определенные уклоны. Экспериментально нами установлено, что на осушенном верховом болоте начало стока воды по болотным водотокам (осушительным каналам) начиналось при уклонах грунтовых вод 0,0020—0,0022. По-видимому, эти уклоны можно принять в качестве градиента начала стока воды с болот. Уклоны поверхности большей части болот значительно меньше, поэтому не может происходить и сток с болот, кроме периодов весеннего снеготаяния, когда наблюдается активное передвижение воды по поверхности мерзлой почвы, или периодов многоводных лет, когда при полной насыщенности болот водой верховодка выходит на поверхность. Следовательно, оценивая роль болот в бассейнах рек, можно отметить, что они в основном аккумулируют воду, отдавая ее в реки только в короткие периоды весеннего половодья и при длительных ливневых дождях преимущественно в осенний период.

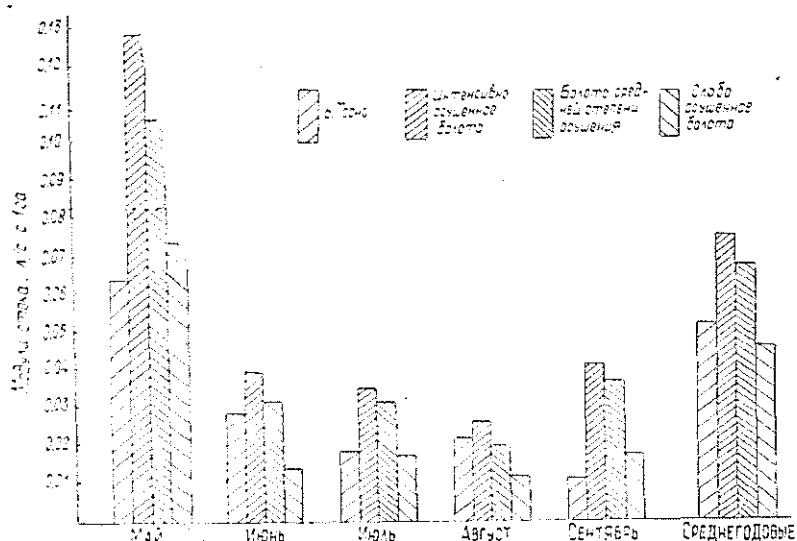


Рис. 1.

При осушении увеличивается насыщенность болот водотоками (осушительными каналами). Повышаются уклоны грунтовых вод в сторону каналов вследствие формирования кривых депрессии уровней грунтовых вод. Это способствует увеличению скорости движения грунтовых вод. По нашим наблюдениям за стоком на осушенных болотах установлено, что скорости движения грунтовых вод в приканавных зонах достигают 11—15 см в сутки, снижаясь до 0,3—4,6 см на участках, удаленных более 30—50 м от каналов. Возрастание скорости движения грунтовой воды с увеличением степени осушения болот приводит к усилению стока воды с болот в реки. На рис. 1 приведены средние многолетние модули стока в р. Тосно и в каналах осушительной сети на верховом болоте, занятом сосняком IV—V классов бонитета при разной степени осушения. Расстояния между каналами были приняты равными: 65 м — интенсивное осушение, 130 м — среднее и 205 м — слабое. Глубина каналов на всех объектах составляла около 1 м. Ранее [1, 2] нами была приведена более подробная характеристика опытных участков и методика исследований. На рисунке видно, что при сильной и средней степени осушения сток на болотах в течение почти всего периода вегетации оказывается выше, чем в реке. При слабом осушении повышенные по сравнению с рекой модули стока наблюдаются только в многоводные периоды — после весеннего паводка в мае и при увеличении осадков в сентябре. Исследования стока на болотах с разной степенью осушения не дают основания считать болота особенно важным источником водного питания рек. Сопоставляя среднегодовые модули стока на болотах и в р. Тосно (табл. 1), находим, что повышенные модули стока с болот отмечаются только при достаточно интенсивном осушении.

Таблица 1

Год исследования	Осадки, мм	Модули стока с 1 га, цс			
		р. Тосно	Болото, осушенное		
			интенсивно	в средней степени	слабо
1968	650	0,059	0,101	0,081	0,057
1969	621	0,072	0,087	0,075	0,046
1970	550	0,056	0,093	0,076	0,056
1971	712	0,085	0,091	0,080	0,063
1972	527	0,034	0,042	0,040	0,027
1973	485	0,017	0,042	0,041	0,023
1974	638	0,038	0,072	0,076	0,048
Среднее		0,052	0,075	0,067	0,046

При слабом осушении, когда каналы на болотах проведены через 205 м, в среднем модули стока с болот оказались ниже, чем в реке. Приведенные данные позволяют считать, что без осушения модули стока будут еще меньше. Поэтому можно полагать, что неосушенные болота не отдают влагу летом, а потребляют ее.

Повышение модулей стока с увеличением интенсивности осушения свидетельствует о благоприятном воздействии осушения на поступление воды из болот в реки. Модули стока с интенсивно осушенных болот почти в 1,5 раза выше, чем модули в реке. Особенно значительно превышение стока с болот по сравнению с рекой в засушливые годы. Например, в засушливом 1973 г. модули стока на интенсивно осушенном болоте были в 2,5 раза выше, чем в реке.

Неравнозначность водосборных площадей р. Тосно и опытных участков осушенных болот не позволяет пока определить количественное увеличение стока с болот, наблюдаемое после осушения, однако не вызывает сомнений факт возрастания стока воды из болот в реки в результате осушения.

Рассмотренные результаты получены на объектах, расположенных в зоне избыточного увлажнения [1], поэтому для получения количественных характеристик по другим зонам необходима постановка широких стационарных водно-балансовых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бабилов Б. В. Сток и испарения с осушенных лесных болот. — «Научные труды ЛТА», 1970, № 142, с. 28—39. [2]. Бабилов Б. В. Сток с осушенных лесных земель. Л., ЛТА, 1976, 38 с. [3]. Докучаев В. В. Способы образования речных долин Европейской России. Спб., 1878. [4]. Иванов К. Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л., Гидрометеонздат, 1957, 500 с. [5]. Лопатин В. Д. О гидрологическом значении верховых болот. — «Вестник ЛГУ», 1949, № 2, с. 37—49. [6]. Ополоков Е. В. О гидрологической роли болот. Отд. оттиск, 1909. [7]. Сукачев В. Н. Болота, их образование, развитие и свойства. Избранные труды. Л., «Наука», 1973, с. 97—188.

УДК 631.312.3 : 626.861.5

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВЫБРОСА ГРУНТА ТОРЦОВО-КОНИЧЕСКИМИ ФРЕЗАМИ

Б. Ф. ОРЛОВ, А. С. ПОЗДЕЕВ, В. М. ДЕРБИНА

Архангельский лесотехнический институт

Приведен расчет углов выброса грунта при работе торцово-конических фрез на прокладке осушительных каналов.

При анализе работы существующих рабочих фрезерных органов канавокопателей и при конструировании новых необходимо знать основные зависимости, характеризующие выброс грунта. В настоящей работе определена зависимость углов выброса

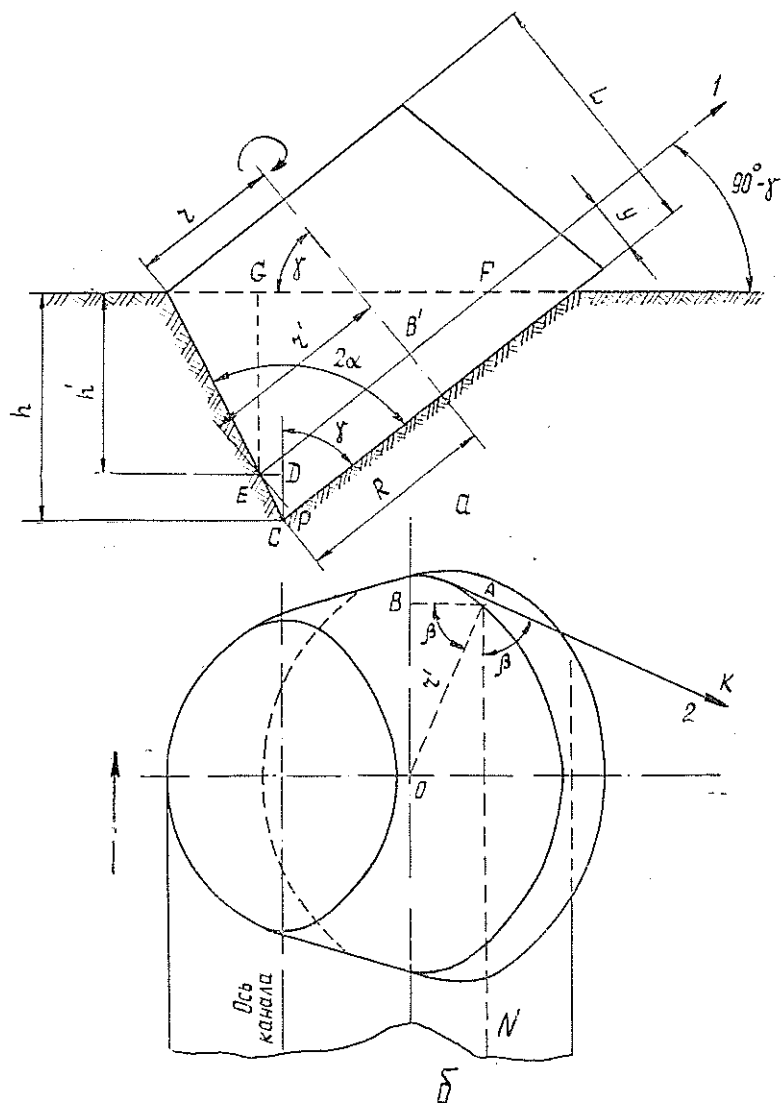


Рис. 1.

грунта от параметров фрезы и размеров получаемого канала. Расчетная схема представлена на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

- R, r — радиусы большого и малого оснований фрезы;
- L — длина фрезы;
- γ — угол наклона оси фрезы к грунту при несимметричном профиле канала;
- 2α — угол между боковыми стенками канала;
- h — глубина канала;
- y — расстояние от большого основания фрезы до расчетного сечения;
- r' — радиус фрезы в расчетном сечении;
- h' — глубина канала, создаваемая расчетным сечением фрезы;
- β — угол выброса грунта относительно оси канала.

Точки A и F (рис. 1) — точки выхода режущей кромки фрезы в расчетном сечении из грунта. Направление выброса грунта в плоскости вращения ножа показано вектором 1, образующим с плоскостью грунта угол $90^\circ - \gamma$. Вектор 2 показывает направление выброса грунта относительно оси канала; он перпендикулярен радиусу OA вращения ножа. Из рис. 1, а видно, что угол $90^\circ - \gamma$ не изменяется в зависимости от

положения режущих ножей по длине фрезы. Располагая расчетное сечение на любом расстоянии от основания фрезы, мы не изменяем угла его наклона μ , следовательно, угла выброса грунта. При симметричном профиле канала тангенс угла наклона оси фрезы к горизонту равен коэффициенту откоса канала, т. е. $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \gamma = K$. Таким образом, в этом случае направление выброса срезанного грунта определяется и коэффициентом откоса канала.

Угол выброса грунта относительно оси канала β непрерывно изменяется не только от положения режущих ножей, но и от глубины канала h и наклона оси фрезы γ . Определим угол выброса грунта относительно оси канала на произвольно взятом сечении фрезы. Из рис. 1, $\sigma \leq NAK (< \beta) \leq BAO$, как углы, имеющие взаимно перпендикулярные стороны. Отрезок AB перпендикулярен оси канала. Из $\triangle OAB$

$$\cos \beta = \frac{AB}{OA} = \frac{AB}{r'}. \quad (a)$$

Отрезок AB равен $B'F$ и $EF - r'$.

Из $\triangle EGF$

$$EF = \frac{h'}{\cos \gamma},$$

следовательно,

$$AB = \frac{h'}{\cos \gamma} - r'. \quad (б)$$

Но

$$h' = h - CD = h - CE \cos (2\alpha - \gamma).$$

Из $\triangle CEP$

$$CE = \frac{EP}{\cos (90^\circ - 2\alpha)} = \frac{y}{\sin 2\alpha},$$

следовательно,

$$h' = h - y \frac{\cos (2\alpha - \gamma)}{\sin 2\alpha}. \quad (в)$$

Радиус r' — переменная величина, зависящая от радиусов r , R и длины фрезы L . Зависимость между r' , r , R , L и y выражается уравнением

$$r' = r + (L - y) \frac{R - r}{L}. \quad (г)$$

Подставляя в выражение (а) найденные значения параметров AB и r' , получим значение $\cos \beta$:

$$\cos \beta = \frac{AB}{r'} = \frac{\frac{h - y \cos (2\alpha - \gamma) / \sin 2\alpha}{\cos \gamma} - r'}{r'} = \frac{h - y \cos (2\alpha - \gamma) / \sin 2\alpha}{\cos \gamma \left[r + (L - y) \frac{R - r}{L} \right]} - 1. \quad (1)$$

Уравнение (1) справедливо для случаев, когда угол β находится в пределах от 0 до 90° . При больших значениях угол выброса грунта равен $90^\circ + \beta'$. Проведя аналогичные рассуждения, получим выражение, определяющее угол β' ,

$$\sin \beta' = 1 - \frac{h - y \cos (2\alpha - \gamma) / \sin 2\alpha}{\cos \gamma \left[r + (L - y) \frac{R - r}{L} \right]}. \quad (2)$$

При симметричном профиле канала $\gamma = \alpha$, тогда выражения (1) и (2) несколько упрощаются. Формулы (1) и (2) позволяют анализировать углы выброса грунта при изменении любого параметра фрезы и канала. Эксплуатация торцово-конических фрез показывает, что в основном канал засыпается грунтом, срезанным торцовыми ножами и ножами, расположенными около большого основания фрезы. Следовательно, приняв $y = 0$, получим угол выброса грунта

$$\cos \beta = \frac{h}{R \cos \gamma} - 1 \quad (1a)$$

или, при $\gamma = \alpha$,

$$\cos \beta = \frac{h}{R \cos \alpha} - 1. \quad (15)$$

Таким образом, при симметричном профиле канала для фрезы заданной конструкции ($\cos \alpha = \text{const}$) угол выброса грунта торцовыми ножами определяется только соотношением h/R , т. е. глубиной канала и радиусом большого основания фрезы. Для увеличения угла выброса грунта (для уменьшения засыпания канала) необходимо стремиться к приближенно отношения h/R к единице, так как при $h/R = 1$ $\cos \beta = 0$ и $\beta = 90^\circ$.

Опыт эксплуатации фрезы ФБО 1,5—2,5 ($R = 975$ мм, $\cos \alpha = 0,777$) при строительстве осушительных каналов на болотах показал, что при глубине канала $h = 1100$ мм засыпки канала не происходит. Основываясь на выражении (16), можно определить наименьший угол выброса грунта торцовыми ножами, при котором не будет происходить засыпки канала,

$$\cos \beta = \frac{h}{R \cos \alpha} - 1 = \frac{1100}{975 \cdot 0,777} - 1 = 0,45; \beta = 63^\circ 15'.$$

Следовательно, при выбросе грунта торцовыми ножами под углом 63° к оси канала (округленно можно принять $\beta = 60^\circ$) и большем угле срезанный грунт не будет попадать в готовый канал. Эта величина угла справедлива для фрез, образующих коэффициенты откоса $K \approx 0,8$. При других коэффициентах откоса стенок канала и различных его глубинах значения углов выброса торцовыми ножами приведены в табл. 1 (для расчета β радиус большого основания фрез был принят 1050 мм).

Таблица 1

h	Значения β при разных значениях K			
	0,5	0,75	1,0	1,5
1500	53	38	—	—
1400	61	48	28	—
1300	67	57	41	—
1200	74	65	52	—
1100	80	72	61	27
1000	86	79	70	44
900	92	86	78	57

Из таблицы видно, что фрезы с диаметром большого основания $D = 2100$ мм можно эффективно использовать для строительства каналов со сравнительно небольшим коэффициентом откоса (до 0,75—0,8). В этом случае при небольших габаритах фрез можно получать каналы глубиной до 1300—1400 мм. Для анализа траектории полета грунта, срезаемого всеми ножами фрезы, можно пользоваться общими уравнениями (1) и (2). Эти же уравнения позволяют анализировать и изменение траектории выброса грунта при изменении угла γ наклона оси фрезы к горизонту. Например, если допустить возможность получения канала с несимметричным профилем, то рыть его следует при меньшем угле наклона оси фрезы, так как при уменьшении угла γ угол β будет увеличиваться.

В заключение необходимо отметить, что действительные углы выброса грунта всегда меньше расчетных из-за прилипания грунта к ножам, влияния скорости вращения, формы ножей и т. д. Однако, используя в качестве первого приближения критический угол выброса торфа $\beta = 60^\circ$, можно с достаточной для практики точностью прогнозировать работу фрез по полученным зависимостям.

УДК 621.93.024.5 : 674.093.6-412.85

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА ПРОПИЛА ПРИ РАСКРЯЖЕВКЕ ХЛЫСТОВ

В. С. ЖАДЕНОВ, С. П. СОЛОДОВ, П. П. СОЛОДОВ

Брянский технологический институт

Приводятся результаты исследований по установлению закономерностей нахождения размерных характеристик круглых лесоматериалов, получаемых в процессе раскряжевки хлыстов на нижних лесных складах.

Круглые лесоматериалы — предмет труда для большинства лесобработывающих машин. При выборе и разработке лесобработывающих машин специалисты сталкиваются с трудностями, связанными с недостаточным количеством данных о размерных характеристиках круглых лесоматериалов (среднем и максимальном диаметре, показателях распределения круглых лесоматериалов по диаметрам).

В данной работе сделана попытка теоретически решить эту задачу на примере раскряжевки еловых хлыстов по всем разрядам высот.

Были приняты следующие допущения:

- 1) оторцовка хлыстов считалась обязательной;
- 2) минимальный диаметр вершины хлыста принимали 5—7 см;
- 3) раскрой производили по типовым схемам из принципа максимума выхода деловых сортиментов при минимуме затрат или, в данном случае, пропилов; при этом из комлевой и срединной частей хлыстов вырезали отрезки наибольшей длины и товарной ценности сортиментов, из вершинной — в основном балансы длиной 2 м и метровые дровяные отрезки;
- 4) сбеги стволов определяли по данным «Лесной вспомогательной книжки», а диаметр оторцовки — с учетом коэффициента формы комля.

Обработка результатов теоретической раскряжевки заключалась в определении средних диаметров пропила для средних хлыстов каждого класса бонитета и велась по двум направлениям: как среднее арифметическое диаметров пропила $d_{пр}$; исходя из средней площади пропила $d'_{пр}$.

Исследования показали, что зависимостью среднего диаметра пропила от класса бонитета насаждений (разряда высот) можно практически пренебречь.

Таким образом, основным фактором, определяющим средний диаметр пропила, является диаметр на высоте груди. Эта зависимость имеет вид

$$d_{пр} = \varphi(d_r) = ad_r^2 + bd_r + c.$$

Параметры a , b , c определяли по методу наименьших квадратов, а систему решали методом последовательного исключения неизвестных. При этом получены следующие выражения:

$$d_{пр} = 0,00373d_r^2 + 0,3d_r + 5,79; \quad (1)$$

$$d'_{пр} = 0,00361d_r^2 + 0,427d_r + 4,78. \quad (2)$$

Графики этих зависимостей приведены на рис. 1.

Данные о распределении диаметров на высоте груди и зависимости среднего диаметра пропила от диаметра на высоте груди позволяют найти распределение среднего диаметра пропила.

При установлении характера распределения средних диаметров пропила мы использовали результаты исследований В. Б. Козловского [3], согласно которым, в целом дровостое диаметр на высоте груди распределен по нормальному закону вида

$$f(d_r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_r^2 - d_{ср}^2)^2}{2\sigma^2}},$$

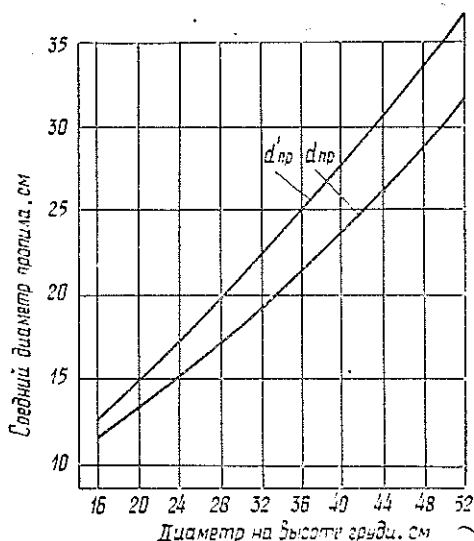


Рис. 1. Зависимости
 $d'_{np} = \varphi(d_r)$ и $d_{np} = \varphi(d_r)$.

где σ — среднее квадратичное отклонение диаметра на высоте груди;
 $f(d_r)$ — дифференциальная функция распределения;
 d_r — текущий диаметр на высоте груди;
 d_{cp} — средний диаметр на высоте груди.

Параметры этого распределения σ и d_{cp} известны для различных областей РСФСР.

На основании методов теории вероятностей [1] были найдены распределения средних диаметров пропила по известному распределению диаметра на высоте груди и ранее найденным зависимостям $d_{np} = \varphi(d_r)$ и $d'_{np} = \varphi(d_r)$, обратные функции которых $d_r = \psi(d_{np})$ и $d_r = \psi(d'_{np})$. Тогда дифференциальная функция распределения выразится уравнением

$$g(d_{np}) = f[\psi(d_{np})] \psi'(d_{np}), \quad (3)$$

по которому были найдены дифференциальные функции распределения $g(d_{np})$ и $g(d'_{np})$.

Найдя $\psi(d_{np})$ и $\psi'(d'_{np})$ из уравнений (1) и (2) и подставив в выражение (3), получим

$$g(d_{np}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(-40,2 + 16,4 \sqrt{d_{np} + 0,242} - d_{cp})^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{16,4}{2 \sqrt{d_{np} + 0,242}};$$

$$g(d'_{np}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(-59,1 + 16,6 \sqrt{d'_{np} + 7,85} - d_{cp})^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{16,6}{2 \sqrt{d'_{np} + 7,85}}.$$

На рис. 2 в качестве примера приведены функции распределения при $d_{cp} = 28,0$ см и $\sigma = 7,0$ см. Кривые распределения для других значений d_{cp} и σ аналогичны приведенным.

Анализ полученных кривых позволяет сделать следующие выводы.

1. Найденные распределения средних диаметров пропила близки к нормальным.
 2. Определяющим следует считать распределение по средней площади пропила $g(d'_{np})$.

3. Принимая во внимание асимметричность распределения, увеличение среднего диаметра при реальной раскряжевке и некоторую абстрактность теоретической раскряжевки, можно выделить интервал в 4 см для выбора среднего диаметра пропила при раскряжевке, приняв за нижнюю границу максимум распределения $g(d'_{np})$.

Рост среднего диаметра пропила при реальной раскряжевке объясняется увеличением доли больших и средних диаметров за счет наличия пороков древесины

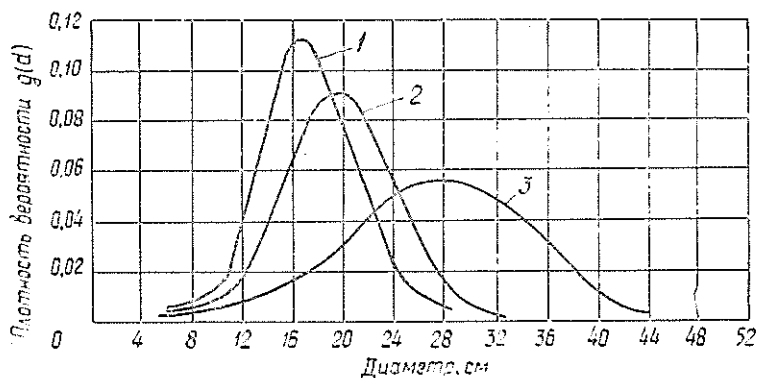


Рис. 2. Распределение диаметров.

1 — по среднему арифметическому пропила; 2 — по средней площади пропила; 3 — распределение диаметров на высоте груди по В. Б. Козловскому.

(напенная гниль, кривизна ствола, засолки и т. д.) и уменьшением доли малых диаметров (на практике диаметр пропила вершинной части хлыста обычно составляет 10—15 см).

Заключительный этап работы — построение графика для выбора среднего диаметра пропила при раскряжке. С этой целью были проведены расчеты на ЭВМ «Наири» при различных значениях $d_{\text{ср}}$ и σ . Установлено, что зависимость максимумов распределений, т. е. нижних границ соответствующих интервалов, достаточно хорошо описывается уравнением

$$d'_{\text{пр}} = \varphi(d_r).$$

Эта кривая и была принята за нижнюю границу интервала (рис. 3).

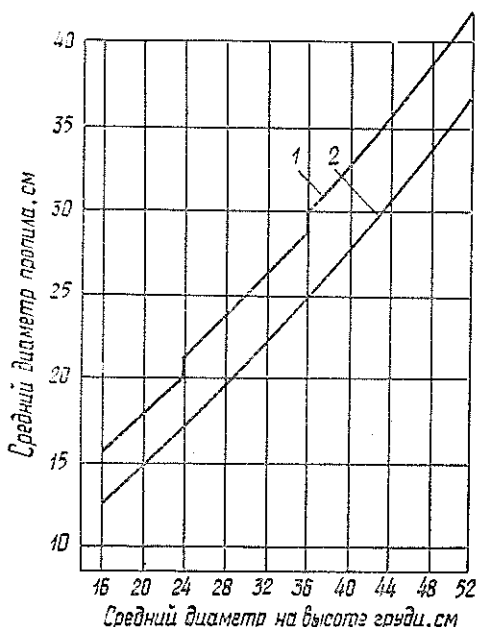


Рис. 3. Определение среднего диаметра пропила при раскряжке хлыстов.

1 — верхняя граница интервала;
2 — нижняя граница интервала.

Более подробный анализ показал, что для объемов хлыста $V_{\text{хл}} < 0,5 \text{ м}^3$, т. е. при $d_r < 24 \text{ см}$, интервал может быть уменьшен до 3 см с сохранением нижней границы; при $V_{\text{хл}} > 1,0 \text{ м}^3$, т. е. при $d_r > 36 \text{ см}$, интервал должен быть увеличен до 5 см с со-

хранением нижней границы (рис. 3). Это объясняется тем, что при увеличении среднего диаметра на высоте груди растет интервал изменения средних диаметров пропила, причем большие диаметры значительно влияют на средний диаметр, чем малые.

Окончательный выбор среднего диаметра пропила следует производить по значению среднего квадратичного отклонения. Если $\sigma < 4,5$ см, то за средний диаметр пропила лучше взять середину предложенного нами интервала. Если $\sigma > 4,5$ см, то средний диаметр следует выбирать по верхней границе интервала.

Предлагаемая методика определения средних диаметров пропила достаточно хорошо подтверждается на практике исследованиями Д. К. Воеводы и др. [2].

Так, при объеме хлыста $V_{хл} = 0,86$ м³ ($d_1 = 28$ см) средний диаметр пропила при раскряжевке, найденный практическими исследованиями, равен $d_{пр} = 21,4$ см, а полученный на основании предложенных рекомендаций $d_{пр} = 21,3$ см. Таким образом, результаты исследований достаточно точно подтверждаются на практике и могут быть рекомендованы к практическому применению.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Высшая школа», 1967, 576 с.
 [2]. Воевода Д. К., Редькин А. К., Рахманин Г. А., Чувелев А. Я. Выбор лесообрабатывающих машин в зависимости от размерных характеристик круглых лесоматериалов. Обзор. М., ВНИПИЭИлеспром, 1975, 33 с. [3]. Козловский В. Б., Павлов В. М. Ход роста основных лесобразующих пород СССР. Справочник. М., «Лесная промышленность», 1967, 327 с.

УДК 625.8 : 53.096

К РАСЧЕТУ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В. А. ЛУКИНА, Б. В. УВАРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Предложен метод расчета температуры дорожной одежды с учетом ее начального распределения в зависимости от колебаний температуры воздуха.

Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог определяется не только воздействием эксплуатационных нагрузок, но и возможным изменением прочности грунта в зависимости от погодных условий.

В районах глубокого сезонного промерзания процесс пучинообразования и, как следствие, появление весенних деформаций на покрытиях зависят от изменения температуры и влажности грунта во времени.

Нестационарный процесс теплообмена в дорожной одежде может быть описан в общем виде дифференциальным уравнением в частных производных [1]

$$\frac{\partial t}{\partial T} = a \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где t , a — соответственно температура и температуропроводность грунта;
 z — глубина промерзания, м;
 T — время, сут.

Приняты следующие граничные условия для решения уравнения (1):

- 1) $t(0, z) = t_{\infty}$ (температура грунта по глубине земляного полотна перед началом промерзания принята постоянной);
- 2) распределение температуры грунта на поверхности земляного полотна в годичном цикле $t(T, 0)$ схематично представлено на рис. 1.

В результате прямого преобразования Лапласа по z и T [2] выражения (1) имеем

$$\frac{\partial \bar{t}(T, P)}{\partial T} = a \left[P^2 \bar{t}(T, P) - Pt(T, 0) - \frac{dt(T, 0)}{dz} \right];$$

$$S \bar{t}(S, P) - \bar{t}(0, P) = a \left[P^2 \bar{t}(S, P) - P \bar{t}(S, 0) - \frac{d \bar{t}(S, 0)}{dz} \right]. \quad (2)$$

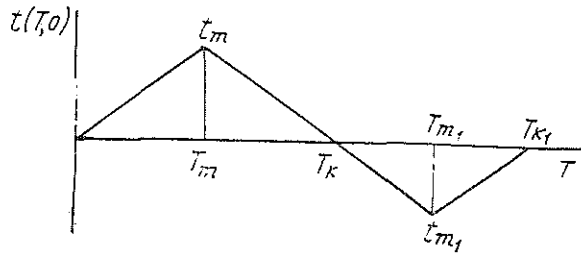


Рис. 1. Расчетная схема.

Определяем $\bar{t}(S, 0)$

$$\bar{t}(S, 0) = \frac{1}{S^2} \left[\frac{t_m}{T_m} - \frac{t_m T_k}{T_m (T_k - T_m)} e^{-ST_m} + \left(\frac{t_m}{T_k - T_m} + \frac{t_{m_1}}{T_{m_1} - T_k} \right) e^{-ST_k} - t_{m_1} \left(\frac{1}{T_{m_1} - T_k} + \frac{1}{T_{k_1} - T_{m_1}} \right) e^{-ST_{m_1}} \right]. \quad (3)$$

Вводим обозначения

$$\left. \frac{\partial t}{\partial z} \right|_{z=0} = \varepsilon,$$

тогда

$$\frac{d\bar{t}(S, 0)}{dz} = \bar{\varepsilon}(S, 0).$$

Из уравнения (2) находим выражение двойного изображения для температуры грунта

$$\bar{t}(S, P) = \frac{\bar{t}(0, P) - a [\bar{P}\bar{t}(S, 0) + \bar{\varepsilon}(S, 0)]}{S - aP^2}. \quad (4)$$

Обратное преобразование по z выражения (4) дает

$$\bar{t}(S, z) = \frac{t_\infty}{S} \left(1 - \operatorname{ch} z \sqrt{\frac{S}{a}} \right) + \bar{t}(S, 0) \operatorname{ch} z \sqrt{\frac{S}{a}} + \frac{\bar{\varepsilon}(S, 0)}{\sqrt{\frac{S}{a}}} \operatorname{sh} z \sqrt{\frac{S}{a}}. \quad (5)$$

При $z \rightarrow \infty$

$$\bar{t}(S, z) = \frac{t_\infty}{S},$$

имеем из формулы (5)

$$\bar{\varepsilon}(S, 0) = \sqrt{\frac{S}{a}} \left[\frac{t_\infty}{S} - \bar{t}(S, 0) \right].$$

В данном выражении вместо $\bar{t}(S, 0)$ подставляем его значение по формуле (3), тогда

$$\begin{aligned} \bar{t}(S, z) = & \frac{t_\infty}{S} \left(1 - e^{-z \sqrt{\frac{S}{a}}} \right) + \frac{e^{-z \sqrt{\frac{S}{a}}}}{S^2} \left[\frac{t_m}{T_m} \left(1 - \frac{T_k e^{-ST_m}}{T_k - T_m} \right) + \right. \\ & \left. + e^{-ST_k} \left(\frac{t_m}{T_k - T_m} + \frac{t_{m_1}}{T_{m_1} - T_k} \right) - e^{-ST_{m_1}} \left(\frac{t_{m_1}}{T_{m_1} - T_k} + \frac{t_{m_1}}{T_{k_1} - T_{m_1}} \right) \right]. \quad (6) \end{aligned}$$

Для получения оригинала $t(T, z)$ необходимо выполнить обратное преобразование по T выражения (6)

$$\begin{aligned}
 t(T, z) = & t_{\infty} \operatorname{erf} \frac{z}{2\sqrt{aT}} + \frac{t_m}{T_m} \int_0^T \operatorname{erfc} \frac{zd\tau}{2\sqrt{a\tau}} - \frac{t_m T_K}{T_m (T_K - T_m)} \int_0^{T-T_m} \operatorname{erfc} \frac{zd\tau}{2\sqrt{a\tau}} + \\
 & + \left(\frac{t_m}{T_K - T_m} + \frac{t_{m_1}}{T_{m_1} - T_K} \right) \int_0^{T-T_K} \operatorname{erfc} \frac{zd\tau}{2\sqrt{a\tau}} - \left(\frac{t_{m_1}}{T_{m_1} - T_K} + \right. \\
 & \left. + \frac{t_{m_1}}{T_{K_1} - T_{m_1}} \right) \int_0^{T-T_{m_1}} \operatorname{erfc} \frac{zd\tau}{2\sqrt{a\tau}}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Полученная формула (7) дает возможность определить температуру грунта на различной глубине земляного полотна и границу промерзания на любой момент зимнего периода.

Вследствие сложности аналитического решения интегралов в полученном выражении (7), на языке ФОРТРАН составлена программа численного решения их на ЭВМ «Минск-32».

Реализация программы на ЭВМ позволяет найти расчетную глубину промерзания, температурное поле грунта земляного полотна в годичном цикле. Результаты расчетов вполне удовлетворительно согласуются с данными полевых определений температуры грунта с использованием полупроводниковых термосопротивлений ММТ-4 на различных опытных участках. В качестве примера на рис. 2 приведены данные для одного из участков.

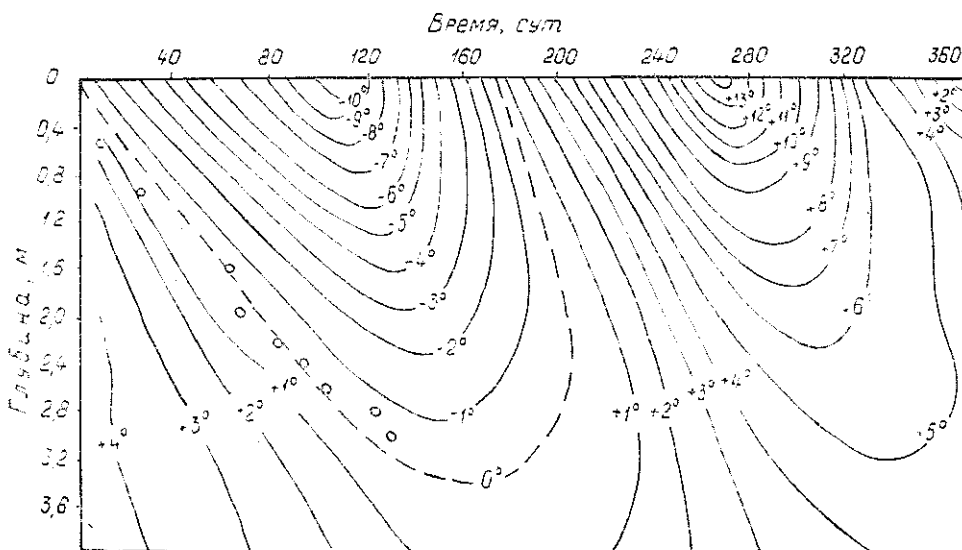


Рис. 2. Изменение температуры грунта по глубине земляного полотна во времени.

O — экспериментальные данные глубины промерзания; штриховая линия — положение нулевой изотермы (расчетная глубина промерзания).

Рассмотренный метод расчета глубины промерзания дает лучшую сходимость расчетных и опытных величин, чем способ решения уравнения (1) при граничных условиях, когда температура грунта на поверхности земляного полотна была принята средней за весь зимний период [3].

Таким образом, предложенный метод позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать глубину промерзания дорожных одежд на эксплуатируемых дорогах.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Под ред. И. А. Золотаря, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко. М., «Транспорт», 1971. [2]. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М., «Наука», 1971. [3]. Луккина В. А., Уваров Б. В. О переносе тепла и влаги в сезонно-промерзающих грунтах земляного полотна автомобильных дорог. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 4.

УДК 674.093

РАЗМЕРЫ БРУСА МАКСИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА,
ВЫПИЛЕННОГО ИЗ КРИВОГО БРЕВНА

С. И. ИОНАИТИС

Каунасский политехнический институт

С помощью ЭВМ, используя выведенные нами формулы, составлена программа для расчета высоты бруса максимального объема, выпиленного из кривого бревна.

А. Н. Песоцкий [5] указывает, что в пиловочных бревнах допускается кривизна 1—1,5%. В. Г. Турушев [6] предлагает выпиливать брусья высотой $h = 0,707d$, а для раскряки кривого бруса применять автоманипулятор. Н. А. Батин [1] установил связь между выходом пиломатериалов и диаметром — кривизной бревен. Н. Н. Ваенский [2] определил оптимальные поставки и сортность пиломатериалов. По ГОСТам 9463—72, 9462—71 для производства шпальных кряжей, пиломатериалов, заготовок малых размеров применяют бревна с кривизной до 3—5% [4].

Цель данной работы — установить размеры бруса максимального объема при раскряке бревен с кривизной.

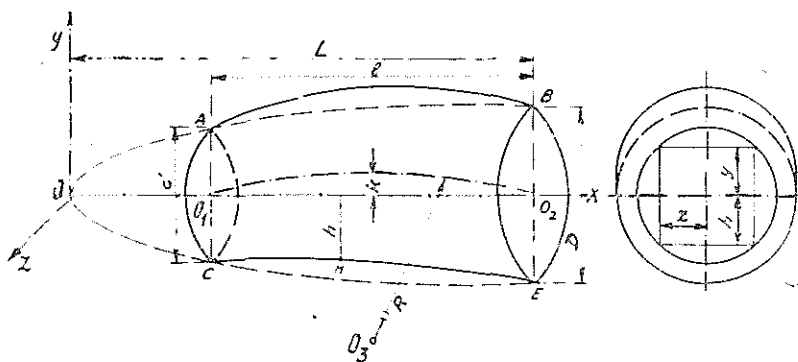


Рис. 1. Схема кривого бревна.

Математически доказано [3], что абсцисса характерной точки H (рис. 1), ближайшей к оси x , выражается уравнением

$$x^3 + \frac{n^4 - 16l^2m^2}{16ln^2} x^2 + \frac{m^2(4l^2m^2 - n^4)}{16n^4} x + \frac{m^4l}{64n^2} - \frac{n^2l^3}{1024k^2} = 0,$$

здесь

$$m^2 = D^2 + d^2; \quad n^2 = D^2 - d^2.$$

Нижняя ордината этой точки или бруса

$$h = \frac{8k^2 - l^2}{8k} + \sqrt{\frac{l^4}{64k^2} - \left[x - \frac{l(D^2 + d^2)}{2(D^2 - d^2)} \right]^2} + \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2\sqrt{l}} \sqrt{x};$$

верхняя ордината

$$y = \frac{\sqrt{h^2 + 2d^2} - h}{4}$$

Оптимальная высота бруса, выпиленного из кривого бревна,

$$A = 2z = 2 \sqrt{\frac{d^2}{4} - y^2}$$

площадь сечения бруса

$$Q = 2z(y + h)$$

(площадь сечения бруса, выпиленного из прямого бревна, $Q = 0,5 d^2$).

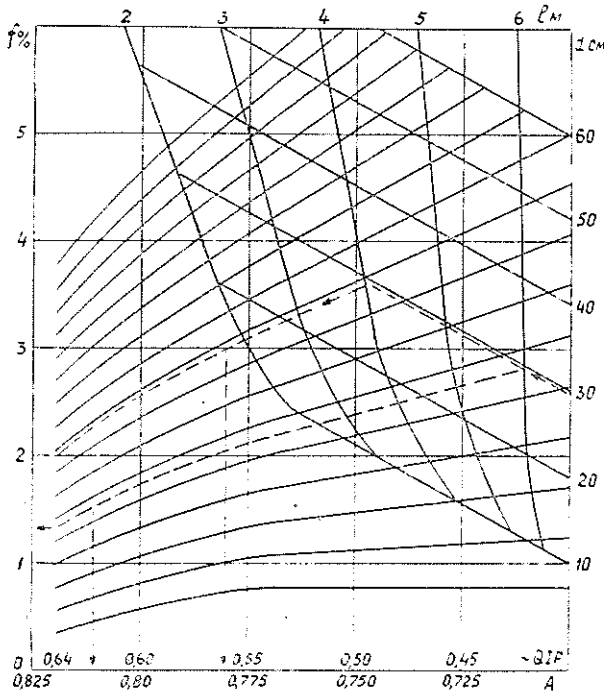


Рис. 2. Номограмма для подсчета высоты бруса, выпиленного из кривых бревен.

С помощью ЭВМ определена высота бруса, выпиленного из бревен диаметром $d = 10 \div 60$ см, длиной $l = 2 \div 7$ м, с центральной кривизной $f_1 = 0,25 \div 5,0\%$ (гостовская боковая кривизна λ бревен незначительно меньше центральной кривизны, например, при $d = 30$ см, $l = 6$ м, $f_1 = 0,50\%$ $\lambda = 0,49\%$) и составлена номограмма (рис. 2). На левой ординате номограммы показана центральная кривизна бревен f_1 , на правой — вершинный диаметр бревна d ; на верхней горизонтальной линии — длина бревна l , на абсциссе — высота бруса A , выраженная через диаметр бревна. На абсциссе также показан ориентировочный коэффициент использования сечения верхнего конца бревна Q/F (для прямых бревен этот коэффициент равен 0,64). Начало кривых линий при ординате $Q/F = 0,64$ обозначает такую кривизну, когда бревна распиливаются как прямые. Эта кривизна названа критической.

Пользование номограммой иллюстрируем примером (пунктирные линии). При раскросе бревен диаметром 30 см, длиной 6 м, с центральной кривизной 1,5% оптимальная высота бруса $A = 0,81d$. Коэффициент $A/F = 0,60$, критическая кривизна $f_1 = 1,3\%$, объем бруса оптимальной высоты на 2% больше по сравнению с объемом бруса, выпиленного высотой $A = 0,707d$. При раскросе этого же бревна длиной 4 м, с центральной кривизной 3% высота бруса $A = 0,775d$, коэффициент $Q/F = 0,55$, объем бруса повышается на 0,7%.

Выводы

1. При раскросе бревен меньшей критической кривизны высота бруса равна ширине ($A = 0,707d$). При раскросе бревен большей кривизны высота бруса больше ширины $A = (0,750 - 0,825)d$.

2. Максимальный объем бруса, выпиленного из кривых бревен при оптимальных вышеприведенных условиях, примерно на 2% больше по сравнению с объемом бруса, выпиленного по обычным правилам из прямых бревен.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Батин Н. А. Влияние кривизны бревен на выход пиломатериалов. — «Труды Белорусского технологического института», Минск, 1963. [2]. Васильский Н. Н. Исследование раскроса бревен хвойных пород с кривизной. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Архангельск, 1974. [3]. Ионайтис С., Масколюнас П., Прашмантене Д. Некоторые теоретические данные о раскросе кривых бревен. — В кн.: Технология деревообработки. Материалы конференции «Развитие технических наук в республике и использование их результатов». Вильнюс, 1977. [4]. Леонтьев Н. Л. Оценка качества круглых лесоматериалов. М., «Лесная промышленность», 1977. [5]. Песоцкий А. Н. Лесопильное производство. М., «Лесная промышленность», 1970. [6]. Турушев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. М., «Лесная промышленность», 1975.

УДК 658.527(083.72)

РАСЧЕТ ЧИСЛА ПОТОКОВ СОРТИРОВАННЫХ БРЕВЕН, ДОПУСКАЕМЫХ ПРИ СОРТИРОВКЕ В ОТЕПЛЕННОМ БАССЕЙНЕ ЛЕСОПИЛЬНОГО ЗАВОДА

А. П. БРАГИН

Архангельский лесотехнический институт

Рассмотрены процессы накопления и оттаивания сортированных бревен в бассейне в их комплексной связи. Получена зависимость числа потоков сортированных бревен от температуры воды.

В известных способах расчета отепленных бассейнов число потоков сортированных бревен не определяют. Между тем, от этого параметра зависят режимы обработки бревен, размеры и технико-экономические показатели работы бассейна.

Разработанный нами метод расчета числа потоков сортированных бревен в бассейне исходит из требований бесперебойного обеспечения лесопильного цеха сортированными и оттаявшими бревнами между перебивками поставов пил при экономичных режимах обработки бревен в бассейне. Сущность способа заключается в согласовании режимов продвижения и оттаивания бревен.

Для удовлетворения приведенных требований в бассейне должен быть определенный буферный запас сортированных бревен M

$$M = K P_{\text{ср}} \tau_{\text{н}} \text{ шт.}, \quad (1)$$

где K — число эффективных лесопильных рам;
 $P_{\text{ср}}$ — часовая производительность одной эффективной лесопильной рамы (в штуках бревен средневзвешенного диаметра);
 $\tau_{\text{н}}$ — продолжительность предварительного накопления запаса бревен, ч.

Для определения продолжительности предварительного накопления запаса бревен нами [3] рекомендована следующая формула:

$$\tau_{\text{н}} = T \left(\frac{n-1}{K} \right) \text{ ч.}, \quad (2)$$

здесь T — продолжительность распиловки бревен между двумя плановыми перебивками поставов пил, ч;

n — число потоков сортированных бревен, получаемых при сортировке в бассейне.

Запас бревен, определяемый по формуле (1), минимален и достаточен для бесперебойного обеспечения лесопильного цеха сортированными бревнами в течение заданной плановой длительности работы.

Для оттаивания бревен продолжительность предварительного накопления минимального запаса бревен τ_n должна быть равна продолжительности их оттаивания $\tau_{от}$ (4). Следовательно,

$$T \left(\frac{n-1}{K} \right) = \tau_{от}. \quad (3)$$

Преобразуя уравнение (3) относительно числа потоков сортированных бревен, получим

$$n = 1 + K \frac{\tau_{от}}{T}. \quad (4)$$

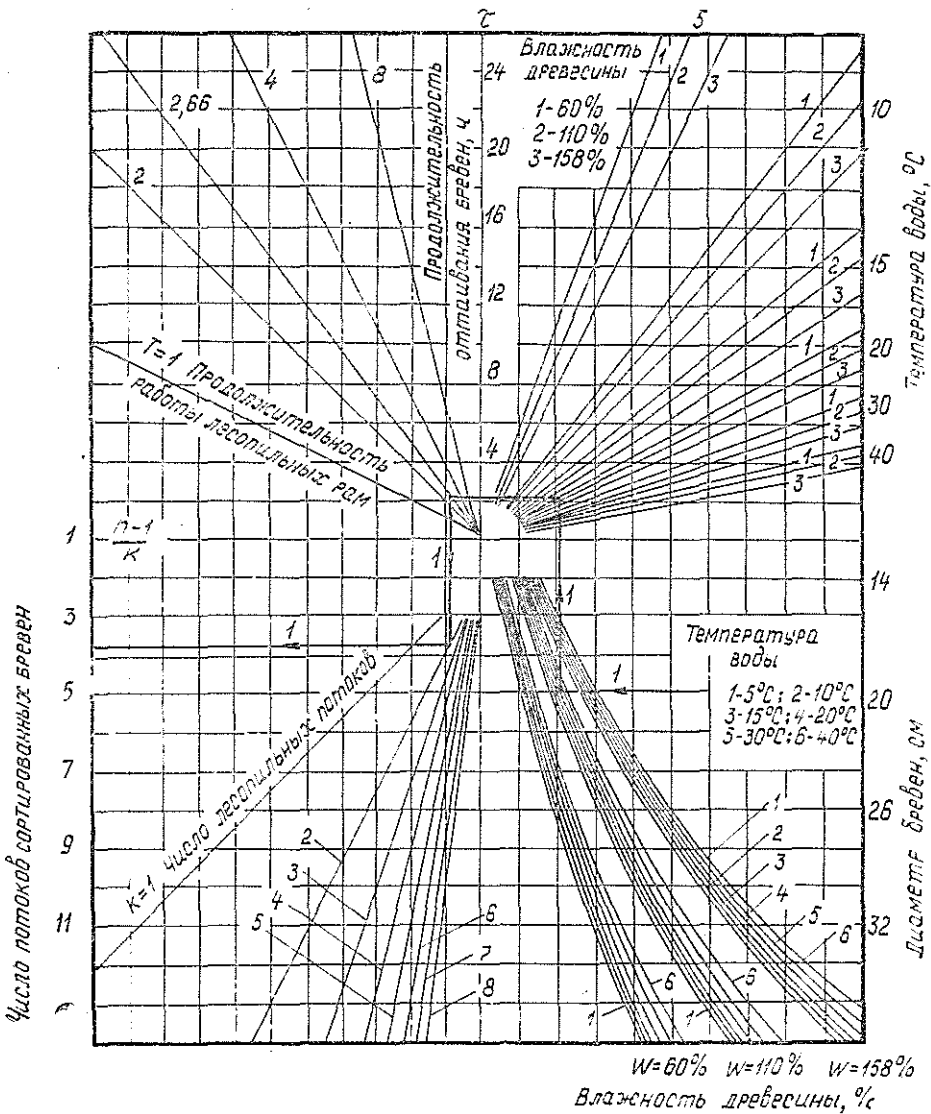


Рис. 1. Номограмма для расчета числа потоков сортированных бревен в бассейне.

Длительность оттаивания бревен находится в обратной зависимости от температуры воды. Отсюда следует, что при повышении температуры воды в бассейне можно уменьшить число потоков сортированных бревен в нем, запас бревен и размеры бассейна.

Для определения экономичной температуры воды проводили специальные исследования. Установлено, что при повышении температуры воды происходит снижение удельных затрат тепла на оттаивание бревен за счет уменьшения потерь его со свободной поверхности воды вследствие значительного сокращения длительности процесса [1]. Чтобы определить предел повышения температуры воды, наблюдали за интенсивностью тумана, образующегося над бассейном при различных температурах воды и воздуха. Установлено, что для обеспечения на бассейне дальности видимости не менее 30 м, удовлетворяющей требованиям безопасности работ, перепад температур поверхности воды и воздуха не должен превышать 45°. С учетом этого в большинстве районов СССР температуру воды в бассейне при его расчете можно принимать равной 15°.

Для упрощения расчетов допустимого числа потоков сортированных бревен в бассейне по уравнению (3) построена номограмма (рис. 1). Продолжительность оттаивания бревен вычисляют по формулам, рекомендованным нами [2]. Число потоков сортированных бревен в бассейне рассчитывают по номограмме в следующей последовательности.

В правом нижнем углу номограммы по заданному среднему диаметру бревна партии бревен, поступающих в бассейн, влажности заболонной древесины бревна и температуре воды находят координату, из которой восстанавливают вертикаль до пересечения с прямой, расположенной в верхнем углу и соответствующей заданным значениям влажности древесины и температуры воды. Из полученной координаты проводят горизонталь до пересечения с прямой, расположенной в левом координатном углу и соответствующей заданной длительности непрерывной работы лесопильных рам. Из этой координаты опускают вертикаль до пересечения с прямой заданного числа лесопильных потоков. На оси ординат нижнего левого координатного угла определяют число потоков сортированных бревен. Расчеты по номограмме справедливы для окоренных хвойных бревен, оттаиваемых на толщину кольца заболонной древесины. В табл. 1 приведены данные для допустимого в бассейне числа потоков сортированных окоренных бревен, полученного по номограмме при температуре воды в бассейне 15° и влажности заболонной древесины бревна 110%.

Таблица 1

Средний диаметр бревен, см	Длительность непрерывной работы лесопильных рам, ч	Число потоков сортированных бревен в бассейне при количестве потоков лесопильных рам				
		1	2	3	4	5
20	2	3	4	5	7	9
	2,66	2	3	4	5	7
	4	2	2	3	4	5
24	2	3	5	7	9	11
	2,66	3	4	6	7	9
	4	2	3	4	5	6
28	2	4	7	9	12	15
	2,66	3	5	7	9	11
	4	2	4	5	7	8
32	2	5	8	11	15	18
	2,66	4	6	9	11	14
	4	3	4	6	8	10

Для неокоренных бревен значение продолжительности оттаивания, определяемое по оси ординат правого верхнего координатного угла, увеличивается приблизительно в 1,4—1,6 раза. В дальнейших расчетах по номограмме принимают новое значение продолжительности оттаивания бревен.

Кроме поставленной в статье задачи, номограмма позволяет решать и другие, например, определение необходимой температуры воды в бассейне или определение плановой продолжительности непрерывной работы лесопильных рам.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Брагин А. П. К определению экономичных режимов оттаивания мерзлых бревен в водной среде. — «Научные труды ЦНИИМОДа», Архангельск, 1969, вып.

23, с. 189—198. [2]. Брагги А. П. Исследование и расчет параметров оттаивания мерзлых бревен в водной среде. — «Научные труды ЦНИИМОДа». Архангельск, 1969, вып. 23, с. 182—188. [3]. Песочный А. Н., Брагги А. П. К расчету параметров участков лесозавода для комплектования рассортированного пиловочника. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1970, № 5, с. 53—61.

УДК 658.3.043.4

ОБ УМЕНЬШЕНИИ ШУМА ВИБРИРУЮЩЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПУТЕМ ЕЕ ПЕРФОРАЦИИ

Ф. С. ДЕНЧ, Н. В. КАРПУНИЧЕВ, А. С. ЧУРИЛИН

Ленинградская лесотехническая академия, Минлеспром СССР

Теоретически найдено выражение для излучаемой мощности сплошной и перфорированной цилиндрических поверхностей. Разработанная методика расчета излучаемой мощности позволяет, подставляя конкретные данные, определять ожидаемое шумоглушение для любого случая.

На Великолукской мебельной фабрике хороший эффект шумоглушения воздуховодов вентиляционных систем и тонкостенных металлических конструкций был получен при покрытии их вибродемпфирующим составом. Одновременно там, где это возможно, осуществляли перфорирование отверстиями, что в ряде случаев (система воздуховодов, лотки, ящики для перевозки заготовок) обеспечило шумоглушение на 15—20 дБ. При этом шум становится меньше за счет уменьшения излучений и снижения возможностей резонансных явлений. Предлагаемый способ прост, экономически выгоден, не требует конструктивных изменений в устройстве.

Рассмотрим теоретические аспекты предлагаемого метода: излучение звука вибрирующей сплошной тонкостенной перфорированной цилиндрической поверхностью.

Пусть Γ — поверхность, ограничивающая рассматриваемый объект и совершающая колебания (вибрации), скорость которых в точке M обозначим через $v(M, t)$. Зависимость от времени везде считаем гармонической с угловой частотой ω

$$v(M, t) = v(M) e^{-i\omega t}, \quad (1)$$

где $v(M)$ — амплитуда (комплексная) скорости колебаний в точке M .

Избыточное давление звукового поля, излучаемого при вибрации, в точке M обозначим через $p(M, t) = p(M) e^{-i\omega t}$. Известно [2], что полная мощность звукового излучения поверхности

$$N = \operatorname{Re} \int_{\Gamma} p(M) \bar{v}(M) d\sigma_M, \quad (2)$$

где Re — вещественная часть выражения, а черта над v — комплексное сопряжение; $d\sigma_M$ — удельная площадь поверхности.

Давление $p(M)$ в точке M находим в результате решения краевой задачи для уравнения Гельмгольца

$$\Delta p + k^2 p = 0; \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{\Gamma} = -ikc\rho v; \quad (4)$$

$$|r| \left(\frac{\partial p}{\partial r} - ikp \right) \rightarrow 0, \quad (5)$$

здесь ρ — плотность воздуха;
 c — скорость звука;
 $k = \omega/c$ — волновое число;
 n — единичный вектор внешней нормали;
 r — радиус-вектор;
 выражение (5) — условие излучения Зоммерфельда.

Предположим, что поверхность Γ перфорирована удалением большого количества дисков с размерами малыми по сравнению с поверхностью. Обозначим перфорированную поверхность через S . Для определения звуковой мощности, излучаемой поверхностью S , решаем задачу (2)—(5) при $\Gamma = S$. Поскольку поверхность S имеет слоеную структуру (сильно изрезанную), точно решить для нее задачу (3)—(5) невозможно даже в тех простых случаях, когда для поверхности Γ это решение легко получается.

Чтобы приближенно решить задачу для перфорированной поверхности (при условии [1], что радиусы d отверстий малы, а их число m на единицу площади велико), рассмотрим решение следующей задачи для непорированной поверхности:

$$\Delta p + k^2 p = 0; \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial p^+}{\partial n}\right)_{\Gamma} = \left(\frac{\partial p^-}{\partial n}\right)_{\Gamma}; \quad \left(\frac{\partial p^+}{\partial n}\right)_{\Gamma} = g [p^- - p^+]_{\Gamma} - ik_{\Gamma} c v, \quad (7)$$

здесь p^+ и p^- — звуковое давление соответственно на внутренней и внешней сторонах поверхности Γ ;

n — внешняя нормаль;

g — удельная емкость на единицу площади перфорированной поверхности.

$$g = \frac{2m}{\pi} d. \quad (8)$$

Кроме равенств (6), (7), должно выполняться также условие излучения (5) для p . Решив задачу (5)—(7) и подставив в выражение (2) вместо $p(M)$ величину $p^-(M)$, найдем мощность излучения перфорированной поверхности. При этом следует учесть, что теперь интегрирование в уравнении (2) распространяется лишь на часть поверхности Γ , оставшуюся после перфорации. Поэтому найденную мощность излучения следует, очевидно, умножить на «коэффициент перфорации»

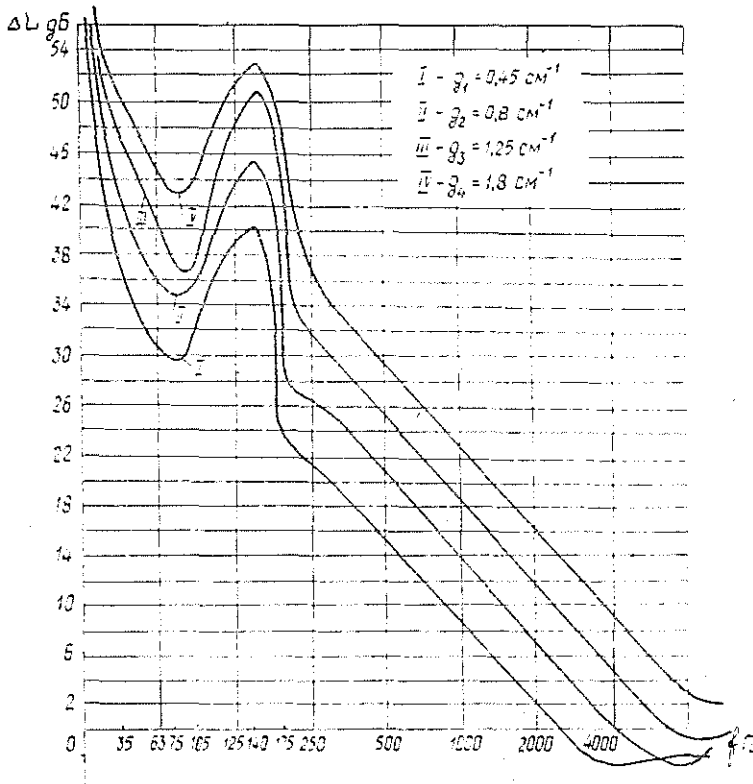


Рис. 1.

$$K = 1 - \frac{\pi m d^2}{S}, \quad (9)$$

равный отношению оставшейся после перфорации площади поверхности к исходной. Очевидно, всегда $K < 1$.

Рассмотрим пример применения описанных результатов к вычислению мощности излучения. Пусть теперь Γ — поверхность цилиндра радиусом a и длиной L . Считая $L \gg a$, рассмотрим идеализированный случай бесконечно длинного цилиндра. Примем для простоты, что возбуждены лишь радиальные моды колебаний поверхности цилиндра. Тогда, вводя полярные координаты r и φ , выраженные для скорости колебаний можно записать в виде ряда Фурье

$$\dot{v}(\varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos m\varphi. \quad (10)$$

Решение задачи (5)–(7) имеет вид

$$p^-(r, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n H_n(kr) \cos m\varphi; \quad p^+(r, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n I_n(kr) \cos m\varphi, \quad (11)$$

где I_n и H_n — функции Бесселя и Ханкеля первого рода порядка n .

Коэффициенты A_n , B_n можно определить при подстановке уравнения (11) в равенство (7)

$$A_n = B_n I_n'(ka) [H_n'(ka)]^{-1};$$

$$A_n = \frac{\rho c k a_n}{K H_n'(ka) \left[1 - \frac{g}{k} \cdot \frac{H_n(ka)}{H_n'(ka)} + \frac{g}{k} \cdot \frac{I_n(ka)}{I_n'(ka)} \right]}. \quad (12)$$

Сравнивая полученный результат с известным [2] решением для сплошного цилиндра, найдем снижение уровня шума, получаемого на единицу площади, для моды с номером n

$$\Delta L_n = -10 \lg \frac{N_1}{N_1^0} = 20 \lg \left| 1 - \frac{g}{k} \cdot \frac{H_n(ka)}{H_n'(ka)} + \frac{g}{k} \cdot \frac{I_n(ka)}{I_n'(ka)} \right| + 10 \lg K. \quad (13)$$

Кривые зависимости $\Delta L = -10 \lg \frac{N_1}{N_1^0}$ от частоты звука f при $a = 0,15$ м для нескольких значений g представлены на рис. 1, из которого видно, что эффект шумоглушения при перфорировании достигнет 10–30 дБ в широкой области частот.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Марченко В. А., Хруслов А. Я. Краевые задачи с мелкозернистой границей. «Наукова думка», 1974. [2]. Скучик Е. Основы акустики. Т. II. М., «Мир», 1976.

УДК 547.455 + 546.56

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И УСТОЙЧИВОСТИ КОМПЛЕКСА МЕДИ (II) С КСИЛОЗОЙ И ГЛЮКОЗОЙ

В. И. КРУПЕНСКИЙ, И. И. КОРОЛЬКОВ, Т. В. ДОЛГАЯ

Ленинградская лесотехническая академия

Ухтинский индустриальный институт

Изучено спектрофотометрически комплексообразование ксилозы и глюкозы с ионами меди (II).

Изучение превращений моносахаридов под влиянием ионов меди представляет интерес в связи с возможностью использования отходов металлургических производств для гидролиза растительных материалов. В литературе таких данных крайне мало.

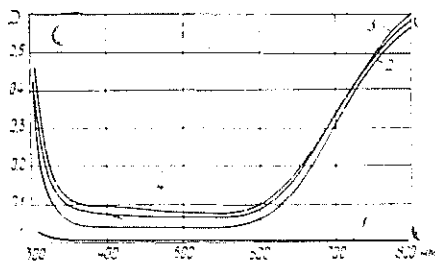


Рис. 1. Спектры поглощения.

1 — ксилроза, $5 \cdot 10^{-2}$ М; 2 — CuSO_4 , $[\text{Cu}(\text{II})] = 5 \cdot 10^{-2}$ М; 3 — $[\text{Cu}(\text{II})] : [\text{ксилроза}] = 1:1$, $[\text{Cu}(\text{II})] = 5 \cdot 10^{-2}$ М; 4 — $[\text{Cu}(\text{II})] : [\text{глюкоза}] = 1:1$, $[\text{Cu}(\text{II})] = 5 \cdot 10^{-2}$ М; рН=1,5; $20 \pm 1,0^\circ\text{C}$; $l = 1$ см.

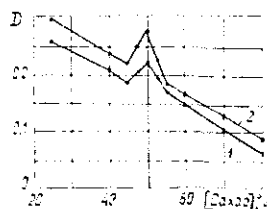


Рис. 2. Диаграммы изомольных серий.

$[\text{Cu}(\text{II})] + [\text{сахар}] = 5 \cdot 10^{-2}$ М; 1 — ксилроза; 2 — глюкоза; $\mu = 1,0 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; $20 \pm 1,0^\circ\text{C}$; рН=1,5; $\lambda = 630$ нм; $l = 3$ см.

Исследование окисления ксилозы ионами Cu^{2+} привело к выводу о существовании комплекса ионов Cu^{2+} с ксилозой, распад которого лимитирует скорость реакции [3]. Для подтверждения предлагаемого механизма мы изучали спектрофотометрически комплексообразование в растворах ксилозы, содержащих ионы Cu^{2+} . Аналогичное исследование проводили и в отношении глюкозы.

Использовали сахара марки «ч», CuSO_4 марки «ч. д. а.». Спектры поглощения смесей CuSO_4 с сахарами, снятые на приборе «Spesogd» (рис. 1), отличались от спектров CuSO_4 , что свидетельствовало о комплексообразовании. Состав комплексов найден методом Жоба [2]. Максимум на диаграммах изомольных серий при соотношении компонентов 1:1 (рис. 2) соответствовал монокомплексу. Для уточнения его состава находили среднее число ионов H_3O^+ , выделяющееся при комплексообразовании, по методу Астахова [2], а также путем измерения рН растворов до и после введения избытка моносахарида. Найденная величина была близка к нулю ($< 0,1$). Вероятно, при комплексообразовании катион меди координируется не по кислотному гидроксилу при C_1 и C_2 , как в боратных или медноаммиачных комплексах, а по полуацетальному кислороду.

Константы нестойкости комплексов определяли методом Бабко [1]. По величинам оптических плотностей эквимольных растворов при различном разбавлении находили несколько значений $K_{\text{нест}}$, из которых определяли среднее геометрическое (табл. 1).

Таблица 1

Расчет констант нестойкости по методу Бабко [3].

$\mu = 1,0 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; $t = 20 \pm 1,0^\circ\text{C}$; рН = 1,5; $l = 3$ см

Сахар λ нм	$C_{\text{компл}} \times 10^{-2}$	D	Номера опытов	Δ	α	$K_{\text{нест}} \times 10^{-3}$
Глюкоза 582	6,25	0,200	1,2	0,050	0,100	0,69
	2,80	0,085	2,3	0,062	0,183	1,32
Глюкоза 630	1,56	0,045	1,3	0,100	0,100	0,69
	6,25	0,550	1,2	0,055	0,110	0,85
	2,80	0,230	2,3	0,061	0,174	1,02
	1,56	0,120	1,3	0,127	0,127	1,20

Средняя $K_{\text{нест}} = 0,94 \cdot 10^{-3}$

Ксилроза 582	6,25	0,170	1,2	0,076	0,152	1,76
	2,80	0,070	2,3	0,100	0,286	3,14
	1,56	0,035	1,3	0,194	0,194	2,90
Ксилроза 630	6,25	0,440	1,2	0,080	0,160	1,95
	2,80	0,180	2,3	0,100	0,286	3,14
	1,56	0,090	1,3	0,182	0,182	2,52

Средняя $K_{\text{нест}} = 2,46 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, спектрофотометрически найдено, что медь (II) образует с ксилозой и глюкозой в кислой среде монокомплексы с константами нестойкости соответственно $2,46 \cdot 10^{-3}$ и $0,94 \cdot 10^{-3}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1]. Бабко А. К. Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах. Киев, Изд. АН УССР, 1955, с. 119. [2]. Булатов М. И., Калинин И. П. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л., «Химия», 1972. [3]. Корольков И. И., Крупенский В. И. Окисление ксилозы в кислой среде солями металлов переменной валентности. — ЖПХ, 1974, 47, № 12, с. 2741—2746.

УДК 634.0.864

**ПРЕПАРАТ ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА
ДЛЯ ЛЕСНОГО И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Е. Д. ГЕЛЬФАНД, Р. Г. ИВАНОВА, Г. З. БОРОВСКАЯ

Архангельский лесотехнический институт

Ленинградский сельскохозяйственный институт

Приведены результаты испытаний хлорлигнина в качестве средства для предпосевной обработки семян.

Гидролизный лигнин известен как многотоннажный промышленный отход химической переработки древесины [2]. Одно из перспективных направлений утилизации гидролизного лигнина — применение его в лесном и сельском хозяйстве. Нами проведены поисковые исследования по получению из гидролизного лигнина биологически активных средств для предпосевной обработки семян, которая, как известно, дает большой эффект в лесокультурном деле и сельском хозяйстве. Создание подобных средств — актуальная проблема, так как имеющиеся на сегодня препараты по некоторым показателям не удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Из целого ряда синтезированных нами препаратов наиболее хорошо зарекомендовал себя хлорлигнин (ХЛ)*, полученный из лигнина Архангельского гидролизного завода. ХЛ получен по особой технологии [1], отличающейся от ранее предложенной [3] тем, что хлорирование гидролизного лигнина осуществляется в его натуральном или подсушенном виде газообразным хлором без последующей промывки. Данный процесс характеризуется высокой интенсивностью: хлорирование может быть осуществлено за несколько секунд [1]. Готовый ХЛ представляет собой порошок коричневого, оранжевого или черного цвета (в зависимости от режима получения) со слабым запахом.

Первоначально ХЛ был испытан нами для обработки семян сосны и ели** путем опудривания. Неоднократные опыты позволили установить ценное качество ХЛ: он одновременно проявляет себя и как стимулятор роста, и как эффективный протравитель. Так, при обработке семян ели дозой ХЛ 10 г/кг энергия прорастания семян увеличивалась на 7—15%, а абсолютная всхожесть — на 3—10% по отношению к контролю; одновременно резко (в ряде случаев до нуля) снижался процент семян, поражаемых плесенью при испытании на мясо-пелтоном агаре.

Основываясь на выявленных свойствах ХЛ, в 1976 г. мы провели испытания его на сельскохозяйственной культуре — овсе «Хадмерслебнер А. Г.». Вначале ХЛ был проверен на токсичность. Для этого сухой ХЛ в разных дозах — от 1 до 10 г — вносили на поверхность растений, заполненных прокаленным песком, и проращивали в них семена овса. Оптимальными дозами оказались 2,5 и 5 г ХЛ на одну растителью (60 см²). При этих дозах энергия прорастания и абсолютная всхожесть увеличились соответственно на 13 и 10% по отношению к контролю; число семян, пораженных плесенью, сократилось вдвое. Несколько увеличилась сила первоначального роста: высота растений возросла на 1,4 см, вес корней — на 0,7 г.

Далее было изучено влияние ХЛ на рост и урожайность семян овса. Опыты проводили на делянках площадью 2 м² при 4-кратной повторности. Семена обрабатывали в дозах 10 кг/га и 20 кг/га по типу полусухого протравливания.

Анализ структуры урожая, проведенный перед уборкой, показал (табл. 1), что у растений с ХЛ более высокая кустистость, длиннее метелка и большее число зе-

* Гельфанд Е. Д., Ларин В. Б. Протравитель семян. Авт. свид. № 484850. — Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1975, № 35.

** Все опыты проведены канд. с.-х. наук, доц. В. Б. Лариним.

Таблица 1

Вариант опыта	Кустистость		Высота растений, см	Длина метелки, см	Число колосков в метелке	Число зерен в метелке	Средняя урожайность, ц/га	Прибавка урожая	
	общая	продуктивная						%	ц/га
Контроль	1,3	1,1	120,3	16,7	36,4	68	36,9	—	—
Семена, обработанные ХЛ (10 кг/га)	1,8	1,2	121,8	17,7	41,2	73	40,4	9,5	3,5
Семена, обработанные ХЛ (20 кг/га)	1,9	1,3	122,4	18,1	42,4	80	40,8	10,5	3,9

рен в метелке. По результатам визуальных наблюдений значительно меньшей была степень поражения растений заболеваниями, чем в контроле.

Средняя урожайность овса в вариантах с ХЛ была на 9,5% (при расходе ХЛ 10 кг/га) и на 10,5% (при расходе ХЛ 20 кг/га) выше, чем в контроле; абсолютный прирост урожая составил соответственно 3,5 и 3,9 ц/га.

По результатам испытаний можно отметить, что применение 1 т ХЛ в производстве овса может дать прирост продукции в размере 35 т.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1]. Гельфанд Е. Д. Хлорирование лигнина в твердой фазе газообразным хлором. — В сб.: Химия и использование лигнина. Рига, 1974, с. 204. [2]. Шарков В. И. и др. Технология гидролизных производств. М., 1973, с. 349—350. [3]. Шорыгина Н. Н. и др. Хлорлигнин и его промышленное получение. — «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1958, № 6.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 502.7 (049.3)

СУЩЕСТВЕННО ОБНОВЛЕННОЕ ИЗДАНИЕ*

Преподавание курса охраны природы в вузах находится сегодня в довольно неопределенном состоянии: единой вузовской программы нет, в учебные планы данная дисциплина входит практически на правах факультатива, методика преподавания не разработана. Охрана природы по-разному преподносится в каждом учебном заведении и читается как специалистами различного биологического профиля (от лесоводов до физиологов и микробиологов), так и технологами очистных сооружений, санитарными врачами и т. д. Поэтому в ряде случаев сложные экологические и ресурсоэкономические проблемы преподносятся студентам на уровне разного рода отечественных и переводных «кратких курсов экологии», «популярных экологий», «бесед об экологии» и т. п.

Природопользованию и охране окружающей среды надо терпеливо и методично учить новые поколения инженеров — будущих руководителей производства, не только давая им профессиональные знания, но и воспитывая мировоззрение. С этих позиций рецензируемая книга заслуживает высокой оценки, и допущение ее Минвузом СССР в качестве учебного пособия вполне оправдано. Авторами в сущности написан новый учебник, принципиально отличающийся от вышедшего в 1971 г. первого издания. Текст полностью переработан, архитектура книги изменена, ряд глав исключен или заменен другими; объем вырос почти вдвое.

Уже во введении авторы принципиально, с марксистско-ленинских диалектических позиций рассматривают вопрос об изменяющихся во времени задачах дисциплины, об экономических критериях использования природных ресурсов, о необходимости глубокого естественноисторического обоснования крупных преобразований природы. Таким образом, авторы, написав пособие по охране природы, с самого начала выступают с позиций рационального природопользования, исключая сомнения в том, что оно и есть природопользование социалистическое. Вместе с тем, они подчеркивают, что предмет книги все-таки охрана природы, т. е. части материального мира, изучаемой естественными науками. Отсюда справедливо в качестве научной базы охраны природы утверждается экология, основам которой посвящена вторая глава. Здесь излагается (хотя и очень кратко) сущность учения В. И. Вернадского о биосфере, рассматриваются процессы круговорота основных веществ, потоки энергии в экосистемах, продуктивность последних. Вся эта информация совершенно необходима инженерам, ибо в любой отрасли производства им придется так или иначе иметь дело с экологическими системами, либо эксплуатируя их компоненты, либо преобразуя в процессе реализации технических решений.

В книге последовательно рассматриваются проблемы охраны атмосферы, водных ресурсов, земли, недр, растительности, ихтиофауны. Ряд глав (V—VII) написан именно с позиций рационального использования тех или иных ресурсов. Отдельно излагаются вопросы правовой охраны природы в СССР, а также международно-правовой охраны. Авторы не обошли вниманием и такой существенный момент, как культурно-воспитательные функции природы. Несколько поверхностной и эклектичной представляется глава X «Человек и биосфера», в которой соединены и проблемы роста народонаселения, и обзор ресурсов океана, и вопросы применения пестицидов.

Безусловно высок идейно-политический уровень пособия. Роль В. И. Ленина в становлении социалистического природопользования и реализации ленинских принципов в современной политике КПСС показаны конкретно и убедительно практически во всех разделах.

Книга энциклопедична, она затрагивает (разумеется, в неравной степени) практически все вопросы, связанные с природой и ее охраной. Отсюда неизбежный эклектизм содержания: одни вопросы освещены слишком подробно (например охрана рыбных ресурсов), другие (например повышение продуктивности лесов) чересчур бегло. Можно спорить и по поводу включения в книгу тех или иных материалов. Далеко не вся информация методически препарирована в форме, отвечающей задачам учебного пособия.

* Воронцов А. И., Харитонов Н. З. Охрана природы. Изд. 2-е. М., «Высшая школа», 1977. 408 с.

Подобные недочеты неизбежны сейчас — в период становления курса, его «обкатки», и общей положительной оценки книги они ни в коей мере не заслоняют.

К сожалению, с последовательным и четким изложением и содержанием почти всех глав существенно диссонирует глава VIII «Рациональное использование и охрана животных». Более 10 страниц здесь занято традиционными для популярных изданий и, в сущности, беспредметными перечислениями животных, вымерших по разным объективным причинам. Наличествуют чисто экологические нечеткости в разделе о роли позвоночных в экосистемах. Утверждения о том, что барсук полезен, ибо может съесть в сутки до 500 личинок майского жука, а глухарь может быть вреден, так как съедает в месяц до 6 кг хвои, противоречат приведенному в этом же учебнике материалу главы об экологических основах охраны природы, где показана закономерная эволюционно-детерминированная сущность биоценотических отношений между популяциями разных видов. Из этой главы как раз следует, что популяция глухаря никакой опасности для популяций ели или сосны не представляет, а барсук как биологический вид никакой регулирующей роли (и тем более лесозащитной!) в популяциях майского жука играть не может. Ущерб же от майского и других видов хрущей устраняется при экологическом подходе к лесовосстановлению, т. е. путем создания культур в форме устойчивых лесных экосистем. В природе нет ни вредных, ни полезных видов. Это — правило экологии.

Данная глава — не главная в рецензируемой книге, и мы чуть подробнее рассмотрели ее лишь из тех соображений, что необходимость в третьем издании «Охраны природы» этих же авторов возникнет очень скоро, и оно должно быть безупречным.

По-видимому, данное учебное пособие уже может служить базой для обеспечения давно назревшей необходимости создания унифицированной мнвузовской программы курса основ рационального природопользования, хотя бы для лесных и сельскохозяйственных вузов. Именно под таким названием курс должен в будущем войти в учебные планы высших учебных заведений, заменив нынешнюю «охрану природы».

Г. В. Стадницкий, Г. Б. Гортянский
Архангельский лесотехнический институт

ЮБИЛЕИ

ПРОФЕССОРУ

А. И. КИПРИАНОВУ — 50 ЛЕТ

20 марта 1978 г. исполняется 50 лет со дня рождения и 25 лет научной, педагогической и общественной деятельности ректора Ленинградской лесотехнической академии, доктора технических наук, профессора Алексея Ивановича Киприанова.

В 1956 г. А. И. Киприанов с отличием окончил химико-технологический факультет ЛТА и с тех пор вся его практическая и научная деятельность неотрывно связана с академией. Еще в студенческие годы Алексей Иванович проявил способности к научной работе. После прохождения аспирантуры при кафедре лесохимических производств он успешно защитил кандидатскую диссертацию, работал ассистентом, научным сотрудником и доцентом кафедры процессов и аппаратов, а в 1970 г. защитил докторскую диссертацию, посвященную исследованию процессов переработки древесной смолы. В 1971 г. проф. А. И. Киприанов становится проректором академии по научной работе, а в 1973 г. назначается ректором академии и заведует кафедрой процессов и аппаратов химической технологии.

За годы работы в ЛТА проф. А. И. Киприанов руководил многочисленными прогрессивными научными разработками в области химической технологии древесины. Глубокий поиск в науке всегда сочетался у А. И. Киприанова со стремлением к достиганию эффективно практического результата. Многие разработанные им технологические процессы внедрены и продолжают внедряться на предприятиях лесохимической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Основное внимание в работах А. И. Киприанова уделялось разработке теоретических основ непрерывных процессов переработки продуктов термической деструкции древесины, в частности пироконденсаторов. По его научным разработкам на Свляевском лесохимическом комбинате построена и пущена принципиально новая высокоэффективная установка для непрерывной разгонки древесной смолы.

Важное научное направление, которое разрабатывается А. И. Киприановым в последние годы, — исследование технологии переработки сульфатных щелоков и побочных продуктов сульфат-целлюлозного производства. Этой проблеме посвящена значительная часть тематики комплексной лаборатории древесных пластиков и смол, научным руководителем которой является проф. А. И. Киприанов.

Несмотря на то, что обязанности ректора и большая общественная работа отнимают у него много времени и сил, А. И. Киприанов ведет в академии творческую педагогическую работу, возглавляя молодой коллектив созданной им совместно с проф. С. Я. Коротовым кафедры процессов и аппаратов химической технологии. Прекрасный лектор, Алексей Иванович пользуется любовью и уважением студентов, ценящих его популяризаторский дар, логичность и строгость изложения. А. И. Киприанов постоянно руководит студенческими научными работами и исследовательскими работами аспирантов. Под его руководством защитили кандидатские диссертации восемь аспирантов и соискателей.

А. И. Киприанов ведет большую общественную работу: он является членом парткома ЛТА, депутатом Ленинградского горсовета, членом технических советов ряда



министерств, членом ученых советов отраслевых институтов и вузов, членом редакций научно-технических журналов.

Проф. А. И. Киприанов — автор 65 научных работ (монографий и статей). Научные, педагогические и общественные заслуги А. И. Киприанова отмечены правительственными наградами.

Приветствуя Алексея Ивановича Киприанова по случаю его юбилея, желаем ему здоровья и счастья, новых успехов в его ответственной, полезной и разносторонней деятельности!

Ю. И. Холькин, В. А. Выродов, В. М. Никитин,
Ю. Н. Непенин, Б. В. Ермолов, Ю. Д. Юдкевич
Ленинградская лесотехническая академия
И. М. Боховкин, Б. Д. Богомолов
Архангельский лесотехнический институт

ЮБИЛЕИ

проф. МИХАИЛА ДАВИДОВИЧА БАВЕЛЬСКОГО

13 января 1978 г. исполнилось 70 лет со дня рождения и 50 лет производственной, научной, педагогической и общественной деятельности доктора технических наук, профессора кафедры автоматизации производственных процессов Ленинградской лесотехнической академии М. Д. Бавельского.

Михаил Давидович родился в 1908 г. в семье кустика. Рано потеряв родителей, с 1921 г. по 1924 г. он воспитывался в детском доме. После окончания фабрично-заводского училища в 1924 г. он в течение ряда лет работал слесарем на заводе. В 1928 г. вступил в партию, а в 1930 г. был направлен на учебу в Ленинградскую лесотехническую академию в счет «профтысячи».

По окончании академии М. Д. Бавельский работает на мебельной фабрике, а через год его зачисляют в очную аспирантуру ЛТА. В мае 1941 г. он успешно заканчивает аспирантуру, защищает кандидатскую диссертацию и получает направление в Наркомлес на должность зам. начальника Главка.

С 1941 г. и до окончания Великой Отечественной войны М. Д. Бавельский в рядах Советской Армии; участвует в освобождении Невеля, Витебска, Латвии, Литвы, проходит с боями Восточную Пруссию. За боевые заслуги он награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны II степени и медалями.

После войны М. Д. Бавельский возвращается в академию на кафедру теории механизмов и машин в качестве старшего преподавателя, а затем доцента. За пятнадцатилетний период работы на этой кафедре под его руководством был создан ряд учебных и методических материалов, выполнено большое количество научно-исследовательских работ, опубликована работа «Исследование полуавтоматов для заделки дефектов древесины». Все это время Михаил Давидович в гуще общественной жизни факультета. Более 10 лет успешно выполнял обязанности зам. декана и декана факультета.

В 1960 г. М. Д. Бавельский переходит на вновь созданную кафедру автоматики, а в мае 1962 г. становится заведующим этой кафедрой.

Под руководством и при непосредственном участии М. Д. Бавельского созданы новые лаборатории: «Гидропневмоавтоматики», «Автоматизации производственных процессов», «Промышленной электроники», написано 12 учебных программ по новым дисциплинам, заново введено 9 учебных дисциплин, опубликованы методические и учебные пособия, выполнен ряд важнейших научно-исследовательских работ для промышленности.

Им опубликованы 4 монографии: «Автоматы и полуавтоматы механической обработки древесины» (1961), «Системы управления зажимными механизмами деревообрабатывающих автоматов» (1965), «Гидроавтоматика деревообрабатывающего обо-

рудования» (1969), «Справочник по пневмоприводу и пневмоавтоматике деревообрабатывающего оборудования» (1973). Общее количество научных работ — 104.

В 1969 г. М. Д. Бавельский успешно защищает докторскую диссертацию и ему присуждается ученая степень доктора технических наук и звание профессора.

Михаил Давидович щедро передает свои знания и опыт — им подготовлено большое число инженеров по автоматизации производственных процессов. Девять его учеников защитили кандидатские диссертации. С 1973 г. М. Д. Бавельский возглавляет студенческое научное общество лесотехнической академии.

Сердечно поздравляем Михаила Давидовича с юбилеем, желаем ему новых творческих успехов в педагогической, научной и общественной деятельности!

Группа товарищей

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!

22 февраля 1978 г. исполнилось 75 лет со дня рождения кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Петра Иосифовича Войчала.

После окончания в 1930 г. Ленинградской лесотехнической академии П. И. Войчалъ работал таксатором, плановником леспромхоза и специалистом лесного хозяйства, а с 1933 г. в Архангельском лесотехническом институте в должности ассистента, старшего преподавателя и доцента кафедры лесных культур. Им опубликовано свыше 60 научных работ. Его энциклопедические знания позволили ему успешно работать более 13 лет заместителем ответственного редактора «Лесного журнала», членом редакционной коллегии которого он является с основания журнала и участвует в работе и в настоящее время.

Преподаватели и сотрудники лесохозяйственного факультета АЛТИ, многочисленные специалисты лесного хозяйства поздравляют Петра Иосифовича со славным юбилеем и желают ему доброго здоровья, долгих лет жизни и полного благополучия!

В редакцию «Лесного журнала»

В связи с моим 85-летием мной получено большое количество поздравлений и добрых пожеланий. Принимаю благодарность и выражаю глубокую признательность всем, поздравившим меня.

Приложу старания, чтобы и дальнейшая моя жизнь не была бесполезной.

В. В. Огневский

Профессор, доктор с.-х. наук

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И. М. Боховкин, Е. С. Романов.</i> Работать лучше, чем вчера	3
---	---

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>М. В. Давидов.</i> Закономерности роста древостоев лиственных пород семенного и порослевого происхождения	5
<i>А. П. Сладнев.</i> Опыт повышения эффективности осветительных постепенных рубок в лиственно-еловых насаждениях	10
<i>В. В. Пахучий.</i> Динамика радиального прироста сосновых древостоев осушенного болота	15
<i>А. П. Звирбуль.</i> Исследование режима влажности в почве приспевающего ельника после внесения минеральных удобрений	18
<i>А. Ф. Совков, М. Г. Слюсарев.</i> Некоторые результаты исследования физико-механических свойств корневых систем дуба черешчатого и ясеня обыкновенного	22
<i>В. И. Бирюков, Б. В. Млокосевич.</i> Культуры хвойных экзотов в Абхазии	26
<i>И. С. Нартов, В. Р. Карамышев.</i> К расчету динамических нагрузок в элементах лесных машин, защищенных предохранительными муфтами	30
<i>А. И. Баранов, А. И. Землянухин, М. А. Малофеева.</i> Анализ влияния радиуса подачи на скорость схода семян с распределительного диска в машине для механической обработки семян	35

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С. Ф. Орлов, Ю. Г. Артамонов, В. М. Рубцов.</i> Об оптимальном взаимодействии лесозаготовительной машины с деревом в процессе его валки	40
<i>В. А. Мельник.</i> О новом способе разработки лесосек с применением бесчokerных тракторов на трелевке	45
<i>Л. В. Коротяев.</i> Исследование жесткости хлыстов	48
<i>Г. Ф. Храпцов.</i> Результаты исследования изгибных колебаний хлыстов	55
<i>В. А. Червинский.</i> Условия получения максимального выхода цилиндрических круглых лесоматериалов при раскряжке хлыстов с учетом кривизны	59
<i>В. Д. Мартынихин, М. А. Цвирко.</i> Контактные напряжения на блоках с рифленой и гладкой поверхностью желоба	64
<i>В. М. Алябьев.</i> Методика расчета электрических нагрузок лесопромышленных предприятий	69

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А. Е. Чаадаев, В. А. Шамаев.</i> Исследование антифрикционных свойств прессованной древесины, модифицированной мочевиной	74
<i>Ю. М. Иванов.</i> О длительной прочности древесины по результатам испытаний образцов крупного размера	77
<i>З. И. Подойникова, И. А. Кулиничева.</i> Диаграмма равновесной влажности пластинок	83
<i>Б. В. Лабудин.</i> Методика определения модулей сдвига древесины из опытов на кручение	85
<i>В. А. Бархатов, А. В. Вардугин, В. И. Дитрих.</i> Исследование корреляционных связей между показателями физико-механических свойств древесины ветвей хвойных пород Сибири	92
<i>В. В. Желдакова, В. А. Глумова, Г. В. Медведева, В. Н. Петри.</i> О некоторых физических и химических изменениях прессматериала при различных режимах изготовления древесных пластинок	96
<i>М. А. Клейнер, И. Г. Назаренко.</i> Исследование засаливания шлифовальной шкурки на синтетических клеях	99
<i>Т. К. Ефремова, В. А. Мигусов, С. А. Васюкин.</i> Влияние огнезащитных добавок на взрывчатые свойства древесного волокна и пыли	102

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Е. С. Сапотницкий, Б. В. Ермолов, А. И. Киприанов. Влияние гидродинамической структуры потока на распад моносахаридов при моделировании перколяционного гидролиза растительных материалов 106
- В. Л. Колесников, В. С. Малыгин. Оптимальное управление процессом каннфольной проклейки бумаги в массе с использованием коллоидно-химического регулятора 110
- В. А. Пивоварова, Б. Д. Богомолов. О веществах, выделенных при очистке лигноуглеводных комплексов, и о древесных остатках 113
- Б. П. Ерыхов, А. П. Плотников. О количественной оценке неоднородности целлюлозно-бумажных материалов методом крутильных колебаний 117
- В. И. Шарков, В. А. Калашев. О возможности повышения реакционной способности древесной целлюлозы путем ее обработки жидким аммиаком 123
- Т. В. Сухая, Л. П. Пиуновская, А. А. Леонович. Термомеханическое исследование изменений лигнина при производстве древесноволокнистых плит 126

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- И. В. Турлай, А. С. Федоренчик. Оптимизация некоторых параметров многооперационных машин 132

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Е. С. Романов. Об определении размера выбытия производственных мощностей на лесозаготовках 137
- В. П. Фефелов, Ю. И. Деминцев. К вопросу об эффективности использования передвижных сучкорезных машин 140
- М. Ю. Марушкой, А. А. Охотников. Удельная стоимость энергии трелевочных машин 142

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- Б. В. Бабиков. Влияние осушения лесных болот на сток и водное питание рек 146
- Б. Ф. Орлов, А. С. Поздеев, В. М. Дербина. Теоретический анализ условий выброса грунта торцово-коническими фрезами 148
- В. С. Жаденов, С. П. Солодов, П. П. Солодов. Определение среднего диаметра пропила при раскряжевке хлыстов 152
- В. А. Лукина, Б. В. Уваров. К расчету глубины промерзания грунтов земляного полотна 155
- С. И. Ионйтис. Размеры бруса максимального объема, выпиленного из кривого бревна 158
- А. П. Брагин. Расчет числа потоков сортированных бревен, допускаемых при сортировке в отепленном бассейне лесопильного завода 160
- Ф. С. Дейч, Н. В. Карпунчев, А. С. Чурилин. Об уменьшении шума вибрирующей цилиндрической поверхности путем ее перфорации 163
- В. И. Крупенский, И. И. Корольков, Т. В. Долгая. Определение состава и устойчивости комплекса меди (II) с ксилозой и глюкозой 165
- Е. Д. Гельфанд, Р. Г. Иванова, Г. Э. Боровская. Препарат из гидролизного лигнина для лесного и сельского хозяйства 167

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Г. В. Стадницкий, Г. Б. Гортинский. Существенно обновленное издание 169

ЮБИЛЕИ

- Ю. И. Холькин, В. А. Выродов, В. М. Никитин, Ю. Н. Непенин, Б. В. Ермолов, Ю. Д. Юдкевич, И. М. Боховкин, Б. Д. Богомолов. Профессору А. И. Киприанову — 50 лет 171
- Группа товарищей. Юбилей проф. Михаила Давидовича Бавельского 172
- Поздравляем юбиляра! 173
- В. В. Огиевский. В редакцию «Лесного журнала» —

CONTENT

I. M. Bokhovkin, E. S. Romanov. To work better than we worked yesterday 3

FORESTRY

<i>M. V. Davidov.</i> Growth regularities in deciduous stands of seed and sprouting origin	5
<i>A. P. Slyadnev.</i> The experience of increasing effectiveness of illuminating gradual felling in the foliage-fir plantations	10
<i>V. V. Pakhuchy.</i> Dynamics of radial growth in pine stands on drained bog	15
<i>A. P. Zvirbul.</i> Investigation of moisture content in the soil of spruce stands after fertilization	18
<i>A. F. Soukov, M. G. Slyusarev.</i> Some results of investigation of physical and mechanical properties of root systems of oak common and ash European	22
<i>V. I. Biryukov, B. V. Mlokosevich.</i> Cultures of coniferous exotics in Abkhazia	26
<i>P. S. Nartov, V. R. Karanyshev.</i> Calculation of dynamic loads in the parts of forest machines protected with the safety couplings	30
<i>A. I. Baranov, A. I. Zemlyanukhin, M. A. Malofeeva.</i> Analysis of the influence of supply radius on the velocity of seeds' going down from the distributive disk in a machine used for machining seeds	35

FOREST EXPLOITATION

<i>S. F. Orlov, Yu. G. Artamonov, V. M. Rubtsov.</i> Optimum logging machine and tree interaction during the felling process	40
<i>V. A. Melnik.</i> On new method of cutting with the use of hauling tractors without chokers	45
<i>L. V. Korotyayev.</i> Investigation of hardness of tree lengths	48
<i>G. F. Hramtsov.</i> On bending vibrations of tree lengths	55
<i>V. A. Chervinsky.</i> Conditions of getting maximum yield of cylindrical logs when bucking tree-lengths taking into consideration their bend	59
<i>V. D. Martynikhin, M. A. Tsvirko.</i> Contact tensions on the pulleys with corrugated and smooth chute surface	64
<i>V. M. Alyabiev.</i> Method of calculation of electrical loading at forest industry enterprises	69

MECHANICAL TECHNOLOGY AND WOODSCIENCE

<i>A. E. Chaadaev, V. A. Shamaev.</i> The investigation of antifrictional properties of pressed wood, modified with urea	74
<i>Yu. M. Ivanov.</i> On long-term strength of wood according to large-size specimen tests	77
<i>Z. I. Podoinikova, I. A. Kulinicheva.</i> Diagram of plastics' equilibrium moisture content	83
<i>B. V. Labudin.</i> Method for determination of moduli of shear in wood under torsion	85
<i>V. A. Barkhotov, A. V. Vardugin, V. I. Ditrikh.</i> The research in correlations between indices of physical and mechanical properties of wood in branches of Siberian coniferous species	92
<i>V. A. Zheldakova, V. A. Glumova, G. V. Medvedeva, V. N. Petry.</i> On some physical and chemical pressmaterial changes under various conditions of manufacturing wood plastics	96
<i>M. A. Kleiner, I. G. Nazarenko.</i> Investigation of filling up the grinding abrasive with synthetic glues.	99
<i>T. K. Efremova, V. A. Mitusov, S. A. Vaskin.</i> Influence of flame-retardant inhibitors on explosive properties of wood fibre and dust	102

CHEMICAL WOODWORKING

<i>E. S. Sapotnitsky, B. V. Ermolov, A. I. Kiprianov.</i> Effect of hydrodynamic structure of flow on monose desintegration when modeling percolation hydrolysis of plant materials	106
---	-----

<i>V. L. Kolesnikov, V. S. Matygin.</i> Use of colloid and chemical regulator for optimum controlling the resin paper sizing process	110
<i>V. A. Pivovarova, B. D. Bogomolov.</i> On the substances isolated when purifying the lignin-carbohydrate complexes and on the wood residues	113
<i>B. P. Erykhov, A. P. Plotnikov.</i> On quantitative determination of nonuniformity of cellulose and paper materials by torsional vibration method	117
<i>V. I. Sharkov, V. A. Kalashev.</i> On possibilities of improving reaction properties of wood pulp by its treatment with liquid ammonia	123
<i>T. V. Sukhaya, L. P. Piunovskaya, A. A. Leonovich.</i> Thermomechanical investigation of lignin changing in the production of fibreboards	126

**COMPLEX MECHANIZATION
AND AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES**

<i>I. V. Turlay, A. S. Fedorenchik.</i> Optimisation of some parametres of multipereration machines	132
---	-----

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF PRODUCTION

<i>E. S. Romanov.</i> How to determine the reduction of productive capacities of a logging camp	137
<i>V. P. Fefelov, Yu. I. Demintsev.</i> The effective using of mobile machines for chopping twigs	140
<i>M. Yu. Marushkey, A. A. Okhoinikov.</i> Specific cost of hauling machines energy	142

SHORT REPORTS AND EXCHANGE OF EXPERIENSE

<i>B. V. Babikov.</i> The effect of forest peatland drainage on the flow and water regime of rivers	146
<i>B. F. Orlov, A. S. Pozdeev, V. M. Derbina.</i> Theoretical analysis of conditions of throwing out soil with end-coned cutters	148
<i>V. S. Zhadenov, S. P. Solodov, P. P. Solodov.</i> Defining the average diameter of a cut when bucking full-length trees	152
<i>V. A. Lukina, B. V. Uvarov.</i> On the calculation of the depth of freezing subgrade soils	155
<i>S. I. Ionaitis.</i> The dimenstons of the beam of the maximum size cut out of a curved log	158
<i>A. P. Bragin.</i> Determining the number of sorted logs streams available at sorting in a hot pond of a sawmill	160
<i>F. S. Deich, N. V. Karpunichev, A. S. Churilin.</i> On reducing noise of vibrating cylindrical surface by means of its perforation	163
<i>V. I. Krupensky, I. I. Korolkov, T. V. Dolgaya.</i> Calculation of components and stability of complex Cu (II) with glucose and xylose	165
<i>E. D. Gelfand, R. G. Ivanova, G. Z. Borovskaya.</i> Preparation of hydrolysis lignin for using in forestry and agriculture	167

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

<i>G. V. Stadnitsky, G. B. Gortinsky.</i> Essentially renewed publication	169
---	-----

JUBILEES

<i>Yu. I. Holkin, V. A. Vyrodov, V. M. Nikitin, Yu. N. Nepenin, B. V. Ermolov, Yu. D. Yudkevich, I. M. Bokhovkin, B. D. Bogomolov.</i> Prof. A. I. Kiprianov is fifty	171
<i>Group of fellow-workers.</i> Prof. M. D. Bavel'sky jubilee	172
<i>Many happy returns to P. I. Voichal!</i>	173
<i>V. V. Ogievsky.</i> To editorial office of „Forest journal“	—