

THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
SIBERIAN BRANCH

The V. N. Sukachev Institute of Forest and Wood

WOOD
and WOOD
MATERIALS

Krasnojarsk
1974

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева

ДРЕВЕСИНА И ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Красноярск
1974

055(02)3

© Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР,
1974 г.

В сборнике представлены результаты исследований сотрудников трех лабораторий Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения АН СССР: строения и физико-механических свойств древесины, консервирования и защиты древесины, новых древесных материалов. Статьи охватывают широкий круг вопросов как биологического, так и технического древесиноведения.

В первой группе статей рассматривается строение клеточной стенки, влажность и плотность древесины растущих деревьев основных лесообразующих пород Сибири, разрушение натуральной и антисептированной древесины, а также коры и ветвей дереворазрушающими грибами.

Вторая группа статей, относящаяся к области физики древесины, касается ее пьезоэлектрических свойств и состояния влаги в древесине.

В следующей группе статей представлены исследования физико-химических свойств древесины в связи с ее проницаемостью газами и жидкостями и глубокой пропиткой антисептиками. Рассматриваются также некоторые вопросы тепловой обработки древесины.

Последняя группа статей касается использования древесных отходов и малощепной древесины. Особое внимание уделяется формоизменяемости древесностружечных плит, их анизотропии и реологии. Рассматриваются также некоторые вопросы производства арболита.

Материалы сборника могут быть полезны научным работникам и технологам-производственникам, занимающимся защитой и обработкой древесины, использованием древесных отходов и производством древесных материалов.

Ответственный редактор

Б. С. Чудинов,

доктор технических наук, профессор.

The results of investigations by scientific collaborators of three research laboratories (Physics of Wood Laboratory, Preservation of Wood Laboratory, Wood Materials Laboratory) by V. N. Sukachev Institute of Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR are present in this publication. Wide range of questions both the biological and technical wood science is embraced here.

In the first group of reports cell-wall structure, moisture content and density of wood of growing in Siberia trees are described. Destruction of natural and preserved wood, bark and branches are shown also.

Other group shows piezoelectric properties of wood and state of water in it. Investigations of physical-mechanical properties of wood connection with deep treatment by preservatives of it are present. One report is dedicated to some questions of wood heat treatment.

The last group of reports concerns to using of wood waste and little value wood. Change of form of particle boards, its anisotropy and rheology are considered some questions of arbolite production are also examined.

Responsible Editor

Prof. Dr. B. S. CHUDINOV.

В. Е. Москалева, Е. В. Гончарова

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ И СВОЙСТВАХ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ АНАТОМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДРЕВЕСИНЫ

Основой для управления любым технологическим процессом при превращении древесного волокна в целлюлозное служит знание строения клеточной стенки волокна и те изменения, которые происходят в ней на разных стадиях изучаемого процесса. Строение клеточной стенки анатомических элементов древесины должно изучаться вместе с локализацией в ней химических компонентов. Физико-химические изменения, происходящие в течение технологических процессов, дают отражение изменения строения клеточной стенки так же, как и физиологические процессы, протекающие в живом дереве, находят свое отражение в анатомических картинах.

За рубежом изучению клеточной стенки древесных растений уделяется много внимания. Во многих странах мира с помощью методов электронной микроскопии, микроспектрофотометрии, ультрафиолетовой микроскопии изучается строение клеточной стенки и локализации в ней химических компонентов [1, 2, 3, 4 и др.].

Исследование тонкого строения клеточной стенки анатомических элементов древесины лучше всего проводить в процессе получения целлюлозы, когда древесина подвергается химической обработке при высоких температурах. Происходит делигнификация древесины, удаление веществ матрикса, таким образом обнажается тонкое строение клеточной стенки. Однако электронноскопические исследования, хотя и дают некоторые сведения о тонком строении клеточной стенки, не могут полностью отразить локализацию химических компонентов. Дело в том, что составные части клеточной стенки состоят из электронноплотных веществ, благодаря чему необработанная клеточная стенка выглядит гомогенной. При

постепенном удалении различных компонентов с помощью электронной микроскопии трудно установить, какие составные части клеточной стенки удалены, какие остаются. Так в процессе делигнификации, вместе с лигнином удаляются и гемицеллюлозы. Можно, конечно, контролировать изменение состава химическими анализами, но часто это оказывается недостаточным. Свойства получаемого волокна зависят в большей степени не от количества оставшихся компонентов, а от их распределения в клеточной стенке. Поэтому электронноскопические исследования должны сопровождаться микроскопическими анализами с помощью гистохимии и люминесцентной микроскопии.

Проведенные ранее исследования [5, 6] доказали, что при механических воздействиях в первую очередь происходит разрушение вторичных оболочек трахейд хвойных пород и древесных волокон лиственных. Разъединения по срединной пластинке не происходит. На рис. 1 изображен поперечный срез древесины ели после испытания на скалывание вдоль волокон в радиальной плоскости. Срединная пластинка не разрушена.

Другие явления происходят, когда древесина подвергается химическим воздействиям, в частности реагентом, растворяющим лигнин. Срединная пластинка, имеющая более рыхлое строение, чем другие слои клеточной стенки, при варке как сульфатным, так и бисульфитным способом, в первую очередь подвергается атаке варочной жидкости, разрыхлению и последующему растворению [7, 8].

При мацерации под влиянием химических воздействий в первую очередь освобождаются кончики трахейд (рис. 2). Это явление часто отождествляют с явлениями, происходящими при механическом разрушении. На этом основании возникает много недоразумений и неправильных представлений о работе древесины. Так, например, в статье Ю. В. Якимова [9] говорится о разрушении в первую очередь срединной пластинки при сжатии вдоль волокон, выявленному методом электронной микроскопии. Для удаления электронноплотного лигнина, мешающего выявить тонкое строение клеточной стенки, Ю. В. Якимов кипятил образцы в течение одного часа в смеси Шульце. Нарушение строения срединных пластинок произошло под действием химической обработки, т. е. смесь Шульце, как правило, применяется для мацерации древесины, т. е. для разрушения срединных пластинок анатомических элементов древесины, а Ю. В. Якимов приписывает это раз-

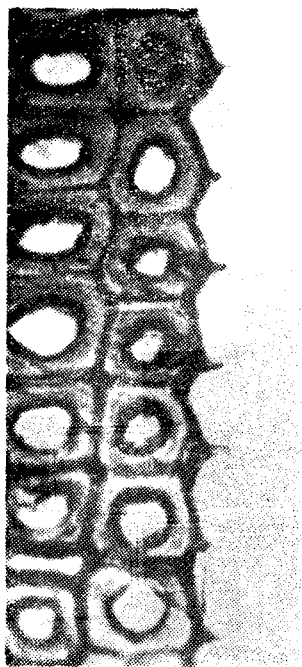


Рис. 1. Поперечный срез древесины ели в зоне скалывания. Разрушение по вторичной оболочке поздних трахенд. Увеличение 5×40 .



Рис. 2. Радиальный срез древесины сосны. Начало мацерации трахенд. Увеличение 7×8 .

рушение действию механической нагрузки при сжатии вдоль волокон.

Свойства срединной пластинки изменяются также под действием водяного пара с высокой температурой. С. В. Бабурин и А. Н. Обатуров воздействовали на древесину ели и березы паром высокого давления. При этом древесина без химических воздействий распалась на мелкие кусочки и даже отдельные волокна. При механических воздействиях характеры разрушений древесины, обработанной и не обработанной паром, различны. В некоторых случаях наблюдается разрушение по срединной пластинке (по наиболее слабому месту клеточной стенки) и соединению между наружным (S_1) и средним (S_2) слоем вторичной оболочки (рис. 3). Наиболее лиг-

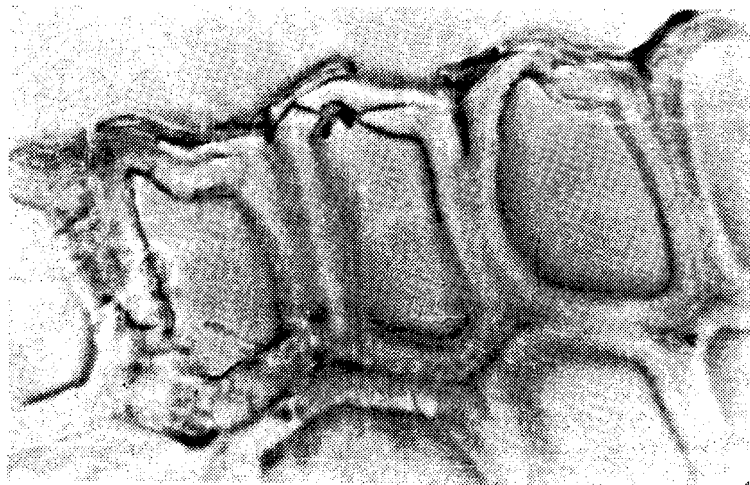


Рис. 3. Поперечный срез древесины ели после обработки паром при высокой температуре и давлении. Мацерация проходит по срединной пластинке и соединению между S_1 и S_2 вторичной оболочки. Увеличение 10×60 .

нифицированная часть клеточной стенки (срединная пластинка М) с прилегающими к ней слоями Р и S_1 разрушается и остается на волокне отдельными кусочками, которые могут быть удалены при соответствующей механической обработке.

Это явление используют некоторые технологи для получения высококачественной древесной массы. Так, например, Р. А. Лиск [10] применил рафинирование с пропаркой щепы под давлением, чтобы добиться наибольшего обнажения слоя S_2 с высоким содержанием целлюлозы.

На изменении свойств клеточных стенок анатомических элементов древесины под действием пара, высоких температур и давления основаны такие технологические процессы, как гнутьё и прессование древесины.

В процессе старения срединная пластинка трахеид хвойных пород становится также менее прочной. Мы столкнулись с этим явлением, исследуя 500-летнюю древесину ели. На поперечных срезах такой древесины наблюдаются нарушения строения срединной пластинки. Об этом ранее упоминалось в статье Л. Н. Исаевой и Э. Б. Брюхановой [11]. Однако после тщательного исследования мы убедились, что такие нарушения

могут происходить и в результате действия ножа при получении среза. Зазубрины ножа, оставляя следы во вторичной оболочке, разрывают в некоторых местах срединную пластинку (рис. 4). Артефакты, получающиеся в процессе резания, часто принимаются за изменение строения в результате различных воздействий, а иногда за особенности строения клеточной стенки. Это имеет место не только в световой, но и в электронной микроскопии и иногда приводит к неправильным выводам и обобщениям.

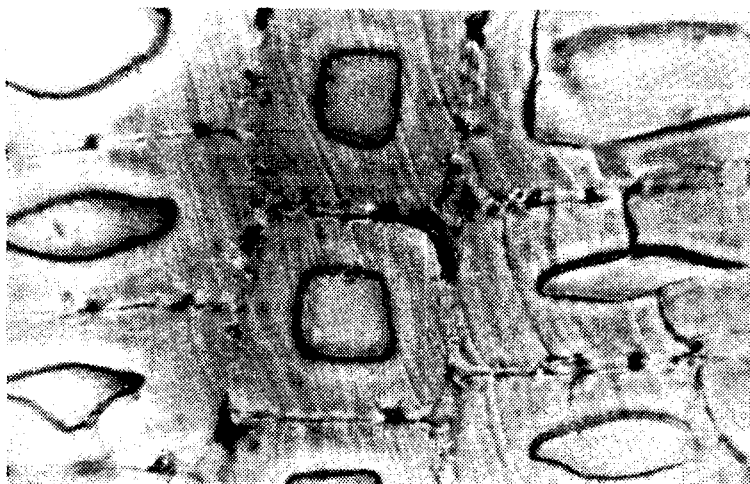


Рис. 4. Поперечный срез древесины ели 500-летней давности. Разрывы срединной пластинки при получении среза. Увеличение 10×60 .

Обращает на себя внимание сохранность срединной пластинки при поражении древесины некоторыми видами грибов. Так, на последней стадии белой сердцевинной гнили осины, ложный осиновый трутовик, вызывающий коррозионно-деструктивную гниль и уничтожающий и лигнин и целлюлозу, при полном исчезновении вторичных оболочек оставляет нетронутыми срединные пластинки [12, 13]. Очевидно, это объясняется наличием в срединных пластинках трахейд лиственницы и древесных волокон осины кремния [14], обнаруженного методом микросжигания и исследования в поляризованном свете [15, 16]. После сжигания кремневый скелет средин-

ных пластинок ярко светится в поляризованном свете, образуя прерывистые линии.

Следует отметить, что имеется ряд грибов, энзимы которых действуют избирательно на срединную пластинку, растворяя ее. Это, например, изученный Н. И. Большой гриб *Inonotus rheades* [17].

Полученные результаты еще раз подтвердили наше мнение о том, что срединная пластинка представляет собой сложный комплекс веществ, устойчивый к механическим воздействиям, а также к действиям некоторых грибов [18]. Благодаря своему аморфному строению срединная пластинка более рыхлая, чем другие слои клеточной стенки и в первую очередь подвергается атаке варочной жидкости, разрыхлению и последующему растворению как при бисульфитной, так и при сульфатной варке [7].

З. Е. Брянцева при исследовании тонкого строения срединной пластинки трахенд лиственницы в процессе варки, удалось обнаружить сетку упорядоченных микрофибрилл, по своему строению напоминающую целлюлозный остов вторичной оболочки, только гораздо тоньше и нежнее. Такую сетку упорядоченных микрофибрилл З. Е. Брянцева наблюдала не только в срединной пластинке, но и в межклетниках древесины лиственницы [7]. Для установления этого явления необходимы детальные исследования строения срединной пластинки в процессе ее образования, начиная с клеток камбия.

Строение и свойства отдельных слоев клеточной стенки подробно описаны [8, 19, 20, 21, 22, 23, 24], и останавливаться на них мы не будем. Укажем только на чрезвычайную устойчивость к варочным растворам наружных (S_1) и внутренних (S_3) слоев вторичной оболочки, задерживающих проникновение их в волокно.

Проницаемость древесины варочными растворами — одна из актуальнейших проблем целлюлозно-бумажного производства. Пропитка варочными растворами — это не только пропитка, но и химическое взаимодействие варочной жидкости с древесиной, делигнификация и растворение веществ матрикса клеточной стенки. Здесь особую роль играет строение и локализация химических компонентов в клеточных стенках и особенно в порах древесины. Роль пор в проницаемости древесины осталась неясной. Нам удалось установить, что экстрактивные вещества не только блокируют субмикрокапилляры клеточной стенки трахенд ядра лиственницы, но скаплива-

ются также и в области окаймленных пор, затрудняя продвижение жидкостей (рис. 5).

Мы обнаружили присутствие таких веществ даже в целлюлозных волокнах, полученных из ядровой древесины перестойной лиственницы (рис. 6). Они дают с суданом-III оранжевую окраску, что говорит о присутствии в них жирных кислот. Такие включения сказываются на качестве получаемых целлюлозных волокон, придавая им большую жесткость и затрудняя формование бумажного листа. При длительной выдержке целлюлозы такие включения не обнаруживаются.

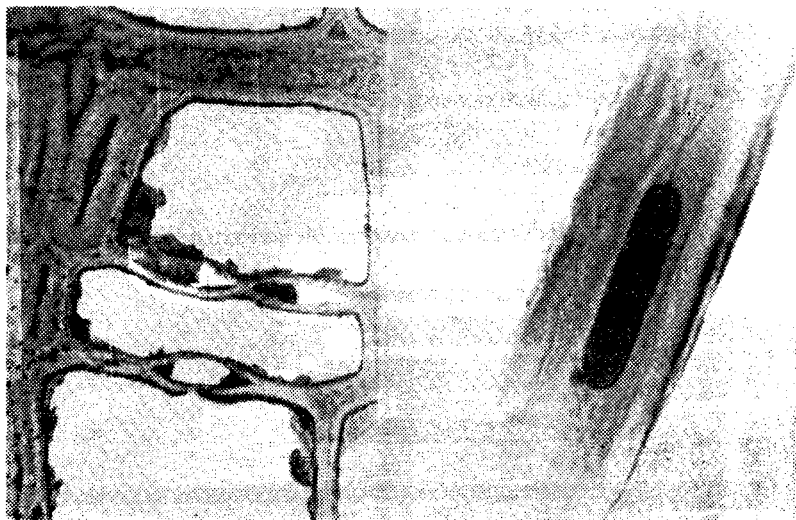


Рис. 5. Поперечный срез древесины лиственницы. Вещества, экстрагируемые спирто-бензолом в окаймленных порах. Увеличение 7×90 .

Рис. 6. Целлюлозное волокно лиственницы. Вещества, экстрагируемые спирто-бензолом в полости волокна, окрашенные суданом-III. Увеличение 10×60 .

Сравнительное изучение локализации лигнина в замыкающих мембранах пор спелой древесины, ядра и заболони было проведено на поперечных срезах древесины ели и лиственницы, предварительно прокипяченных в смеси спирто-бензола для удаления фенольных соединений.

Было обнаружено, что торусы окаймленных пор в заболони ели и лиственницы, несмотря на их смещение к одному из отверстий поры (поры закрыты), неодревесневшие и не да-

ют общепринятых реакций на лигнин (рис. 7) в то время, как в ядровой и спелой древесине торусы окаймленных пор одревесневшие (рис. 8). Это тоже может до некоторой степени объяснять различия в проницаемости жидкостями ядра и заболони, так как лигнин, заполняя промежутки между микрофибриллами целлюлозы, является препятствием для прохождения воды и растворов.

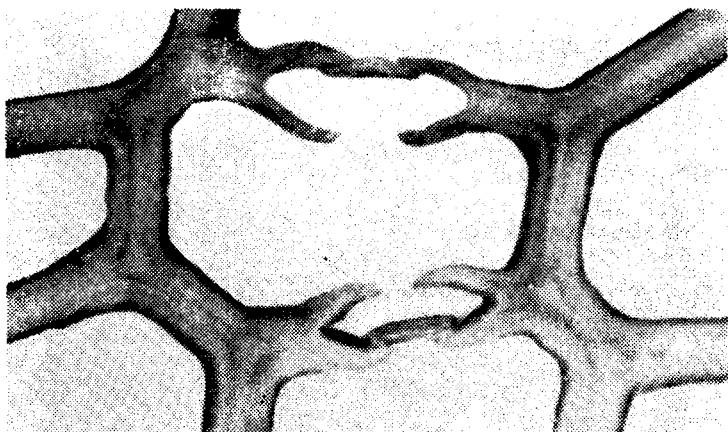


Рис. 7. Тангенциальный срез заболонной древесины лиственницы. Неодревесневшие торусы окаймленных пор. Увеличение 10×95 .

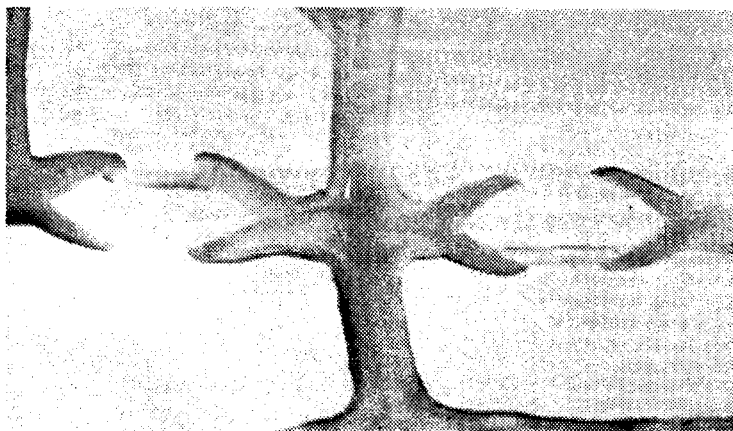


Рис. 8. Тангенциальный срез ядровой древесины лиственницы. Одревесневшие торусы окаймленных пор. Увеличение 10×95 .

В древесине сосны, в местах перекреста сердцевинных лучей с трахеидами, имеются крупные оконцовые поры. Их замыкающие мембраны остаются неодресневевшими, не дают общепринятых реакций на лигнин (рис. 9).

Замыкающие мембраны пицеоидных пор в древесине ели и лиственницы одресневевают как в ядре, так и в заболони (рис. 10). Исследуя строение пор в целлюлозном волокне после варки различными способами, мы убедились, что при разных химических воздействиях поры ведут себя по-разному. При исследовании целлюлозных волокон, полученных суль-

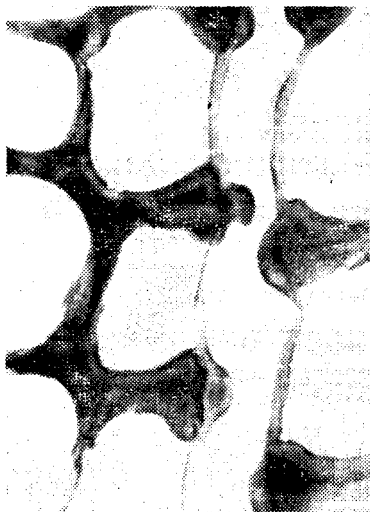


Рис. 9. Поперечный срез древесины сосны. Замыкающие мембраны оконцовых пор на пересечении сердцевинного луча с ранними трахеидами. Реакция — флороглюцин с соляной кислотой. Увеличение 10×60 .



Рис. 10. Поперечный срез древесины ели. Одресневевшие мембраны пицеоидных пор на пересечении сердцевинного луча с трахеидами.

фатным способом варки, в световом микроскопе с применением гистохимических реакций на лигнин и целлюлозу, торусы обнаружить не удалось. При сульфитной и бисульфитной варке торусы окаймленных пор окрашиваются реактивами на лигнин и четко выделяются на целлюлозном волокне (рис. 11). Это явление настолько закономерно, что может

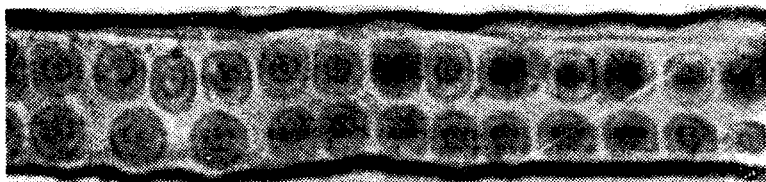


Рис. 11. Целлюлозное волокно, полученное бисульфитным способом варки. Одревесневшие торусы окаймленных пор. Увеличение 7×20 .

служить диагностическим признаком при сравнении целлюлозных волокон, полученных сульфатным и сульфитным способом. В то же время делается понятным более медленное продвижение раствора при сульфитном способе варки и отсюда более медленная мацерация и делигнификация волокна, чем при сульфатном способе.

Несмотря на большое количество исследований, посвященных изучению строения одревесневших клеточных стенок и путей биосинтеза их отдельных компонентов, процесс лигнификации изучен еще недостаточно. Трудность выяснения механизма этого процесса связана с тем, что лигнинообразование сопровождается процессом гистогенеза отдельных тканей. Исследования Р. И. Готре [25] анатомической структуры каллусных тканей показали, что изолированные ткани ряда растений образуют в культуре *in vitro* одревесневшие сосудистые элементы. При этом и характер и, в частности, форма связаны с особенностью функционирования в таких тканях очагов меристематической активности.

М. С. Бординская и В. Е. Москалева [26] изучали образование одревесневших элементов в каллусных тканях растений из различных систематических групп. Особенно удачными оказались опыты с *ginkgo biloba*. В каллусе было выявлено возникновение ряда меристематических очагов, состоящих из групп слегка вытянутых тонкостенных клеток и группы крупных паренхимных клеток с одревесневшими клеточными стенками, разными типами вторичных утолщений (спиральных, сетчатых) и различным типом пор. Встречаются лестничные поры, простые и, наконец, ярко выраженные окаймленные поры, типичные для хвойных пород (рис. 12). По-видимому, каллусные ткани являются удобным объектом для наблюдения различных этапов формирования клеточной ткани. Предварительные результаты гистохимического исследования указывают на то, что в окружающих эти одревеснев-

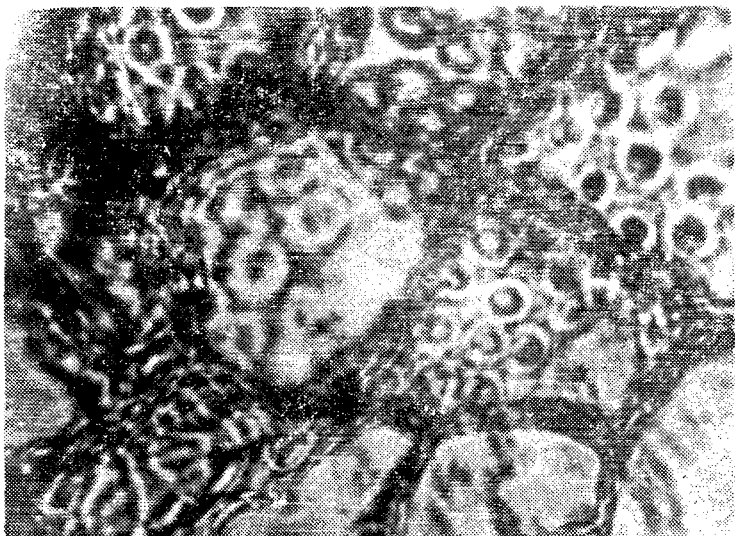


Рис. 12. Окаймленные поры в трахендальных элементах *ginkgo biloba* L. Увеличение 15×40.

шие элементы паренхимных клетках наблюдается скопление большого количества белковых веществ и крахмала, что свидетельствует об интенсивности процесса обмена во время гистогенеза этих элементов.

Такой путь изучения образования оболочек и их одревеснения в тканях растений *in vitro* очень перспективен и дает возможность расшифровать до сих пор неизвестный процесс лигнификации и выяснить некоторые детали строения клеточных стенок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wardrop A. B. and H. E. Dadswell. The Swelling Behaviour of Conifer Tracheids and the Concept of a Scin Substance. Australian Pulp and Paper Industry Technical Association, Proceedings, 1950, 4.
2. Dadswell H. E., Wardrop A. B. and Watson A. I. The Morphology, Chemistry and Pulp Characteristics of Reaction Wood. In: Fundamentals of Papermaking Fibers. Transactions of the Symposium Held at Cambridge, September, 1957.
3. Lange P. W. The Distribution of the Chemical Constituents throughout the Cell Wall. In: Fundamentals of Papermaking Fibers. Transaction of the Symposium Held at Cambridge, September, 1957.
4. B. I. Fergus, A. R. Proctes, I. A. N. Scott and D. A. Go-

ring. The Distribution of 'Lignin in Springwood as Determined by Ultraviolet Microscopy. Wood Science and Technology. 1969, vol. 3.

5. Иванов Л. А. Как изменяется строение древесины при ее механическом разрушении. Бот. ж., 1939, 18.

6. Москалева В. Е. Строение древесины и ее изменение при физических и механических воздействиях. М., изд. АН СССР, 1957.

7. Брянцева З. Е. Исследование изменений ультраструктуры древесины лиственницы в процессе бисульфитной и сульфатной варок. Тр. ЦНИИБ, 1971, вып. 6.

8. Москалева В. Е., Брянцева З. Е. Ультраструктура древесины и ее значение для целлюлозно-бумажного производства. Тр. ЦНИИБ, 1971, вып. 6.

9. Якимов Ю. В. Изменение вторичной оболочки трахейд сосны при нагрузках вдоль волокон. Тр. ЦНИИМОД, 1969, 24.

10. Лиск Р. А. Достижения в области производства древесной массы на рафинерах. Новое в технологии полуфабрикатов и бумаги. Докл. канадских специалистов на советско-канадском симпозиуме. 23—24 августа 1972 г. СССР, М., 1972, (ЦНИИБ).

11. Исаева Л. Н., Брюханова Э. Б. Физико-механические свойства и особенности анатомии древесины лиственницы сибирской из строения 230-летней давности. В сб.: «Исследование свойств древесины и древесных материалов». Красноярск, 1969 (ИЛИД).

12. Гончарова Е. В. Микроскопическое исследование древесины осины и березы, пораженной ложным трутовиком. Тр. ЦНИИБ, 1968, в. 3.

13. Большова Н. И. Изменение анатомического строения и химического состава осины, пораженной грибом *Phellinus Aegleae*. Тр. ЦНИИБ, 1969, вып. 4.

14. Москалева В. Е., Гончарова Е. В. Некоторые данные о строении срединной пластинки древесных растений. ДАН СССР, 1968, 182, 4.

15. Прозина М. Н. Ботаническая микротехника. М., «Высшая школа». 1960.

16. Дженсон У. Ботаническая гистохимия. М., «Мир», 1965.

17. Большова Н. И. Исследование разрушения клеточной стенки древесины осины и изменения ее химического состава под действием грибов, вызывающих бурую и белую гниль. Автореф. дисс. на соиск. ученой степ. канд. биол. наук. М., 1972, (МГУ).

18. Москалева В. Е. Строение древесины и его изменение при химических воздействиях. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и древесные материалы». Красноярск, 1969, (ИЛИД).

19. Wardrop A. B. The fine structure of the conifer tracheid. *Holz-forschung*, 1954, Bd. 8, N 7, H. 1.

20. Wardrop A. B. Morphological Factors Involved in Pulping and Beating of wood Fibres. *Svensk Papperstidning*. 1963, 7.

21. Wardrop A. B. The Formation and Structure of the Cell Wall in fibers and tracheids. *Journ. Exp. Bot.* 1955, 16, 47.

22. Harada H. Ultrastructure and Organization of Gymnosperm Cell Walls. *Cellular Ultrastructure of Woody Plants*. Edited W. Côté yr. Syracuse university Press., 1965.

23. Фрей-Висслинг Н., Мюлеталер К. Ультраструктура растительной клетки. М., «Мир», 1968.

24. Liese W. Die Feinstruktur des Holzes und ihr Einfluß auf die Imprägnierung. *Holzindustrie*. 1956, N 8.

25. Gauthier et R. I. La cultur des tissus végétaux. Paris, 1959.

26. Бардинская М. С., Москалева В. Е. Некоторые данные о структуре трахеидальных клеток в каллусной ткани ginkgo biloba. Докл. АН СССР, 1960, 135, 1.

Л. Н. Исаева

ВЛАЖНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Сведения о динамике влажности древесины растущих деревьев в зависимости от условий произрастания противоречивы. Большинство исследователей приходит к выводу, что условия произрастания в наибольшей степени влияют на влажность древесины лиственных пород, тогда как влажность хвойных относительно стабильна.

По данным Л. Г. Алексеевой [1], влажность древесины ложного ядра и заболони березы в условиях проточного увлажнения обычно выше, чем в березняках зеленомошной группы типов леса.

Исследования влажности древесины ясеня показали, что влажность древесины ядра больше влажности заболони у деревьев, произрастающих на увлажненных почвах; в более сухих местообитаниях влажность ядра и заболони относительно равнозначна [8]. По мнению автора, влажность древесины ядра у ясеня значительно изменяется от условий роста.

Детальное изучение влажности древесины дуба в различных местообитаниях показало, что ухудшение лесорастительных условий вызывает снижение влажности преимущественно в ядровой древесине [2, 3, 11]. Для других пород подобная зависимость проявляется менее четко. По данным Г. И. Редько [16], влажность древесины тополя из условий, идентичных по богатству почв, но различных по влагообеспеченности, практически одинакова.

Влияние условий произрастания на влажность древесины хвойных пород сказывается в меньшей степени. Так, влажность древесины лиственницы, сосны и ели, обитающих в различных экологических условиях, не имеет существенных различий [10, 12, 17, 18].

Данные, полученные А. К. Петрушей [14], свидетельствуют о почти равнозначной влажности у деревьев из различных условий произрастания.

Влажность древесины сосны, растущей в условиях избы-

точного увлажнения, ниже по сравнению с древесиной сосны, произрастающей на почве с нормальным увлажнением [13]. По нашему мнению, с повышением уровня грунтовых вод уменьшается объем полостей клеток, содержащих воду.

Противоречивость сведений об изменчивости влажности древесины во многом объясняется различной целевой установкой исследований и неодинаковым методическим подходом к решению этой проблемы. Немаловажное значение имеет и индивидуальная изменчивость влажности у деревьев одной и той же породы, произрастающих в одинаковых условиях.

В наших исследованиях ставилась задача проследить изменчивость влажности древесины деревьев, растущих в различных лесорастительных условиях. Исследования выполнены в 1962—1969 годах в горных лесах Западного Саяна (Ермаковский район Красноярского края), в равнинных лесах Красноярского края (Емельяновский район) и в равнинных лесах Западно-Сибирской низменности (Томский район Томской области).

Пробные площади закладывались в насаждениях, различных по условиям произрастания. На эдафо-фитоценотической схеме В. Н. Сукачева [15] эти насаждения размещаются в разных рядах.

Приводим общую характеристику пробных площадей:

1. Сосняк бруснично-травяной (Емельяновский район Красноярского края), 8С1Б10с, 20/26, полнота 0,75; бонитет II. Характеризуется удовлетворительным подростом сосны группового расположения и единичным равномерным подростом осины. Подлесок удовлетворительного роста в основном состоит из шиповника.

Почвенный покров представлен травами и полукустарничками: брусникой, костяникой, осоками, майником, чиной, череню, подмаренником, васелисником. Мхи в покрове отсутствуют. Почва маломощная, слабоподзолистая, средне-суглинистая, свежая. Увлажнение достаточное, проточное. Уровень грунтовых вод глубокий (более 1 м). Пробная площадь расположена на ровной площади, имеющий слабый склон (1°) северо-западной экспозиции.

2. Сосняк зеленомошно-лишайниковый (Томский район Томской области), 10С ед.Б, 21/21, полнота 0,9; бонитет III. Пробная площадь занимает возвышенное положение, характеризуется хорошим подростом сосны, лиственницы и березы равномерного распределения. Подлесок в основном состоит

из редкой ивы, рябины, бузины. Почвенный покров составляют зеленые мхи, лишайники. Изредка встречаются куртины брусники и злаков. Почва супесчаная, средней влажности. Увлажнение достаточное, проточное, сток грунтовый. Грунтовые воды глубоко.

3. Сосняк чернично-сфагновый (Томский район Томской области), 10С, 14/14, полнота 0,9; бонитет V. Пробная площадь находится на крутом склоне небольшого выпуклого болотного массива, расположенного в бессточной котловине. Питание в основном осуществляется за счет летних дождей; талые снеговые воды в силу геоморфологического расположения участка и весьма большого уклона поверхности торфяника весной быстро стекают, вероятно, еще по мерзлой земле. Большой уклон обеспечивает проточность вод и дренированность площади, вызвавших необычно выssкую для олиготрофных условий производительность древостоя и наложивших определенный отпечаток на состав растительности. В подросте слабо развиты береза и кедр. Подлесок почти не представлен. Покров хорошо развит, но обеднен в видовом отношении и состоит в основном из полукустарничков, представленных семейством брусничных (черникой, голубикой, клюквой) и вересковых (багульников). Изредка встречается осока и морощка. Сплошной моховой покров на 65% образован сфагнами и на 35% — зелеными мхами.

4. Ельник приручейный (Емельяновский район Красноярского края), 5Е2К2Л1Б, 20/18, полнота 0,5; бонитет III. Пробная площадь расположена в пойме ручья. Характеризуется слабым подростом ели, лиственницы и березы. Подлесок в основном состоит из ив, шиповника, смородины, жимолости удовлетворительного роста. Травяной покров густой и представлен снытью, дудником, осоками и другими травами. Почва слабоподзолистая суглинистая. Увлажнение достаточное. Грунтовые воды залегают на средней глубине.

5. Лиственничник крупнотравный (Емельяновский район Красноярского края), 10Л едПх., 30/26, полнота 0,3; бонитет II. Древостой характеризуется хорошим подростом лиственницы удовлетворительного состояния. Подлесок средней густоты, равномерный, в основном представлен черемухой, рябиной, жимолостью, шиповником. Травяной покров густой и представлен дудником, снытью, осоками, кипреем, борцом и др. травами. Почва суглинистая, влажная, увлажнение достаточное. Грунтовые воды расположены глубоко.

6. Кедровник травяно-болотный (Томский район Томской

области) 6К2Л2Б, ед. Е, 15/13, полнота 0,7; бонитет Va. Пробная площадь находится на относительно дренированном участке низинного болотного массива. Уровень грунтовых вод летом постоянно держится у самой поверхности микропонижений. Величина уклона обеспечивает высокую проточность воды. Подрост отсутствует. Подлесок удовлетворительного роста, редкий; представлен единичными куртинами можжевельника и рябины. Травяно-кустарничковый покров имеет мозаичный характер. Общая степень покрытия почвы — 90%. Покров представлен дудником лесным, осоками, вейником, седмичником европейским, грушанкой круглолистой, майником, костяникой, брусникой, клюквой, калужницей болотной, хвощом топяным, сабельником болотным, подмаренником топяным, щитовником болотным, зелеными и сфагновыми мхами.

7. Кедровник крупнотравно-папоротниковый (Ермаковский район Красноярского края), 9К1Пх ед.Б, 30/31, полнота 0,9; бонитет I. Древостой характеризуется очень незначительным подростом кедра и пихты. Состояние подроста удовлетворительное. Подлесок средней густоты, равномерный, хорошего роста, представлен смородиной красной, черемухой, рябиной, жимолостью, спиреей и бузиной. Почва горно-лесная бурая, скрыто-подзолистая, среднесуглинистая. По положению пробная площадь занимает среднюю часть склона северной экспозиции. Увлажнение проточное. Грунтовый сток сильный, грунтовые воды находятся на значительной глубине. Травяной покров густой и представлен в основном папоротниками, дудником, снытью, осоками, кипреем, борцом и другими травами.

8. Кедровник зеленомошно-багульниковый (Ермаковский район Красноярского края), 7К3Е ед. Пх, Л, 18/19, полнота 0,45; бонитет V. Древостой характеризуется подростом средней густоты, удовлетворительного состояния. Подрост представлен кедром, пихтой, елью. Подлесок состоит из единичной березы. Покров зеленые и сфагновые мхи, багульник, хвощи, голубика. Моховой покров развит сильно. Почва суглинистая, сырая. Увлажнение значительное. Грунтовые воды залегают на глубине до 2 м.

9. Березняк травяной (Емельяновский район Красноярского края), 9Б1С, 20/18, полнота 0,6; бонитет II. Древостой характеризуется единичным подростом березы, сосны. Подлесок редкий, представлен ивами, шиповником, черемухой. Почвенный покров значительный и состоит из злаков, чины,

герани, клевера и других трав. Почва свежая, песчаная, слабо дренированная. Увлажнение проточное, достаточное. Грунтовые воды залегают глубоко.

Закладка пробных площадей и отбор модельных деревьев производились в соответствии с ГОСТом 11483—65. Методика взятия образцов из модельных деревьев описывалась ранее [6, 7]. Влажность образцов определялась по методике ГОСТа 11486—65. Полученные результаты обрабатывались методом вариационной статистики; определялись среднестатистические значения влажности заболони и ядра (спелой древесины) для всего дерева.

В табл. 1 представлены результаты исследований влажности древесины растущих деревьев отдельно для заболонной и ядровой (спелой) древесины. Достоверность различий влажности в отдельных частях ствола для насаждений из разных районов приводится в табл. 2.

Между влажностью древесины заболони и ядра в сосняке бруснично-травяном (Емельяновский район Красноярского края) и в зеленомошно-лишайниковом (Томский район Томской области) достоверных различий не наблюдается, что, очевидно, обусловлено близкими почвенно-грунтовыми условиями этих типов леса. Высокая достоверность различий влажности заболони обнаруживается у деревьев сосняка чернично-сфагнового и сосняка бруснично-травяного, а также чернично-сфагнового и зеленомошно-лишайникового. Учитывая, что эти местообитания резко различаются между собой по эдафо-ценотическим условиям, можно предположить, что характер местообитания оказывает существенное влияние на влажность древесины. Достоверных различий между значениями влажности древесины ядра в этих типах леса не наблюдается. Это подтверждает имеющееся предположение, что ядровая древесина сосны решающего участия в процессе водоснабжения дерева не принимает.

Максимальная влажность заболонной древесины зарегистрирована в сосняке чернично-сфагновом, т. е. в насаждении наиболее низкого бонитета.

У деревьев ели влажность заболонной древесины из двух мест обитания (кедровник зеленомошно-багульниковый и ельник приручейный) различается с высокой достоверностью. В то же время различие во влажности спелой древесины лишь приближается к достоверному. Очевидно, заболонь ели, так же как и сосны, участвует в водоснабжении дерева, а спелая древесина — нет. На влажность заболони ели также влия-

Влажность древесины растущих деревьев, %

Таблица 1

№ пр. пл.	Тип леса	Часть ствола	n	M	m	σ	v	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сосна								
1. Сосняк бруснично-травяной		заболонь ядро	351 158	139,6 36,9	1,20 1,87	21,80 12,20	15,6 33,0	0,9 5,1
2. Сосняк зеленомошно-лишайни- ковый		заболонь ядро	386 323	138,1 34,5	1,52 0,40	29,80 7,20	21,6 20,4	1,1 1,1
3. Сосняк чернично-сфагновый		заболонь ядро	152 166	159,7 34,5	3,30 0,50	37,7 6,5	24,1 18,9	2,1 1,4
Ель								
4. Ельник приручейный		заболонь спелая древесина	81	155,7	2,98	26,8	17,0	1,9
6. Кедровник травяно-болотный		заболонь спелая древесина	76 204 445	45,4 125,3 41,1	1,57 2,35 0,44	13,7 33,1 9,1	30,2 26,4 22,4	3,5 1,9 1,1
Лиственница								
5. Лиственничник крупнотравный		заболонь ядро	35 158	113,1 47,1	3,97 0,60	23,4 7,0	20,5 14,9	3,5 1,2
6. Кедровник травяно-болотный		заболонь ядро	157 685	126,0 55,8	3,10 0,70	39,4 18,5	31,3 3,3	2,5 0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
К е д р								
7.	Кедровник крупнотравно-палоротниковый	заболонь ядро	271 554	180,0 68,1	2,85 0,92	36,7 21,2	20,4 26,7	1,6 1,2
8.	Кедровник зеленомошно-багульниковый	заболонь ядро	58 237	166,1 54,4	3,50 1,28	26,6 19,7	16,0 36,3	2,1 2,4
6.	Кедровник травяно-болотный	заболонь ядро	227 592	165,7 65,7	4,45 0,83	67,1 19,4	40,6 29,5	2,7 1,3
П и х т а								
7.	Кедровник крупнотравно-налоротниковый	заболонь спелая древесина	151 407	171,3 116,7	3,60 2,10	38,9 42,4	22,7 36,3	2,1 1,8
8.	Кедровник зеленомошно-багульниковый	заболонь спелая древесина	40 147	171,7 85,7	3,34 2,71	21,1 33,4	12,3 39,2	1,9 3,2
Б е р е з а								
9.	Березняк травяной		295	81,1	0,76	13,0	16,0	1,0
6.	Кедровник травяно-болотный		56	67,4	1,84	13,8	20,4	2,7

**Достоверность различий влажности древесины
из различных условий роста**

№ пр. пл.	Типы леса	Достоверность различий	
		заболонь	ядро (спелая древесина)
1	2	3	4
Сосна			
1 и 2	сосняк бруснично-травяной		
	сосняк зеленомошно-лишайниковый	0,77	1,26
1 и 3	сосняк чернично-сфагновый		
	сосняк бруснично-травяной	5,84	1,24
2 и 3	сосняк чернично-сфагновый		
	сосняк зеленомошно-лишайниковый	5,82	—
Ель			
4 и 6	ельник приручейный		
	кедровник травяно-болотный	8,00	2,45
Лиственница			
5 и 6	лиственничник крупнотравный		
	кедровник травяно-болотный	2,55	9,66
Кедр			
7 и 8	кедровник крупнотравно-папоротниковый		
	кедровник зеленомошно-багульниковый	3,08	8,50
6 и 8	кедровник зеленомошно-багульниковый		
	кедровник травяно-болотный	0,07	7,38
6 и 7	кедровник крупнотравно-папоротниковый		
	кедровник травяно-болотный	2,70	1,93
Пихта			
6 и 7	кедровник крупнотравно-папоротниковый		
	кедровник зеленомошно-багульниковый	0,08	9,23

1	2	3	4
Береза			
6 и 9	кедровник травяно-болотный березняк травяной		6,88

яют условия роста, уровень грунтовых вод, климатические и другие факторы.

Таким образом, в насаждениях сосны и ели экологические условия в основном влияют на влагосодержание заболони — главного водопроводящего элемента древесины здорового дерева. Влажность ядра практически не различается.

При анализе влажности древесины лиственницы, произрастающей в различных регионах, установлена высокая достоверность различий влажности ядровой древесины, тогда как различия во влажности заболонной древесины лишь приближаются к достоверным. Таким образом, условия произрастания лиственницы в наибольшей степени влияют на содержание влаги в ее ядровой древесине. Это подтверждает выдвинутое ранее предположение [7], что ядровая древесина лиственницы, наряду с заболонью, принимает активное участие в водоснабжении дерева.

Максимальная влажность древесины обнаруживается у лиственниц, обитающих в наиболее жестких условиях (кедровник травяно-болотный).

Достоверность различий между влажностью древесины кедра отмечается в кедровниках крупнотравно-папоротниковом и зеленомошно-багульниковом (Ермаковский район Красноярского края), так как условия роста насаждений этих типов леса резко различаются по гидрологическому режиму. Различия между влажностью древесины в кедровнике травяно-болотном и кедровнике крупнотравно-папоротниковом приближаются к достоверным. В кедровнике зеленомошно-багульниковом и травяно-болотном достоверно различается лишь влажность ядра.

Влажность заболонной древесины в этих типах леса практически равнозначна. Характерно, что по условиям произрастания эти два типа очень близки. Наибольшая влажность древесины отмечается в насаждениях кедровника крупнотравно-папоротникового, имеющего оптимальные условия роста.

У деревьев пихты, обитающих в различных условиях, достоверно различается лишь влажность спелой древесины, тогда как влажность заболони практически идентична.

В древостоях березы, неодинаковых по условиям обитания, влажность древесины различается с высокой достоверностью. Максимальная влажность обнаруживается у деревьев, произрастающих в наиболее благоприятных условиях.

Проведенные исследования свидетельствуют о существенном влиянии условий местопроизрастания на влажность древесины растущих деревьев. Об этом свидетельствует достоверное различие в содержании влажности ядровой (спелой) древесины у деревьев лиственницы, кедра, пихты из разных мест обитания. Ядровая (спелая) древесина этих пород, очевидно, более активно участвует в водоснабжении дерева.

Для всех изученных древесных пород достоверность различий в содержании влажности наиболее четко проявляется в максимально дифференцированных по условиям произрастания типах леса. У сосны и лиственницы наиболее высокая влажность древесины наблюдается в жестких условиях обитания, а у ели, кедра, пихты и березы — в оптимальных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Л. Г. Влажность древесины ложного ядра и заболони березы. Сб. тр. ПЛТИ, 1957, № 52.

2. Баженов В. А., Вихров В. Е. О влажности древесины в свежесрубленном состоянии. Тр. ИЛ АН СССР, 1949, том. IV.

3. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба в связи с условиями произрастания. М., Гослесбумиздат, 1950.

4. ГОСТ 11486—65. Древесина. Метод определения влажности при физико-механических испытаниях. М., 1968.

5. ГОСТ 11483—65. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и краевой для исследования физико-механических свойств древесины насаждений. М., 1968.

6. Исаева Л. Н. Влажность древесины растущих деревьев кедра. Известия СО АН СССР, 1963, № 8.

7. Исаева Л. Н. Влажность и плотность древесины основных лесобразующих пород Сибири. Кандидатская диссертация. Красноярск, 1970.

8. Красницкий А. М. О влажности свежесрубленной древесины и ядрообразовании у ясеня обыкновенного. «Научные доклады высш. школы». 1961, № 1.

9. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М.-Л., Гослесбумиздат, 1961.

10. Лобжанидзе Э. Д., Гоциридзе Л. А. Особенности распределения влаги в стволах ели восточной в связи с условиями местопроизрастания. Сообщения АН Груз. ССР, № 3.

11. Лобжанидзе Э. Д. О влажности древесины и ядрообразовании у некоторых кавказских представителей рода *Quercus* в связи с условиями произрастания. ДАН СССР, 1967, том 173, № 2.

12. Маркарянц В. П. О влажности свежесрубленной древесины ели сибирской. Тр. СибТИ, 1963, № 35.

13. Мойсеенко И. Ф. О влиянии уровня грунтовых вод на влажность хвои древесины сосны. Сб. научн. работ Ин-та лесного хозяйства. Минск, 1960, вып. XIII.

14. Петруша А. К. Физико-механические свойства древесины ели обыкновенной в лесонасаждениях СССР и ее хозяйственное значение. Сб. тр. БЛТИ, Минск, 1957, вып. X.

15. Сукачев В. Н. Руководство к исследованию типов леса. М., государств. изд-во сельскохоз. и колхозно-кооперат. лит-ры. 1931.

16. Редько Г. И. Влажность заболонной и ядровой древесины тополей. «Лесной журнал», 1964, № 2.

17. Тихомиров Б. Н. Подготовка лиственницы к сплаву. Красноярск, 1939.

18. Тихомиров Б. Н. Сплав лиственницы. М., «Лесная промышленность», 1960.

Л. Н. Исаева

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ГНИЕНИЯ

Как продукт биологического происхождения, древесина характеризуется большим разнообразием пороков, существенно снижающих ее качество. Одним из основных сортовыявляющих пороков является внутренняя гниль, которая представляет собой ту или иную стадию поражения древесины растущего дерева разрушающими грибами. Внутренняя гниль снижает механическую прочность древесины, изменяет ее структуру, цвет и отрицательно влияет на физико-механические свойства.

Гниение древесины сопровождается изменением физиологических функций в живом дереве, анатомической структуры, химических свойств и окраски древесных тканей. Гниющая и сгнившая древесина, утрачивая свои ценные технические свойства, приобретает новые признаки, характерные для каждого данного вида гнили. Гниение древесины сопровождается изменением водного режима и плотности пораженного района.

Внутренняя гниль является очень распространенным пороком, особенно в спелых и перестойных насаждениях (около 90% растущих деревьев поражено внутренней гнилью). Она поражает наиболее ценную по качеству древесину комлевой

и средней частей ствола. Поэтому ущерб, наносимый народному хозяйству потерями деловой древесины при эксплуатации лесов, пораженных внутренней гнилью, очень велик.

Гниение древесины — сложный ферментативный процесс биохимического разложения древесины как органического вещества и разрушения как физического тела. При гниении, всегда связанном с жизнедеятельностью грибного мицелия, в древесине происходит целый комплекс биохимических, анатомических изменений, которые характеризуются определенными качественными и количественными показателями.

Изучение физических свойств гнилой древесины различных участков ствола явилось необходимым условием выявления основных факторов, влияющих на проницаемость пораженной древесины гамма-лучами.

Методика исследований

Исследования физических свойств пораженной гнилью древесины основных лесообразующих пород Сибири проведены в полевой период 1968—1969 годов на базе Тимирязевского леспромхоза Томской области.

Из свежесрубленных стволов выпиливались диски толщиной 30—50 мм, из которых после составления характеристики гнили брались по возможности образцы всех стадий гнили и здоровой древесины, прилегающей к гнилой. Все образцы гнилой и здоровой древесины взяты из центральной части дерева, т. е. из зоны ядра или спелой древесины. Для каждой породы были взяты следующие виды образцов: здоровая древесина, гниль I стадии, гниль II стадии, гниль III стадии. Всего для исследования было взято свыше 6800 образцов.

Физические свойства пораженной древесины исследовались без учета вида гриба, вызывающего гниль, т. к. определение вида дереворазрушающих грибов является очень сложной задачей из-за почти полного отсутствия плодовых тел на гнилых деревьях. Такой подход к определению физических свойств гнилой древесины объяснялся целью исследований — созданием дефектоскопа для контроля качества древесины, где нет необходимости учитывать вид дереворазрушающего гриба.

Характеристика гнили составлялась по морфологическому принципу, то есть носила описательный характер. Определялось положение гнили в стволе, тип и структура, стадия, составлялось описание окраски гнили.

После вырезки образцов, описания и маркировки сразу же производилось их взвешивание и измерение объема. Плотность и влажность образцов определялись по методикам ГОСТов 11486—65 и 11491—65.

Все полученные результаты обрабатывались методом вариационной статистики.

Результаты работ

Влажность древесины

Полученные данные исследования влажности гнилой и прилегающей к ней здоровой древесины приводятся в табл. I. Из нее видно, что влажность здоровой древесины всех пород ниже влажности пораженной в любой стадии гниения. По мнению С. И. Ванина, В. А. Баженова, В. Е. Вихрова [6], при поражении деревьев грибами в древесине изменяются процессы водо- и воздухообмена. В местах интенсивного развития гриба и процессов гниения в стволе дерева образуются очаги с очень высокой влажностью. Причиной такого явления авторы считают разложение древесины с выделением большого количества воды.

Повышение влажности пораженной грибами древесины также связано с изменением ее структуры, прободением гифами грибов стенок анатомических элементов, что создает дополнительные пути прохождения жидкостей и способствует большему поглощению воды, чем это свойственно здоровой древесине. Отверстия, сделанные гифами в клеточных стенках, увеличивают в древесине объем пустот, которые могут быть заполнены водой или воздухом. При большем разрушении древесины характерно дальнейшее увеличение ее влажности, что связано со значительно меньшим коэффициентом заполнения объема образца древесинным веществом и большей способностью его поглощать воду.

Максимальную влажность древесина сосны и лиственницы имеет на III стадии гниения, превышая влажность здоровой в 2—3 раза. Для древесины сосны характерно увеличение влажности по мере прохождения всех стадий разрушения древесины. У лиственницы же влажность древесины на I стадии гнили выше, чем на II стадии.

В древесине ели и пихты максимальную влажность имеют участки II стадии гнили, превышая влажность здоровой древесины почти в три раза. В начальной стадии разрушения

Влажность гнилой и здоровой древесины, %

Состояние древесины	п	$M \pm m$	σ	v	p
1	2	3	4	5	6
Сосна					
здоровая древесина	182	$33,5 \pm 0,4$	5,7	17,0	1,2
I стадия гнили	199	$38,3 \pm 0,8$	11,7	30,5	2,2
II стадия гнили	123	$54,6 \pm 2,0$	22,0	40,2	3,6
III стадия гнили	215	$60,1 \pm 1,5$	22,2	36,9	2,3
Ель					
здоровая древесина	246	$45,6 \pm 1,5$	23,6	51,7	3,3
I стадия гнили	216	$92,5 \pm 1,8$	26,8	2,9	0,2
II стадия гнили	196	$125,4 \pm 5,0$	70,2	55,9	4,0
III стадия гнили	230	$112,4 \pm 5,5$	83,1	73,9	4,9
Лиственница					
здоровая древесина	120	$46,3 \pm 0,7$	7,8	16,8	1,5
I стадия гнили	112	$79,9 \pm 2,1$	22,0	27,5	2,6
II стадия гнили	125	$56,0 \pm 2,7$	29,6	5,3	0,5
III стадия гнили	123	$118,7 \pm 7,7$	85,6	72,1	6,5
Кедр					
здоровая древесина	221	$38,0 \pm 1,1$	16,9	44,4	2,9
I стадия гнили	277	$112,7 \pm 2,9$	49,4	43,8	2,6
II стадия гнили	194	$82,0 \pm 4,3$	60,5	73,7	5,2
III стадия гнили	219	$75,1 \pm 8,2$	54,5	72,6	6,0
Пихта					
здоровая древесина	239	$53,2 \pm 1,6$	24,2	45,4	3,0
I стадия гнили	318	$93,5 \pm 2,8$	49,6	53,0	2,9
II стадия гнили	164	$157,5 \pm 4,6$	58,4	37,1	2,9
III стадия гнили	220	$150,9 \pm 6,7$	84,3	55,8	4,4
Береза					
здоровая древесина	243	$62,8 \pm 1,0$	15,9	25,3	1,6
I стадия гнили	327	$107,5 \pm 1,7$	25,2	23,4	1,6
II стадия гнили	174	$128,9 \pm 3,0$	39,9	30,9	2,3
III стадия гнили	149	$193,9 \pm 5,5$	67,8	35,0	2,8

1	2	3	4	5	6
Осина					
здоровая древесина	118	79,0±2,3	21,9	27,7	2,9
I стадия гнили	300	152,6±2,7	37,5	24,6	1,8
II стадия гнили	199	162,7±5,5	59,0	7,1	0,7
III стадия гнили	161	114,2±9,6	88,0	77,0	8,4

влажность древесины минимальная. Можно предположить, что грибы встречаются в здоровой древесине ели и пихты (спелая древесина) неблагоприятные условия для своего развития, в частности низкую влажность.

В отличие от других пород древесина кедра сибирского на I стадии разрушения имеет самую высокую влажность, которая выше влажности здоровой древесины в три раза. Такая влажность в начальной стадии разрушения, вероятно, обусловлена более высокой влажностью здоровой древесины ядра кедра, где грибы-разрушители находят оптимальные условия для своего развития. По мере разрушения древесины уменьшается и ее влажность, но даже при II стадии разрушения она в два раза выше, чем в здоровой.

Влажность древесины березы, как и сосны, увеличивается по мере ее разрушения. Содержание влаги на III стадии гниения выше влажности здоровой древесины в 3 раза.

Древесина осины имеет максимальную влажность на I и II стадиях гниения. На этих стадиях влажность в 2 раза выше, чем у здоровой древесины, на III стадии — в 1,5 раза.

Анализируя изменение влажности при гниении, можно заметить, что количество влаги, содержащейся в гнилой древесине всех пород различных стадий разрушения, существенно различается. В то же время для всех пород характерно, что влажность участков гнилой древесины с максимальной влажностью выше влажности здоровой древесины в 2—3 раза.

Максимальную влажность древесины конечной стадии разрушения можно отметить у сосны, лиственницы и березы, т. е. у пород со стабильным равномерным распределением влаги в центральной части ствола.

Такое различие содержания влаги в процессе разрушения древесины, по-видимому, является видовой особенностью древесной породы и грибов и отчасти согласуется с группами пород по влажности древесины [12].

*Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии
и условная плотность гнилой древесины*

Изменение плотности древесины в абсолютно сухом состоянии и условной плотности на различных стадиях разрушения приводится в табл. 2 и 3, из которых видно, что оба показателя изменяются аналогично.

Изменение плотности древесины на различных стадиях поражения происходит различно у каждой породы. В то же время нельзя не отметить общие закономерности этого процесса, характерные для всех пород.

Плотность древесины на I стадии гниения у всех пород незначительно отличается от плотности здоровой древесины. Лишь у кедра она на I стадии гниения увеличивается на 9% по отношению к плотности здоровой древесины. У других пород плотность на I стадии или превышает плотность здоровой древесины на 0,5—5,0% (сосна, лиственница, пихта, осина) или снижается на 0,7—3,0% (ель, береза).

Полученные результаты согласуются с материалами других авторов. По данным Л. М. Перелыгина, А. Х. Певцова [15] и А. К. Петруши [17], плотность древесины сосны I стадии гнили выше плотности здоровой на 6—8%; плотность ели начальной стадии поражения, по данным И. Е. Андреева [1], С. И. Ванина, И. Е. Андреева [3] и А. К. Петруши [17], ниже плотности здоровой древесины на 3—8%.

Плотность пораженной древесины лиственницы несколько выше плотности здоровой древесины [5]. Полученные нами результаты согласуются с исследованиями Л. М. Перелыгина, А. Х. Певцова [15] и С. И. Ванина [4] в отношении березы, Д. Г. Веретенника [8] в отношении березы и осины. По мнению И. Е. Андреева [1], незначительное отличие плотности древесины с начальной стадией гнили лежит в пределах нормальных колебаний ее в здоровой древесине или зависит от возрастных изменений.

Изменение плотности древесины в начальной стадии разложения происходит, вероятно, в силу скопления в древесине красящих веществ [2, 14] и из-за химических изменений в клеточных стенках при действии ферментов грибов [7], а так

**Плотность гнилой и здоровой древесины в абсолютно
сухом состоянии, кг/м³**

Состояние древесины	n	M±m	σ	v	p
Сосна					
здоровая древесина	196	501,8± 7,2	78,0	15,5	1,4
I стадия гнили	203	526,0± 4,6	74,0	14,3	1,5
II стадия гнили	130	465,3± 13,3	151,2	32,4	2,8
III стадия гнили	227	341,4± 5,5	81,9	23,9	1,6
Ель					
здоровая древесина	256	431,3± 4,8	77,5	17,9	1,1
I стадия гнили	217	418,3± 3,5	51,0	12,3	0,8
II стадия гнили	195	373,0± 6,0	57,0	15,3	1,6
III стадия гнили	242	306,2± 6,5	76,8	25,1	2,1
Лиственница					
здоровая древесина	161	707,4± 4,2	53,2	7,5	0,6
I стадия гнили	112	728,3± 6,7	73,1	10,0	0,9
II стадия гнили	125	553,1± 5,8	64,4	11,6	1,0
III стадия гнили	109	453,5± 7,1	74,0	16,3	1,6
Кедр					
здоровая древесина	208	402,0± 4,0	29,0	7,2	1,0
I стадия гнили	276	438,0± 2,8	20,0	45,6	4,5
II стадия гнили	203	435,0± 8,0	72,0	16,6	1,8
III стадия гнили	213	378,0± 8,0	67,0	17,7	2,1
Пихта					
здоровая древесина	254	443,7± 3,8	40,9	9,2	0,9
I стадия гнили	323	459,5± 4,7	67,6	14,7	1,0
II стадия гнили	164	405,8± 11,2	104,1	25,6	2,8
III стадия гнили	245	311,6± 6,5	81,9	26,3	2,1
Береза					
здоровая древесина	247	623,8± 4,0	52,1	8,3	0,6
I стадия гнили	335	619,9± 6,3	93,2	15,0	1,0
II стадия гнили	231	548,9± 7,6	78,9	14,4	1,4
III стадия гнили	173	418,1± 11,6	126,9	30,3	2,8
Осина					
здоровая древесина	124	505,2± 6,6	64,5	12,8	1,3
I стадия гнили	358	508,0± 4,3	62,4	12,3	0,8
II стадия гнили	200	404,3± 8,4	87,5	21,6	2,1
III стадия гнили	163	200,2± 5,7	72,5	36,2	2,8

Таблица 3

Условная плотность гнилой и здоровой древесины, кг/м³

Состояние древесины	Число опытов, n	Средняя величина и ее ошибка, $M \pm m$	Среднее квадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, v	Показатель точности, p
Сосна					
здоровая древесина	183	429,9 ± 6,6	67,1	15,6	1,5
I стадия гнили	186	469,7 ± 6,8	92,5	19,7	1,4
II стадия гнили	140	403,9 ± 12,3	145,2	35,9	3,0
III стадия гнили	226	270,7 ± 4,9	74,0	27,3	1,8
Ель					
здоровая древесина	258	411,9 ± 5,4	65,3	15,9	1,3
I стадия гнили	210	374,7 ± 3,9	45,9	12,2	1,0
II стадия гнили	192	349,8 ± 6,9	68,4	19,5	2,0
III стадия гнили	244	248,9 ± 6,8	69,2	27,8	2,3
Лиственница					
здоровая древесина	118	597,1 ± 4,1	44,8	7,5	0,7
I стадия гнили	114	601,0 ± 6,3	67,2	11,2	1,0
II стадия гнили	127	449,1 ± 6,1	68,5	15,2	1,4
III стадия гнили	107	332,6 ± 5,5	57,0	17,1	1,7
Кедр					
здоровая древесина	224	420,0 ± 5,8	87,1	20,7	1,4
I стадия гнили	291	460,1 ± 6,6	92,5	20,1	1,5
II стадия гнили	193	354,5 ± 4,4	61,9	17,5	1,2
III стадия гнили	222	321,4 ± 5,3	64,4	20,0	1,7
Пихта					
здоровая древесина	253	380,0 ± 2,9	31,8	8,4	0,8
I стадия гнили	322	389,2 ± 3,7	52,6	13,5	1,0
II стадия гнили	161	339,1 ± 10,9	99,9	29,5	3,2
III стадия гнили	240	259,7 ± 4,2	64,6	24,8	1,6
Береза					
здоровая древесина	250	529,5 ± 3,7	48,8	9,2	0,7
I стадия гнили	334	525,6 ± 3,8	56,2	11,0	0,7
II стадия гнили	243	467,0 ± 7,7	84,2	18,0	1,6
III стадия гнили	170	307,1 ± 6,9	88,9	28,9	2,2
Осина					
здоровая древесина	121	425,6 ± 5,7	49,2	11,6	1,3
I стадия гнили	308	309,1 ± 3,0	38,6	9,9	0,8
II стадия гнили	198	337,9 ± 4,8	50,0	14,8	1,4
III стадия гнили	166	202,7 ± 6,5	57,7	28,5	3,2

же за счет интенсивного развития мицелия дереворазрушающих грибов и прорастания гиф.

Плотность на II стадии разрушения у древесины всех пород, кроме кедра сибирского, ниже плотности здоровой древесины на 7—22% и ниже плотности древесины начальной стадии поражения. Плотность древесины кедра на II стадии гниения почти равна плотности ее на I стадии. Высокая плотность ее на II стадии разрушения, вероятно, объясняется значительным накоплением красящих веществ, большим количеством гиф и высоким содержанием еще здоровой древесины.

Начавшийся процесс разложения достигает своего максимума на III стадии гнили. Плотность древесины всех пород на этой стадии значительно меньше плотности здоровой древесины (на 10—60%) вследствие интенсивного разложения: гифы грибов разрушили сердцевинные лучи и торусы, в стенках клеток появились прободения, уменьшилась толщина клеточных стенок. В результате этого увеличился объем пустот и уменьшилось количество древесинного вещества в единице объема.

Кроме того, в древесине на III стадии разрушаются компоненты клеточных стенок. Увеличение числа прободений, уменьшение толщины клеточных стенок повышает пористость древесины и приводит к снижению ее плотности и прочности.

Результаты наших исследований по гнилям III стадии для всех пород также согласуются с данными других исследователей. На аналогичное снижение плотности древесины в последней стадии у лиственницы указывает Л. П. Жеребов и В. Н. Комаровский [11]; у осины — С. И. Ванин [2], Ф. П. Комаров [13], О. И. Полубояринов [18].

В противоположность влажности плотность древесины в абсолютно сухом состоянии и условная плотность уменьшаются с увеличением стадии гниения, то есть по мере разрушения структуры древесины и изменения ее химического состава. Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии очень ярко характеризует степень разрушения древесины и может играть решающую роль при определении стадии разрушения.

Плотность гнилой древесины растущего дерева

Плотность древесины растущего дерева всех стадий гниения изменяется различно у всех исследуемых пород (табл. 4).

В начальной стадии развития гнили максимальную плот-

Таблица 4

Плотность гнилой и здоровой древесины растущего дерева, кг/м³

Состояние древесины	n	M±m	σ	v	p
Сосна					
здоровая древесина	195	605,0± 8,4	117,1	19,3	1,4
I стадия гнили	174	631,6±10,0	136,4	21,5	1,6
II стадия гнили	131	614,0±22,0	252,7	41,1	3,6
III стадия гнили	217	448,0± 8,7	128,2	28,6	1,9
Ель					
здоровая древесина	239	561,8± 6,2	74,4	13,2	1,1
I стадия гнили	227	714,0±13,5	205,0	28,6	1,9
II стадия гнили	187	790,2±18,9	256,5	32,4	2,4
III стадия гнили	244	595,1±18,5	289,1	48,5	3,1
Лиственница					
здоровая древесина	120	883,7± 7,6	84,0	9,5	0,9
I стадия гнили	107	1074,4±10,8	110,0	10,2	1,0
II стадия гнили	129	752,7±16,6	187,2	24,8	2,2
III стадия гнили	108	730,7±23,2	241,9	33,1	3,2
Кедр					
здоровая древесина	210	555,0±10,7	133,6	24,1	1,9
I стадия гнили	276	942,6±12,7	210,7	22,3	1,3
II стадия гнили	198	565,8±20,7	292,2	15,2	3,6
III стадия гнили	237	577,7±14,8	185,9	32,2	2,5
Пихта					
здоровая древесина	250	709,2±10,1	159,7	22,5	1,4
I стадия гнили	326	750,5±12,6	207,4	30,2	1,7
II стадия гнили	162	903,9±24,5	224,4	25,0	2,7
III стадия гнили	249	697,1±17,9	281,2	40,3	2,6
Береза					
здоровая древесина	250	831,1± 6,2	82,6	9,9	0,7
I стадия гнили	329	1077,1± 8,6	125,9	11,7	0,8
II стадия гнили	227	1018,7±14,8	151,0	15,0	1,4
III стадия гнили	166	913,0±18,6	199,8	21,8	2,0
Осина					
здоровая древесина	118	752,2± 8,7	84,4	11,2	1,2
I стадия гнили	348	1016,7± 7,6	105,3	10,3	0,8
II стадия гнили	197	886,5±17,6	184,8	20,8	2,0
III стадия гнили	169	408,4±24,0	218,9	53,5	5,9

ность имеет древесина растущих деревьев сосны, лиственницы, кедра, березы и осины. Это обусловлено высокими показателями влажности и плотности древесины на этой стадии гниения (табл. 1 и 2). Наивысшая плотность древесины растущих стволов ели и пихты на II стадии гнили связана исключительно с ее высокой влажностью. Древесина сосны, лиственницы, пихты и осины в последней стадии разрушения имеет минимальную плотность. Очевидно, у этих пород происходит очень сильное разложение древесинного вещества и разрушение ее структуры, которое не может компенсироваться даже высокой влажностью древесных тканей на данной стадии гниения.

Плотность здоровой древесины ели, кедра и березы ниже плотности пораженной древесины на любой стадии гниения. Невысокая плотность здоровой древесины растущих деревьев этих пород по сравнению с пораженной, вероятно, обусловлена ее низкой влажностью.

Таким образом, сравнительный анализ влажности и плотности гнилой и прилежащей к ней здоровой древесины в увлажненном и абсолютно сухом состоянии показывает, что решающим фактором при выявлении стволовой и напенной гнилей на всех стадиях является влажность, а для сосны, лиственницы, пихты и осины на III стадии гниения — плотность. По плотности древесины в абсолютно сухом состоянии можно судить о характере ее поражения, а повышенная влажность гниющего дерева существенно снижает эту возможность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев И. Е. Исследование сердцевинной гнили березы в Варновинском участковом леспромхозе Нижегородского края. Тр. ЛТА, 1931, вып. 1 (38).
2. Ванин С. И. Некоторые новые данные о сердцевинной гнили осины. Изв. Ленинград. лесного ин-та, 1928.
3. Ванин С. И., Андреев И. Е. Физические и механические свойства древесины ели с начальной стадией гнили. 1935.
4. Ванин С. И. Физико-механические свойства березы с красной гнилью. Тр. ЛТА, 1949, № 65.
5. Ванин С. И., Соловьев Ф. А. Физико-механические свойства древесины лиственницы сибирской с начальными стадиями загнивания. Тр. ЛТА, 1950, № 68.
6. Ванин С. И., Баженов В. А., Вихров В. Е. О влажности здоровой и пораженной грибами древесины в стволах растущих деревьев. Тр. ин-та леса АН СССР, 1953, том. IX.
7. Ванинская Ю. М. Анатомическое строение и физико-механические свойства древесины, пораженной дереворазрушающими грибами. Минск, 1966.

8. Веретенник Д. Г. Пути автоматизации определения пороков древесины методом просвечивания гамма и рентген-лучами. Киров, 1965.
9. ГОСТ 11486—65. Метод определения влажности при физико-механических испытаниях. М., 1968.
10. ГОСТ 11491—65. Древесина. Методы определения плотности. М., 1968.
11. Жеребов Л. П., Комаровский В. Н. Лиственница как химическое сырье. Тр. ЦНИЛИ Наркомлеса СССР, М., 1933, вып. 2.
12. Исаева Л. Н. Распределение влажности в стволах растущих деревьев основных пород Восточной Сибири. В сб. «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы». М., «Наука», 1966.
13. Комаров Ф. О. О химическом составе древесины, поврежденной дереворазрушающими грибами. «Бумажная промышленность», 1934, № 2.
14. Миссевич В. Исследования технических свойств древесины «красной осины». Ежегодник Лесного института, СПб, 1886.
15. Перелыгин Л. М., Певцов А. Х. О влиянии начальной стадии загнивания на физико-механические свойства древесины сосны, березы, хурмы. В сб.: «К вопросу о замене дефицитных пород древесины». 1933. Изд-е ЦНИИМОД.
16. Перелыгин Л. М. Влияние пороков на технические свойства древесины. М., Гослесбумиздат, 1949.
17. Петруша А. К. Технические свойства древесины основных пород БССР. Минск, 1959.
18. Полубояринов О. И. Физико-механические свойства фатной древесины осины, «Лесной журнал», 1964, № 6.

В. А. Баженов,
А. В. Кытманов,
Л. И. Тюрикова

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВО ВЛАЖНОЙ ДРЕВЕСИНЕ

Проводившиеся ранее исследования пьезоэлектрических свойств древесины показали, что пьезоэлектрический эффект оказывается значительным в абсолютно сухой древесине; с ее увлажнением он в начале резко уменьшается, а затем совсем исчезает. Такая закономерность проявления пьезоэлектрического эффекта была объяснена нарастанием электрической проводимости древесины с ее увлажнением, что вызывало быстрое стекание электрических зарядов и последующее короткое замыкание между обкладками пьезоэлектрических элементов. Это объяснение не противоречило и тому факту, что при повышенных скоростях деформирования образцов регистрируемый пьезоэлектрический эффект был несколько

большей величины, чем при медленном деформировании. Разница объяснялась исключительно стеканием зарядов.

Исследования пьезоэлектрических свойств древесины влажностью более 10%, проводившиеся при повышенных скоростях деформирования образцов, показали наличие очень незначительного пьезоэлектрического эффекта. При испытаниях было обнаружено, что знак напряжения поляризации при пьезоэлектрическом модуле d_{14} оказался обратным знаку напряжения в абсолютно сухой древесине.

Для дальнейшего исследования этого явления были изготовлены образцы из древесины бука и березы размером $20 \times 20 \times 20$ мм по 10 штук каждой породы согласно ранее принятой методике [1]. Для придания им одинаковой влажности образцы (пьезоэлементы) длительное время выдерживались над раствором серной кислоты, в результате чего они увлажнились до 17%. Образцы испытывались при скорости движения нагружающего винта испытательной машины УМ-5 равной 10 мм/мин. Величина нагрузки в течение всех испытаний была 200 кгс. Относительная влажность воздуха в лаборатории, где проводились опыты, составляла 30% при температуре сухого термометра 19°C. При этих условиях происходило испарение влаги с поверхности образцов и, таким образом, уменьшение их влажности.

Помещенный в испытательную машину образец периодически через каждые три минуты нагружался и разгружался. При каждом цикле «нагрузка—разгрузка» измерялся электрометром максимум напряжения поляризации, которое снималось с тангенциальной поверхности образца — пьезоэлектрического элемента.

Результаты наблюдений сведены в график, представленный на рис. 1, кривые на котором построены по точкам максимальных значений напряжения, возникающего при нагружении образца. Нулевые значения напряжения, соответствующие разгрузке, находятся, естественно, на оси времени. Например, для образцов из древесины березы при втором цикле нагружения (шестая минута) величина напряжения поляризации — 0,14 в. При девятом цикле нагружения (двадцать седьмая минута) напряжение поляризации равно нулю.

В последующих циклах напряжение поляризации увеличивается, но уже с положительным знаком, и в конце, при 26 цикле (78 минута) величина напряжения равна 0,11 в с положительным знаком. Таким образом, график показывает, что при испарении влаги с поверхности образца меняется от

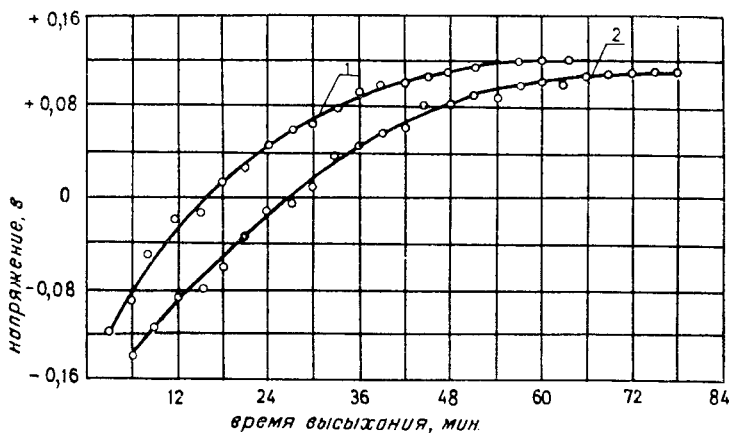


Рис. 1. График изменения напряжения при циклических нагрузках в зависимости от времени испарения влаги с поверхности тангенциальных образцов: 1 — древесина бука; 2 — древесина березы.

цикла к циклу величина напряжения поляризации, а в определенной точке изменяется на обратный и знак напряжения.

Наличие предела напряжения поляризации 0,12 В можно объяснить, по-видимому, тем, что парциальное давление водяного пара у поверхности образца и в окружающем воздухе выравнивается и, следовательно, его влажность в данных условиях в какой-то степени стабилизируется.

Другая группа образцов, испытанная при более низкой влажности воздуха в лаборатории (23%) и той же температуре сухого термометра (19°С), имела аналогичные кривые изменения напряжения (на графике не показаны), но с тем отличием, что нулевые значения напряжений по времени достигались раньше. Последнее можно объяснить более интенсивным испарением влаги с поверхности образцов ввиду пониженной влажности воздуха.

Показанный на рис. 1 график дает общее представление об изменении знака напряжения поляризации у влажной древесины. Однако из него не видно, при какой влажности происходит изменение знака пьезоэффекта и какова величина напряжения поляризации при различной влажности образцов.

Для ответа на эти вопросы были проведены измерения напряжения поляризации у образцов трех групп различной влажности (7, 10 и 14%) из древесины бука, по 10 образцов в каждой группе. Нужная влажность образцов каждой группы достигалась путем выдерживания их над растворами серной кислоты различной концентрации. В этих экспериментах каждый образец испытывался один раз. Для каждой группы образцов выводилось среднее арифметическое значение напряжения поляризации. Результаты экспериментов представлены на рис. 2. График подтверждает тот факт, что у образцов с повышенной влажностью при сжатии возникает напряжение с отрицательным знаком, а у более сухих — с положи-

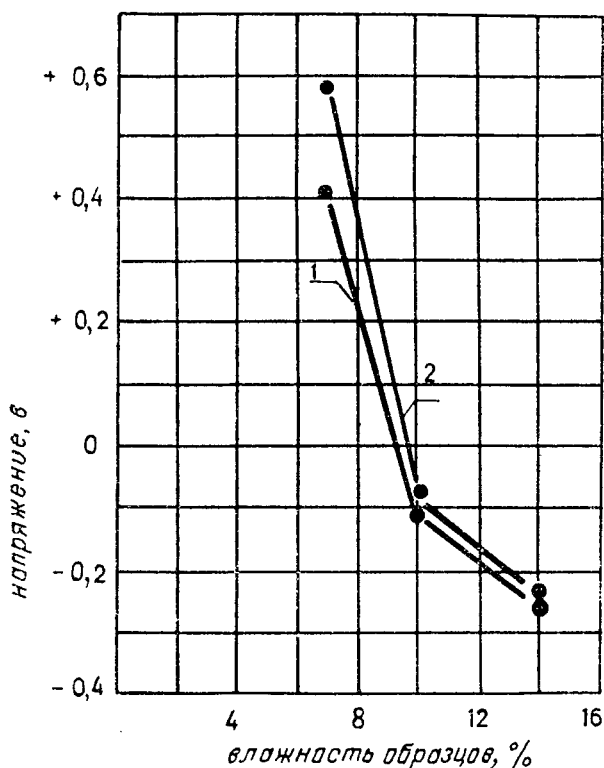


Рис. 2. График изменения напряжения в зависимости от влажности образцов из древесины бука: 1 — радиальные образцы; 2 — тангенциальные образцы.

тельным. Изменение знака наблюдается при влажности около 9%. Максимум напряжения с отрицательным знаком в данном опыте наблюдается при влажности около 14%.

Опыты, подобные изложенным, по аналогичной методике, но с другими образцами, были повторены. Отличительным в них было то, что напряжение поляризации измерялось с помощью электрометрического усилителя и самопишущего милливольтмикроамперметра. Результаты опытов представлены на рис. 3. Они подтверждают факт возникновения отрицательного электрического напряжения при сжатии пьезоэлектрических элементов с высокой влажностью. Влажность точки перехода, по сравнению с предыдущими данными, несколько сдвинута, о чем можно судить при сравнении графиков (рис. 2 и 3). В этих экспериментах максимум напряжения с отрицательным знаком образуется у образцов с влажностью 10%.

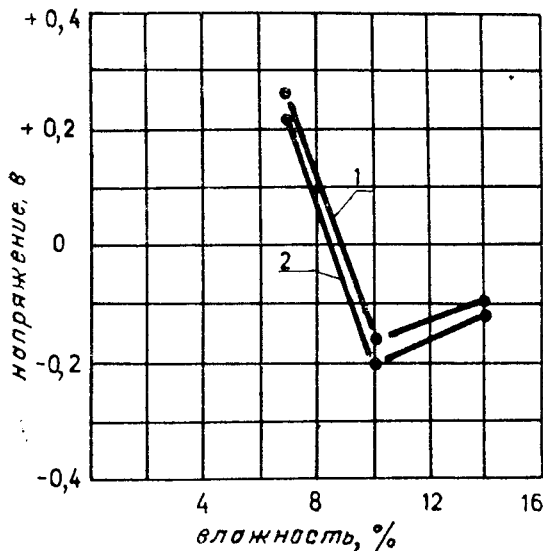


Рис. 3. График изменения напряжения в зависимости от влажности образцов из древесины бука другой партии: 1 — радиальные образцы; 2 — тангенциальные образцы.

Противоречия, выразившиеся в том, что максимальные напряжения с отрицательным знаком образуются при различной влажности, заслуживают внимания в дальнейших иссле-

дованиях. В этом плане могут оказаться полезными наблюдения над образцами с большей влажностью.

Что же обуславливает быстрое снижение показателей пьезоэлектрических свойств древесины при ее увлажнении вообще, а при достижении влажности выше 10% и изменение знака модулей?

Проводившиеся ранее исследования показали, что пьезоэлектрические модули древесины, пропитанной ксилолом, значительно возрастают. Это объяснено тем, что слабо полярные молекулы этой жидкости, имеющие соизмеримые размеры с пористой молекулярной текстурой целлюлозы, могут ориентироваться внутри фибрилл в молекулярную текстуру $\infty:2$. Отсюда делается заключение о возможности использования древесины в качестве текстурирующей среды для полярных веществ, способных проникать в нее и присоединяться к целлюлозе. Отмечается, что текстурирование молекул ксилола может происходить в промежутках между молекулами целлюлозы, а не только между микрофибриллами. В итоге делается вывод о проницаемости микрофибрилл или соответствующих им по размерам мицелл, которые, следовательно, не являются кристаллическими областями с плотной упаковкой [1], так как при плотной упаковке ксилол не мог бы проникнуть внутрь надмолекулярной структуры целлюлозы кристаллической природы.

Как известно, молекулы воды сильно полярны, следовательно, ориентируясь внутри микрофибрилл, они так же могут составить свою молекулярную пьезоэлектрическую текстуру. При этом особое значение в этом вопросе должно быть отведено мономолекулярным слоям воды. В. М. Никитин отмечает, что в веществах типа полисахаридов существуют водородные связи, которые обусловлены наличием в их молекулах гидроксильных групп. При внедрении между углеводными молекулами жидкости, например воды, происходит набухание полисахаридов. Водородные связи в этом случае проявляются посредством присоединившихся молекул воды. Последние согласно схеме строения целлюлозы ориентируются поперек цепей углеводных (целлюлозных) макромолекул [2].

В этой связи необходимо подчеркнуть, что при испытании косовырезанных пьезоэлементов из сухой древесины напряжение поляризации меняет знак на обратный в том случае, когда образец повернут на 90° по отношению к действующему на него усилию. Так, если образец на рис. 4 а, генерирую-

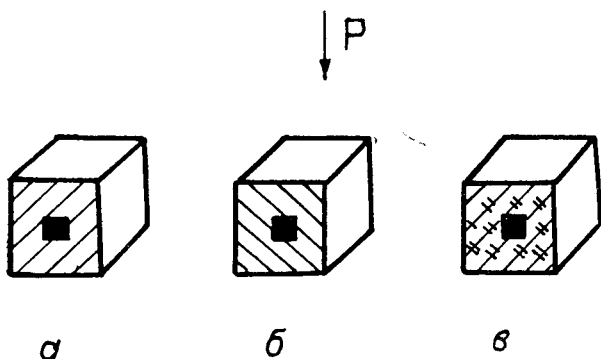


Рис. 4. Изменение знака напряжения поляризации в зависимости от ориентации волокон относительно направления усилия:

а — ориентация волокон, обуславливающая положительные (+) заряды, б — ориентация волокон, обуславливающая отрицательные (—) заряды, в — композиционная текстура, обуславливающая как положительные заряды (древесина), так и отрицательные (вода).

щий электрический заряд со знаком плюс, повернуть по отношению к направлению силы P на угол 90° (рис. 4 б), то знак электрического заряда изменится на обратный. Отсюда становится ясным, что водная пьезоэлектрическая текстура (на рис. 4 в показана парами черточек), ориентированная поперек макромолекул целлюлозы, должна генерировать напряжение поляризации обратного знака.

В итоге можно сделать следующее заключение. Пьезоэлектрические свойства абсолютно сухой древесины обусловлены ориентированным расположением полярных молекул целлюлозы. При увлажнении древесины некоторая часть воды, присоединяясь к целлюлозе и ориентируясь перпендикулярно к ее молекулам, образует «водную» пьезоэлектрическую текстуру с обратным знаком. При влажности древесины около 10% устанавливается полярное равновесие обеих текстур, и пьезоэлектрический эффект оказывается равным нулю. При большей влажности «водная» текстура несколько преобладает над «целлюлозной», что и вызывает изменение знака напряжения поляризации.

ЛИТЕРАТУРА

Баженов В. А. Пьезоэлектрические свойства древесины. М., изд-во АН СССР, 1959.

Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы. М., Гослесбумиздат, 1960.

А. В. Кытманов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В публикациях зарубежных исследователей [1, 2] обращалось внимание на то, что пьезоэлектрический эффект древесины может использоваться для испытания образцов разрушающим способом. В. А. Баженов обращал внимание на принципиальную возможность использования этого эффекта для определения касательных напряжений в образцах и элементах из древесины [3].

В настоящей статье описывается предложенный нами метод пьезоэффекта для определения кривых распределения касательных напряжений в древесине.

Одной из предпосылок для разработки метода пьезоэффекта явилось следующее. В процессе исследования пригодности передвижных электродов было установлено, что величина пьезоэлектрических зарядов в различных точках поверхности нагружаемого образца различна. Для исключения фактора случайности были исследованы образцы одной формы с рядом повторностей. В результате было достоверно установлено, что неравномерное распределение зарядов носит не случайный характер, а является закономерным. Так, впервые было зафиксировано наличие поля распределения пьезоэлектрических зарядов на поверхности образца при воздействии на него нагрузки. Дальнейшими исследованиями было установлено, что величина зарядов в различных точках поверхности образца зависит от схемы его нагружения и ряда других факторов.

Методом пьезоэлектрического эффекта могут решаться плоские задачи распределения в древесине касательных к волокнам напряжений. Они решаются в какой-то степени аналогично решению задач методом сеток или лаковых покры-

тий [4, 5]. Аналогия заключается в следующем. В методе лаковых покрытий на поверхность образца наносится лаковое покрытие, разрушение которого пропорционально деформациям. В методе пьезоэффекта в отдельных точках поверхности с помощью специальной аппаратуры изменяется величина пьезоэлектрических зарядов, которые являются показателями величины касательных к волокнам механических напряжений. Следует подчеркнуть, что метод пьезоэффекта применим только на стадии упругого деформирования древесины.

Практически метод пьезоэлектрического эффекта сводится к следующему. В момент механического воздействия на образец в отдельных точках его поверхности замеряется величина электрических зарядов. После этого определяется коэффициент пропорциональности между механическим напряжением и величиной пьезоэлектрического заряда. Далее, по величине электрических зарядов в отдельных точках и коэффициенту пропорциональности подсчитывается величина касательных напряжений в этих точках и строятся кривые их распределения [6].

Для регистрации величины пьезоэлектрических зарядов использовалась система, включающая в себя выпрямитель со стабилизатором напряжения, трансформатор и электрометр [7]. Чувствительность электрометра устанавливается такой, чтобы наибольшая величина электрического заряда не выходила за пределы его шкалы, а также с тем расчетом, чтобы минимальные заряды могли быть достоверно зафиксированы. Для регистрации величины пьезоэлектрических зарядов может использоваться также система, включающая в себя электрометрический усилитель и самопишущий микроампермилливольтметр или осциллограф.

Порядок замеров пьезоэлектрических зарядов (напряжения поляризации) в каждой точке образца или элемента следующий. Электрод, соединенный с экранированным вводом электрометра или выносного блока усилителя, прижимается к определенной точке на образце, включается механизм подачи испытательной машины, и возникающий от воздействия нагрузки электрический заряд фиксируется визуально по электрометру или записывается самопишущим прибором на диаграммную ленту. Для измерения напряжения поляризации в другой точке электрод переставляется в эту точку и производится следующий цикл нагружения образца и т. д.

При первых построениях траекторий пьезоэлектрических

зарядов возникло предположение о возможности влияния последствий многократных нагружений образца. Следовало установить влияние предыдущего цикла нагружения на величину напряжения поляризации при последующем цикле. Для этого были проведены наблюдения, в которых пьезоэлектрические заряды измерялись по порядку от первой точки до последней и обратно. Такой порядок измерений был принят, исходя из того, что если бы многократные циклы «нагрузка—разгрузка» влияли на величину зарядов, то происходило бы постепенное накопление ошибки, которую можно зафиксировать при сопоставлении величин зарядов, измеренных в прямом и обратном порядке. Наблюдения показали, что величины зарядов, измеренные таким образом, равны, и, следовательно, предыдущий цикл нагружения не оказывает влияния на величину поляризации при последующем цикле.

Для того, чтобы петли упругого гистерезиса были замкнуты под влиянием последействия, необходима достаточная выдержка между отдельными циклами «нагрузка—разгрузка» [8]. Если время достаточное, форма петли гистерезиса при каждом цикле остается неизменной, вследствие чего не искажаются величины напряжения поляризации. Испытания пьезоэлементов из древесины березы и бука показали, что интервал времени между циклами «нагрузка—разгрузка», равный 10, 15, 30, 45 секундам, не влияет на величину пьезоэлектрического напряжения, следовательно, петли упругого гистерезиса во всех случаях полностью замыкаются. В процессе определения напряжения поляризации в отдельных точках время, затрачиваемое на перестановку электрода и регистрацию показаний, практически больше 10 секунд, поэтому, учитывая вышеизложенное, напряжение поляризации фиксируется неискаженным.

На стабильности показаний при многократных нагрузках могут сказаться также их величина и влажность древесины. Для уточнения влияния этих факторов были проведены исследования на образцах двух партий различной влажности (0,5 и 5,0%). Каждая партия включала образцы из древесины бука и березы. Методика исследования заключалась в следующем. Электрод закреплялся в определенной точке образца, где и находился на протяжении всех 15 циклов «нагрузка—разгрузка». Для каждой ступени нагружения использовались различные образцы.

Результаты экспериментальных исследований привели к следующим выводам. Для пьезоэлементов из древесины бу-

ка влажностью 0,5% более стабильные результаты от цикла к циклу наблюдаются при нагрузке 50 кгс/см². Повышение нагрузки свыше 100 кгс/см² нарушает стабильность (рис. 1). У образцов с влажностью 5,0% относительная стабильность

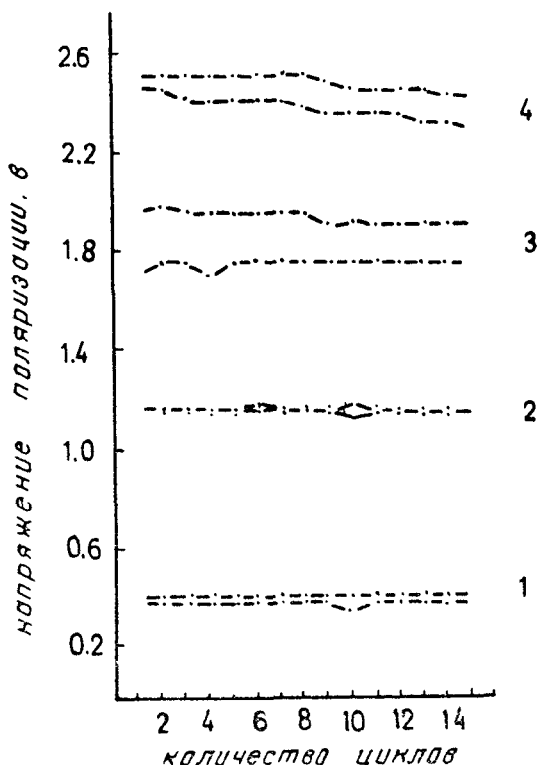


Рис. 1. Напряжение поляризации при циклических нагрузках в зависимости от ее величины (древесина бука, $W=0,5\%$): 1 — 50 кгс/см²; 2 — 100 кгс/см²; 3 — 150 кгс/см²; 4 — 200 кгс/см².

показаний наблюдается при меньших нагрузках (рис. 2). Для образцов из древесины березы влажностью 0,5% стабильная величина напряжения поляризации наблюдается при нагрузках 25 кгс/см². Следует подчеркнуть, что в нашем случае понятие «стабильность» относительно, т. к. из общего количества циклов в одном или двух имеется небольшое отклонение.

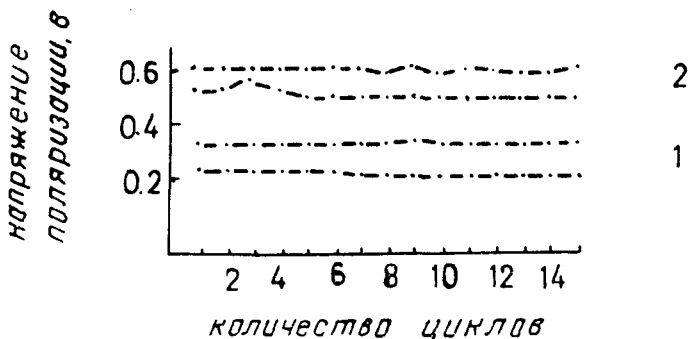


Рис. 2. Напряжение поляризации при циклических нагрузках в зависимости от ее величины (древесина бука, $W=5,0\%$): 1 — 25 кгс/см²; 2 — 50 кгс/см².

Это необходимо иметь в виду при построениях эпюр или кривых распределения касательных напряжений.

Как известно, пьезоэлектрический эффект в древесине возникает от напряжений, касательных к волокнам. Нормальные напряжения пьезоэлектрического эффекта не вызывают [7, 9]. Следовательно, если древесина находится в сложном напряженном состоянии, то и в этом случае пьезоэлектрическое напряжение будет являться характеристикой только касательных к волокнам напряжений.

Переход от величин напряжения поляризации к значениям касательных напряжений сводится к определению коэффициента пропорциональности между ними. Этот коэффициент, как известно, называется пьезоэлектрическим модулем, определяемым при испытании образцов (элементов), имеющих форму куба с наклоном волокон к граням под углом 45° .

В предлагаемом методе необходимо было решить, как определять коэффициент пропорциональности: посредством дополнительных испытаний образцов, имеющих форму куба, или путем использования данных, полученных при испытании образцов, для которых касательные напряжения замерялись. Здесь следует учитывать, что на величину напряжения поляризации оказывают влияние такие факторы, как влажность древесины, ориентация текстуры относительно направления прилагаемой нагрузки, плотность древесины, ее упругость, анатомическое строение и др. Достичь полной равнозначности этих факторов как в образцах, так и в элементах прак-

тически невозможно, что, естественно, ведет к искажению коэффициента. С другой стороны, определение коэффициента пропорциональности на тех же образцах, для которых определяются касательные напряжения, исключает влияние отмеченных факторов и, следовательно, повышает точность этого коэффициента.

Следует отметить, что коэффициент пропорциональности по своей величине может значительно отличаться от величины модуля, так как образцы, для которых определяются кривые распределения касательных напряжений, могут иметь различную влажность и испытываться при различных скоростях деформирования.

Решив вопрос об образце, с помощью которого следует определять коэффициент пропорциональности, выведем формулу для пересчета значений напряжения поляризации в значения касательных напряжений в отдельных точках. При этом следует отметить, что под термином «точка» подразумеваются небольшие участки поверхности образца, покрываемые электродами диаметром от 1 до 3 мм.

Решая уравнение зависимости между напряжением поляризации и напряжением касательным к волокнам, получим:

$$\tau = \frac{V}{d'}, \quad (1)$$

где τ — касательное напряжение в точке (на участке); V — величина напряжения поляризации в точке; d' — коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности определяется из формулы:

$$d' = \frac{V'}{\tau'}, \quad (2)$$

где V' — средняя величина напряжения поляризации, τ' — соответствующее ей механическое напряжение.

Среднее значение механического напряжения τ' определяется по формулам сопротивления материалов. Напряжение поляризации V' подсчитывается как среднее арифметическое из суммы величин зарядов в отдельных точках образца, лежащих в сечении, в котором определяется τ' .

Основным условием определения коэффициента пропорциональности является соответствие механического напряжения напряжению пьезоэлектрическому. Следует отметить, что на данном этапе разработки метода не преследуется цель пред-

ложить вариант, пригодный для всех случаев напряженного состояния образцов.

Заменяв в выражении (1) коэффициент пропорциональности его значением из выражения (2), получим формулу для пересчета величины напряжения поляризации в значения касательных напряжений:

$$\tau = V \frac{\tau'}{V'} . \quad (3)$$

Величина напряжения поляризации может быть выражена в вольтах или в количестве делений шкалы прибора. Необходимо только, чтобы V и V' были в одних единицах измерения. Размерность механического напряжения принимается в зависимости от поставленной задачи.

По формуле (3) находим механические напряжения, касательные к направлению волокон.

Точность определения касательных напряжений практически зависит от точности определения V и точности расчетов τ' .

Для примера подсчитаем величину касательных напряжений в различных точках образца, показанного на рис. 3. Величины напряжения поляризации представлены в табл. 1.

Скалывающее напряжение в сечении определится по формуле:

$$\tau' = \frac{P}{b \cdot h} ,$$

где P — нагрузка на образец, кгс;

b — ширина площади скалывания, см;

h — высота площади скалывания, см.

Для принятого образца эти параметры соответственно равны 300 кгс, 1,9 см и 2,9 см. Образец из древесины бука влажностью, равновесной лабораторным условиям, достигнутой при адсорбционном процессе. Плоскость скалывания — радиальная. Точки под номерами от 1 до 16 нанесены на тангенциальной плоскости; точки за номерами 5, 9, 13 находятся на сечении, по которому происходит скалывание (рис. 3б).

С целью определения коэффициента пропорциональности подсчитаем τ' и V' для сечения, по которому происходит скалывание:

$$\tau' = \frac{300}{1,9 \times 2,9} = 54,5 \text{ кгс/см}^2 .$$

Таблица 1

Напряжение поляризации и касательные к волокнам в отдельных точках образца

№ точек	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$V, мв$	37	87	50	150	250	150	50	150	250	150	50	200	240	112	50	200
$\tau, кгс/см^2$	8	19	11	33	55	33	11	33	55	33	11	44	53	25	11	44

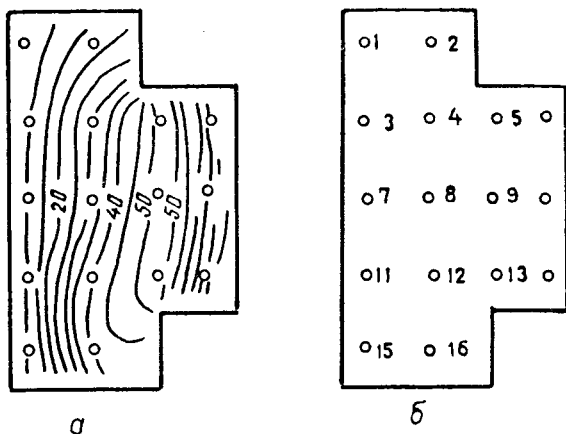


Рис. 3. Распределение траекторий касательных к волокнам напряжений (кгс/см^2) в образце (а) и номера точек, соответствующих очередности измерений (б).

Среднюю величину пьезоэлектрического напряжения, соответствующую сдвигающему напряжению в этом же сечении, подсчитаем как среднее арифметическое пьезоэлектрических напряжений в точках 5, 9, 13:

$$V' = \frac{250 + 250 + 240}{3} = 246 \text{ мв.}$$

Отношение будет равно:

$$\frac{\tau'}{V'} = \frac{54,5}{246} = 0,222 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{мв}}.$$

Имея величины пьезоэлектрического напряжения в различных точках и отношение τ'/V' , согласно зависимости (3), подсчитаем величины касательных напряжений в соответствующих точках (табл. 1).

На основании данных этой таблицы построены кривые распределения касательных напряжений (рис. 3а).

Несколько слов о вырезке образцов. Если схема нагружения образцов такова, что в них не возникают касательные к

волокнам напряжения, то образцы следует готовить так, чтобы волокна были направлены под углом к направлению действующей силы. Ориентация других структурных направлений (радиальное, тангенциальное) относительно граней образца не влияет на изменение поля пьезоэлектрического напряжения при условии, что она носит одинаковый характер по всему образцу. Особое внимание следует уделять тому, чтобы в образцах не было сучков, свилеватости, косослоя и других отклонений в структуре, которые сами по себе вызывают изменение пьезоэлектрического напряжения.

В заключение следует подчеркнуть, что в предлагаемом методе могут быть применены как различные способы воздействия на образец силового поля, так и различные схемы фиксации пьезоэлектрических зарядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Galligan W. Bertholf Z. Piezoelectric effect in wood. „Forest Products journal“. 1963. Vol. 13, N 12.
2. Galligan W. Nondestructive testing in wood. „Forest Products journal“, 1964, Vol 14, N 5.
3. Баженов В. А. О связи касательных напряжений и сдвиговых деформаций древесины с пьезоэлектрическим эффектом и возможностях его использования. В сб.: «Некоторые вопросы прочности изделий деревообрабатывающей и мебельной промышленности». М., 1968. вып. 30, (МЛТИ).
4. Машиностроение. Справочник. т. 1, 3. М., Машгиз, 1947.
5. Михайлов С. И., Умеров-Маршан В. Э. Определение напряжений методом нанесения лаковых покрытий. «Заводская лаборатория», 1953, № 7.
6. Кытманов А. В. Способ испытания древесины. Авторское свидетельство № 291124.
7. Баженов В. А. Пьезоэлектрические свойства древесины. М., изд-во АН СССР, 1959.
8. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. Киев, изд-во АН УССР, 1957.
9. Баженов В. А., Кытманов А. В. Об условности существования в древесине пьезоэлектрических модулей от нормальных напряжений. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971, (ИЛИД).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ СКОРОСТЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

При исследовании пьезоэлектрических свойств древесины нами использовалась испытательная машина ИМ-4Р со скоростью движения нагружающего винта $1,2 \text{ мм/мин}$. При такой скорости деформирования модуль d_{36} в натуральной древесине не обнаруживался. Вместе с этим при использовании быстро прикладываемых нагрузок, получавшихся непосредственным воздействием на маятник машины, этот модуль достоверно фиксировался. Эти факты и послужили основанием для работ по изменению применявшейся нами методики [1]. Изменения свелись к следующему. Для силового воздействия на образец была использована испытательная машина УМ-5А, имеющая скорость движения нагружающего винта 4, 8, 10, 20, 60 мм/мин . Как показали первые испытания, повышенные скорости сообщали маятнику машины инерцию, в результате чего затруднялось фиксирование величины прилагаемой нагрузки. Для осуществления точной фиксации нагрузки были внесены следующие изменения. Вместо маятника машины установлен металлический диск [2]. В канавку диска укладывался гибкий тросик, на который подвешивался определенной величины груз (рис. 1). Вес грузов подбирался с помощью образцового динамометра. Этим было достигнуто то, что независимо от угла поворота диска плечо подвешенного груза оставалось постоянным и, следовательно, сохранялось постоянным и действующее на образец усилие. Вследствие применения постоянной по величине нагрузки, кроме ее безынерционности, получена также возможность снимать сравнимые величины напряжения поляризации непосредственно с приборов. Последнее значительно упрощает проведение экспериментальных работ.

Повышение скорости при относительно малых деформациях образцов потребовало автоматического отключения прямого хода и включения обратного. Для этого на диске смонтированы ртутные переключатели. Принцип их действия следующий. При изменении угла поворота диска ртуть, свободно перекачиваясь в стеклянном баллончике, может замыкать и размыкать контакты. Каждый переключатель закреплен на

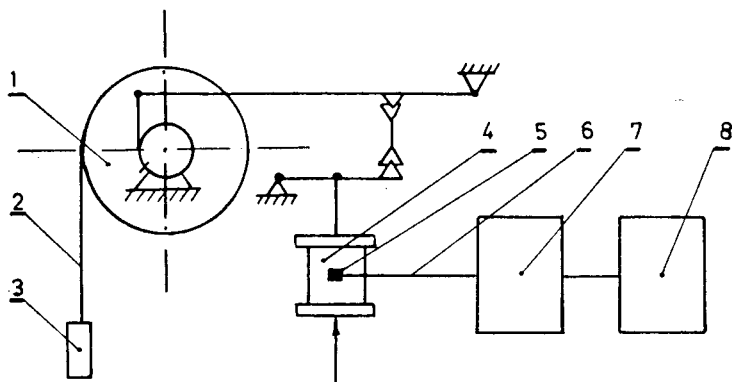


Рис. 1. Схема установки для исследования пьезоэлектрических свойств древесины при повышенных скоростях деформирования: 1 — диск; 2 — тросик; 3 — тарированный груз; 4 — образец древесины; 5 — электрод; 6 — экранированный ввод; 7 — усилитель; 8 — самопишущий прибор.

отдельной плате, которая может быть повернута на какой-то угол и зафиксирована прижимной гайкой. Поворот на определенный угол отключающего переключателя устанавливает интервал времени от начала воздействия нагрузки до момента выключения мотора, а определенный угол между переключателями устанавливает интервал времени между выключением прямого хода и включением обратного.

Для измерения величины напряжения поляризации, как и в прежней методике, может использоваться электрометр. Однако для исследования вопросов, связанных с динамикой изменения напряжения, вместо электрометра нами применялся усилитель с внешним самопишущим прибором. Основное условие правильной работы такой схемы заключается в том, чтобы внутреннее сопротивление пьезоэлемента было значительно меньше входного сопротивления усилителя. Для достижения высоких входных сопротивлений первый каскад усилителя должен быть выполнен по схеме, которую принято называть электрометрической, с обязательным включением в схему специальной электрометрической лампы [3]. В качестве регистрирующего прибора в начальной стадии исследования удобно использовать самопишущий микроампер-милливольтметр. При необходимости уточнения динамики из-

менения напряжения следует использовать шлейфовый осциллограф.

Для применения измененной методики необходимо было уточнить зависимость между величиной поляризации, с одной стороны, и скоростью деформирования образцов и их влажностью, с другой. Исследование зависимости напряжения от указанных факторов проводилось на пьезоэлектрических элементах из древесины березы и бука. Размер элементов (образцов) $20 \times 20 \times 20$ мм. Образцы вырезаны по ранее принятой методике.

Было изготовлено по 10 образцов для каждого вида испытаний. Образцы с влажностью 5,0% получены путем длительного выдерживания в лабораторных условиях, с влажностью 0,2% — высушиванием их при температуре 100°C с последующим охлаждением над прокаленным хлористым кальцием. Грузы для создания усилия величиной 100—200 кгс подбирались отдельно для каждой скорости деформирования.

Результаты исследований величины напряжения поляризации в зависимости от скорости деформирования образцов представлены на рис. 2. Из него видно, что как для древе-

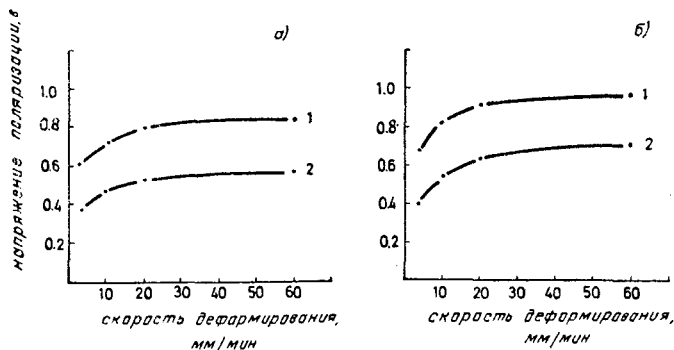


Рис. 2. График изменения напряжения поляризации в зависимости от скорости деформирования образцов:

1 — влажность образцов (W) — 0,2%; 2 — W — 5,0%;
а — древесина березы; б — древесина бука.

сины березы, так и для бука напряжение поляризации увеличивается с увеличением скорости деформирования образцов. Наиболее резкое увеличение напряжения наблюдается в пределах скоростей, равных 4—20 мм/мин. Показанный на ри-

сумке характер изменения напряжения поляризации позволяет сделать принципиально новые предположения о влиянии на него упругости.

Отображенное на графике изменение напряжения невозможно объяснить изменением величины стекания пьезоэлектрических зарядов с образца. Как показали специально проведенные наблюдения, величина стекания при скорости движения нагружающего винта 10 мм/мин. очень мала и не выходит за пределы точности эксперимента. Основной причиной увеличения напряжения поляризации мы считаем изменение соотношения между упругой деформацией, развивающейся условно мгновенно, и упруго-вязкой, развивающейся в течение некоторого времени. В этой связи известно, что упругая деформация, развивающаяся мгновенно, со временем может уменьшаться за счет возрастания упруго-вязкой и наоборот [4, 5]. Следовательно, в нашем случае увеличение скорости деформирования ведет к увеличению процента упругой деформации за счет уменьшения упруго-вязкой.

Теперь остановим внимание на том, как изменение соотношения составляющих деформации (на стадии упругости) может влиять на величину напряжения поляризации. Из литературных источников известно, что упругая мгновенная деформация связана с растяжением водородных связей макромолекул компонентов древесины, от которых, как предполагается [6, 7], и зависит пьезоэлектрический эффект. Следовательно, большая величина упругой мгновенной деформации должна вызвать больший пьезоэлектрический эффект. Упруго-вязкая деформация связана с перегруппировкой звеньев цепей макромолекул и пьезоэлектрического эффекта не вызывает. Сопоставляя отмеченные положения, приходим к выводу, что увеличение скорости деформирования увеличивает процент упругой деформации, развивающейся мгновенно, и, как следствие этого, увеличивается величина напряжения поляризации.

Дальнейшие работы в этом направлении представляют как теоретический, так и практический интерес. В методическом плане по данным графика на рис. 2 необходимо сделать следующее заключение. При исследовании пьезоэлектрического эффекта относительно малой величины следует использовать повышенные скорости деформирования, т. к. в этом случае генерируется значительно большее по величине напряжение поляризации.

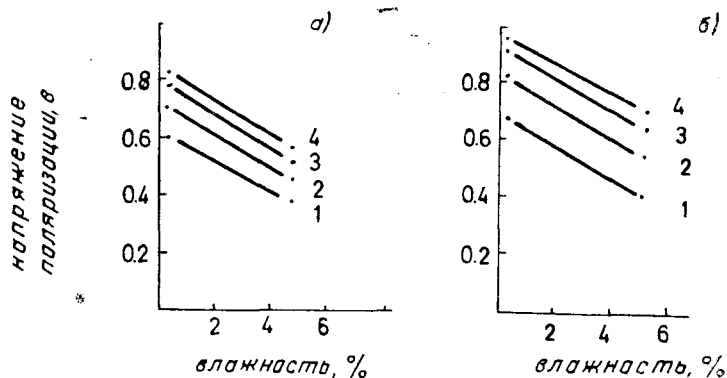


Рис. 3. График изменения напряжения поляризации в зависимости от влажности образцов при скоростях деформирования: 1 — 4 мм/мин; 2 — 10 мм/мин; 3 — 20 мм/мин; 4 — 60 мм/мин; а — древесина березы, б — древесина бука

На рис. 3 представлен график зависимости между напряжением поляризации и влажностью образцов. График показывает, что с увеличением влажности образцов напряжение поляризации значительно падает. В экспериментах этот факт следует учитывать следующим образом. При разовых испытаниях образцов с малыми пьезоэлектрическими модулями необходимо применять сухую древесину. При длительных испытаниях одного и того же образца, что может иметь место при исследовании напряжения поляризации в различных точках его поверхности, необходимо использовать древесину влажностью, равновесной лабораторным условиям, полученной при адсорбционном процессе.

Последнее положение необходимо строго соблюдать, так как в противном случае вследствие высыхания образца в процессе его испытания будет изменяться напряжение поляризации, что приведет к искажению действительной картины изменения пьезоэлектрических зарядов.

Исследование пьезоэлектрических свойств древесины при повышенных скоростях деформирования позволило достоверно установить и измерить модуль d_{36} и отсутствие пьезоэлектрических модулей от нормальных напряжений в натуральной древесине, что имеет как теоретическое, так и практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов В. А. Пьезоэлектрические свойства древесины. М., изд-во АН СССР, 1959.
2. Соснин М. И., Юшков В. В., Кубракова Г. Г. Методика исследования физических процессов при прессовании древесностружечных плит. В сб.: «Исследование свойств древесины и древесных материалов». Красноярск, 1969, (ИЛид).
3. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. М.-Л., «Энергия», 1966.
4. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф., Дыбенко Г. И. Прочность и деформативность слоистых пластиков. Киев, «Наукова думка», 1964.
5. Огарков Б. И. Теория деформирования древесных материалов с учетом ползучести. В сб.: «Исследование в области древесины и древесных материалов», Красноярск, 1967, (ИЛид).
6. Кэди У. Пьезоэлектричество и его практические применения. Перевод с английского. М., ИЛ, 1949.
7. Fukada E. Piezoelectricity as a fundamental of wood. „Wood science and technology“, 1968, V. 2, N 4.

Е. А. Колосовская,
В. В. Иванов

О СОСТОЯНИИ ВОДЫ В ДРЕВЕСИНЕ

Традиционно принято при изучении состояния воды в древесине подразделять всю сорбированную воду на свободную и связанную. Однако подобное грубое разделение при изучении такого многокомпонентного по составу объекта, как древесина, включающего капилляры и полости с различными размерами и геометрией, оказывается недостаточным для детального рассмотрения этого вопроса. В данном случае наиболее целесообразной следует считать терминологию общей теории адсорбции.

Возможность одновременного сосуществования в древесине воды в различных состояниях, которые можно рассматривать как различные подсистемы адсорбата, связана со сложной анатомией древесины, обуславливающей множество факторов, влияющих на характер адсорбции. К таким факторам можно отнести разнообразие в структуре и химическом составе ингредиентов древесины и наличие пор и капилляров различных форм и размеров.

В крупных полостях и порах (сверхкапилляры — диаметром свыше 0,5 мм [1]) поведение сорбированной воды близко к свойствам обычной воды, например, для нее характерно

существование фазового перехода вода—лед. С уменьшением размера полости меняются свойства адсорбированной воды, начинают наблюдаться эффекты зависимости температуры замерзания от характерного размера объема капилляра [2].

В макрокапиллярах (диаметром от 0,2 мк до 0,5 мм [1]) в соответствии с данными работы [2] должен наблюдаться эффект понижения температуры и вырождения фазового перехода, вследствие нарушения обычной коррелятивной структуры воды под влиянием активных центров адсорбента [2]. В таких капиллярах вода может образовывать либо полимолекулярную оболочку, либо капиллярный конденсат, в зависимости от влагосодержания образца.

В микрокапиллярах древесины (диаметром менее 0,2 мк [1], для которых характерна полимолекулярная адсорбция или образование монослоя (гидратной оболочки), влияние сорбирующей стенки капилляра еще более усиливается [1—3]. Таким образом, детальное изучение каждого из перечисленных состояний адсорбированной воды, их трансформации и взаимного влияния для различных температур и влажностей нужно рассматривать как необходимый этап при решении обширного круга вопросов, связанных с физико-механическими и биологическими свойствами древесины.

В отличие от термодинамических методов, обычно применяемых при исследовании свойств воды в древесине [4], метод ядерного магнитного резонанса позволяет изучить каждое из состояний адсорбата на молекулярном уровне [5].

Это сообщение посвящено изучению свойств гидратной воды в древесине, т. е. случаю адсорбции, когда «толщина» слоя адсорбата сравнима с размером молекулы воды.

Краткая сводка экспериментальных исследований воды в древесине методом ЯМР

Среди работ, посвященных состоянию воды в древесине методом ЯМР, наиболее характерными в смысле постановки задач можно считать исследования [5, 8—10].

В работе [5] исследовалась зависимость интенсивности узкого компонента спектра ЯМР от температуры для образцов древесины сосны влажностью 28%. На основании наблюдаемого уменьшения интенсивности при понижении температуры и того факта, что при -80°C его максимальная амплитуда становится сравнимой с амплитудой широкого компонен-

та, принадлежащего протонам органической матрицы древесинного вещества, был сделан вывод о полном торможении подвижности воды при указанной выше температуре и о происшедшем фазовом переходе. Однако из общей теории ЯМР известно, что максимальную амплитуду сигнала A_m можно представить выражением [5]:

$$A_m \sim \sigma_0 \Delta\omega \sim N \cdot T_2(T) kT, \quad (1)$$

где σ_0 — площадь под кривой поглощения;

$\Delta\omega$ — полуширина линии;

N — полное число резонирующих ядер образца;

k — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура;

T_2 — время поперечной релаксации.

Для случая сильного сужения [5]

$$T_2 \sim \exp(-w/kT), \quad (2)$$

где w — энергия активации подвижности.

Даже грубая оценка по формулам (1), (2) с использованием данных, полученных нами по зависимости T_2 от температуры, показывает, что в исследованном авторами [6] температурном интервале наблюдаемое ими изменение интенсивности A_m в 2—3 раза можно отнести за счет экспоненциального характера изменения T_2 (2), связанного в этом случае только с монотонным уменьшением подвижности протонов воды при понижении температуры. Таким образом, вывод авторов [6] не может быть принят однозначно; кроме того, традиционно [5] температура фазового перехода определяется по точке перегиба на кривой температурной зависимости ширины (интенсивности) линии спектра.

Измерение времени T_2 в зависимости от влагосодержания образцов древесины сосны, выполненное импульсным методом ЯМР (спин-эхо) [7] показало, что для интервала влагосодержания 16—50% величина T_2 не зависит от коэффициента диффузии и что сам эффект диффузии становится наблюдаем для влажности, большей 50%.

Существенный вклад в изучение адсорбата древесины дает цикл работ, выполненный А. Одадзимой с сотрудниками

[8—10]. В этих работах изучались зависимости времен релаксации T_1 и T_2 и величины полуширины линии ЯМР от температуры и влажности образцов целлюлозы нескольких сортов. В дальнейшем результаты работ [8—10] будут использованы при обсуждении температурных зависимостей T_1 и T_2 , полученных нами импульсным методом ЯМР (спин-эхо) на релаксметре типа ЯМР с рабочей частотой 16 Мгц (рис. 1).

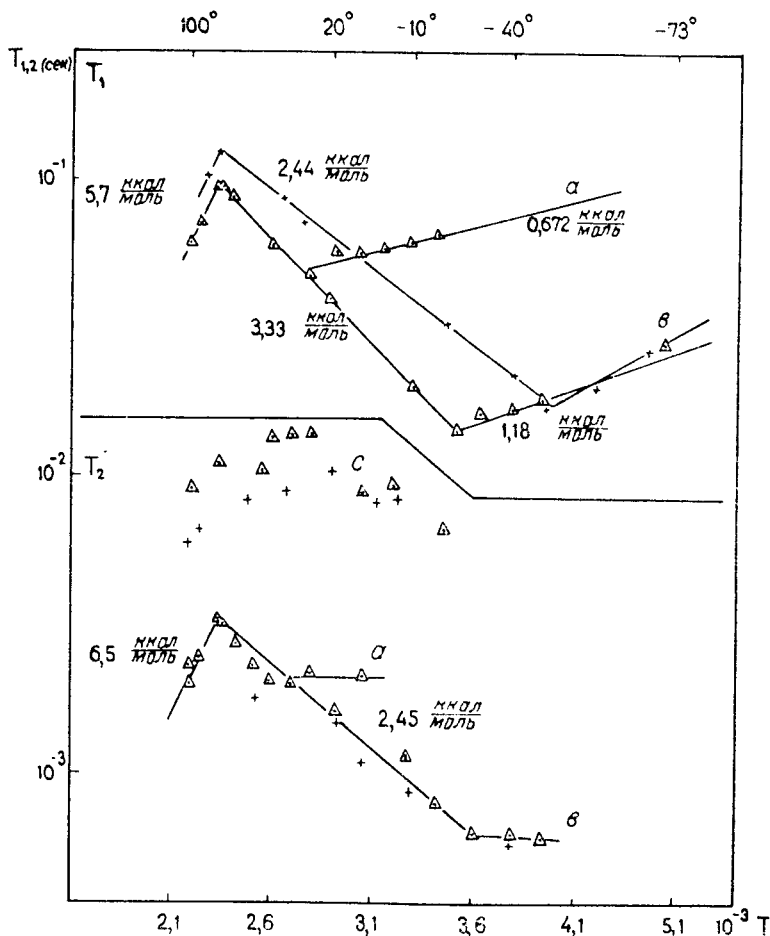


Рис. 1. Температурные зависимости T_1 и T_2 протонов водного адсорбата древесины. + — образец влажностью 32%; Δ — образец влажностью 44%.

Для эксперимента были выбраны образцы древесины лиственницы с влажностью 32% и 44%, в которых адсорбат представлен как гидратной, так и капиллярной водой и в то же время капиллярный конденсат еще блокирован настолько, что диффузия в эксперименте непосредственно не наблюдалась.

Изучение температурных зависимостей (рис. 1) времен продольной (T_1) и поперечной (T_2) релаксации протонов воды показало, что водный адсорбат представлен тремя подсистемами, одна из которых (подсистема С на рис. 1) — капиллярный конденсат, а две другие (подсистемы А и В) составляют гидратную оболочку органической матрицы. При этом в адсорбате древесины влажностью 32% были обнаружены подсистемы В и С, а влажностью 44% — подсистемы А, В, С. Исследования [8—10], использующие ЯМР-спектроскопию высокого разрешения и импульсную методику, а также измерения диэлектрической проницаемости, подтверждают существование двух подсистем адсорбата целлюлозы с влажностью от 16 до 20%.

Из анализа полученных температурных зависимостей (рис. 1) следует, что для молекул воды подсистем А и В характерно анизотропное вращение, а для подсистемы С — диффузионная подвижность. Вывод о характере подвижности в подсистеме В согласуется с данными эксперимента на целлюлозе [10].

Молекулы подсистем А и В, по-видимому, имеют по одной водородной связи с центрами адсорбции, поскольку полученное значение энергии активации обмена между подсистемами составляет 6,5 ккал/моль (рис. 1). При этом локальные структурные особенности органической матрицы в окрестности центра адсорбции могут объяснить наблюдаемое торможение вращения молекул воды гидратной оболочки.

Интересно отметить, что наблюдаемая на рис. 1 слабая зависимость T_1 и T_2 от концентрации молекул гидратной оболочки свидетельствует о внутримолекулярном характере взаимодействия ядерных спинов [11] и независимо подтверждает анизотропный характер вращения и тем самым факт образования монослоя молекулами подсистем А и В для образцов с влажностью примерно от 20 до 44%. Это согласуется с данными [10].

Поскольку центры адсорбции (преимущественно ОН груп-

пы целлюлозы и древесины [12]) расположены довольно хаотично (областью адсорбции обычно являются аморфные участки целлюлозы [12]) и на расстояниях, превышающих размеры молекулы воды, последние либо не имеют водородных связей друг с другом, либо эти связи значительно искажены и ослаблены, что делает невозможным образование какой-либо каркасной структуры даже при довольно низких температурах [2, 3]. Поэтому блокирование подвижности молекул гидратной оболочки, которое проявляется на графике температурной зависимости T_2 в виде перехода от случая сильного сужения [5] к ветви с $T_2 = \text{const}$, вряд ли связано с осуществлением фазового перехода вода—лед, но объясняется монотонным замедлением вращения молекул воды (рис. 1).

Не исключено, что для капиллярного конденсата имеет место процесс, подобный замерзанию [2], который не удалось обнаружить из-за низкой концентрации подсистемы в исследованных образцах.

К сожалению, не удалось получить данные о соотношении населенностей гидратной оболочки и капиллярного конденсата. Из экспериментальных результатов (рис. 1) лишь следует существование медленного обмена [13] между этими подсистемами, причем, по-видимому, этот обмен происходит на границе подсистем вне зависимости от влажности образца, и в нем, таким образом, принимает участие лишь пограничная часть молекул.

Детальное изучение поведения молекул капиллярного конденсата при различных температурах, их взаимодействие с молекулами гидратной оболочки и ряд других вопросов являются темой дальнейших исследований образцов древесины влажностью выше 44%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудинов Б. С. Явление отрицательного набухания древесины поперек волокон при адсорбции. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы», М., «Наука», 1966.
2. Иванов В. В., Степанов В. И., Чудинов Б. С. О некоторых причинах понижения температуры замерзания воды в древесине. В сб.: «Исследования свойств древесины и древесных материалов», Красноярск, 1969.
3. Уббелоде А. Плавление и кристаллическая структура, М., «Мир», 1969.
4. Степанов В. И. О методах определения агрегатного состояния влаги в мерзлых дисперсных материалах. В сб.: «Исследование

свойств древесины и древесных материалов», Красноярск, 1969.

5. Леше А. Ядерная индукция. М., ИЛ, 1963.

6. Степанов В. И., Чудинов Б. С., Кашкина Л. В. Исследование методом ядерного магнитного резонанса температуры замедления воды в древесине. В сб.: «Исследования в области древесины и древесных материалов», Красноярск, 1967.

7. Ведерников Г. М., Коноплева Н. Б. Зависимость времени поперечной релаксации ядерных спинов молекул воды от влажности древесины. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе», Красноярск, 1971.

8. Odajima A., Sohma J., Watanable S. J. Phys. Soc. Japan, 1959, 14, 308.

9. Odajima A., Sohma J., Watanable S. J. Chem. Phys. 1959, 31, 270.

10. Sasaki M., Kawai T., Hirai A., Haski T., Odajima A. J. Phys. Soc. Japan, 1960, 15, 1652.

11. Пфайфер Х. Исследование ядерного магнитного резонанса и релаксации адсорбированных молекул. В сб.: «Парамагнитный резонанс 1944—1969», М., «Наука», 1971.

12. Никитин Н. И. Химия древесины. М., изд-во АН СССР, 1951.

13. Woessner W. E., Zimmerman J. R., J. Phys. Chem. 1963, 67, 1590.

А. В. Апостол,
А. А. Некрасова

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Способность древесины деформироваться зависит от целого ряда факторов (увлажнение, высыхание, нагревание, охлаждение, воздействие электрозарядов и т. д.), которые зачастую действуют одновременно, вызывая комплексные деформации [1]. Это особенно важно для прессованной древесины, эксплуатационная влажность которой должна соответствовать состоянию окружающей ее рабочей среды (температура и влажность воздуха); при этом условии формоизменяемость изделий и втулок из прессованной древесины будет наименьшая.

Влажностные деформации натуральной и прессованной древесины обусловлены, как известно, связанной влагой, находящейся в клеточных оболочках. Во влажной среде связанная влага проникает между фибриллами, раздвигает их и древесина разбухает. При уменьшении количества связанной влаги фибриллярные прослойки клеточных оболочек сокращаются, а древесина усыхает. Таким образом, разбухание и усушка, т. е. деформативность древесины, связана с уве-

личением или уменьшением количества связанной влаги и величиной межфибриллярных сил.

Известно также, что усушка натуральной и прессованной древесины обусловлена уменьшением влажности ниже предела гигроскопичности. Для натуральной древесины большинства пород при комнатной температуре он равен примерно 30%, для прессованной древесины предел гигроскопичности зависит от принятой технологии прессования и, в частности, от температуры [2] и продолжительности прогрева [3] в процессе прессования, в результате чего равновесная влажность прессованной древесины ниже, чем у натуральной [4, 5]. При низкой влажности эта разница небольшая; с ее повышением до предела гигроскопичности разница достигает 4—6%.

Известно, что у натуральной древесины в наиболее толстой вторичной стенке клеточной оболочки микрофибриллы ориентированы в направлении продольной оси клетки, а потому удаление связанной влаги приводит к сокращению поперечных сечений анатомических элементов [1]. Причем в тангенциальном направлении усушка примерно в 1,5—2 раза больше, чем в радиальном.

Объяснению причин поперечной анизотропии усушки посвящен целый ряд работ, в которых приводятся различные гипотезы, однако исчерпывающего ответа, объясняющего это сложное явление, нет. Механизм усушки прессованной древесины остается пока мало изученным, хотя опытами установлено, что усушка прессованной древесины значительно отличается от усушки исходной натуральной древесины. Поэтому основной задачей наших исследований являлось изучение усушки радиально прессованной древесины осины, которая используется для втулок подшипников скользящего трения. Основное влияние обращалось на деформативность прессованной древесины при изменении влажности.

Прессование осуществлялось по методу П. Н. Хухрянского с предварительным пропариванием [4]. Температура прогрева древесины при прессовании выбрана 60° и 100° С, время прогрева после прессования 8 часов.

Работами ряда авторов установлено, что процесс одноосного прессования увеличивает анизотропию усушки, изменяет анатомическое строение и другие свойства древесины [7, 8, 9, 10, 11].

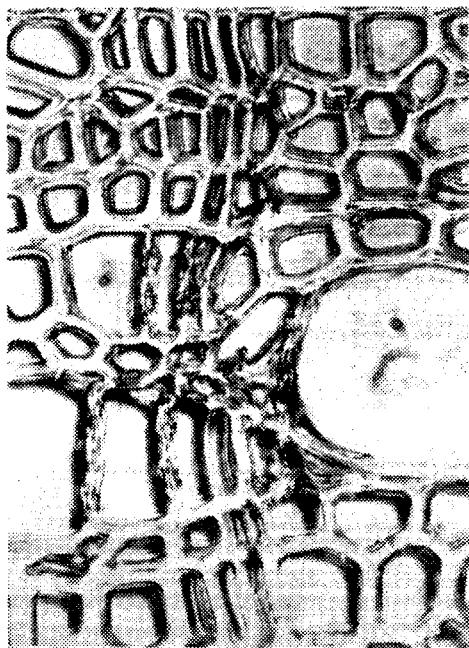


Рис. 1. Поперечный срез контрольной древесины осины, $\times 700$.

На рис. 1 представлен поперечный срез исходной натуральной древесины осины, выбранной для прессования. Как видно, стенки клеток не деформированы, сердцевинные лучи сравнительно прямолинейны.

Древесина рассеяннососудистых пород может быть прессована как в радиальном, так и в тангенциальном направлении. При прессовании древесины лиственных рассеяннососудистых пород в радиальном направлении уплотнение происходит равномерно по всей ширине годичного слоя. Сердцевинные лучи принимают вид волнистых линий по всей ширине годичного слоя. В зависимости от изменения плотности древесины по ширине годичного слоя и степени прессования изменяется и величина деформирования сердцевинных лучей (рис. 2, 3). Они изгибаются, принимают вид волнистых линий. С увеличением степени прессования от 35 до 55% наблюдается и более значительное сплющивание клеток, изменяется их форма, уменьшаются полости.

Новейшие исследования поперечной ориентации сосудов и древесных волокон показали, что при радиальном и танген-



Рис. 2. Поперечный срез древесины осины, прессованной на 30%, $\times 700$.

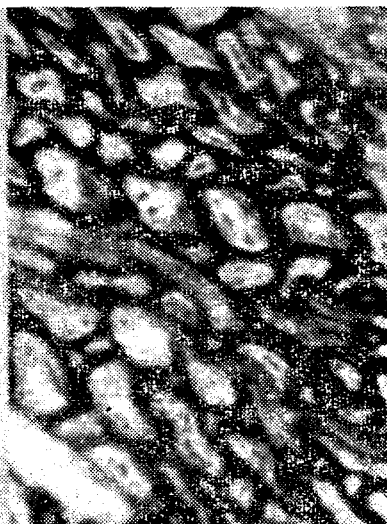


Рис. 3. Поперечный срез древесины осины, прессованной на 55%, $\times 700$.

циальном прессовании древесины сплюснутые волокна ориентируются не строго параллельно плоскости прессования, а под некоторым углом к ней. Равенство углов ориентации сплюснутых волокон относительно плоскости прессования в древесине радиального и тангенциального прессования указывает на их зависимость от направления прессования [12].

Изменение в анатомическом строении и плотности прессованной древесины, очевидно, оказывает существенное влияние на величину и направление ее усушки. Попытаемся объяснить это явление с физической точки зрения. В результате отмеченных анатомических изменений в направлении прессования увеличится количество древесинного вещества, а следовательно, повысится «линейная плотность». В направлении, перпендикулярном прессованию, подобных изменений не наблюдается, и «линейная плотность» древесины осины в этом направлении мало чем отличается от исходной. Отмеченное изменение в анатомическом строении и плотности прессованной древесины осины является определяющим в возрастании усушки ее в направлении прессования [8, 12].

Некоторое влияние на усушку прессованной древесины

осины могут оказывать отмеченные выше изменения в сердцевинных лучах. Последние, обладая повышенной способностью усыхать и разбухать по толщине в большей степени, чем по длине, могут, по-видимому, либо способствовать, либо препятствовать усушке. В натуральной древесине преимущественная усушка сердцевинных лучей по толщине влияет на изменение тангенциальных размеров образца [13]. Если сердцевинные лучи в процессе радиального прессования принимают изогнутую, волнистую форму (рис. 2, 3), то это способствует увеличению усушки и разбуханию в радиальном направлении.

Рассмотренная картина деформирования древесины при прессовании и связанное с ним изменение анатомического строения согласуются с экспериментальными исследованиями коэффициентов ее усушки, результаты которых приведены в таблице для натуральной и прессованной древесины разной степени прессования для разных интервалов влажности (от равновесной влажности до абсолютно сухого состояния).

В направлении прессования коэффициент усушки (K_r) выше в 2—5 раз, чем для натуральной древесины.

В плоскости, перпендикулярной прессованию, коэффициент усушки (K_t) остается практически без изменений.

С увеличением степени прессования с 35 до 55% коэффициент усушки повышается. Так, для осины, прессованной в радиальном направлении на 35 и 55% при изменении влажности от 11 до 0%, коэффициент усушки в направлении прессования оказался равным в первом случае 0,54 и во втором 0,60. Как видно, коэффициент усушки резко увеличивается даже при небольшой степени прессования. С дальнейшим увеличением степени прессования интенсивность роста коэффициента усушки снижается. Это явление, по-видимому, может быть объяснено тем, что на усушку в направлении прессования оказывает большое влияние начальная деформация клеточных стенок. Смятие их при высокой степени прессования мало влияет на интенсивность роста усушки.

Исходя из анализа процесса усушки древесины одноосного прессования и опытных данных, можно прийти к выводу, что на изменение усушки влияет анатомическое строение и плотность древесины, а также качественное состояние стенок клеток, параллельных направлению усушки. Если эти стенки смяты, то коэффициент усушки резко повышается и, наоборот, если они в процессе прессования не претерпели деформации смятия, то коэффициент усушки прессованной дре-

весины мало чем отличается от усушки в том же направлении натуральной древесины (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициент усушки древесины осины, спрессованной
в радиальном направлении**

Степень прессования, %	Равновесная влажность, w, %	Коэффициент усушки от равновесной влаж- ности		Равновесная влажность, w, %	Коэффициент усушки от равновесной влаж- ности	
		K _r	K _t		K _r	K _t
		температура прогрева 60° С			температура прогрева 100° С	

S=21% и t=20°

0	5,4	0,149	0,298	5,1	0,148	0,274
35	5,4	0,496	0,316	5,1	0,480	0,270
55	5,4	0,522	0,269	5,2	0,535	0,270

S=60% и t=20°

0	10,9	0,121	0,298	10,2	0,148	0,297
35	11,1	0,543	0,284	10,2	0,530	0,280
55	11,1	0,605	0,277	10,2	0,590	0,293

S=80% и t=20°

0	15,6	0,130	0,304	14,6	0,137	0,305
35	15,7	0,580	0,301	14,8	0,582	0,297
55	15,7	0,680	0,288	14,6	0,665	0,296

S=100% и t=20°

0	27,5	0,101	0,255	26,1	0,112	0,280
35	27,3	0,770	0,257	25,8	0,770	0,254
55	27,3	0,887	0,245	25,6	0,870	0,274

Примечание. Плотность древесины при степенях прессования 0; 35 и 55% соответственно равна 0,49; 0,76; 1,10 г/см³.

Коэффициент усушки прессованной древесины в направлении, перпендикулярном прессованию, независимо от направления прессования равняется коэффициенту усушки натуральной древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уголев Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. М., «Лесная промышленность», 1971.
2. Апостол А. В. Влияние температуры прогрева на равновесную влажность прессованной древесины. Науч. докл. Высшей школы, «Лесотехническое дело», 1959, № 2.
3. Апостол А. В. Влияние продолжительности прогрева на равновесную влажность и усушку прессованной древесины. Сб. науч. тр. ВИСИ, 1958, № 5, вып. 2.
4. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. М., «Лесная промышленность», 1964.
5. Апостол А. В. Равновесная влажность прессованной древесины сосны. «Деревообрабатывающая и лесохимическая промышленность», 1953, № 8.
6. Москалева В. Е. Изменение анатомического строения древесины в связи с усушкой. Докл. АН Арм. ССР, 1951, т. IV, № 2.
7. Огаркова Т. В. Коэффициент усушки прессованной древесины березы. «Деревообрабатывающая промышленность», 1958, № 5.
8. Кытманов А. В. Анизотропия усушки и пьезоэлектрических свойств прессованной древесины березы. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы». М., «Наука», 1966.
9. Апостол А. В. Усушка прессованной древесины. «Деревообрабатывающая промышленность», 1954, № 4.
10. Москалева В. Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях. М., изд-во АН СССР, 1957.
11. Клар Г. В., Кытманов А. В., Петрова О. А. Структура и свойства древесины двухосного прессования. Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, т. 65, М., «Наука», 1963.
12. Кытманов А. В. Изменение структуры прессованной древесины и ее влияние на анизотропию пьезоэлектрических свойств. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971.
13. Перелыгин Л. М. О причинах различия между радиальной и тангенциальной усушкой древесины. «Лесная индустрия», 1939, № 2.

О. А. Бауков

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИСПЫТАНИЙ НАТУРАЛЬНОЙ И КОНСЕРВИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Метод полигонных испытаний является в настоящее время наиболее эффективным для определения биостойкости древесины и испытаний антисептиков. При испытании защищенной древесины в естественных условиях можно более объективно оценивать антисептики, определять их эффективность и оптимальные нормы расхода.

В связи с необходимостью получения данных о стойкости

древесины в различных районах, выявления наиболее эффективных антисептиков и других данных, важных при консервировании древесины, полигонные испытания проводятся в семи различных географических точках Советского Союза [1].

Одной из таких точек является Восточный Государственный полигон, заложенный в 43 км от г. Красноярск в лесостепной зоне. Климат района исследований континентальный, умеренно-влажный, вегетационный период длится 80—120 дней.

На полигоне поставлены опыты с незащищенной древесиной («62—713К») и древесиной, пропитанной различными антисептиками: маслянистыми, водорастворимыми и пастами диффузионного действия.

Целью опыта с незащищенной древесиной является установление зональных коэффициентов скорости разрушения натуральной древесины в различных почвенно-климатических условиях. В опыте использованы образцы прямоугольного сечения ($15 \times 15 \times 220$ мм; $40 \times 40 \times 500$ мм) и круглые образцы (Д—10 см; L—80 см), изготовленные из свежего тонкомерного кругляка. Образцы размером $15 \times 15 \times 220$ мм устанавливались на искусственно устроенных площадках с темно-серой оподзоленной, глинистой и песчаной почвами при различном увлажнении, которое достигалось путем поднятия или опускания испытуемого горизонта. В каждой серии опыта участвовало девять площадок: три с темно-серой оподзоленной почвой (сухо, норма, влажно), три с глиной (сухо, норма, влажно) и три с песком (сухо, норма, влажно).

Всего в опыте по определению зонального коэффициента участвовало 90 искусственно устроенных площадок. Образцы размером $40 \times 40 \times 500$ мм и образцы круглого сечения устанавливались на лугу, не тронутом вспашкой.

Первый опыт с защищенной древесиной был поставлен в 1963 г. Образцы пропитывались маслянистыми антисептиками — пентахлорфенолом, антраценовым маслом, нафтенатом меди и водорастворимыми — МХМ 235, ФХМ 7751. Опыт по защите древесины пастами диффузионного действия поставлен в 1965 г. В опыте использованы круглые образцы (Д—10 см; L—80 см), обработанные пастами: ЦНИИ-1, уралитовой, ФХМ и триолитовой. При использовании паст ЦНИИ-1 и уралитовой на подземную часть образцов наносилось битумное покрытие для гидроизоляции их при контакте с почвой.

Учет состояния образцов, находящихся на полигоне, производится ежегодно в августе—сентябре месяце по пятиступенчатой логарифмической шкале условных индексов: 100—отсутствие гнили, 0—полное разрушение.

Усредненные результаты девятилетних наблюдений за биостойкостью натуральной древесины представлены на графиках (рис. 1 и 2). На графиках видно, что один год пребывания образцов в почве не оказывает существенного влияния на сохранность древесины. Значительные разрушения отмечаются на 4—5 году испытаний.

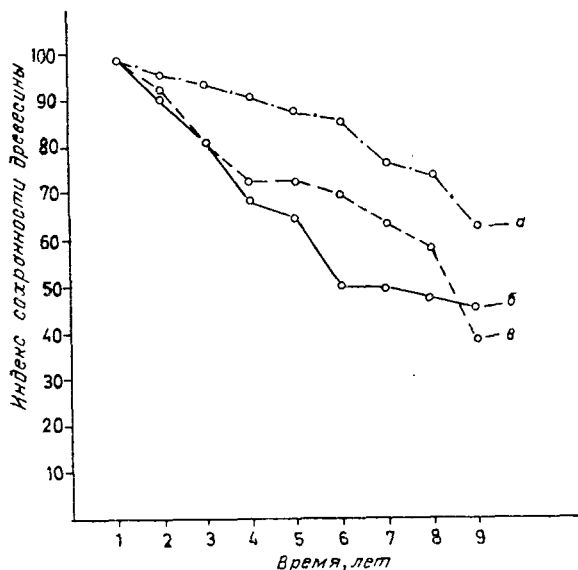


Рис. 1. Изменение состояния натуральной древесины, проходящей испытания: а — на песке; б — на темно-серой оподзоленной почве; в — на глине. Размер образцов $15 \times 15 \times 220$ мм.

За весь период опыта можно отметить, что разрушение больших и средних образцов идет сравнительно равномерно в зависимости от продолжительности испытания (рис. 2). Что же касается образцов малого сечения ($15 \times 15 \times 220$ мм), то здесь эта зависимость резко нарушается в случае попадания образцов в зону распространения базидномицетов [2], когда

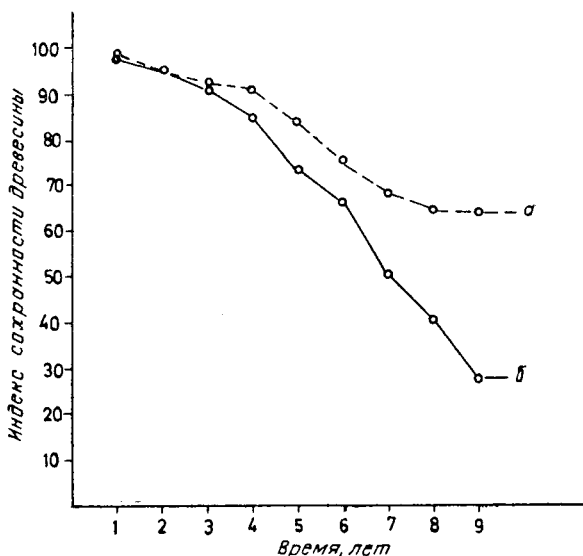


Рис. 2. Изменение состояния натуральной древесины, проходящей испытания на лугу, не тронутом вспашкой. Размер образцов: а — $40 \times 40 \times 500$ мм; б — Д — 10 см, L — 80 см.

за один год пребывания в прунте образец полностью разрушается.

На образцах сечением $15 \times 15 \times 220$ мм, установленных в 1962 г., проведены микологические исследования. Микрофлора представлена грибами: *Fusarium sambucinum*, *Trichoderma koningii*, *Verticillium psalliotae*, *Pullularia pullulans*, *Stysanus* sp., *Penicillium duclauxii* Delacroix, *Penicillium simplicissimum* (Qud.) Thom. *

Восьмилетние испытания защищенной древесины показали, что наилучшими защитными свойствами обладают маслянистые антисептики: пентахлорфенол и антраценовое масло (табл. 1). При визуальном анализе образцов, обработанных этими препаратами, признаков разрушения древесины и наличия микрофлоры не обнаружено, индекс сохранности образцов 100.

* Видовой состав грибов определялся в Сенежской лаборатории консервирования древесины ЦНИИМОД.

**Результаты полигонных испытаний антисептиков
с 1963 по 1971 годы**

Антисептик	Поглоще- ние, $кг/м^3$	Индекс сохранности образцов разме- ром		
		Л. — 80 см, Д — 10 см	40×40× ×500 мм	15×15× ×220 мм
МХМ-235	1,7	73	49	90
	6,7	100	98	90
	18,7	100	100	100
ФХМ-7751	1,7	100	98	90
	7,1	100	93	96
	30	100	100	100
Нафтенат меди	1,7	96	100	80
	6,3	100	100	100
	23,6	100	100	100
Пентахлорфенол	1,7	100	100	100
	5,8	100	100	100
	19,8	100	100	100
Антраценовое масло	100	100	100	100
	150	100	100	100
	200	100	100	100
Фторид натрия	16,7	36,6	100	90

У отдельных образцов, пропитанных нафтенатом меди, через пять лет испытаний появились признаки загнивания, и к настоящему времени они полностью разрушились. Основная же масса образцов имеет индекс сохранности 100.

Восьмилетние испытания мышьяксодержащих антисептиков показали, что лучшей защитной способностью обладает ФХМ-7751. МХМ-235 надежно защищает древесину при повышенных концентрациях: $6,7 кг/м^3$ и $18,7 кг/м^3$. Микологический анализ образцов, обработанных препаратами ФХМ, МХМ, показал, что они довольно интенсивно осваиваются грибной флорой. Ее представляют: *Mucor griseo brunneus*, *Gephalosporium gramineum*, *Aposphaeria epileuca* и ряд представителей рода *Penicillium link*.

Кроме того, образцы, пропитанные ФХМ-7751, у «шейки» значительно повреждены энтомовредителями. Повреждения расположены равномерно по всему периметру образцов и имеют ровную, слегка шероховатую поверхность. Для выяснения вида вредителя нужны дополнительные исследования.

Учет состояния образцов, обработанных пастами ЦНИИ-1 и уралитовой, очень затрудняет битумное покрытие, и давать им какую-либо визуальную оценку невозможно. При зондировании через битум размягчений в древесине не обнаружено, и на этом основании сохранность образцов оценивается индексом 100. На образцах, обработанных пастами ФХМ и триолитовой, за 7 лет пребывания в почве признаков разрушения не отмечено, но появились пятна светло-бурого цвета, и древесина начала осваиваться деревоокрашивающими грибами, что предшествует появлению и активизации основных дереворазрушителей [3]. Состояние контрольных образцов в данном опыте оценивается индексом сохранности 58.

В ы в о д ы

Анализ результатов учета состояния образцов в опыте «62-713К» показал, что лучшую сохранность имеют образцы, установленные в песке. Прослеживается зависимость в разрушении образцов от длительности испытаний, но в случае попадания образцов в ареал директивного разрушителя эта зависимость резко нарушается.

Восьмилетние испытания антисептиков свидетельствуют о надежной защищающей способности маслянистых антисептиков — пентахлорфенола и антраценового масла. Водорастворимые антисептики хорошо защищают древесину при повышенных нормах поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшин С. Н., Крапивина И. Г. Полигонные испытания антисептиков и исследования закономерностей разрушения древесины. М., «Наука», 1972.
2. Петренко И. А. Полигонные испытания антисептиков, предохраняющих древесину от загнивания. Материалы научн. конфер. по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск, 1965.
3. Частухин В. Я., Николаевская М. А. Биология почв. Исследования по распаду растительных остатков в хвойных лесах. М., 1948.

РАЗРУШЕНИЕ КОРЫ И ВЕТВЕЙ СОСНЫ ДОМОВЫМИ ГРИБАМИ

Всевозрастающие объемы лесозаготовок и механической переработки древесины увеличивают количество отходов, в частности коры и сучьев, которые не находят применения. Только в Красноярском ЛПК и ДОКе отходы коры составляют 50—60 тыс. м³ в год [1, 6].

Одним из перспективных направлений промышленной переработки больших объемов коры является получение различных строительных материалов, например арболита, с использованием коры сосны в качестве заполнителя [7]. Кроме того, древесная кора может быть использована для изготовления плит. Из отходов лесозаготовок (свежесрубленные ветви) уже налажено производство блоков [3]. Плиты из коры используются для обшивки стен, перегородок. Блоки применяются в качестве конструктивного материала в бескаркасном одноэтажном строительстве.

Однако, несмотря на то, что древесные отходы так же, как и древесина, подвержены разрушению грибами, изучению вопроса биологической стойкости новых строительных материалов еще не уделяется должного внимания. Разложение древесных остатков, в том числе еловой коры, изучалось лишь на кафедре древесиноведения и фитопатологии Ленинградской лесотехнической академии с целью получения удобрений [2].

В связи с этим известный интерес представляют данные о биостойкости коры и ветвей (различного диаметра) сосны обыкновенной, произрастающей в Красноярском крае.

Как известно, кора имеет ряд общих свойств с древесиной. Она может служить хорошим субстратом для дереворазрушающих грибов, но их деятельность ограничивается высоким содержанием в коре ядовитых для грибов веществ — таннидов. По данным А. Вацека и А. Шона [8], веществ, экстрагируемых только спиртом и спирто-бензолом, в коре сосны содержится 18,75%. Кроме того, содержание трудно разлагаемого лигнина в коре значительно выше, чем в древесине.

Для оценки противогнилостной стойкости коры и ветвей сосны обыкновенной был использован метод, предложенный В. В. Миллером и Е. И. Мейер [4]. Образцы изготовлены из наиболее толстой коры комлевой части дерева, ветви двух

размеров — $D=1,5-1,7$ см; $D=0,7-0,9$ см; $L=3,5-4,0$ см. Определение биостойкости проведено на чистых культурах домовых грибов: *Coniophora cerebella*, *Fibuloporia vaillantii*, *Lentinus lepideus*.

Чистые культуры грибов выращивались на 2%-ной сусло-агаровой среде в стерильных колбах Эрленмейера емкостью 250 см³. Для устранения соприкосновения испытуемых образцов с питательным субстратом на дно колбы укладывался помост из стеклянных трубочек. Инокулятом служили кусочки древесины, пронизанные гифами гриба. После того, как мицелий гриба затягивал тонким слоем поверхность помоста, в колбу вносились испытуемые образцы коры и веточки сосны.

Опыт в лабораторных условиях длился два месяца при температуре 18—22° С. Одновременно проводились наблюдения за характером обрастания образцов мицелием гриба. По истечении двух месяцев образцы извлекались из колб, осторожно очищались от грибных пленок и высушивались до постоянного веса в комнатных условиях. Оценка результатов опыта производилась по потере веса образцов. Полученные в опытах цифровые данные были подвергнуты статистической обработке. Для сравнения биостойкости коры и ветвей с биостойкостью древесины в испытания были включены образцы заболонной древесины сосны стандартного размера: $2 \times 2 \times 0,5$ см. Показатели биостойкости приведены в табл. 1.

Обрастание опытных образцов коры и ветвей происходило неодинаково. *Coniophora cerebella*—наиболее быстро растущий домовый гриб — начинал продвигаться по коре через два дня после начала опыта. Полное обрастание им отмечено через шесть дней. Мицелий закрыл все образцы (как из измельченной коры, так и из коры с ненарушенной структурой) тонким паутинистым слоем и разросся по стенкам коло до ватных пробок, образовав многочисленные разветвленные шнуры, характерные для этого гриба. Образцы из коры с ненарушенной структурой под воздействием *Coniophora cerebella* разрушались в среднем на 14% (с колебаниями от 12 до 18%). Образцы из измельченной коры разрушались более интенсивно (в среднем 21,2%, с колебаниями от 14 до 26,7%).

Несколько медленнее осваивал кору белый домовый гриб (*Fibuloporia vaillantii*). В первые два дня происходило прикрепление образцов к субстрату, через шесть дней мицелий поднимался по всей высоте образцов, а через восемь дней

**Стойкость образцов коры, ветвей и заболонной древесины
к различным видам домовых грибов**

Вид гриба	Кол-во образ- цов, шт. п	Снижение су- хого веса, % М	Ошибка сред- него $\pm m$	Вариант. ко- эффициент v, %	Показатель точности p, %
Кора сосны с ненарушенной структурой					
<i>Coniophora cerebella</i>	7	14,7	0,93	16,9	6,42
<i>Fibuloporia vaillantii</i>	7	7,6	1,07	36,4	14,1
<i>Lentinus lepideus</i>	7	11,3	1,0	23,5	8,81
Измельченная кора сосны					
<i>Coniophora cerebella</i>	6	21,2	2,09	24,1	9,86
<i>Fibuloporia vaillantii</i>	6	22,1	0,21	2,29	0,95
Ветви сосны (D=1,5—1,7 см)					
<i>Coniophora cerebella</i>	5	38,4	4,74	21,4	12,3
<i>Fibuloporia vaillantii</i>	5	31,3	4,0	22,1	12,7
Ветви сосны (D=0,7—0,9 см)					
<i>Coniophora cerebella</i>	8	58,4	2,68	13,0	4,6
<i>Fibuloporia vaillantii</i>	8	32,0	2,68	23,7	8,37
Заболонная древесина сосны					
<i>Coniophora cerebella</i>	6	50,0	1,86	9,1	3,72
<i>Fibuloporia vaillantii</i>	6	35,9	5,65	35,0	15,7
<i>Lentinus lepideus</i>	6	58,6	1,74	6,6	2,97

закрывал образцы полностью. Мицелий пышный, чисто белый, немного клочковатый. Разрушение — 7,6%.

Освоение мицелием *Fibuloporia vaillantii* измельченной коры, помещенной в капроновые мешочки, происходило несколько иначе: сначала он проникал во внутрь мешочка и прорастал его насквозь. На поверхности мешочка появился едва заметный беловатый пушок, превратившийся впоследствии в пышные белоснежные шапки, резко отличающиеся от редкого, ажурного мицелия на поверхности питательной среды. Измельченная кора разрушалась более или менее равномерно с небольшими колебаниями веса от 21,2 до 27,5%.

Более высокая стойкость коры с ненарушенной структурой объясняется, по-видимому, тем, что в ней лигноцеллюлозные клеточные оболочки окружены слоями пробковой ткани, пропитанной суберином и практически непроницаемой для гиф грибов и их экзоэнзимов. При измельчении коры происходит нарушение целостности пробковой ткани, лигноцеллюлозные клеточные оболочки коры становятся для мицелия гриба более доступными. Интенсивность разложения, естественно, повышается [5].

Наиболее медленно развивается *Lentinus lepideus*. Мицелий светлый, плоский, подойдя к образцам коры вплотную, приостанавливает рост и образует около образцов уплотненные валики. В таком состоянии мицелий остается до конца опыта. По стенкам образцов коры мицелий *Lentinus lepideus* не поднимается, хотя прикрепление образцов к мицелию, связанное, по-видимому, с проникновением гиф мицелия в нижний слой коры, довольно прочное. Вес образцов снижается в среднем на 11,3% (с колебаниями от 8,4 до 14,7%). Образцы разрушаются только с боковых поверхностей и в нижней части: в месте соприкосновения с мицелием. Вероятно, при непосредственном контакте нижних слоев образцов с мицелием гриба происходит разложение содержащихся в коре сосны танинов ферментами мицелия *Lentinus lepideus*.

Заболонная древесина сосны за тот же период времени разрушается грибами более энергично, несмотря на то, что характер и скорость обрастания образцов древесины и коры почти одинаковы. Исключение составляет *Lentinus lepideus* медленно растущий, но обладающий невероятно сильной разрушительной способностью домовый гриб. Образцы древесины осваиваются мицелием этого гриба полностью лишь через три недели, а разрушаются за два месяца в среднем на 58,6% (в отдельных случаях на 63%). Вес образцов под воздействием *Coniophora cerebella* снижается на 50%, под воздействием *Fibuloporia vaillantii* — на 35,9%, т. е. заболонная древесина разрушается в несколько (3—5) раз больше, чем кора.

Такое слабое разрушение коры сосны по сравнению с древесиной объясняется прежде всего ее специфическим анатомическим строением и химическим составом [5].

Изучение биологической стойкости ветвей сосны, диаметром до 1 см и от 1,5 до 2,0 см показало, что ветви сосны, независимо от диаметра, белым домовым грибом *Fibuloporia va-*

illantii разрушаются несколько слабее, чем древесина (31,3 и 32,0%), но гораздо энергичнее, чем кора. *Coniophora cerebella* ветви до 1 см в диаметре разрушает сильнее, чем заболонную древесину (58,4%), более толстые — слабее (38,0%). В целом, ветви сосны, как и древесина, подвержены загниванию, поэтому для повышения биостойкости блоков, изготавливаемых из ветвей, необходимо их антисептирование.

Выводы

Стойкость коры и ветвей сосны по отношению к различным видам домовых грибов не одинакова. Наибольшее разрушение вызывает *Lentinus lepideus*, наименьшее — *Fibuloporia vaillantii*. *Coniophora cerebella* занимает промежуточное положение.

Противогнилостная стойкость коры сосны с ненарушенной структурой в несколько раз превышает стойкость заболонной древесины. В связи с этим плиты из этой коры, используемые в строительстве, не нуждаются в специальной дополнительной защите от гниения.

Биостойкость отходов в виде ветвей сосны и измельченной коры не велика, поэтому при изготовлении блоков для бескаркасного одноэтажного строительства и плит из измельченной коры необходимо их антисептирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ажар Л. П., Левин Э. Д., Чупрова Н. А., Ринкявичус А. А., Тихомирова Г. В. Техничко-экономические показатели комплексной переработки коры лиственницы сибирской пиролизом во взвешенном состоянии и тонком слое. Тр. СТИ «Лиственница», 1968, т. 3.
2. Гришкова Л. А., Транина Н. Ф. Разложение коры при компостировании с целью получения удобрений. «Микология и фитопатология», 1971, т. 5, вып. 6.
3. Коротаев Э. И., Симонов В. И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М., «Лесная промышленность», 1972.
4. Миллер В. В., Мейер Е. И. Экспериментальная разработка методики сравнительных испытаний антисептиков для древесины. Тр. ЦНИИМОД, Гослесбумиздат, 2(8), М., 1951.
5. Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М., «Лесная промышленность», 1967.
6. Цывин М. М. Использование коры, получаемой при окорке пиловочного сырья. В сб.: «Комплексное использование древесины», 1972, вып. 27 (ЦНИИМОД).

7. Цывин М. М., Шмаков И. В. Арболит с заполнителем из коры сплавной древесины. В сб.: «Комплексное использование древесины», 1972, вып. 27 (ЦНИИМОД).

8. Wasek A. und Schön A. Untersuchungen zur Frage der Zusammensetzung von Baumrinden. Holz als Roh- u. Werkstoff, H. 4, 1941.

Е. В. Харук, А. Ф. Разумова,
А. И. Вологдин,
Ю. С. Пилипчук

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ ПО РАДИУСУ СТВОЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

В ряде работ [2, 3, 4, 5, 10] показано, что проницаемость древесины зависит от присутствия в ней экстрактивных веществ. Но эти работы отражают общий характер зависимости и не позволяют объяснить большую изменчивость проницаемости древесины в зависимости от местоположения в стволе.

Как показано в работе [1], проницаемость древесины хвойных пород газами и жидкостями в радиальном направлении характеризуется большой изменчивостью по радиусу ствола. Наименьшая проницаемость древесины сосны оказалась в ядровой части около заболони [1]. В крупных сортаментах эта зона хуже пропитывается антисептиками и препятствует их проникновению в глуболежащие слои древесины. Поэтому изучение вопросов, связанных с выявлением причин различной проницаемости древесины, имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Исследования по выявлению связи между изменением проницаемости древесины по радиусу ствола и составом экстрактивных веществ проводились на образцах древесины, форма и размеры которых соответствовали требованиям, предъявляемым к ним при изучении проницаемости древесины (диаметр $48 \pm 0,5$ мм, толщина 10 мм). Проницаемость определялась в радиальном направлении до и после экстрагирования. Экстрагирование образцов проводилось в аппаратах Сокслета смесью спирто-бензола (1 : 3) и ацетоном. Продолжительность экстрагирования составляла 30 часов при температуре 90°C . Количество экстрактивных веществ подсчитыва-

лось в процентах от веса образца в абсолютно сухом состоянии.

Разделение экстрактивных веществ на фракции, в состав которых входили бы вещества, близкие по химическим свойствам, проводилось следующим образом. Экстракты разделяли на растворимую и не растворимую в эфире части. Эфирорастворимую часть разделяли на альдегиды, кислоты, фенолы и нейтральные вещества. Альдегиды выделяли, обрабатывая эфирный раствор экстракта 10% раствором бисульфита натрия. Кислоты удаляли бикарбонатом натрия, а фенольные соединения выделяли 5% раствором щелочи натрия. После извлечения альдегидов, кислот и фенолов в эфире остались нейтральные вещества. Все эфирные вытяжки сушили над сернокислым натрием. Эфир отгоняли, полученные фракции сушили под вакуумом и определяли содержание фракций от веса абсолютно сухого экстракта.

Для установления однородности выделенных фракций на инфракрасном спектрофотометре ИКС-22 были сняты ИК-спектры исходного спирто-бензольного экстракта и четырех фракций, полученных на его основе. Препараты для спектрографирования снимались в твердом состоянии в виде расплава в специально приготовленных кюветах из оловянной фольги толщиной 10—15 μ . Спектры приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, ИК-спектр суммарного спирто-бензольного экстракта резко отличается от ИК-спектров фракций, причем ИК-спектры фракций (кривые 2, 3, 4, 5) значительно различаются между собой. Если сравнить ИК-спектры альдегидов и кислот (кривые 2, 3), то в области $4000—2000\text{ см}^{-1}$ они не имеют значительных различий, однако присутствие полосы около 2650 см^{-1} в ИК-спектре кислот может говорить о том, что во фракции кислот есть некоторое количество альдегидных веществ. Однако значительные различия полосы в области карбонильного поглощения около 1700 см^{-1} и особенно большие отличия в остальной части спектра могут служить основанием для утверждения, что примесь альдегидных веществ в кислотах незначительна.

ИК-спектр фенольной фракции (рис. 1, кривая 4) значительно отличается от ИК-спектра альдегидной и кислотной фракций почти во всех областях спектра. Он имеет ярко выраженную полосу поглощения в области $4000—3000\text{ см}^{-1}$ с максимумом около 3360 см^{-1} , которую можно объяснить поглощением гидроксильных групп, преимущественно фенольного характера. В ИК-спектре отсутствует полоса около

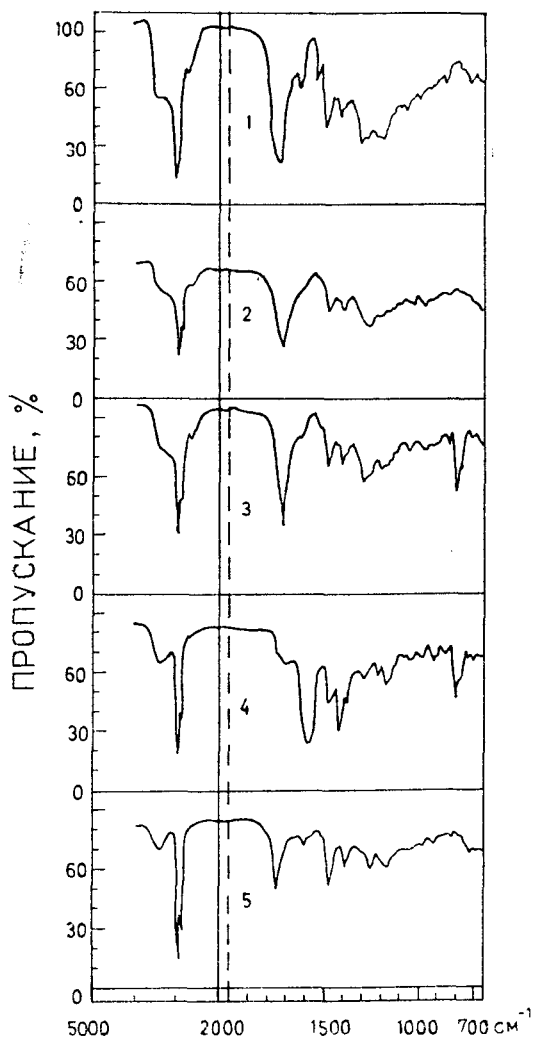


Рис. 1. Инфракрасные спектры экстрактивных веществ ядровой древесины сосны: 1 — суммарного спирто-бензольного экстракта; 2 — альдегидной фракции; 3 — кислотной фракции; 4 — фенольной фракции; 5 — фракции нейтральных веществ.

2650 см^{-1} , а полоса карбонильного поглощения в области около 1700 см^{-1} имеет незначительную интенсивность. На основании этого можно заключить, что альдегидных и других веществ, имеющих карбонилы, в этой фракции минимальное количество. В ИК-спектре нейтральных веществ (рис. 1, кривая 5) можно наблюдать наличие полосы гидроксильного поглощения с максимумом около 3400 см^{-1} , очень сильное поглощение метильных и метиленовых групп с частотами около 2930 и 2850 см^{-1} . Имеется интенсивная полоса карбонильного поглощения с максимумом около 1740 см^{-1} , наличие которой можно отнести за счет поглощения карбониллов в сложных эфирах. На основании последнего можно заключить, что в этой фракции находятся преимущественно спирты, сложные эфиры и другие нейтральные вещества.

Из сравнения ИК-спектров исходного экстракта и четырех фракций, полученных на его основе, можно заключить, что исходный экстракт разделяется на классы веществ, значительно отличающихся своими спектрами. Примеси вещества одного класса во фракциях других настолько незначительны, что существенно не влияют на спектр. Такое разделение экстрактивных веществ на фракции, по нашему мнению, является вполне приемлемым для случаев, где не требуется получение индивидуальных соединений.

В табл. 1 приведены количественный и качественный состав экстрактивных веществ и изменение величины газопроницаемости древесины сосны. Анализ показывает весьма неравномерное распределение экстрактивных веществ по радиусу ствола. Наименьшее их количество отмечено в средней части радиуса ствола, а в призаболонных и прилегающих к сердцевине образцах содержание их увеличивается, что подтверждает полученные ранее данные [10]. Подобные результаты были получены и другими исследователями [6, 7, 8].

Если проследить за изменением газопроницаемости по радиусу ствола древесины сосны до экстрагирования, то оказывается, что наименьшая ее величина отмечается в призаболонных образцах, несколько увеличивается по направлению к сердцевине и около сердцевины снова уменьшается (табл. 1).

После экстрагирования проницаемость всех образцов резко увеличилась. Однако увеличение проницаемости у образцов, взятых вдоль радиуса ствола, неодинаково (табл. 1). По нашему мнению, это связано с неравномерным распределением компонентов экстрактивных веществ по радиусу ствола.

Изменение состава экстрактивных веществ и величины

Номера образцов по радиусу ствола от заболони	Количество выделенных экстрактивных веществ, %	Отношение выделенных компонентов к спирто-бензольному экстракту, %				
		альдегиды	кислоты	фенолы	нейтральн. вещ-ва	эфиропераствор. часть
1	5,6	7,1	16,0	42,8	13,5	10,5
2	5,2	6,7	11,3	46,0	18,1	10,3
3	5,3	6,2	14,9	26,4	20,3	9,0
4	6,6	5,7	16,1	34,6	17,9	6,5
5	8,0	11,2	9,2	42,2	11,5	5,9
6	8,3	11,5	8,7	32,2	12,6	—
средние	6,5	8,0	12,7	37,2	15,6	8,4

* Над чертой — количество испытанных образцов, под чертой — абсолютная величина коэффициента проницаемости.

Так, например, наибольшее количество фенолов выделилось из призаболонных образцов, имеющих до экстрагирования наименьшую величину проницаемости. На большее содержание фенольных компонентов в призаболонной зоне ядра, в частности пиносильвина, указывается в работе Эрдтмана [9]. Кроме того, из призаболонной зоны ядра выделяется и наибольшее количество кислот. При удалении этих компонентов проницаемость призаболонных образцов резко увеличивается. На этом основании сделан вывод, что фенольные компоненты и кислоты являются одной из причин столь низкой проницаемости призаболонных образцов. Следует отметить, что увели-

газопроницаемости древесины сосны по радиусу ствола

Коэффициент проницаемости (K_r), $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{ати}^*$

до экстрагирования					после экстрагирования				
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	$10^{-\infty}$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	$10^{-\infty}$
—	—	—	$\frac{3}{1,6}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{4}{2,38}$	$\frac{4}{3,37}$	—	—	—
—	—	$\frac{1}{2,58}$	—	$\frac{4}{0}$	$\frac{4}{1,72}$	$\frac{1}{7,01}$	—	—	—
—	—	$\frac{1}{1,74}$	—	$\frac{2}{0}$	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{1}{9,28}$	—	—	—
—	—	$\frac{3}{3,24}$	—	$\frac{1}{0}$	$\frac{4}{3,40}$	—	—	—	—
—	—	—	$\frac{1}{5,28}$	$\frac{3}{0}$	$\frac{4}{1,92}$	—	—	—	—
—	—	—	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{1}{3,20}$	$\frac{1}{5,76}$	—	—	—

чение проницаемости происходило на большую величину и в образцах из других зон, содержащих значительное количество фенолов и кислот. Для подтверждения выводов о влиянии качественного состава экстрактивных веществ на проницаемость древесины был поставлен дополнительный опыт. Одинаковые по местоположению образцы с нулевой проницаемостью делились на две группы, одна из которых экстрагировалась спирто-бензолом, а вторая — ацетоном. После экстрагирования величина газопроницаемости оказалась выше в группе образцов, экстрагированных спирто-бензолом. Количество спирто-бензольного экстракта несколько больше аце-

Изменение состава экстрактивных веществ и величины

Номера образцов по радиусу ствола от заболони	Количество выделенных экстрактивных веществ, %	Отношение выделенных компонентов экстракту, % к спирто-бензольному				
		альдегиды	кислоты	фенолы	нейтральн. веществ	эфиронераствор. часть
1	2,4	16,6	3,7	24,1	41,9	11,3
2	2,6	15,0	5,2	27,6	38,8	11,3
3	2,5	10,9	5,6	22,9	31,1	19,4
4	2,8	15,7	6,9	14,5	37,8	11,9
5	3,3	14,2	8,3	13,7	37,0	13,4
среднее	2,7	14,5	5,9	20,6	37,2	13,5

* Над чертой — количество испытанных образцов;
под чертой — коэффициенты проницаемости.

тонового. Кроме того, процентное содержание кислот, фенолов и эфиронерастворимой части в спирто-бензольном экстракте выше, чем в ацетоновом.

В древесине ели экстрактивные вещества по радиусу ствола распределяются в следующем порядке: отмечается некоторое их уменьшение в средней части радиуса по направлению к сердцевине, а у сердцевины — снова повышение (табл. 2). Подобное распределение смолистых веществ в древесине ели наблюдалось В. И. Шарковым и др. [6].

Анализ полученных данных показал, что по радиусу ствола древесины ели также как у сосны наблюдается значительная вариация увеличения азотопроницаемости. Большее увеличение проницаемости отмечается в образцах, из которых больше удалено нейтральных веществ и фенолов. Влияние состава экстрактивных веществ на проницаемость древесины ели подтверждается опытами с экстрагированием различными растворителями: газопроницаемость выше после экстрагиро-

газопроницаемости древесины ели по радиусу ствола

Коэффициент проницаемости (K_r), $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{ати}^*$

до экстрагирования					после экстрагирования					
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	$10^{-\infty}$	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	$10^{-\infty}$
—	$\frac{1}{2,64}$	—	—	$\frac{3}{0}$	—	$\frac{4}{3,83}$	—	—	—	—
—	—	—	—	$\frac{7}{0}$	—	$\frac{1}{8,41}$	$\frac{5}{3,62}$	$\frac{1}{2,25}$	—	—
—	—	$\frac{1}{1,07}$	—	$\frac{5}{0}$	$\frac{1}{1,34}$	$\frac{2}{1,5}$	$\frac{1}{2,62}$	$\frac{1}{1,35}$	—	$\frac{1}{0}$
—	—	—	$\frac{1}{6,41}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{2}{1,56}$	$\frac{1}{5,08}$	$\frac{1}{1,29}$	—	$\frac{1}{2,49}$	$\frac{1}{0}$
—	—	$\frac{1}{1,19}$	—	$\frac{4}{0}$	—	$\frac{2}{1,27}$	$\frac{1}{3,04}$	$\frac{1}{2,23}$	$\frac{1}{8,1}$	—

вания ацетоном, чем в случае экстрагирования спирто-бензолом, а выделенные экстракты отличаются по количественному и качественному составу. Как отмечалось выше, в древесине сосны проницаемость увеличивается больше после экстрагирования спирто-бензолом. Эта особенность указывает на большое влияние качественного состава экстрактивных веществ на проницаемость древесины сосны и ели. При разработке технологических режимов, предусматривающих увеличение глубины проникновения пропиточного раствора в ядровую и спелую древесину, это свойство имеет очень важное значение и его необходимо учитывать при пропитке древесины разных пород.

Подводя итоги сказанному, можно отметить, что одной из причин значительного варьирования газопроницаемости по радиусу ствола в древесине сосны и ели является неоднородность состава и свойств экстрактивных веществ и их неравномерность распределения по радиусу ствола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харук Е. В. Изменение проницаемости древесины по радиусу и высоте ствола. В сб.: «Исследования в области древесины и древесных материалов». Красноярск, 1967. Изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.

2. В. А. Баженов. Проницаемость древесины и ее практическое значение. М., изд-во АН СССР, 1952.

3. В. А. Баженов. О проницаемости древесины жидкостями и газами. В сб.: «Вопросы защиты древесины», М., Гослесбумиздат, 1961.

4. В. А. Баженов, Е. В. Харук. Исследование древесины сосны на проницаемость азотом и растворами антисептиков. Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, т. 65, 1963.

5. В. А. Баженов, Е. В. Харук. Повышение проницаемости древесины хвойных пород азотом и жидкостями при высокой температуре. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы». М., «Наука», 1966.

6. В. И. Шарков и др. К вопросу о химической неоднородности древесины сосны и ели в пределах ствола. ЖПХ, 1953, т. 26, вып. 6.

7. Ф. Комаров, А. Яковлев. О химическом составе ствола и ветвей некоторых русских пород. «Бумажная промышленность», 1932, № 3.

8. И. Е. Хуторщиков. Химический состав древесины сосны обыкновенной и кедра сибирского. «Бумажная промышленность», 1960, № 1.

9. Х. Эрдтман. Химия древесины. Под ред. Уайза и Э. С. Джана, М., Гослесбумиздат, 1959, т. 1.

10. Е. В. Харук, А. Ф. Разумова, Н. А. Тюкавкина, В. И. Луцкий, Л. Н. Вольский. Влияние состава экстрактивных веществ на газопроницаемость ядровой древесины сосны. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971, изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.

Г. С. Ковригин,
А. Ф. Разумова

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Исследования проницаемости древесины вносят значительный вклад в теорию пропитки, а также важны при разработке новых технологических процессов и усовершенствования существующих, связанных с температурным воздействием на древесину. С учетом этих задач проведены исследования влияния температуры на проницаемость ядровой древесины лиственных пород, имеющих промышленное применение.

Влияние экстрактивных веществ на проницаемость древе-

сины хвойных пород было установлено рядом исследований [3, 4]. В данной работе изучалась роль экстрактивных веществ в проницаемости лиственных пород.

Исследования проводились на ядровой древесине дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch), ясеня маньчжурского (*Fraxinus manshurica* R.), бархата амурского (*Phellodendron amurense*), ореха маньчжурского (*Juglans manshurica*), заготовленной в Мухенском лесничестве Хабаровского края. Определение газопроницаемости древесины при различной температуре проводили на специальной установке [2].

Подготовку образцов для испытания и расчет коэффициента газопроницаемости проводили в соответствии с ГОСТ 12396—66 [1]. Проницаемость древесины 3%-ным раствором фтористого натрия изучалась на автоклавной установке при различной температуре (20, 90, 110°С) на образцах размером 10×10×50 см. Влажность древесины 15—18%. Проницаемость изучалась в радиальном и тангенциальном направлениях.

В опытах с раствором NaF учитывали плотность древесины, ее влажность, количество поглощенного антисептика и глубину его проникновения в радиальном и тангенциальном направлениях. Для исключения пропитки вдоль волокон торцы обмазывали эпоксидной смолой и дополнительно применяли механические зажимы (рис. 1). Образцы изготовляли путем выкалывания, что исключало перерезание волокон. Замер глубины проникновения антисептика производили на середине образца, после его распиловки. В качестве индикатора на фтористый натрий использовали цирконо-ализариновую смесь.

Проведенные ранее исследования показали существенное влияние спирто-бензольных экстрактивных веществ на проницаемость древесины хвойных пород. Основная роль среди сложной смеси этих веществ принадлежит терпеновым и фенольным соединениям [5]. В составе экстрактивных веществ древесины лиственных пород содержатся жиры, воски, смолы, которые хорошо растворяются и извлекаются спирто-бензолом [6]. Учитывая это, а также возможность сравнения влияния экстрактивных веществ, растворимых одним и тем же экстрагентом на проницаемость древесины разных пород, нами в качестве экстрагента был взят спирто-бензол в соотношении 1:3. Для экстрагирования использовали образцы, на которых определяли газопроницаемость древесины. Экстраги-

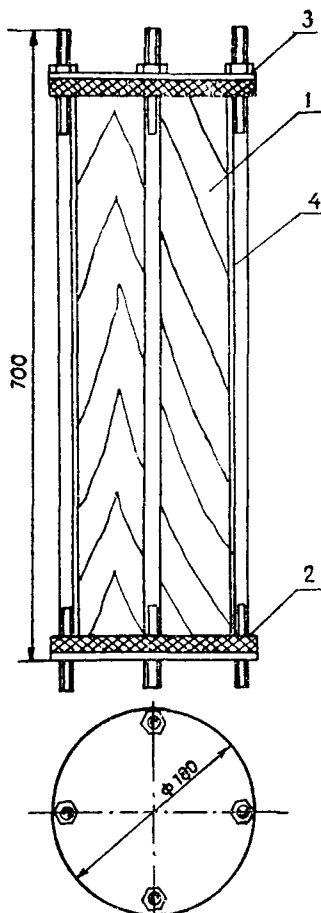


Рис. 1. Изоляция образца с помощью струбины при пропитке: 1 — образец, 2 — резиновая прокладка, 3 — металлический диск, 4 — стяжной болт.

рование проводили в аппаратах Сокслета в течение 30 часов. До и после экстрагирования определяли газопроницаемость образцов при влажности 12%, которая достигалась путем их выдержки над парами насыщенного раствора хлористого аммония.

Результаты исследования газопроницаемости древесины при комнатной температуре представлены в табл. 1. Из сравнения полученных данных видно, что хорошую проницаемость имеет древесина бархата амурского, несколько меньшую — ореха и очень низкую — дуба и ясеня.

Газопроницаемость древесины лиственных пород
при комнатной температуре *

Порода	Количество образцов	Коэффициент газопроницаемости, K_r				
		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	$10^{-\infty}$
Бархат	133	$\frac{3,25}{6}$	$\frac{2,80}{18}$	$\frac{4,10}{23}$	$\frac{4,47}{38}$	$\frac{0}{48}$
Орех	97	—	$\frac{5,08}{4}$	$\frac{3,55}{22}$	$\frac{4,55}{60}$	$\frac{0}{11}$
Дуб	139	—	—	—	—	$\frac{0}{139}$
Ясень	72	—	—	—	—	$\frac{0}{72}$

* Над чертой — среднее арифметическое коэффициента газопроницаемости; под чертой — количество испытанных образцов.

При нагревании древесины газопроницаемость ее увеличивается, но в различной степени для каждой породы. Так, она значительно увеличивается в древесине ореха и бархата (рис. 2), меньше — в древесине ясеня и дуба (рис. 3). Максимум газопроницаемости в древесине разных пород отмечается при различной температуре: у дуба и ореха при 110°C , у ясеня и бархата при 120°C . Исследования зависимости газопроницаемости древесины от ее температуры позволили установить высокую корреляционную связь между ними (табл. 2).

Эту связь можно описать уравнением:

$$K_r = a \cdot t^b \cdot e^{ct},$$

где K_r — коэффициент газопроницаемости, $\text{см}^2/\text{ати} \cdot \text{сек}$;

t — температура, $^\circ \text{C}$;

a , b , c — постоянные коэффициенты;

e — основание натуральных логарифмов.

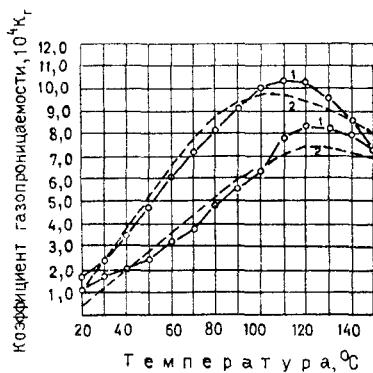


Рис. 2. Кривые изменения коэффициента газопроницаемости древесины ореха (две верхние) и бархата в зависимости от температуры: 1 — кривые, построенные по опытным данным; 2 — аппроксимированные кривые, построенные по уравнениям.

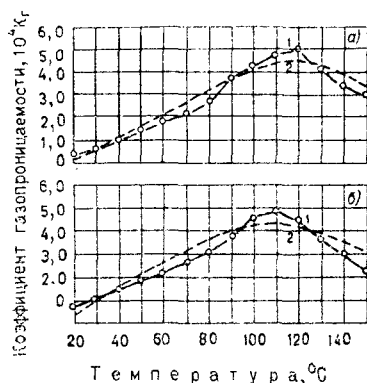


Рис. 3. Кривые изменения коэффициента газопроницаемости древесины ясеня (а) и дуба (б) в зависимости от температуры: 1 — кривые, построенные по опытным данным; 2 — аппроксимированные кривые, построенные по уравнениям.

Таблица 2

Показатели корреляции между коэффициентом газопроницаемости древесины и ее температурой

Порода	Показатель корреляционного отношения, η	Ошибка показателя корреляционного отношения, m_{η}	Показатель достоверности, t_{η}
Орех	0,971	0,015	64,216
Бархат	0,991	0,005	200,986
Ясень	0,974	0,013	72,164
Дуб	0,951	0,024	37,305

В табл. 3 даны уравнения связи между коэффициентом газопроницаемости и температурой для древесины исследованных пород.

Пригодность данных уравнений оценивали критерием Фишера. При $F > 4,0$ уравнение считается приемлемым. Для при-

Уравнения связи между газопроницаемостью древесины и температурой ее прогрева

Порода	Уравнения связи	Критерий достоверности, F
Орех	$K_r = 4,84 \cdot 10^{-8} \cdot t^{0,625} \cdot e^{0,025t}$	21,77
Ясень	$K_r = 0,10 \cdot 10^{-8} \cdot t^{3,44} \cdot e^{0,029t}$	8,35
Дуб	$K_r = 0,43 \cdot 10^{-8} \cdot t^{2,51} \cdot e^{0,024t}$	37,305
Бархат	$K_r = 10,80 \cdot 10^{-8} \cdot t^{2,17} \cdot e^{0,013t}$	23,430

веденных уравнений критерий Фишера много больше 4,0, что дает основание считать их вполне пригодными для использования. На рис. 2, 3 показаны кривые, построенные по данным уравнениям.

На тесную связь проницаемости древесины с температурой ее нагрева указывают также и результаты пропитки 3%-ным раствором фтористого натрия, представленные в табл. 4. Древесина ореха и бархата, хорошо проницаемая газом при комнатной температуре, раствором фтористого натрия пропитывается на большую глубину. Древесина дуба и ясеня, плохо проницаемая газом, незначительно пропиталась и раствором NaF. Для всех исследованных пород глубина пропитки и количество поглощенного антисептика увеличивается с повышением температуры прогрева древесины (табл. 4).

Результаты исследования влияния экстрактивных веществ на газопроницаемость древесины лиственных пород приведены в табл. 5. После экстрагирования во всех образцах древесины ясеня, бархата и ореха газопроницаемость увеличилась, но меньше, чем у хвойных [4]. В древесине дуба проницаемость не изменилась. Имеющиеся данные позволяют отметить тенденцию увеличения газопроницаемости древесины исследованных пород, кроме дуба, при удалении экстрактивных веществ. Анализ выделенных экстрактов нами не проводился. Но, как известно [7, 8], экстрактивные вещества древесины лиственных и хвойных пород по своему составу значительно отличаются. На проницаемость древесины лиственных пород большее влияние могло оказать удаление экстрактивных веществ другим экстрагентом.

Результаты пропитки ядровой древесины лиственных пород
3%-ным раствором фтористого натрия, $P=4$ атм, $t=1$ час.

Поро- да	Температура антисептика, °C	Направление про- питки	Глубина пропитки, мм					Количество поглощенного анти- септика, % от объема древе- сины				
			M	±σ	±m	v	p	M	±σ	±m	v	p
Дуб	20	радиальное	1,5	0,55	0,22	40,0	3,7	3,91	0,31	0,13	41,0	3,3
		тангенциальное	2,0	0,11	0,04	36,3	2,3	3,91	0,31	0,13	41,0	3,3
	90	радиальное	1,8	0,24	0,10	41,7	8,3					
		тангенциальное	2,3	0,23	0,09	41,0	6,9	6,85	0,29	0,12	41,0	1,7
		радиальное	3,0	0,32	0,13	40,7	4,35					
	110	тангенциальное	4,6	0,90	0,37	41,0	8,0	8,15	0,56	0,23	41,0	2,8
		радиальное	1,6	0,22	0,08	36,0	5,0					
	20	тангенциальное	1,6	0,25	0,09	36,0	5,7	4,79	1,43	0,51	35,6	10,4
		радиальное	1,9	0,13	0,05	38,5	2,4					
	90	тангенциальное	3,1	0,54	0,19	35,0	6,1	6,0	1,56	0,63	40,5	10,1
Ясень	110	радиальное	8,9	1,32	0,11	34,4	5,8					
		тангенциальное	13,5	2,75	0,27	36,0	7,7	9,10	1,53	0,62	40,5	6,8
	20	радиальное	4,5	0,80	0,33	41,0	7,3	5,65	0,66	0,26	40,0	4,6
		тангенциальное	7,0	0,21	0,49	41,0	5,1					
	90	радиальное	5,5	0,63	0,22	36,0	4,0	9,80	0,30	0,11	36,7	1,1
Орех	110	тангенциальное	8,0	0,98	0,40	41,0	5,0					
		радиальное	9,6	1,51	0,62	41,0	6,4	12,7	0,41	0,17	41,5	1,4
		тангенциальное	15,1	1,21	0,49	41,0	3,3					
		радиальное	5,5	0,67	0,22	33,0	4,0	5,90	0,38	0,15	24,5	2,4
	20	тангенциальное	9,9	1,40	0,38	27,0	3,9					
Бархат	90	радиальное	9,0	1,80	0,74	41,0	8,2	9,99	0,25	0,10	41,1	1,1
		тангенциальное	15,3	1,21	0,50	41,3	3,7					
	110	радиальное	9,5	0,26	0,11	42,0	1,2	17,3	3,65	1,49	41,0	8,6
		тангенциальное	15,3	1,54	0,63	41,0	4,1					

Таблица 5

Влияние экстрактивных веществ, растворимых спирто-бензольной смесью,
на газопроницаемость древесины лиственных пород при $t=20^{\circ}\text{C}$

Порода	Количество образцов	Коэффициент газопроницаемости, K_r		Количество выделенных экстрактивных веществ, % от веса абсолютно сухой древесины
		до экстрагирования	после экстрагирования	
Орех	5	$(0,44 \div 1,87) \cdot 10^{-4}$	$(2,42 \div 3,75) \cdot 10^{-4}$	$1,97 \div 2,38$
Бархат	5	0	$(4,38 \div 40,0) \cdot 10^{-5}$	$2,36 \div 3,9$
Ясень	5	0	$(2,43 \div 5,20) \cdot 10^{-5}$	$1,3 \div 1,5$
Дуб	5	0	0	$1,09 \div 2,44$

В ы в о д ы

При нагревании древесины лиственных пород проницаемость ее газами и жидкостями увеличивается, причем максимум ее отмечается при температуре 110—120° С.

После удаления из древесины ясеня, бархата и ореха экстрактивных веществ спирто-бензолом отмечается тенденция к увеличению ее газопроницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12396—66. «Методы определения газопроницаемости».
2. Баженов В. А., Харук Е. В. Повышение проницаемости древесины хвойных пород азотом и жидкостями при высокой температуре. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы». М., «Наука», 1966.
3. Вологдин А. И., Ерощенко А. М. Влияние экстрактивных веществ на проницаемость древесины ели. В сб.: «Исследования в лесах Сибири». Материалы конференции. Красноярск, 1968.
4. Харук Е. В., Ковригин Г. С. Газопроницаемость древесины хвойных пород Сибири в зависимости от различных факторов. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе», Красноярск, 1971, изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.
5. Харук Е. В., Разумова А. Ф., Тюкавкина Н. А., Луцкий В. И., Вольский Л. Н. Влияние состава экстрактивных веществ на газопроницаемость ядровой древесины осины. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971, изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.
6. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы. М.-Л., Гослесбумиздат, 1960.
7. Никитин Н. И. Химия древесины и целлюлозы. М.-Л., изд-во АН СССР, 1962.
8. Перелыгин Л. М. Древесиноведение. М., «Лесная промышленность», 1969.

Ю. С. Пилипчук, Е. В. Харук,
Г. С. Краснощекова, Г. С. Ковригин

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ИК-СПЕКТРОВ И РЕНТГЕНОДИФРАКТОГРАММ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ В СВЯЗИ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРОПИТКОЙ

Ядровая древесина сосны и спелая древесина ели являются непроницаемыми для газа и жидкости или же имеют очень незначительную проницаемость. При удалении экстрактивных веществ из древесины или их расплавлении при нагревании она становится проницаемой газами и жидкостями [1].

Однако влияние нагревания на проницаемость древесины разных пород различно. Для каждой древесной породы характерен свой оптимум температур, при котором отмечается наибольшая проницаемость. Для древесины сосны с влажностью ниже точки насыщения волокон наибольшая проницаемость отмечается при температуре $110\text{--}120^\circ\text{C}$, для древесины ели — $90\text{--}110^\circ\text{C}$ [2]. При повышении температуры до $130\text{--}140^\circ\text{C}$ отмечается уменьшение газопроницаемости древесины этих пород или стабилизация ее на достигнутом уровне [1].

Влиянию теплового воздействия на древесину, ее отдельные компоненты и их изменению посвящено много работ. Крупные исследования были проведены К. Кюршнером и А. Мильцеровой [3], Ф. Кольманом и Д. Фенгель [4], П. Н. Одинцовым [5], В. Н. Сергеевой [6] и др. Большой интерес представляет работа Ф. Кольмана с сотрудниками [7] по структурным и качественным изменениям в древесине при термических и механических воздействиях. По мнению авторов, влияние высокой температуры на древесину следует рассматривать как комплексный процесс. Поэтому очень важно выделить из этого комплекса отдельные факторы и изучить их роль в явлении проницаемости. Например, что является причиной увеличения проницаемости древесины при нагревании до температуры $100\text{--}120^\circ\text{C}$ и ее уменьшения при повышении температуры до $130\text{--}140^\circ\text{C}$. При этом очень важно проследить за изменением состава экстрактивных веществ при прогреве древесины до различной температуры.

Учитывая, что ранняя и поздняя зоны годичного слоя резко различаются между собой по свойствам, строению и составу, можно ожидать, что под влиянием температуры в них происходят различные физико-химические процессы, имеющие существенное значение в явлении проницаемости древесины. Знание этих вопросов представляет большой интерес для теории и практики пропитки древесины, а также других областей ее обработки и переработки.

Некоторые данные о влиянии различных факторов на проницаемость древесины сосны газами и креозотом были показаны нами ранее [8]. В настоящей работе предпринята попытка более планомерного изучения физико-химических изменений, происходящих в древесине сосны и ели на различных стадиях ее нагревания с целью повышения проницаемости газами и жидкостями.

Для исследования была взята древесина сосны и ели в виде образцов цилиндрической формы, на которых изучалось изменение проницаемости при нагревании до температуры 70, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150°С. Продолжительность нагрева 2 часа. С целью исключения влияния на проницаемость других факторов для опыта подбирались образцы, идентичные по местоположению в стволе. Испытуемые образцы обеих пород делились на группы, каждая из которых подвергалась нагреванию при определенной температуре. Для каждого образца газопроницаемость определялась дважды: при комнатной температуре и при нагревании до заданной температуры. На спектрофотометре ИКС-22 было снято по три серии спектров: 1) с цельной древесины; 2) с той же древесины после экстрагирования спирто-бензолом; 3) с экстрактивных веществ, выделенных спирто-бензолом из этих же образцов. На приборе УРС-50 ИМ для препаратов древесины были сняты рентгенодифрактограммы. Кроме того, с образцов с характерным изменением проницаемости под влиянием температурного воздействия снимались спектры отдельно для ранней и поздней зон годичного слоя.

Препараты древесины для опытов брались запрессованными в KBr (концентрация древесины 2% от KBr), ИК-спектры экстрактивных веществ снимались в специально приготовленных из оловянной фольги кюветах толщиной 10 мк.

Результаты исследования

На рис. 1 приведены ИК-спектры древесины сосны после нагревания до различных температур, а на рис. 5 — их рентгенодифрактограммы. ИК-спектры экстрактивных веществ сосны, выделенных из этих же образцов спирто-бензолом, показаны на рис. 3 (кривые 1—12).

Как видно из рис. 1, при нагревании древесины сосны до температуры 90—100°С наблюдается некоторое увеличение относительной интенсивности полосы гидроксильного поглощения по сравнению с контрольной. Последнее предположительно можно объяснить влиянием температуры на количество и природу водородных связей в древесине. При дальнейшем нагревании древесины сосны в интервале температур 110, 120, 130°С заметных изменений интенсивности гидроксильного поглощения не наблюдается. При повышении температуры

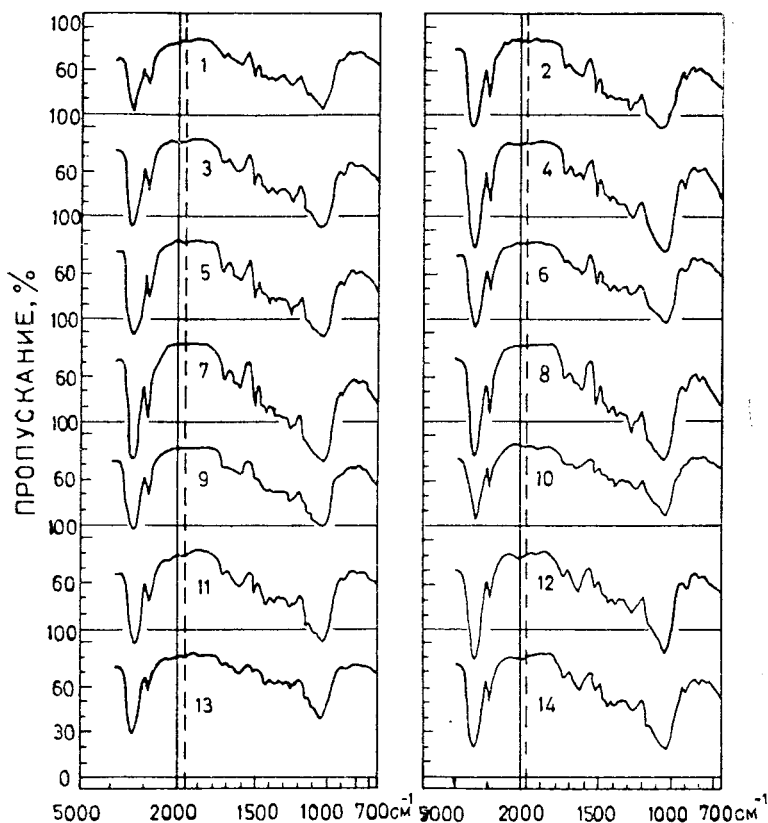


Рис. 1. ИК-спектры термообработанной древесины сосны: 1 — контрольной древесины; 2 — нагретой при 90° С; 3 — нагретой при 100° С; 4 — нагретой при 110° С; 5 — нагретой при 120° С; 6 — нагретой при 130° С; 7 — нагретой при 140° С; 8 — нагретой при 150° С; 9 — контрольной ранней древесины; 10 — контрольной поздней древесины; 11 — нагретой при 120° С ранней древесины; 12 — нагретой при 120° С поздней древесины; 13 — нагретой при 150° С ранней древесины; 14 — нагретой при 150° С поздней древесины.

от 130 до 150° С вновь несколько увеличивается интенсивность полосы гидроксильного поглощения в области 3400 см^{-1} . В целом для древесины сосны изменение относительной интенсивности полос поглощения наступает при температуре 100—110° С. В этом интервале температур несколько уменьшается

интенсивность полосы при 1740 см^{-1} , а в интервале $100\text{—}130^\circ\text{С}$ наблюдается некоторое изменение полосы поглощения карбониллов в области 1670 см^{-1} . Заметных изменений относительных интенсивностей полос в других областях спектра не отмечено. Из этого следует, что при нагревании древесины даже при этих температурах в ней происходят химические изменения.

На рис. 1 (кривые 9, 14) приведены ИК-спектры ранней и поздней древесины сосны, снятые с контрольных образцов и образцов, подвергнутых термообработке при температуре 120°С и 150°С .

На рис. 2 (кривые 1—6) представлены ИК-спектры ранней и поздней контрольной и термообработанной при 120 и 150°С древесины сосны после экстракции ее спирто-бензольной смесью.

При сравнении кривых видно, что если в ИК-спектрах контрольной ранней и поздней древесины (рис. 1, кривые 9, 10) не наблюдается значительных отличий, то в ИК-спектрах ранней и поздней древесины, нагретой до 120°С (рис. 1, кривые 11, 12) и 150°С (рис. 1, кривые 13, 14), как интенсивность полос гидроксильного поглощения в области $3000\text{—}4000\text{ см}^{-1}$, так и карбонильного поглощения в области 1670 см^{-1} в ранней древесине изменяется незначительно. В поздней же древесине интенсивность полос поглощения в указанных областях сильно возрастает по сравнению как с контрольной нетермообработанной древесиной, так и с ранней древесиной, нагретой до соответствующей температуры.

Что касается ИК-спектров экстрагированной ранней и поздней древесины сосны, из которых исключено влияние изменения экстрактивных веществ (рис. 2), то там таких значительных различий наблюдать нельзя, за исключением того, что по мере увеличения температуры термообработки наблюдается некоторый рост карбонильного поглощения в области 1670 см^{-1} как в ранней, так и в поздней древесине и незначительные изменения ИК-спектров в других областях.

На рис. 3 приведены рентгенодифрактограммы ранней и поздней древесины сосны, из которых видно, что в рентгенодифрактограммах ранней и поздней древесины, нагретой от 70 до $110\text{—}120^\circ\text{С}$, замечено сначала некоторое уменьшение интенсивности полос, а в дальнейшем, при температуре $120\text{—}150^\circ\text{С}$ заметных изменений интенсивности не наблюдается. Однако второй максимум постепенно сдвигается в сторону меньших углов и меняется характер полос. В ранней древе-

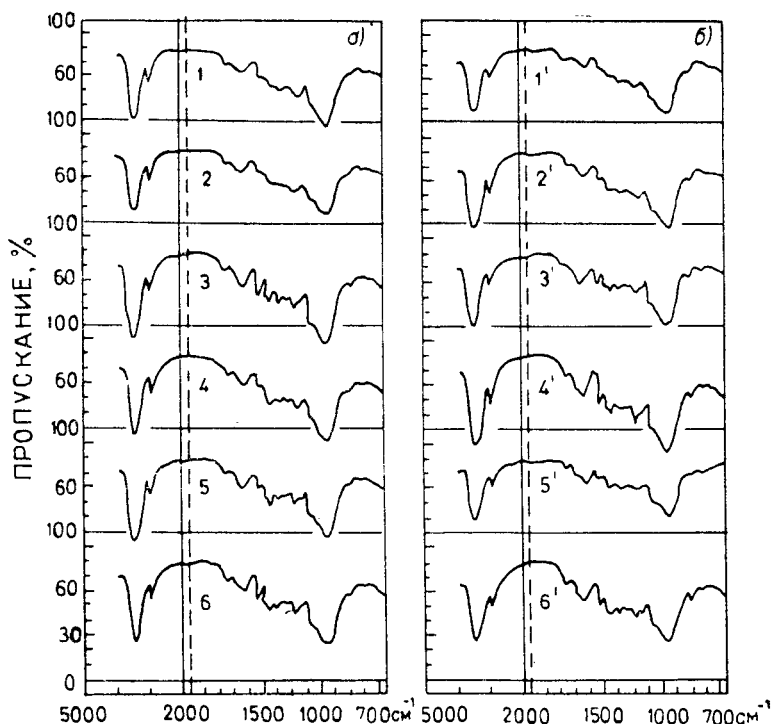


Рис. 2. ИК-спектры ранней и поздней экстрагированной термообработанной древесины сосны (а) и ели (б):

1 — ранней контрольной древесины; 2 — поздней контрольной древесины; 3 — ранней, нагретой при 120° С; 4 — поздней, нагретой при 120° С; 5 — ранней, нагретой при 150° С; 6 — поздней, нагретой при 150° С;

1' — ранней контрольной древесины; 2' — поздней контрольной древесины; 3' — ранней, нагретой при 90° С; 4' — поздней, нагретой при 90° С; 5' — ранней, нагретой при 150° С; 6' — поздней, нагретой при 150° С.

сине, нагретой до температуры от 70 до 150° С, эти же изменения имеют менее выраженный характер (рис. 5, кривые 1—9).

На рис. 4 (кривые 1—12) приведены ИК-спектры экстрактивных веществ сосны. Из рассмотрения кривых видно, что при нагревании древесины сосны при всех изучаемых температурах отмечаются значительные изменения в их ИК-спект-

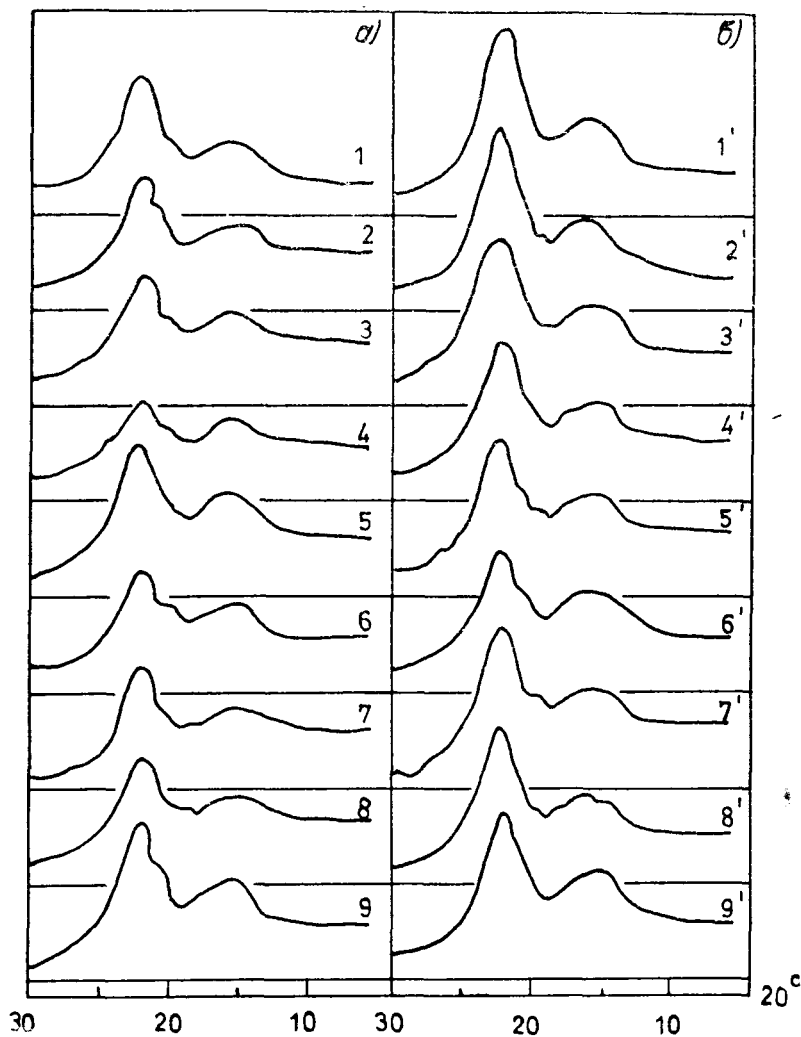


Рис. 3. Рентгенодифрактограммы ранней (1—9) и поздней (1'—9') термообработанной древесины сосны:

1, 1' — контрольной древесины; 2, 2' — нагретой при 70° С; 3, 3' — нагретой при 90° С; 4, 4' — нагретой при 100° С; 5, 5' — нагретой при 110° С; 6, 6' — нагретой при 120° С; 7, 7' — нагретой при 130° С; 8, 8' — нагретой при 140° С; 9, 9' — нагретой при 150° С.

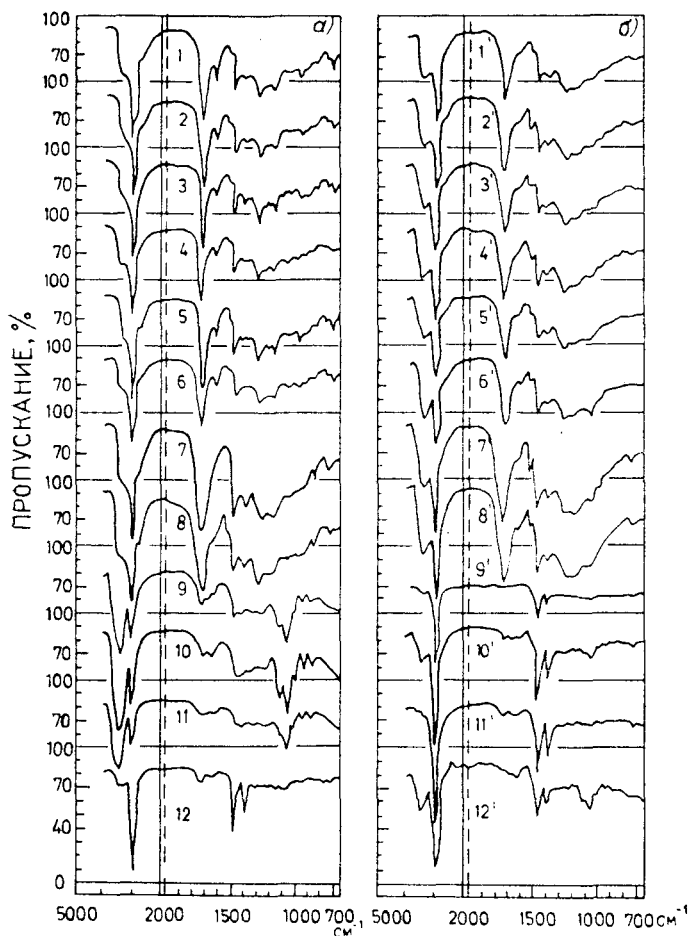


Рис. 4. ИК-спектры экстрактивных веществ термообработанной древесины сосны (а) и ели (б):

1, 1' — контрольной; 2, 2' — нагретой при 90°C ; 3, 3' — нагретой при 100°C ; 4, 4' — нагретой при 110°C ; 5, 5' — нагретой при 120°C ; 6, 6' — нагретой при 140°C ; 7, 7' — ранней контрольной древесины; 8, 8' — поздней контрольной древесины; 9 — ранней, нагретой при 120°C ; 9' — ранней, нагретой при 20°C ; 10 — поздней, нагретой при 120°C ; 10' — поздней, нагретой при 90°C ; 11, 11' — ранней, нагретой при 150°C ; 12, 12' — поздней, нагретой при 150°C .

рах. При нагревании около 110°C (кривые 4—6) в области гидроксильного поглощения $3400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ начинает четко проявляться максимум с частотой около 3300 см^{-1} . Последнее говорит о том, что часть гидроксильных групп в процессе нагревания исчезает или видоизменяется, и остаются гидроксильные группы преимущественно одного типа. Еще более выражено изменение характера гидроксильных групп на ИК-спектрах экстрактов ранней и поздней древесины (рис. 4, кривые 7—12). Причем гидроксильное поглощение экстракта поздней древесины сосны при 150°C почти совсем исчезает (кривая 12).

Одновременно наблюдается уменьшение карбонильного поглощения в области $1800\text{--}1650\text{ см}^{-1}$. По мере увеличения температуры полоса карбонильного поглощения становится менее интенсивной, а максимум ее становится более острым.

На всех ИК-спектрах довольно четко проявляются полосы с частотой около $1600\text{--}1500\text{ см}^{-1}$. Последнее может говорить о том, что в изучаемых экстрактах сосны имеется значительное количество веществ, имеющих бензольные ядра. Исключение составляет ИК-спектр экстракта поздней древесины при 150°C (кривая 12), который похож на спектры алифатических соединений. В области $1500\text{--}700\text{ см}^{-1}$ характер ИК-спектров с повышением температуры изменяется, и спектры упрощаются.

Нагревание древесины вызывает меньше отличий в ее ИК-спектрах, чем нагревание экстрактивных веществ. Изменение состава и функциональных групп в процессе температурного воздействия в экстрактах происходит в большей степени, чем в веществе древесины. Нужно отметить, что ИК-спектры экстрактов, выделенных из термообработанной древесины, начиная со 120°C , резко отличаются от ИК-спектров экстрактов, выделенных при более низкой температуре, как в области гидроксильного поглощения, так и в других областях спектра и особенно карбонильного поглощения.

На рис. 5 приведены ИК-спектры древесины ели, нагретой до различных температур, а на рис. 4 (кривые 1'—12') — ИК-спектры спирто-бензольных экстрактов ели, извлеченных из этих же образцов.

Как видно из рис. 5, при нагревании древесины ели до 90°C отмечается некоторое увеличение оптических плотностей гидроксильных групп с частотой около 3400 см^{-1} . В дальнейшем интенсивность этих полос остается почти стабильной до температуры $130\text{--}140^{\circ}\text{C}$. Из этого можно заключить, что даже при низких температурах (до 90°C) в древесине ели

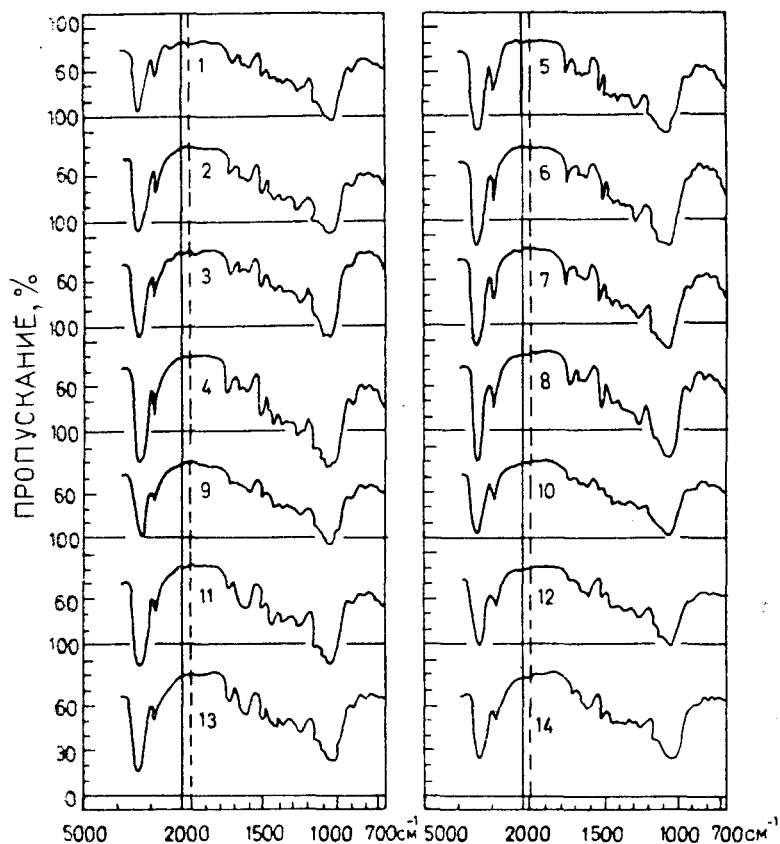


Рис. 5. ИК-спектры термообработанной древесины ели. 1 — контрольной древесины; 2 — нагретой при 90° С; 3 — нагретой при 100° С; 4 — нагретой при 110° С; 5 — нагретой при 120° С; 6 — нагретой при 130° С; 7 — нагретой при 140° С; 8 — нагретой при 150° С; 9 — контрольной ранней древесины; 10 — контрольной поздней древесины; 11 — нагретой при 90° С ранней древесины; 12 — нагретой при 90° С поздней древесины; 13 — нагретой при 150° С ранней древесины; 14 — нагретой при 150° С поздней древесины.

происходят некоторые превращения. При более высоких температурах (130—140° С) происходят глубокие изменения, вызывающие уменьшение гидроксильного поглощения, предположительно за счет процесса конденсации в лигно-целлюлозном комплексе. При этом наиболее лабильные группы бензил-

спиртовых гидроксидов лигнина и первичных гидроксидов гемицеллюлозного комплекса возможно вступают в реакцию. Некоторые менее значительные изменения можно наблюдать и в остальной части спектра, особенно они заметны в области карбонильного поглощения 1760 см^{-1} .

Из рис. 4 (кривые 1'—12') видно, что ИК-спектры экстрактов ели отличны от ИК-спектров экстрактов сосны (кривые 1—12). В процессе нагревания древесины в ИК-спектрах экстрактивных веществ ели (кривые 1'—6') наблюдается увеличение относительной интенсивности гидроксильного поглощения в области 3400 см^{-1} . Кроме этого, заметно изменение карбонильного поглощения в области $1700\text{—}1800\text{ см}^{-1}$. Если в контрольном экстракте полоса карбонильного поглощения довольно широкая, имеющая около трех максимумов, то в ИК-спектрах экстрактов при температурах $100\text{—}140^\circ\text{С}$ карбонильное поглощение со стороны высоких частот почти исчезает, и остается довольно узкая полоса с частотой около 1715 см^{-1} . Последнее говорит о значительном изменении состава и свойств экстрактивных веществ при нагревании древесины ели.

Что же касается экстрактов ранней и поздней древесины ели (рис. 4, кривые 7'—12'), то в ИК-спектрах экстрактов ранней древесины при 90°С почти отсутствует полоса гидроксильного поглощения в области $3000\text{—}4000\text{ см}^{-1}$, в то время, как в ИК-спектре экстракта поздней древесины полоса в этой области довольно интенсивная и имеет максимум при 3400 см^{-1} (кривые 9'—10'). Вообще, спектр экстракта поздней древесины ели имеет больше полос, и особенно в области карбониллов.

Для экстрактов ранней и поздней древесины ели при 150°С описанные отличия ИК-спектров имеют более выраженный характер (рис. 4, кривые 11', 12').

Из рис. 2, на котором приведены ИК-спектры ранней и поздней экстрагированной древесины ели (кривые 1'—6'), видно, что ИК-спектры ранней древесины (кривые 1', 3', 5') имеют более диффузный характер, чем ИК-спектры поздней древесины (кривые 2', 4', 6'). Особо заметные отличия между ними в области $1700\text{—}1600\text{ см}^{-1}$ в ИК-спектрах нагретых образцов. В ранней древесине полоса в области $1700\text{—}1600\text{ см}^{-1}$ хотя и остается диффузной, но на ней четко вырисовываются два максимума, в то время, как в ИК-спектрах поздней древесины отмечается довольно большой набор максимумов, что указывает на большое разнообразие карбонильных групп,

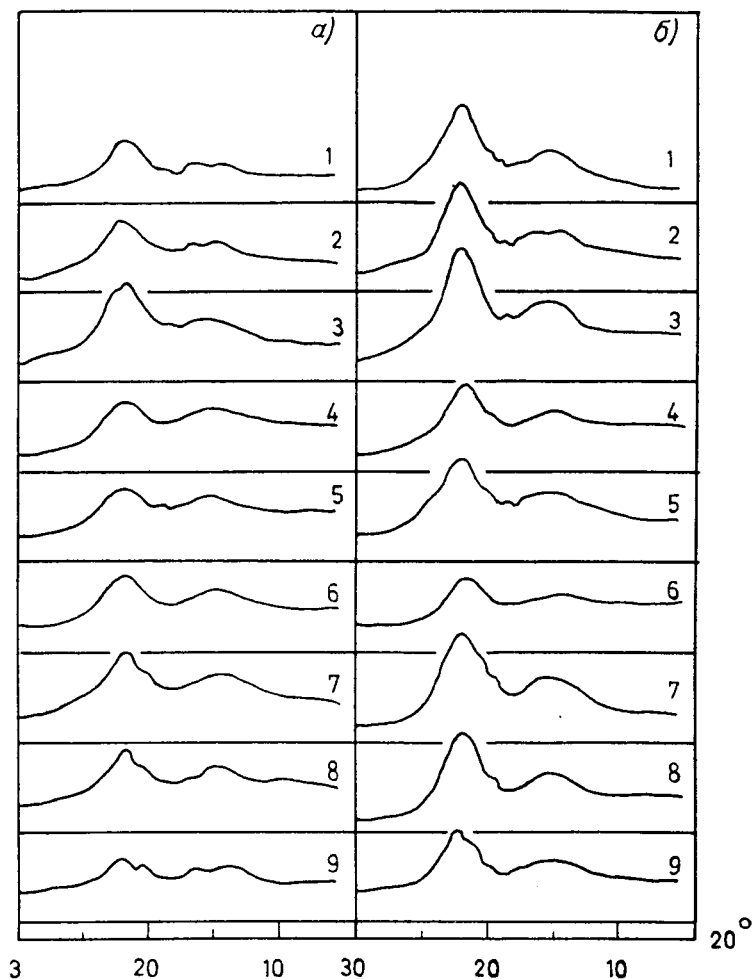


Рис. 6. Рентгенодифрактограммы ранней (1—9) и поздней (1'—9') термообработанной древесины ели:

1, 1' — контрольной древесины; 2, 2' — нагретой при 70°С; 3, 3' — нагретой при 90°С; 4, 4' — нагретой при 100°С; 5, 5' — нагретой при 110°С; 6, 6' — нагретой при 120°С; 7, 7' — нагретой при 130°С; 8, 8' — нагретой при 140°С; 9, 9' — нагретой при 150°С.

двойных связей или других групп, поглощающих в этой области.

На рис. 6 приведены рентгенодифрактограммы ранней и поздней древесины ели, нагретой при температурах от 70°C до 150°C . Как видно из рисунка, интенсивность полос в рентгенограммах ели при нагревании до 90°C растет (рис. 6, кривые 1—3, 1'—3'), при дальнейшем нагревании от 90°C до 120°C — уменьшается (рис. 6, кривые 4—6, 4'—6'). В дальнейшем при температуре 120°C (рис. 6, кривые 7 и 7') интенсивность полос рентгенодифрактограмм скачкообразно увеличивается, и при дальнейшем нагревании до 150°C (рис. 6, кривые 7—9, 7'—9') начинается уменьшение интенсивности полос и некоторое изменение их характера, которое выражается в увеличении числа максимумов. Интенсивность полос поздней древесины ели, нагретой при всех температурах (рис. 6, кривые 1'—9'), больше, чем интенсивность полос рентгенодифрактограмм ранней древесины.

О влиянии нагревания на распределение экстрактивных веществ в древесине сосны можно судить по фотографиям срезов древесины сосны (рис. 7, 8). На рис. 7 приводится фотография контрольной ядровой древесины сосны. На рис. 8 — термообработанной при 120°C . Из приведенных рисунков вид-

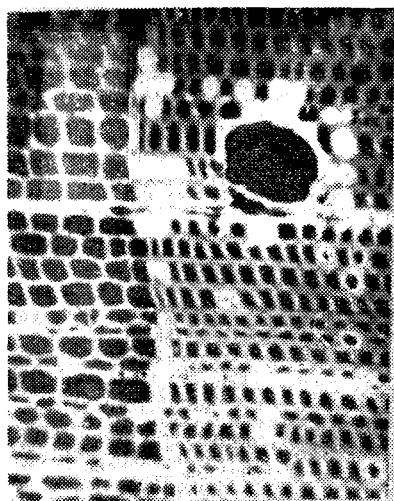


Рис. 7. Контрольная ядровая древесина сосны. $\times 150$.

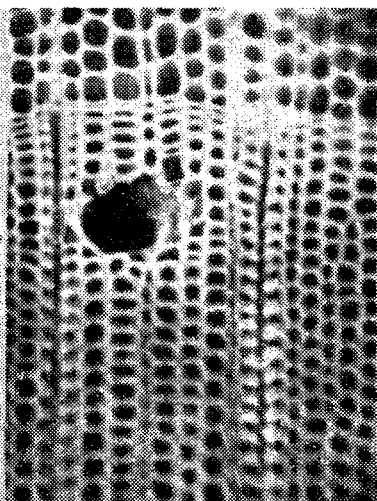


Рис. 8. Ядровая древесина сосны, нагретая при температуре 120°C . $\times 150$.

но, что в древесине, подвергавшейся нагреванию (рис. 8), смолистые и другие экстрактивные вещества настолько расплавились, что заполнили в виде пятен полости и обволокли стенки трахеид в форме наплывов.

В ы в о д ы

При нагревании древесины сосны и ели до температуры 100—120°С наблюдаются незначительные изменения в ИК-спектрах древесины. Значительные изменения отмечаются в ИК-спектрах экстрактивных веществ.

В ИК-спектрах, снятых с древесины сосны, нагретой до температуры выше 120°С, а ели до температуры выше 110°С, появляются значительные изменения, особенно в области гидроксильного и карбонильного поглощения, свидетельствующие об интенсивных химических процессах, происходящих при этих температурах.

Наблюдаемые изменения рентгенодифрактограмм древесины сосны и ели отражают изменение структуры — степени кристалличности. Причем эти изменения в структуре ранней и поздней древесины имеют некоторые отличия.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Баженов, Е. В. Харук. Исследование древесины сосны на проницаемость азотом и растворами антисептиков. Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР. 1963, т. 65.
2. А. И. Вологдин. Особенности проницаемости древесины ели. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и древесные материалы», Красноярск, 1968, изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.
3. Kürscher K., Melzerova A. Über die chemischen Veränderungen des Buchenholzes bei thermischer Behandlung. *Holzforschung*, 1965, t. 19, N 6.
4. Kollmann F., Fengel D. Änderungen der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1965, N 12.
5. П. Н. Одинцов. Сравнительное изучение лигнина в древесине и лигнина Вильштеттера. «Лесохимическая промышленность», 1936, № 10.
6. В. Н. Сергеева, А. Ф. Головиньш, Э. Ю. Янсон. Рентгенографическое исследование термически обработанных древесной целлюлозы и холоцеллюлозы. *Изв. АН Латв. ССР*, 1956, 2.
7. Kollmann F., Schmidt E., Kufner M. Gefüge- und Eigenschaftsänderungen im Holz durch mechanische und thermische Beanspruchung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1961, N 11.

8. Ю. С. Пилипчук, Е. В. Харук, А. М. Ерощенко, В. Л. Шуфледович, Г. С. Краснощекова. Применение ИК-спектроскопии для исследования некоторых физико-химических процессов, происходящих в древесине сосны и ели при пропитке креозотом. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе», Красноярск, 1971, изд-е Ин-та леса и древесины СО АН СССР.

А. И. Вологдин,
Е. Я. Судачков,
А. К. Бекишев

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЛУБОКОЙ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Многочисленные случаи неправильного использования древесины привели к тому, что она стала заменяться другими строительными материалами даже там, где такая замена экономически нецелесообразна. Например, деревянные опоры ЛЭП заменяли железобетонными. Однако, удельная повреждаемость железобетонных опор при сильных гололедных и ветровых нагрузках значительно выше, чем деревянных. Данные Института Сельэнергопроект показывают, что удельная прочность деревянных опор на 100 м пролета выше, чем у железобетонных в 2,5 раза. Кроме того, при такой замене значительно увеличивается расход металла (по данным В. В. Овсеевко [1], расход стали при сооружении 1 км линий электропередачи напряжением 110 кВ на деревянных опорах составляет 0,3 т, в то время как на железобетонных он равняется 2 т). Это в свою очередь приводит к удорожанию стоимости строительства воздушных линий (ВЛ) электропередачи. По данным Института Сельэнергопроект, стоимость строительной части 1 км ВЛ-0,4 кВ на железобетонных опорах на 579 руб., а ВЛ-6-20 кВ — на 403 руб. дороже, чем на деревянных опорах.

Общеизвестно, что древесина без специальной обработки служит непродолжительное время (сосновые непропитанные столбы линий связи на юге служат 2—3 года, в средней полосе — 4—5 лет и на севере — 6—8 лет [2]).

Использование древесины в непропитанном или плохо пропитанном состоянии наносит большой ущерб народному хозяйству. Достаточно сказать, что только по Красноярскому краю на ремонт линий электропередачи в 1969 году израсходовано около 500 тысяч рублей. В целом же по стране убытки от загнивания древесины, по данным ЦНИИМОД, состав-

ляют свыше 1 миллиарда рублей в год. Ежегодный расход древесины на капитальный ремонт в строительстве составляет около 35 млн. м³ [2].

Древесину любой породы, используемую даже в самых тяжелых условиях эксплуатации, можно защитить от загнивания на 50—70 лет, используя для этой цели методы глубокой пропитки. В то же время, древесина, пропитанная по существующей технологии, имеет непродолжительный срок службы. Так, по данным М. Л. Гальперна [3], средний срок службы пропитанных траверс и пасынков в средней полосе СССР составляет 10—15 лет, а стоек — 15—20 лет. Средний срок службы шпал равняется 14,5 лет [4].

В настоящее время на нужды строительства и капитального ремонта, включая столбы линий связи и электропередач, шпалы, переводные брусья и стандартное домостроение, расходуется свыше 50% всей заготавливаемой древесины. Поэтому для более рационального использования ее и придания ей наибольшей конкурентной способности с другими материалами необходимо проводить высококачественную защитную обработку.

Экономическую эффективность мероприятий по продлению срока службы древесины следует рассчитывать не только из снижения построчной стоимости объектов, как это принято в практике, но и с учетом степени снижения эксплуатационных расходов. Основным показателем экономичности защитной обработки является не столько стоимость мероприятий по защите древесины, сколько продолжительность срока службы пропитанной древесины. Это подтверждается нижеприведенным расчетом экономической эффективности глубокой пропитки древесины сосны.

Проведение расчета эффективности мероприятий по защите древесины сопряжено с определенными трудностями, вызванными отсутствием единой методики расчета. Учитывая это, мы ограничились рассмотрением условного экономического эффекта на примере строительства воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 кв.

При расчете стоимости строительства 1 км воздушных линий и ежегодные эксплуатационные расходы приняты одинаковыми, независимо от срока службы опор и стоимости пропитки. Эти и нижеприведенные допущения мы вынуждены принять ввиду отсутствия необходимых данных для более точного расчета экономической эффективности глубокой пропитки.

Сравнительные технико-экономические данные строительства линий электропередачи на деревянных опорах с различной стоимостью пропитки рассчитывались в соответствии с типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений [5]. По средним удельным нормативам затраты на строительство 1 км ВЛ-0,4 кв на деревянных опорах с деревянными приставками составляют 1400 рублей [6]. Годовые эксплуатационные расходы для этих же линий составляют 221 рубль [7].

Стоимость товарной продукции при обычной пропитке приводится по данным Красноярского мачтопропиточного завода, поскольку на этом заводе проводилась опытно-промышленная проверка способа глубокой пропитки деталей опор линий электропередачи. Стоимость товарной продукции при глубокой пропитке рассчитывали, исходя из опытных данных и калькуляции стоимости продукции на Красноярском мачтопропиточном заводе (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Себестоимость 1 м³ товарной продукции
по Красноярскому мачтопропиточному заводу за 1969 г.

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Сырье и материалы	29,59
Топливо и энергия всех видов на технологические цели	0,93
Зарплата основная	6,97
Зарплата дополнительная	0,75
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	1,93
Цеховые расходы	0,89
Общезаводские расходы	2,10
Прочие производственные расходы	0,90
в том числе арендная плата	--
расходы будущих периодов	0,90
Фабрично-заводская себестоимость	44,06
Внепроизводственные расходы	1,84
Полная себестоимость	45,90
в том числе стоимость пропитки 1 м ³ древесины	13,73

Таблица 2

**Ориентировочная себестоимость 1 м³ товарной продукции
при использовании способов глубокой пропитки**

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Сырье и материалы	37,79
Топливо и энергия всех видов на технологические цели	1,8
Зарплата основная	6,97
Зарплата дополнительная	0,75
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	3,86
Цеховые расходы	0,89
Общезаводские расходы	2,10
Прочие расходы	0,90
в том числе:	
арендная плата	—
расходы будущих периодов	0,90
Фабрично-заводская себестоимость	55,06
Внепроизводственные расходы	1,84
Полная себестоимость	56,90
в том числе стоимость пропитки 1 м ³ древесины	23,78

Для сравнения экономической эффективности строительства линий электропередачи на деревянных опорах с различной стоимостью пропитки исходим из того, что опоры сквозной пропитки будут служить 50 лет [8, 9]; из непропитанного леса — 5 лет [10]; из пропитанного существующими методами — 15 лет [3].

По предварительным данным Института Сельэнергопроект, продление среднего срока службы опор всего лишь на 5 лет даст экономию 100—110 млн. рублей.

Для сопоставления капитальных вложений, произведенных в разное время, более поздние затраты приводим к начальному моменту путем применения коэффициента приведения, определяемого по следующей формуле [5]:

$$B = \frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t},$$

где B — коэффициент приведения;

t — период времени приведения, лет;

$E_{\text{нп}} = 0,08$ — норматив для приведения разновременных затрат.

Исходя из изложенного, приведенную величину затрат можно определить из уравнения

$$K_{\text{пр}} = K_t + BK_{t_1} + \dots + BK_{t_n},$$

где $K_{\text{пр}}$ — капитальные вложения в соответствующие сроки;

$K_t, K_{t_1} \dots K_{t_n}$ — капитальные вложения по каждому варианту, приведенные к начальному моменту.

В случае строительства 1 км воздушных линий электропередачи на деревянных опорах со сквозной пропиткой, приведенные затраты капитальных вложений равняются первоначальному, поскольку капитальные вложения осуществляются только один раз. Следовательно, $K'_{\text{пр}} = K_t = 1400$ руб.

Приведенные затраты капитальных вложений на строительство 1 км воздушных линий на деревянных опорах с обычной пропиткой будут равняться:

$$\begin{aligned} K''_{\text{пр}} &= K_t + \frac{K_t}{(1,08)^{15}} + \frac{K_t}{(1,08)^{30}} + \frac{K_t}{(1,08)^{45}} + \frac{K_t}{(1,08)^{50}} = \\ &= 1400 + \frac{1400}{1,2502} + \frac{1400}{1,5631} + \frac{1400}{1,9542} + \\ &+ \frac{1400}{2,1052} = 1400 + 1120 + 896 + 717 + 667 = 4800 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Приведенные затраты капитальных вложений на строительство 1 км воздушных линий на деревянных опорах из непропитанного леса составляют:

$$\begin{aligned} K'''_{\text{пр}} &= K_t + \frac{K_t}{(1,08)^5} + \frac{K_t}{(1,08)^{10}} + \frac{K_t}{(1,08)^{15}} + \frac{K_t}{(1,08)^{20}} + \\ &+ \frac{K_t}{(1,08)^{25}} + \frac{K_t}{(1,08)^{30}} + \frac{K_t}{(1,08)^{35}} + \frac{K_t}{(1,08)^{40}} + \frac{K_t}{(1,08)^{45}} + \\ &+ \frac{K_t}{(1,08)^{50}} = 1400 + \frac{1400}{1,0773} + \frac{1400}{1,1605} + \frac{1400}{1,2502} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1400}{1,3468} + \frac{1400}{1,4509} + \frac{1400}{1,5631} + \frac{1400}{1,6839} + \frac{1400}{1,8140} + \\
& + \frac{1400}{1,9542} + \frac{1400}{2,1052} = 1400 + 1300 + 1208 + 1120 + 1040 + \\
& + 965 + 896 + 832 + 772 + 717 + 667 = 10917 \text{ (руб.)}.
\end{aligned}$$

Экономическую эффективность капитальных вложений определим по формуле [5]:

$$C_i + E_n \cdot K_i = \min,$$

где K_i — капитальные вложения по каждому варианту

$$(i=1, 2, 3);$$

C_i — эксплуатационные расходы (в нашем случае эксплуатационные расходы, принятые одинаковыми);

$E_n=0,12$ — нормативный коэффициент эффективности.

$$221 + 0,12 \cdot 1400 = 221 + 168 = 389 \text{ (руб.)},$$

$$221 + 0,12 \cdot 4800 = 221 + 575 = 796 \text{ (руб.)}.$$

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что применение опор с глубокой пропиткой при строительстве линий электропередачи является наиболее эффективным, несмотря на большую стоимость пропитки 1 м³ опор по сравнению с обычным способом пропитки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсеенко В. В. Новая унификация опор линий электропередачи 35—500 кв. М., «Информэнерго», 1970.
2. Скоблов Д. А. Применение древесины в строительстве. М., изд-во литературы по строительству, 1967.
3. Гальперн М. Л. Деревянные опоры линий электропередачи. М., «Энергия», 1967.
4. Баракс А. М., Никифоров Ю. Н. Глубокая пропитка древесины путем применения наколов. М., «Лесная промышленность», 1969.
5. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., «Экономика», 1969.
6. Волосатов О. П., Зильберман Р. И. и др. Справочник по сооружению сетей 0,4—10 кв. сельскохозяйственного назначения. М., «Энергия», 1969.
7. Комаров Д., Хавич Е. Удешевлять строительство сельских электросетей. «Экономика строительства», 1968, № 6.
8. Горшин С. Н., Чернцов И. А. Полигонные испытания антисептиков. М., «Лесная промышленность», 1966.

9. Хунт М., Гэррат А. Консервирование древесины. М., Гослесбумиздат, 1961.

10. Кондратьев М. П. Пропитка столбовой древесины при строительстве сельских линий электропередачи. М., «Информэнерго», 1968.

Б. С. Чудинов

ИНТЕГРАЛЬНАЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ ДРЕВЕСИНЫ В ГАЗООБРАЗНОЙ СРЕДЕ

В теории процессов теплообмена древесины в газообразной среде основное внимание уделяется расчетам температурных полей и почти не приводятся расчеты интегральной и дифференциальной теплоты, поглощаемой или выделяемой древесиной в процессе теплообмена. Между тем, такие расчеты имеют не только теоретическое, но и большое практическое значение, позволяя научно обоснованно определять, например, потребность нагревательных устройств в тепловой энергии: как суммарную при заданной продолжительности нагрева (интегральная теплота), так и в любой момент процесса теплообмена (дифференциальная теплота).

Такие расчеты были бы весьма полезны не только для составления баланса тепла при тепловой обработке древесины, но и для расчета программы работы устройств, обеспечивающих автоматическую подачу тепловой энергии в нагревательные установки и находящихся все более широкое применение при гидротермической обработке древесины.

Полные затраты тепла на нагревание древесины состоятся, как известно, из полезных затрат и теплопотерь. В данной работе рассматриваются лишь полезные затраты, т. е. затраты, связанные с изменением энтальпии (теплосодержания) нагреваемого древесного сортамента.

Решение интегральной и дифференциальной теплоты при тепловой обработке древесины в газообразной среде дается в общем виде для граничных условий теплообмена третьего рода (слабая или средняя интенсивность теплообмена), которые обычно записываются следующим образом: $\alpha < \infty$ или $Bi < \infty$, где α — коэффициент теплоотдачи, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$; Bi — критерий теплового подобия Бю, определяемый из соотношения

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} R, \quad (1)$$

в котором λ — коэффициент теплопроводности древесины в направлении теплового потока, *ккал/м·час·град*; R — определяющий размер древесного сортимента, m (для цилиндрического — радиус цилиндра, для плоского половина толщины).

Поскольку граничные условия первого рода (бесконечно интенсивный теплообмен) являются частным случаем граничных условий третьего рода, то приведенное ниже решение дифференциальной и интегральной теплоты в принципе пригодно для обоих граничных условий. Но так как для граничных условий первого рода такой расчет нами был разработан ранее [1], то в данной работе будут рассмотрены расчеты процесса теплообмена древесины применительно лишь к граничным условиям третьего рода.

Граничные условия третьего рода имеют место во всех тех случаях конвективного теплообмена, когда соблюдается условие $Bi < 70$, т. е. при теплообмене древесины в газообразной среде (воздух, топочные газы, перегретый пар), за исключением частного случая нагревания ее в очень влажной газообразной среде. В этом случае процесс сопровождается конденсацией водяных паров на поверхности холодного материала, особенно обильной в начале нагрева, в результате чего граничные условия третьего рода на некоторое время вырождаются в граничные условия первого рода.

Анализ этого явления показывает, что процесс теплообмена при граничных условиях первого рода протекает до тех пор, пока на поверхности древесины не установится температура, равная температуре точки росы окружающей газообразной среды. Чем больше ее влажность, тем выше эта температура и тем дольше, следовательно, процесс будет протекать при граничных условиях первого рода. Если относительная влажность среды равна или ниже 80%, а степень прогрева древесины в конце процесса, характеризуемая температурным критерием [1], достаточно велика, то первоначальная конденсация водяных паров на ней вследствие ее сравнительно низкой теплопроводности происходит в течение непродолжительного времени по отношению к полному времени тепловой обработки, и поэтому ею можно пренебречь, а расчет вести, исходя из граничных условий третьего рода.

Таким образом, с учетом приведенной оговорки, расчет интегральной и дифференциальной теплоты пригоден как для процесса нагревания, так и охлаждения древесины в газообразной среде. При охлаждении древесины влажность окру-

жающей газообразной среды значения не имеет, так как конденсация водяных паров в этом случае полностью исключена.

Предлагаемый расчет исходит из ряда известных допущений, которые обычно принимаются в расчетах температурных полей в древесине при теплообмене [1]. Кроме того, следует оговориться, что предлагаемые расчеты интегральной и дифференциальной теплоты справедливы лишь при условии, что древесные сортаменты в процессе теплообмена не находятся в плотном штабеле, т. е. что каждый из них со всех сторон имеет свободный доступ газообразной среды. Если это условие не соблюдается, то интенсивность теплообмена будет ниже, чем вытекает из приведенных ниже расчетов. В таком случае в расчет необходимо внести поправку, учитывающую плотность укладки древесных сортментов, которая может быть найдена лишь эмпирически.

Интегральная теплота

В соответствии с известными положениями теории теплопроводности [2] интегральная теплота, поглощенная или выделенная в процессе теплообмена 1 м³ древесины Q, может быть определена из уравнения

$$Q = C \gamma (t - t_0), \text{ ккал м}^3, \quad (2)$$

в котором C — средняя в процессе теплообмена удельная теплоемкость древесины, ккал/кг·град; γ — плотность древесины, кг/м³; t_0 — начальная температура древесины, град; t — интегральная температура, установившаяся в древесном сортменте после теплообмена ее в течение τ час и определяемая как средняя по его объему [1], град.

Поскольку при решении уравнения (2) наибольшее затруднение представляет определение t , то (2) лучше представить в следующем виде:

$$Q = C \gamma (t_c - t_0) K, \text{ ккал м}^3, \quad (3)$$

в котором t_c — температура среды, град; K — интегральный критерий теплонасыщенности, характеризующий степень прогрева древесного сортмента, и определяемый из соотношения

$$K = \frac{t - t_0}{t_c - t_0}. \quad (4)$$

Данный критерий не следует смешивать с известным ин-

тегральным температурным критерием K_n , с которым он связан соотношением [1]

$$K = 1 - K_n. \quad (5)$$

Уравнение (3) справедливо для древесных сортиментов любой формы и размеров. От последних зависит лишь численное значение K .

Из (4) видно, что в начале теплообмена, т. е. при $\tau=0$, $t=t_0$ и, следовательно, $K=0$. При $\tau \rightarrow \infty$, очевидно, $t=t_c$ и тогда $K=1$, т. е. древесный сортимент в этом случае не обменивается теплом с окружающей средой, так как находится с ней в состоянии теплового равновесия (полная тепловая насыщенность).

Воспользовавшись известными уравнениями теории теплопроводности [2], интегральный критерий теплонасыщенности K при граничных условиях третьего рода можно определить из следующих уравнений в зависимости от формы древесного сортимента:

неограниченный цилиндр

$$K = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 Bi^2}{m_n^2 (m_n^2 + Bi^2)} e^{-m_n^2 Fo}, \quad (6)$$

где m_n — корни функций Бесселя, при которых функция Бесселя нулевого порядка первого рода $J_0(m_n)=0$, принимаются из таблиц;

неограниченная пластина

$$K = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Bi^2}{m_n^2 (m_n^2 + Bi + Bi^2)} e^{-m_n^2 Fo}, \quad (7)$$

где m_n — корни трансцендентного уравнения, которые при $Bi < 70$ определяются из соотношения $\operatorname{ctg} m_n = m_n/Bi$. При $Bi > 70$ (граничные условия первого рода) корни $m_n = (n-1/2)\pi$.

В уравнениях (6) и (7) F_0 — критерий теплового подобия Фурье, определяемый из выражения:

$$F_0 = \frac{a \tau}{R^2}, \quad (8)$$

в котором a — средний в процессе теплообмена коэффициент температуропроводности древесины в направлении теплового потока, $m^2/час$.

Поскольку аналитическое решение уравнений (6) и (7) затруднительно, так как при этом требуются многочисленные и громоздкие вычисления, то нами разработано графическое решение, представленное на рис. 1 и 2.

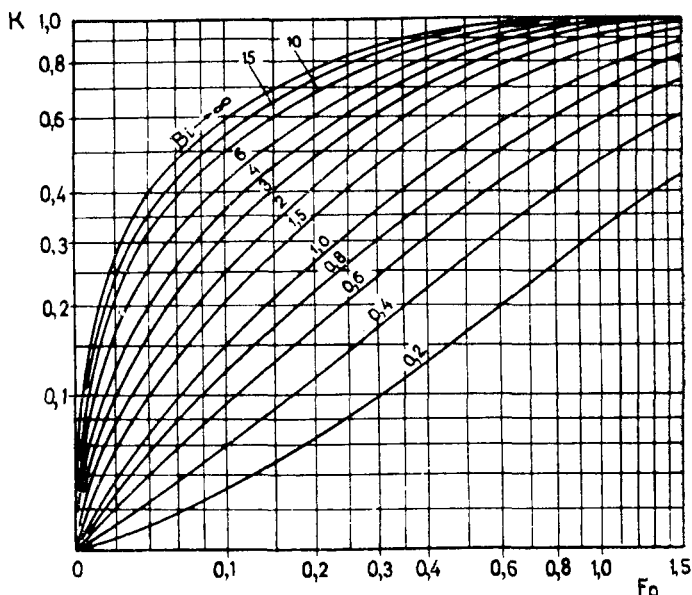


Рис. 1. Номограмма интегрального критерия теплонасыщенности для неограниченного цилиндра.

К древесным сортаментам, форма которых соответствует неограниченной пластине, можно приравнять лишь те плоские сортаменты, ширина которых в пять раз или более превышает толщину, например, доски. Если отношение ширины сортамента к его толщине меньше пяти, то в этом случае обобщенный критерий теплонасыщенности можно определить, воспользовавшись следующим соотношением:

$$K = K_x + K_y - K_x K_y, \quad (9)$$

в котором K_x и K_y — значения интегральных критериев теплонасыщенности соответственно по толщине (ось x) и ширине (ось y) сортамента.

Как видим, предлагаемое условие существенно отличается от обычно принимаемого при определении **температурного поля** на оси сортамента прямоугольного сечения, согласно ко-

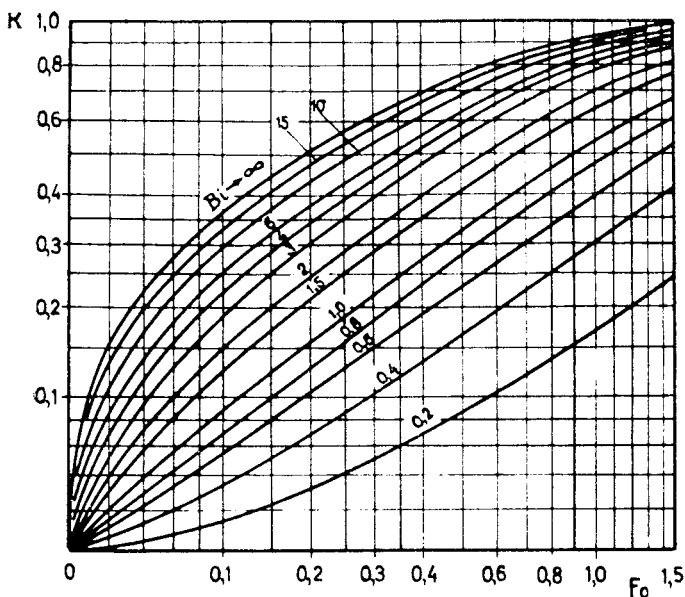


Рис. 2. Номограмма интегрального критерия теплонасыщенности для неограниченной пластины.

торому точность расчета считается достаточной, если ширина сортамента превышает его толщину лишь в три раза [1]. При расчете интегральной или дифференциальной **теплоты**, которая, как известно, не привязывается к какой-либо оси или точке сортамента, а определяется для всего его объема, это условие оказывается недостаточным, поскольку через кромки, например, узкой доски, поглощается весьма заметное количество теплоты. Чем уже доска и чем дольше она участвует в теплообмене, тем больше вносится погрешность в расчет теплоты, если не учитывать ее поглощение кромками доски. При расчете же температурного поля эта погрешность, очевидно, не велика даже в том случае, когда ширина сортамента превышает его толщину всего лишь в три раза.

Если плоский сортимент к тому же еще и короткий, то в этом случае в расчете необходимо также учесть теплопередачу по его длине (ось z) и тогда выражение (9) преобразуется:

$$K = K_x + K_y + K_z - K_x K_y K_z. \quad (10)$$

Короткими следует считать сортименты, длина которых не превышает их восьмикратную толщину или диаметр при условии, что волокна древесины направлены по длине сортимента. Отношение длины к толщине взято столь большим потому, что коэффициент температуропроводности древесины вдоль волокон почти в два раза выше, чем в поперечном направлении. Поэтому поглощение теплоты торцовыми поверхностями древесных сортиментов происходит почти в два раза интенсивнее. Предлагаемое соотношение также справедливо лишь для расчета теплоты, но не температурного поля на оси сортимента.

Если в теплообмене участвует короткий цилиндрический сортимент, то он рассматривается как комбинация бесконечного цилиндра с неограниченной пластиной, толщина которой равна длине реального цилиндра. Расчетный обобщенный интегральный критерий теплонасыщенности в этом случае рассчитывается по уравнению

$$K = K_a + K_x - K_a K_x, \quad (11)$$

где K_a и K_x подсчитываются соответственно по уравнениям для цилиндра (6) и пластины (7).

Заметим, что для графического определения критериев K_x , K_y , K_z и K_a необходимо предварительно по уравнению (8) подсчитать соответствующие значения критерия Фурье: Fo_x , Fo_y , Fo_z , Fo_a , а по уравнению (1) значения критерия Био: Bi_x , Bi_y , Bi_z , Bi_a , по которым и производится определение на рис. 1 и 2 искомых критериев теплонасыщенности.

В приведенном расчете интегральной теплоты некоторые затруднения может представить определение значений критерия Bi , так как входящий в уравнение (1) коэффициент теплоотдачи α зависит от многих факторов, влияние которых весьма трудно учесть. Кроме того, коэффициент α в процессе теплообмена не остается постоянным. Все это вместе взятое не обеспечивает высокой точности расчета интегральной и дифференциальной теплоты при граничных условиях третьего рода и поэтому его можно назвать лишь приближенным, хотя физико-математическая сторона расчета достаточно строга. Однако, несмотря на этот недостаток, мы рекомендуем его для практического использования, поскольку подобного расчета для древесины нет.

При естественной конвекции газообразной среды более точный расчет критерия Bi можно осуществить по методу постепенного приближения, который заключается в том, что сначала задаются значениями перепада температуры газообразной среды и поверхности древесного сортимента $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ для моментов времени $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$. Далее по ним рассчитываются коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ и затем определяются значения критериев $Bi_1, Bi_2, \dots, Bi_n$. Исходя из последних, определяются действительные значения $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$. Если они существенно отличаются от принятых ранее, то производят пересчет, исходя из принимаемых других (более близких) значений Δt до тех пор, пока вновь принятые и действительные значения Δt не станут достаточно близкими.

Приближенное определение коэффициента теплоотдачи α может быть осуществлено также по рекомендуемым в строительной теплофизике эмпирическим формулам. При теплоотдаче от газообразной среды к поверхности или наоборот — от поверхности к среде в условиях естественной конвекции:

к вертикальной плоскости

$$\alpha = 3 + 0,08 \Delta t \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град при } \Delta t < 10^\circ \text{ C}, \quad (12)$$

$$\alpha = 2,2 \sqrt[4]{\Delta t} \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град при } \Delta t > 10^\circ \text{ C}, \quad (13)$$

к горизонтальной плоскости

$$\alpha = 2,8 \sqrt[4]{\Delta t}, \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град} \quad (14)$$

к горизонтально расположенному цилиндру

$$\alpha = 0,857 \sqrt[4]{\Delta t R}, \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град}, \quad (15)$$

где Δt — разность температур газообразной среды и поверхности, град.

При вынужденной конвекции от газообразной среды к плоской шероховатой поверхности ограниченных размеров

$$\alpha = 5,3 + 3,6 \sqrt{v}, \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град при } v < 5 \text{ м/сек}, \quad (16)$$

$$\alpha = 6,47 \cdot v^{0,78}, \text{ ккал/м}^2 \text{ час} \cdot \text{град при } v > 5 \text{ м/сек}, \quad (17)$$

где v — скорость движения газообразной среды относительно поверхности, м/сек.

Дифференциальная теплота $dQ/d\tau$ может быть подсчитана, исходя из интегральной, если последнюю продифференцировать по времени. Не останавливаясь на выводе $dQ/d\tau$, опубликованном ранее [1], приводим расчетное уравнение этой теплоты:

$$\frac{dQ}{d\tau} = C\gamma(t_c - t_0) \frac{a}{R^2} \cdot \frac{dK}{dFo}, \quad \text{ккал м}^3\text{час}, \quad (18)$$

где dK/dFo — критерий интенсивности изменения энтальпии нагреваемого или охлаждаемого тела.

Уравнение (18) также справедливо для древесных сортиментов любой формы и размеров, хотя численные значения некоторых входящих в него величин, например dK/dFo , от них зависят.

Из уравнения (18) видно, что для его решения необходимо знать численное значение критерия dK/dFo . При расчете сортимента, который можно уподобить бесконечному цилиндру или неограниченной пластине, этот критерий можно было бы получить после дифференцирования уравнений (6) и (7) по критерию Фурье. Но поскольку аналитическое дифференцирование этих уравнений весьма затруднительно, то мы воспользовались приемом графического дифференцирования (рис. 3 и 4) кривых $Bi = \text{const}$ (рис. 1 и 2), построенных по (6) и (7).

Как видно из рис. 3 и 4, в начале теплообмена ($\tau=0$) критерий dK/dFo при граничных условиях третьего рода имеет конечное значение в отличие от его значений при граничных условиях первого рода [1], когда $dK/dFo \rightarrow \infty$ ($\tau=0$). Следовательно, по (18) можно рассчитать дифференциальную теплоту для начального момента теплообмена, т. е. значение $(dK/dFo)_{\max}$.

Следует оговориться, что использованное нами графическое дифференцирование не обеспечивает высокой точности. Поэтому кривые $Bi = \text{const}$ на рис. 3 и 4 менее точны по сравнению с исходными кривыми на рис. 1 и 2, полученными по точным уравнениям (6) и (7), однако точность их еще достаточна для технических расчетов, если учесть, что другие графические решения критерия dK/dFo в литературе не встречаются, а аналитическое решение слишком сложно.

Труднее решить уравнение (18), если сортимент ограничен по длине или ширине, так как в (18) должно подстав-

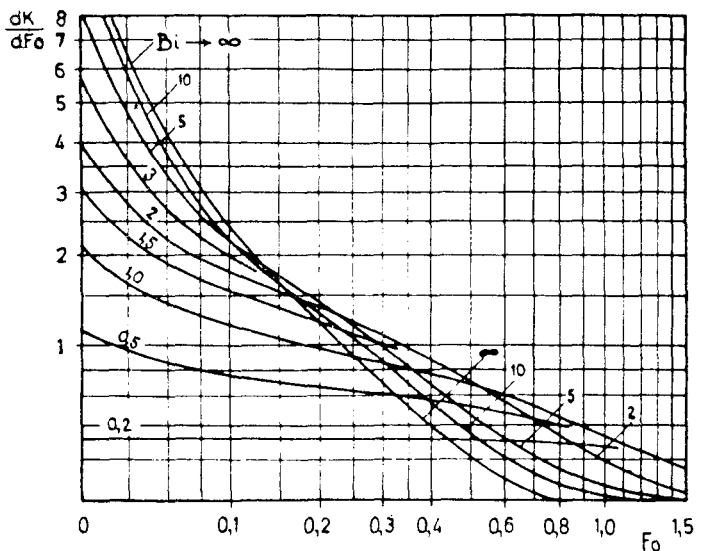


Рис. 3. Номограмма критерия интенсивности изменения энтальпии для неограниченного цилиндра.

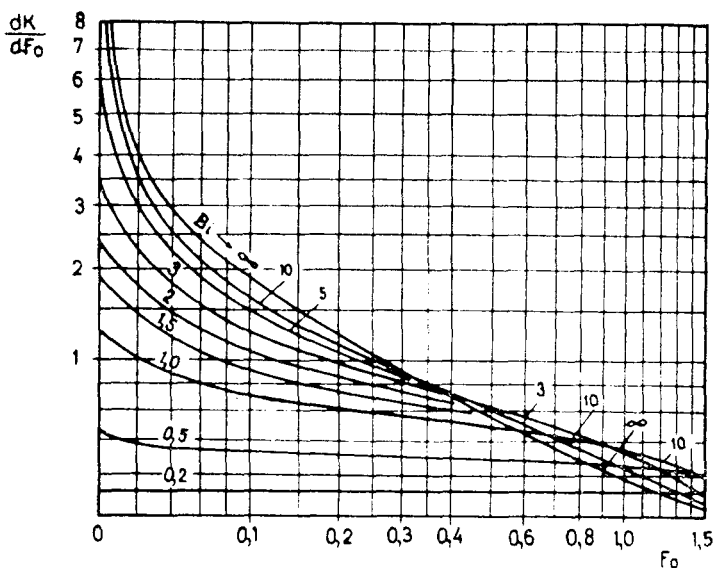


Рис. 4. Номограмма критерия интенсивности изменения энтальпии для неограниченной пластины.

ляться одно значение R и dK/dFo , тогда как при неоднородном тепловом потоке для каждого направления его в сорimente значения критериев Fo и Bi **разные**, а поэтому и разные значения критерия dK/dFo . Следовательно, в этом случае задача сводится к тому, чтобы найти обобщенное (эквивалентное) значение указанных критериев и определяющего размера R , учитывающие суммарный тепловой поток по всем осям координат нагреваемого или охлаждаемого соримента.

Достаточно точный расчет эквивалентных значений Fo и dK/dFo можно получить следующим образом. Исходя из заданного отношения толщины соримента к ширине, по рис. 2 и по уравнению (9) подсчитываются эквивалентные значения K , по которым строятся графики $K=f(Bi, Fo)$. Затем кривые графически дифференцируются по Fo , в результате чего получаются кривые постоянных отношений толщины к ширине в системе координат $dK/dFo—Fo$.

Такой прием нами был использован ранее для расчета процесса теплообмена при граничных условиях первого рода [1]. Для граничных условий третьего рода, очевидно, этот путь очень трудоемкий. Поэтому мы предлагаем другой способ решения эквивалентных значений критериев Fo и dK/dFo для сориментов прямоугольного сечения, сводящийся к следующему.

Исходя из заданных размеров соримента по толщине (R_x) и ширине (R_y), по (1) и (8) подсчитываются соответственно критерии (Bi_x, Bi_y и Fo_x, Fo_y). Далее на рис. 2 по Bi_x и Fo_x определяется критерий K_x и аналогично критерий K_y . Подставляя полученные значения в уравнение (9), получаем эквивалентный критерий теплонасыщенности K .

Эквивалентное значение критерия Bi приближенно можно принять в соответствии с законом аддитивности, равным

$$Bi = Bi_x \frac{R_x}{R_x + R_y} + Bi_y \frac{R_y}{R_x + R_y}. \quad (19)$$

Располагая значениями эквивалентных критериев теплонасыщенности K и Bi , на рис. 2 определяем по ним эквивалентные значения критерия Fo , а на рис. 4 по Fo и Bi находим эквивалентный критерий интенсивности изменения энтальпии соримента — dK/dFo .

Если решить уравнение (8) относительно определяющего размера R , подставив в него эквивалентный критерий Fo , то,

очевидно, получим эквивалентный определяющий размер данного сортамента R_3 :

$$R_3 = \sqrt{\frac{a\tau}{Fo}}, \text{ м.} \quad (20)$$

Физический смысл R_3 в том, что он выражает определяющий размер такой неограниченной пластины, которая по теплообмену эквивалентна данному неограниченному параллелепипеду с определяющими размерами R_x и R_y . Из физического смысла R_3 вытекает, что $R_3 < R_x < R_y$. Полученное значение R_3 можно подставлять в (18) при условии, что критерий dK/dFo также взят эквивалентный.

Значение R_3 для сортиментов прямоугольного сечения можно приближенно найти достаточно просто, и не располагая предварительно значениями эквивалентного критерия Fo , по следующей формуле:

$$R_3 = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2} - 2(R_x^2 + R_y^2)}{2}. \quad (21)$$

Дифференциальную теплоту нагрева или охлаждения древесного сортимента можно приближенно подсчитать также через известную интегральную теплоту. Если нас интересует скорость теплообмена в момент времени τ , то находим интегральную теплоту Q_1 и Q_2 соответственно в моменты времени $\tau - \Delta\tau$ и $\tau + \Delta\tau$. Искомая дифференциальная теплота $dQ/d\tau$, очевидно, в этом случае определится так:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \frac{Q_2 - Q_1}{2\Delta\tau}, \text{ ккал/м}^3\text{час.} \quad (22)$$

Отрезки времени $\Delta\tau$ можно брать произвольно, но желательно небольшими. Точность такого расчета, разумеется, ниже, чем изложенного выше.

Пример 1. Определить интегральную и дифференциальную теплоту, поглощаемую при нагревании березовых чураков диаметром 26 см в спокойном сухом воздухе с температурой 60° С, если начальная температура их была 10° С. Построить график интегральной и дифференциальной теплоты через 1, 2, 4, 8 и 15 час. после начала нагрева.

Решение. Чтобы воспользоваться графиком на рис. 1, найдем прежде значения критериев Фурье и Био. Для упрощения расчетов примем, что коэффициент температуропроводности влажной (70%) древесины березы поперек волокон (a) в те-

чение всего процесса теплообмена был постоянным и равнялся $\alpha = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{час}$ (методика его расчета приведена в работе [1]). Тогда значения критерия Фурье для заданных моментов времени τ , согласно уравнению (7), составляют:

$$\text{при } \tau_1 = 1 \text{ час } Fo_1 = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{0,13^2} = 0,0296;$$

$$\text{при } \tau_2 = 2 \text{ час } Fo_2 = 0,0592; \text{ при } \tau_3 = 4 \text{ час } Fo_3 = 0,118;$$

$$\text{при } \tau_4 = 8 \text{ час } Fo_4 = 0,237; \text{ при } \tau_5 = 15 \text{ час } Fo_5 = 0,444.$$

Для расчета критерия Био по (1) примем коэффициент теплопроводности березовой древесины поперек волокон $\lambda = 0,30 \text{ ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}$, а средний коэффициент теплоотдачи α подсчитаем по формуле (14) для горизонтально расположенного цилиндра, приняв ориентировочно среднюю разность температур воздуха и поверхности цилиндра в течение всего процесса теплообмена постоянной и равной $\Delta t = 30^\circ$ (в [1] приведен точный расчет температуры на поверхности цилиндра при граничных условиях теплообмена третьего рода).

Тогда по (14)

$$\alpha = 0,857 \sqrt[4]{\frac{30}{0,13}} = 3,38 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град};$$

критерий Био, согласно (1), равен

$$Bi = \frac{3,38}{0,30} \cdot 0,13 = 1,46.$$

По найденным значениям Fo и Bi на рис. 1 находим: $K_1 = 0,073$; $K_2 = 0,130$; $K_3 = 0,220$; $K_4 = 0,375$; $K_5 = 0,580$.

Приняв удельную теплоемкость влажной древесины $C = 0,70 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}$ и плотность ее $\gamma = 870 \text{ кг/м}^3$, подставляем известные величины в уравнение (3) и получаем искомую интегральную теплоту: $Q_1 = 0,70 \cdot 870 (60 - 10) \cdot 0,073 = 2300 \text{ ккал/м}^3$; $Q_2 = 4100 \text{ ккал/м}^3$; $Q_3 = 6900 \text{ ккал/м}^3$; $Q_4 = 11800 \text{ ккал/м}^3$; $Q_5 = 18300 \text{ ккал/м}^3$.

На рис. 5 представлен график интегральной теплоты, построенный по результатам приведенных вычислений (пример 1).

По найденным ранее значениям критериев $Bi = 1,46$ и Fo на рис. 3 находим значения критерия интенсивности изменения энтальпии чураков: $dK/dFo_1 = 2,07$; $dK/dFo_2 = 1,80$; $dK/dFo_3 = 1,45$; $dK/dFo_4 = 1,08$; $dK/dFo_5 = 0,78$.

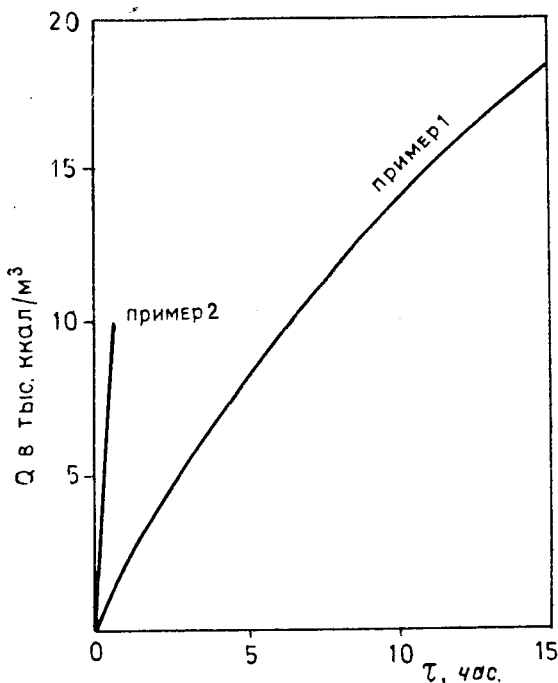


Рис. 5. График интегральной теплоты.

Подставляя найденные значения dK/dFo и другие известные величины в (18), получаем:

$$\frac{dQ}{d\tau_1} = 0,70 \cdot 870 (60 - 10) \frac{0,0296}{1} \cdot 2,07 = 1870 \text{ ккал м}^3\text{час};$$

$$dQ d\tau_2 = 1620; \quad dQ d\tau_3 = 1310; \quad dQ d\tau_4 = 974;$$

$$dQ d\tau_5 = 703 \text{ ккал м}^3\text{час}.$$

На рис. 6 представлен график скорости поглощения теплоты нагреваемыми чураками, построенный по результатам приведенных вычислений.

Пример 2. Определить интегральную и дифференциальную теплоту, выделяемую сухими березовыми брусками сечением 60×90 мм с начальной температурой 90°C , охлаждаемыми после камерной сушки в потоке воздуха с температурой 20°C , движущегося со скоростью $1,5$ м/сек.

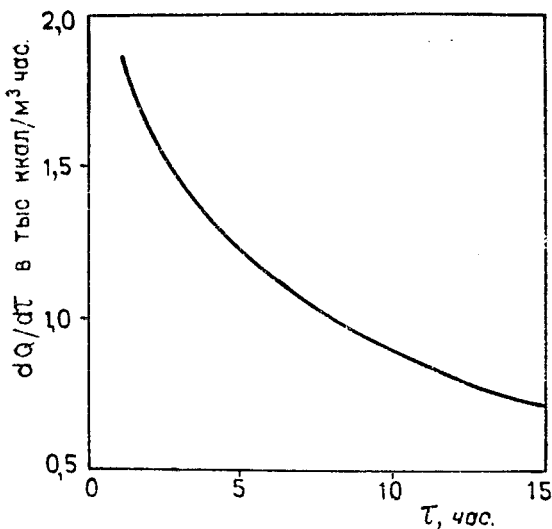


Рис. 6. График дифференциальной теплоты (пример 1).

Решение. По уравнению (16) определяем коэффициент теплоотдачи $\alpha = 5,3 + 3,6\sqrt{1,5} = 9,7$ ккал/м² час·град.

Приняв средний коэффициент теплопроводности сухой древесины березы поперек волокон равным 0,16 ккал/м·час·град, определим по уравнению (1) значения критерия Би бруска по толщине, т. е. по оси x ($R_x = 0,03$ м), и по ширине, т. е. по оси y ($R_y = 0,045$ м), $Bi_x = \frac{9,7}{0,16} \cdot 0,03 = 1,82$; ана-

логично $Bi_y = 2,73$.

Определим интегральную и дифференциальную теплоту с начала теплообмена ($\tau = 0$) до $\tau = 0,6$ час. через каждые 0,1 час. Для этого подсчитываем по (8) значения критерия Fo по оси x и y , приняв средний коэффициент температуропроводности древесины поперек волокон $a = 5,6 \cdot 10^{-4}$ м²/час:

$$Fo_{x1} = \frac{5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1}{0,030^2} = 0,0622;$$

$$Fo_{x2} = 0,1245; Fo_{x3} = 0,187; Fo_{x4} = 0,249; Fo_{x5} = 0,311; Fo_{x6} = 0,374.$$

Аналогичный расчет по ширине бруска дает следующие значения критерия Fo : $Fo_{y1}=0,0276$; $Fo_{y2}=0,0553$; $Fo_{y3}=0,083$; $Fo_{y4}=0,111$; $Fo_{y5}=0,138$; $Fo_{y6}=0,166$.

Далее по значениям Fo_x и Bi_x на рис. 2 находим значения интегрального критерия теплонасыщенности при теплообмене в направлении оси x : $K_{x1}=0,096$; $K_{x2}=0,170$; $K_{x3}=0,220$; $K_{x4}=0,275$; $K_{x5}=0,320$; $K_{x6}=0,365$.

Аналогично на том же рис. 2 находим значения указанного критерия по оси y : $K_{y1}=0,063$; $K_{y2}=0,112$; $K_{y3}=0,155$; $K_{y4}=0,190$; $K_{y5}=0,220$; $K_{y6}=0,250$.

Наконец, по уравнению (9) подсчитываем эквивалентный критерий теплонасыщенности:

$$K_1 = 0,096 + 0,063 - 0,096 \cdot 0,063 = 0,153;$$

$$K_2 = 0,263; K_3 = 0,341; K_4 = 0,413; K_5 = 0,469; K_6 = 0,524.$$

Результаты всех этих вычислений представлены на рис. 7.

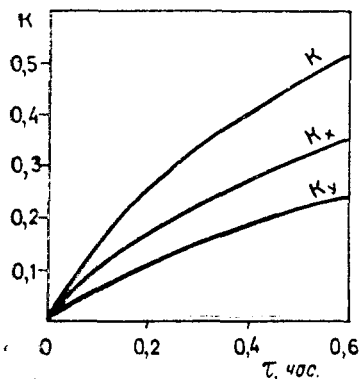


Рис. 7. График интегральных критериев теплонасыщенности (пример 2).

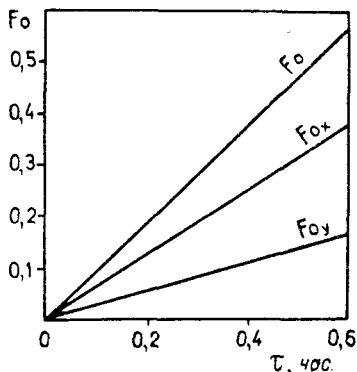


Рис. 8. График критериев Фурье (пример 2).

Приняв удельную теплоемкость древесины $C=0,48$ ккал/кг·град, а плотность ее $\gamma=560$ кг/м² и подставляя известные величины в (3), получаем:

$$Q_1 = 0,48 \cdot 560 (20-90) \cdot 0,153 = -2880 \text{ ккал/м}^3;$$

$$Q_2 = -4950; Q_3 = -6430; Q_4 = -7780; Q_5 = -8840;$$

$$Q_6 = -9870 \text{ ккал/м}^3.$$

Знак «минус» здесь указывает лишь на то, что теплота не воспринимается, а отдается брусками. Кривая «пример 2»

на рис. 5 построена по результатам приведенных вычислений (знак «минус» — опущен).

Для последующих расчетов необходимо прежде найти эквивалентное (усредненное по сечению бруска) значение критерия Bi_3 и эквивалентные значения критерия Fo . Согласно (19)

$$Bi_3 = 1,82 \frac{0,030}{0,030 + 0,045} + 2,73 \frac{0,045}{0,030 + 0,045} = 2,37.$$

Далее по найденному Bi_3 и найденным ранее значениям эквивалентного критерия теплонасыщенности на рис. 2 находим обобщенный (эквивалентный) критерий Fo для момента $\tau_6 = 0,6$ час: $Fo_6 = 0,570$.

Воспользовавшись тем, что Fo зависит от τ линейно и что при $\tau = 0$ $Fo = 0$, находим значение Fo для других моментов времени: $Fo_1 = 0,095$; $Fo_2 = 0,190$; $F_3 = 0,285$; $Fo_4 = 0,380$; $Fo_5 = 0,475$.

На рис. 8 представлен график Fo_x , Fo_y и обобщенного Fo .

Поскольку получен обобщенный критерий Fo , постольку представляется возможным из него получить один, т. е. эквивалентный определяющий размер для заданного прямоугольного сечения. Для этого воспользуемся выражением (20), подставив в него значение Fo_6 для $\tau_6 = 0,6$ час.:

$$R_3 = \sqrt{\frac{5,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6}{0,570}} = 0,0243 \text{ м (24,3 мм)}.$$

Расчет R_3 по приближенной формуле (21) дает следующее значение

$$R_3 = \frac{\sqrt{0,03^2 + 0,045^2} - 2(0,03^2 + 0,045^2)}{2} = 0,0241 \text{ м (24,1 мм)},$$

т. е. отличается от точного решения всего лишь на 0,8%.

Далее по найденным ранее обобщенным значениям Fo и Bi_3 на рис. 4 находим значения критерия $dK/dFo_1 = 1,20$; $dK/dFo_2 = 0,93$; $dK/dFo_3 = 0,80$; $dK/dFo_4 = 0,72$; $dK/dFo_5 = 0,63$; $dK/dFo_6 = 0,58$.

Подставляя известные данные в (18), получаем искомую дифференциальную теплоту:

$$\frac{dQ}{d\tau_1} = 0,48 \cdot 560 (20 - 90) \frac{5,6 \cdot 10^{-4}}{0,0243^2} \cdot 1,20 = -21400 \text{ ккал/м}^3 \text{ час};$$

$$dQ/d\tau_2 = -16600; \quad dQ/d\tau_3 = -14300; \quad dQ/d\tau_4 = -12800;$$

$$dQ \, d\tau_5 = -11200; \quad dQ \, d\tau_6 = -10400 \text{ ккал} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{час}.$$

Рассчитаем дифференциальную теплоту в начальный момент времени ($\tau=0$). Для этого по $Fo=0$ и $Bi_3=2,37$ на рис. 4 находим $(dK/dFo)_{\max}=2,70$. Подставляя полученную величину в (18), получаем:

$$\left(\frac{dQ}{d\tau_0} \right)_{\max} = 0,48 \cdot 560 (20 - 90) \times \\ \times \frac{5,6 \cdot 10^{-4}}{0,0245^2} \cdot 2,70 = -48200 \text{ ккал} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{час}.$$

На рис. 9 представлен график дифференциальной теплоты, построенный по результатам приведенных вычислений.

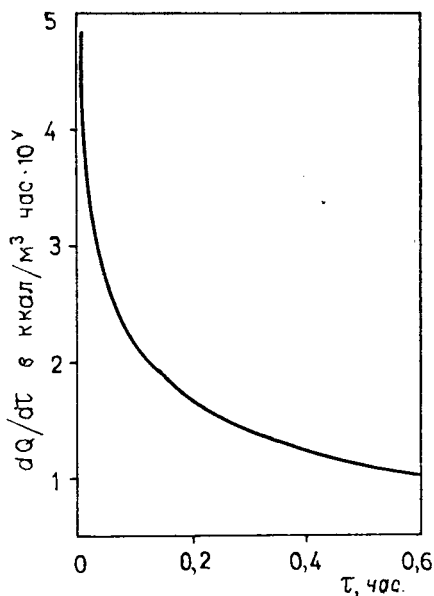


Рис. 9. График дифференциальной теплоты (пример 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. Чудинов. Теория тепловой обработки древесины. М., «Наука», 1968.
2. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. М., ГИТТЛ, 1952.

АНИЗОТРОПИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование анизотропии механических показателей плит и связи между ними*

Широкое использование выпускаемых в настоящее время древесностружечных материалов в качестве конструктивных элементов сдерживается их сравнительно невысокими механическими свойствами и низкой водостойкостью. Одним из перспективных направлений, способствующих повышению механических характеристик древесностружечных материалов, является метод создания анизотропной структуры путем ориентации древесных частиц. При этом появляется возможность более полного использования природной анизотропии древесины и ее высокой прочности вдоль волокон. Ориентация древесных частиц дает возможность снизить материалоемкость конструктивных элементов путем совмещения направления преимущественной ориентации с направлением действия главных напряжений. Например, в трехслойных конструкциях стандартного домостроения, работающих на изгиб, замена неориентированных древесностружечных плит, плитами с ориентированными древесными частицами снижает материалоемкость до 40%. На значительную эффективность применения древесностружечных плит с ориентированными частицами для производства полок крупногабаритной мебели указывает В. И. Королев [1].

Разработкой технологии и оборудования для производства древесностружечных материалов с ориентированными частицами, занимались в СССР, Чехословакии, Болгарии, США, ФРГ, Канаде и Польше. Результаты исследований по упрочнению древесностружечных материалов путем ориентации древесных частиц обсуждались на совещании в Брауншвейге в 1970 г. Первая промышленная линия для производства древесностружечных плит с ориентированными частицами созда-

* Написана В. И. Броуном, Е. К. Ашкенази, Г. В. Кларом, Л. И. Тюриковой, И. В. Егерем.

на в Чехословакии. У нас в стране изготовление древесностружечных плит с ориентированными частицами было проверено в промышленных условиях [2].

Проведенные до настоящего времени исследования механических свойств анизотропных древесностружечных материалов посвящены изучению прочности путем испытаний на статический изгиб вдоль и поперек направления ориентации древесных частиц. Для анизотропных материалов число необходимых механических характеристик определяется, исходя из расчетной схемы симметрии свойств. Поэтому необходима проверка применимости гипотезы об однородной сплошной анизотропной среде и установление расчетной схемы анизотропии древесностружечных плит с ориентированными частицами.

При исследовании анизотропии древесностружечных материалов результаты испытаний на изгиб по ГОСТ 10632—70 можно рассматривать скорее как технологическую пробу, чем как способ определения характеристик прочности, поскольку они зависят от типа нагружения и размеров образца. К числу причин, обуславливающих такое заключение, относятся: неприменимость к большинству анизотропных тел, находящихся в стадии, близкой к разрушению, гипотезы плоских сечений; значительное влияние междуслойных сдвигов, даже при упругих деформациях, приводящих к искажению деформативности и прочности слоистых образцов. Поэтому характеристика анизотропии древесностружечных плит с ориентированными частицами, по данным испытаний на изгиб, в этом случае будет слишком приближенной. О конструктивной прочности и степени анизотропии этих материалов лучше всего судить по испытаниям на разрыв (растяжение) в направлении плоскости пласти плиты.

Таким образом, анизотропия плит с ориентированными древесными частицами, исследована незначительно. Кроме того, не разработаны простые и надежные способы неразрушающих испытаний. Поэтому задачей наших исследований было изучение физико-механических свойств и анизотропии плит как конструкционного материала и разработка способов их испытаний.

Для исследований анизотропии прочности древесностружечных плит с ориентированными частицами была разработана методика испытаний при растяжении в плоскости пласти. Образцы представляют собой прямоугольную призму с постоянным по всей длине поперечным сечением. Изготовле-

ние таких образцов проще и значительно дешевле, чем обычных образцов с шейкой. Кроме того, принятый нами образец более удобен, т. к. на нем можно проводить все виды испытаний (разрушающие и неразрушающие). В связи с тем, что серийные захваты разрывной машины не гарантируют разрыв этих образцов в рабочей зоне (вне зоны захватов), то для проведения разрушающих испытаний при исследовании анизотропии прочности были изготовлены специальные захваты (рис. 1). Конструкция захватов и вкладышей к ним обеспечивает точное центрирование образца и его разрушение вне зоны захватов.

С учетом развития технических средств стала возможной разработка неразрушающих методов исследования анизотро-

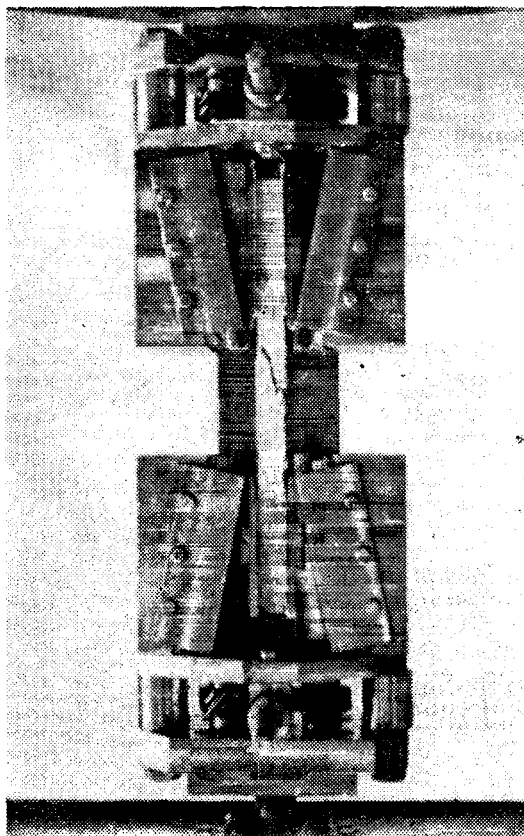


Рис. 1. Общий вид захватов.

пии древесностружечных плит с ориентированными частицами [3]. Неразрушающие методы дают возможность проводить оперативный контроль как отдельных изделий, так и целых конструктивных элементов в процессе изготовления и эксплуатации. При необходимости неразрушающие методы дают возможность проводить 100% контроль изделий. А. И. Голубовым был обоснован и использован метод сквозного ультразвукового импульсного испытания изотропных древесностружечных плит с неориентированной стружкой [4].

Для исследования анизотропии древесностружечных плит с ориентированными частицами в плоскости пласти нами предложены и проверены методы испытаний:

1) вибрационный по частоте собственных продольных колебаний образцов;

2) ультразвуковой импульсный при одностороннем доступе к изделию.

Вибрационный метод основан на связи частот собственных продольных колебаний образцов с модулями упругости. При условии гармонических колебаний элементов стержня выражение для определения модулей нормальной упругости будет выглядеть так:

$$E = 4,07 \cdot 10^{-6} \frac{P \cdot l \cdot f_{\text{вибр}}^2 \text{ прод}}{b \cdot h} \text{ кгс/см}^2, \quad (1)$$

где E — модуль нормальной упругости;

P — вес образца, гс;

l — длина образца, см;

b — ширина образца, см;

h — высота образца, см;

$f_{\text{прод. вибр}}$ — частота собственных продольных колебаний образца, гц.

Экспериментальное определение частот собственных продольных колебаний образцов древесностружечных плит проводилось на вибрационной установке, описание блок-схемы которой приведено в работах М. В. Гершберга [5].

Исследование анизотропии древесностружечных плит с ориентированными частицами проводили с помощью серийно выпускаемых дефектоскопов ДУК-20 и УКБ-1. Первый предназначен для лабораторных исследований, второй — для производственных испытаний.

На рис. 2 показан момент испытаний с помощью дефектоскопа типа УКБ-1. Изменение скорости распространения

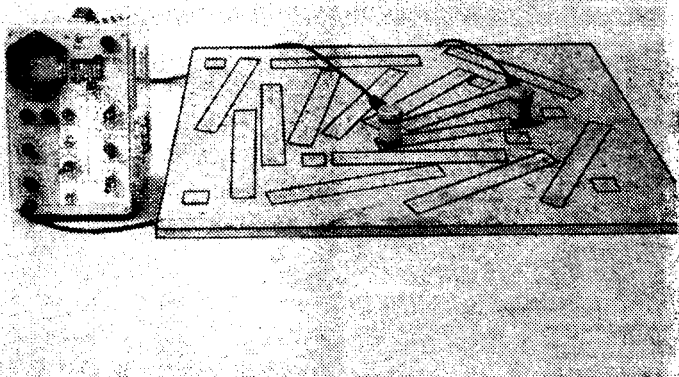


Рис. 2. Исследование анизотропии целых древесностружечных плит с ориентированными частицами при одностороннем доступе.

фронта ультразвуковой волны при одностороннем доступе производится по двухбазовой системе.

Для анизотропного материала формула определения модуля упругости в зависимости от скорости распространения продольной упругой волны имеет следующий вид:

$$E_{\alpha} = K_{\alpha} \cdot V_{\alpha}^2 \cdot \rho, \quad (2)$$

где E_{α} — модуль упругости под углом α к направлению ориентации древесных частиц; K_{α} — коэффициент, зависящий от соотношения между длиной волны ультразвукового импульса и размерами образца или изделия; V_{α} — скорость распространения продольной волны ультразвукового импульса; ρ — плотность материала.

В случае безгранично длинного и тонкого стержня коэффициент $K_{\alpha} = 1$ и формула (2) принимает вид:

$$E_{\alpha} = V_{ст}^2 \cdot \rho. \quad (3)$$

В ортотропной пластине для E_0 и E_{45} :

$$K_{\alpha} = K_0 = K_{90} = 1 - \mu_{12} \mu_{21}, \quad (4)$$

где μ_{12} и μ_{21} — коэффициенты Пуассона при действии силы по направлению, определяемому первым индексом, и при изменении деформации по направлению, определяемому вторым

индексом. Индексом «1» обозначена ось x , совпадающая с направлением наибольшей жесткости материала, индексом «2» — ось y .

Для E_{45} :

$$K_\alpha = K_{45} = 1 - \mu_{45}^2. \quad (5)$$

В случае безграничной среды для E_0 :

$$K_\alpha = K_{03} = \frac{D}{1 - \mu_{23}\mu_{32}}. \quad (6)$$

Для E_{90} :

$$K_\alpha = K_{91} = \frac{D}{1 - \mu_{13}\mu_{31}}, \quad (7)$$

где $D = (1 - \mu_{13}\mu_{31})(1 - \mu_{12}\mu_{21}) - (\mu_{32} + \mu_{12}\mu_{31})(\mu_{23} + \mu_{13}\mu_{21})$

Причем ось «3» (z) лежит перпендикулярно плоскости симметрии «I—II» ($x-y$), совпадающей с плоскостью плиты. Поскольку величины коэффициентов Пуассона для исследуемых материалов неизвестны, можно использовать способ косвенного определения соотношения между скоростью упругой волны и модулем упругости материала. При этом можно исходить из соотношения (8):

$$V_{ст} = 2lf, \quad (8)$$

которое справедливо в том случае, если на одном и том же образце экспериментально определяется модуль упругости E двумя способами: вибрационным — по резонансной частоте f продольных колебаний и статическим — по скорости $V_{ст}$ распространения импульса, которая предполагается «стержневой». Исходя из соотношения (8), коэффициент в формуле (2) можно определять экспериментально по формуле (9):

$$K_\alpha = K_9 = \left(\frac{2lf}{V_\alpha} \right)^2, \quad (9)$$

где $K_9 = K_\alpha$ — экспериментально определенное значение коэффициента K_α ; V_α — скорость распространения упругого импульса, измеренная при данном соотношении между длиной волны λ и размерами изделия (образца).

Таким образом, определение упругих характеристик плит проводилось двумя способами: ультразвуковым импульсным при частоте прозвучивания 60 кГц и вибрационным. Ультразвуковым импульсным методом определялась скорость рас-

пространения ультразвуковой волны, входящая в формулу (2); затем вибрационным методом определялась собственная продольная частота колебаний, необходимая как для подсчета модуля упругости по формуле (1), так и для определения коэффициента K (9), который входит в формулу (2) подсчета статического модуля упругости.

Для исследований анизотропии древесностружечных плит было изготовлено две партии плит. В каждой из них кроме анизотропных плит с ориентированной стружкой для сопоставления имелись изотропные плиты с неориентированной стружкой. Партии плит отличались в основном размерами стружки. Стружки были получены в цехе древесностружечных плит Красноярского ДОКа.

Для первой партии бралась более крупная стружка из потока, предназначенного для среднего слоя трехслойных плит, и просеивалась через сито с диаметром отверстий 4 мм. Отсеянные мелкие фракции не использовались. Средневзвешенные размеры стружки $32,1 \times 6,9 \times 0,45$ мм.

Стружки для второй партии плит брались из потока как для среднего, так и наружных слоев плит. Средневзвешенные размеры их после отсева $26,5 \times 4,1 \times 0,44$ мм. Влажность высушенной стружки была в пределах 7%. В качестве связующего применялась мочевино-формальдегидная смола М-60 в расчете 10% от веса абс. сухой стружки, а в качестве отвердителя — хлористый аммоний. Указанные компоненты после их смешивания наносились на стружку в лабораторном смесителе.

Формование стружечных пакетов осуществлялось на лабораторной формирующей установке. Для получения пакета с ориентированной стружкой использовалось смонтированное на установке ориентирующее устройство механического действия. Оно состояло из короба, в котором вращались 4 оси с параллельно расположенными дисками, закрепленными через равные промежутки. Кроме того, несложное устройство для подъема ориентатора обеспечивало определенное расстояние между низом ориентатора и поверхностью формируемого пакета.

Более длинная стружка при формировании пакета ориентировалась лучше, что придало плитам первой партии большую анизотропность.

Площадь пакетов 800×800 мм. Подпрессовка их осуществлялась при удельном давлении 10—15 кгс/см². Прессование древесностружечных плит номинальной плотностью

0,70 г/см³ осуществлялось на 250-тонном гидравлическом прессе Д 2434 при температуре обогревательных плит 160°C по трехступенчатому режиму с временем прессования 0,55 мин/мм толщины готовой плиты. Номинальная толщина изготавливаемых плит была 20 мм. Плиты после прессования выдерживались в лаборатории не менее 5 суток, после чего они обрезались по формату 615×785 мм. Всего было изготовлено 24 плиты с ориентированной стружкой и 7 — с неориентированной. В каждом варианте опыта было исследовано по 28 образцов. Всего испытано около 500 образцов.

Исследование анизотропии первой партии плит проводилось на кафедре конструкционных материалов Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова, а второй — в лаборатории новых древесных материалов Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР.

Из каждой плиты с ориентированными частицами вырезались образцы под углом $\alpha = 0, 15, 30, 45, 60, 75$ и 90° к направлению преимущественной ориентации древесных частиц. Ультразвуковые импульсные испытания проводились по разметке до вырезки образцов.

Относительная погрешность определения динамического модуля упругости (погрешность косвенных измерений) определялась геометрической суммой относительных погрешностей измеряемых величин и составляла для вибрационного метода 0,61%. Сравнение определения величины модуля упругости, полученного по результатам ультразвуковых импульсных испытаний $E_{у.з.}$, с модулем упругости, определенным вибрационным способом $E^{прод. \text{ вибр.}}$, проводилось методами математической статистики.

Как видно из рис. 3, характер распределения ошибки ультразвуковых импульсных испытаний подчиняется законам нормального распределения. Методами математической статистики доказано, что относительная погрешность определения значений $E_{у.з.}$ носит случайный характер и не выходит за пределы 5%.

Древесностружечная плита является композиционным материалом, но в связи с тем, что размеры древесных частиц малы, было выдвинуто предположение, что в плоскости пласти ее можно рассматривать как сплошную среду. В этом случае древесностружечную плиту с ориентированными частицами можно отнести к квазиотомогенным ортотропным материалам.

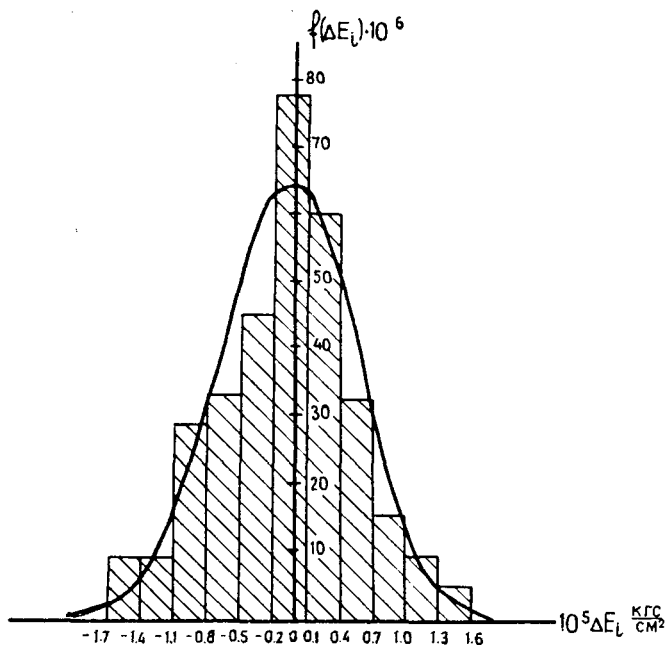


Рис. 3. Распределение ошибки определения модуля упругости по результатам ультразвуковых импульсных испытаний.

Для плоской задачи упругие свойства ортотропной плиты (пластины) определяют четыре постоянные. Если за исходные принять $E_0 = E_x$, $E_{90} = E_y$ и E_{45} , которые определяются экспериментально, то формулу для определения упругих постоянных под углом α к оси симметрии материала можно записать так:

$$E_\alpha = \frac{E_0}{\cos^4 \alpha + b \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha}, \quad (10)$$

$$\text{где } b = \frac{E_0}{E_{45}} - \frac{1+c}{4}; \quad c = \frac{E_0}{E_{90}};$$

E_α , E_0 , E_{90} и E_{45} — значение модуля упругости под углами $\alpha = 0, 45$ и 90° к направлению ориентации стружки.

Формула (10) выведена для частного случая одноосного

напряженного состояния. В основе ее лежит положение о том, что изменение упругих характеристик ортотропного тела в зависимости от ориентировки усилия в материале аппроксимируется формулами преобразования компонентов тензора четвертого ранга при повороте осей координат [6]. Формула (10) может служить для проверки экспериментальных данных, если структура материала и его схема симметрии установлены. При получении результатов экспериментов с достаточно высокой точностью, формулой (10) можно воспользоваться для экспериментальной проверки гипотезы о квазигомогенности и ортотропности материала, схема симметрии которого неизвестна.

Высокая степень точности при определении упругих постоянных вибрационным и ультразвуковым импульсным методом позволяет проверить возможность отнесения древесностружечных материалов с ориентированными частицами к ортотропным средам.

На рис. 4 приведены графики зависимости значений модуля упругости, определенного по результатам вибрационных и ультразвуковых импульсных испытаний, от угла наклона линии действия сил к направлению преимущественной ориентации стружки. На каждом графике построена теоретическая кривая, вычисленная согласно формуле (1). На теоретическую кривую нанесены экспериментальные значения для углов $\alpha = 0, 15, 30, 45, 60, 75$ и 90° .

Как видно из рис. 4, графики, построенные по результатам вибрационных и ультразвуковых импульсных испытаний, идентичны для обеих партий плит. Это подтверждает возможность применения ультразвукового импульсного метода для оценки анизотропии древесностружечных плит из ориентированных древесных частиц. Экспериментальные данные во всех случаях довольно точно согласуются с теоретически рассчитанными кривыми.

Таким образом, для обеих партий анизотропных древесностружечных плит подтверждается предположение о том, что к анизотропным в плоскости пласти древесностружечным плитам применима расчетная схема ортогональной симметрии упругих свойств. Отсюда можно сделать вывод о том, что древесностружечную плиту с ориентированными частицами в плоскости пласти можно считать квазигомогенной и ортотропной. В этом случае определение значений упругих постоянных различных партий древесностружечных плит мож-

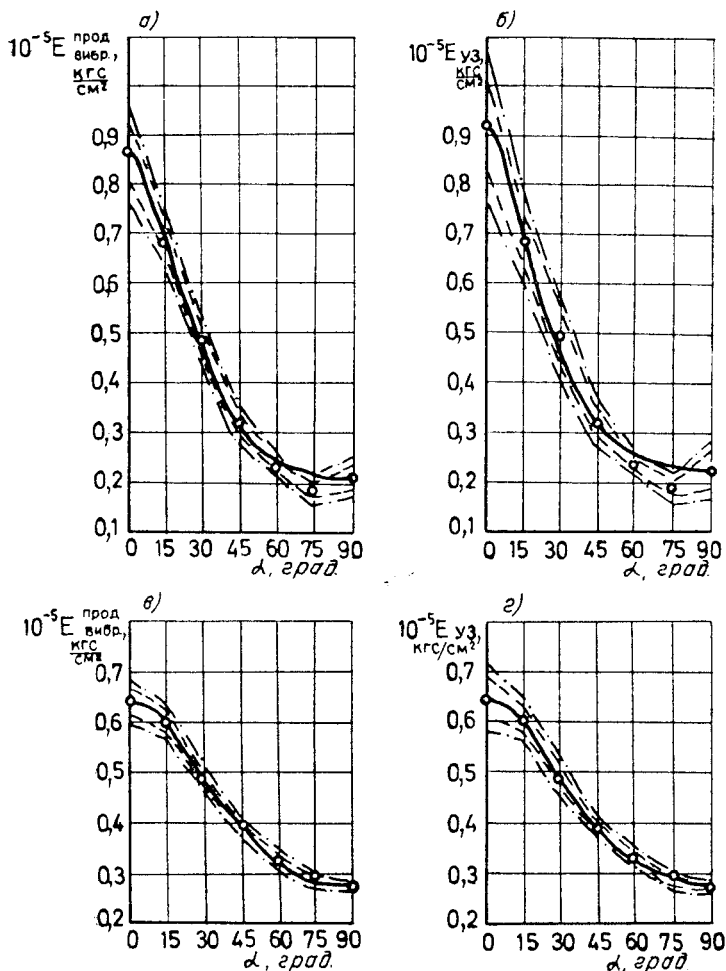


Рис. 4. Графики зависимости величины модуля упругости, определенного по результатам вибрационных и ультразвуковых импульсных испытаний от угла наклона линии действия сил: а и б — первая партия плит; в и г — вторая партия плит; ——— кривая, построенная по формуле (1); ○ экспериментальные значения; — — — верхняя и нижняя границы для среднего значения при 5%-ном уровне значимости; — — — верхняя и нижняя границы для среднего значения при 0,2%-ном уровне значимости.

по проводить при помощи графиков, построенных по результатам испытаний упругих свойств под углами $\alpha=0, 45$ и 90° .

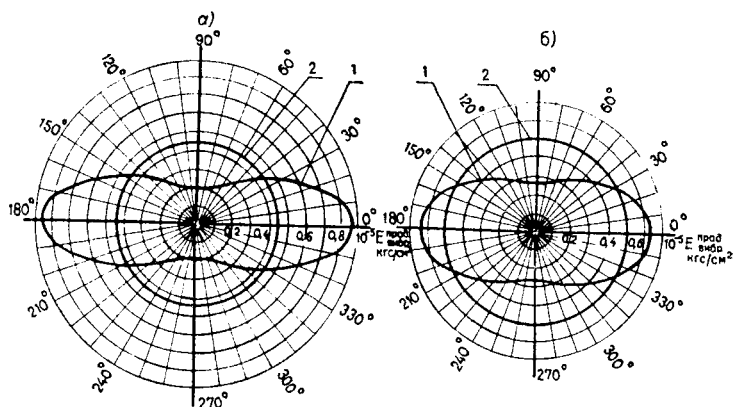


Рис. 5. Графики зависимости величины модуля упругости от угла наклона линии действия сил в полярной системе координат:

a — первая партия плит; b — вторая партия плит; 1 — древесностружечные плиты с ориентированными частицами; 2 — древесностружечные плиты с неориентированными частицами.

На графиках, приведенных на рис. 5, хорошо прослеживаются различия в характере анизотропии упругости первой и второй партии плит. Для большей наглядности графики построены в полярной системе координат. Изменение характеристик прочности ортотропного тела в зависимости от ориентировки усилия в материале, также аппроксимируется формулами преобразования компонентов тензора четвертого ранга. Тензорные формулы, описывающие анизотропию характеристик прочности, вытекающие из инвариантного критерия прочности в форме полинома четвертой степени, аналогичны тем, которые применяются для характеристик упругой деформативности анизотропных тел.

В частном случае одноосного напряженного состояния предел прочности под углом α к оси симметрии можно вычислить из выражения вида:

$$\sigma_{b\alpha} = \frac{\sigma_{b_0}}{\cos^4 \alpha + b \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha}, \quad (11)$$

$$\text{где } c = \frac{\sigma_{b_{01}}}{\sigma_{b_{90}}}; \quad a = \frac{\sigma_{b_0}}{\sigma_{b_{45}}}; \quad b = a - \frac{1+c}{4};$$

$b_{b_0}, \sigma_{b_{01}}, \sigma_{b_{90}} \text{ и } \sigma_{b_{45}} —$

значения предела прочности под углами $\alpha=0, 45$ и 90° к направлению ориентации стружки.

Графики, построенные по результатам исследования анизотропии прочности и тензориальной формуле (11, рис. 6), аналогичны графикам исследования анизотропии упругости. Так же, как и при исследовании анизотропии упругих характеристик, экспериментальные данные довольно точно согласуются с теоретически рассчитанными кривыми. Следовательно, построив по тензориальной формуле (11) и результатам экспериментов графики изменения предела прочности в за-

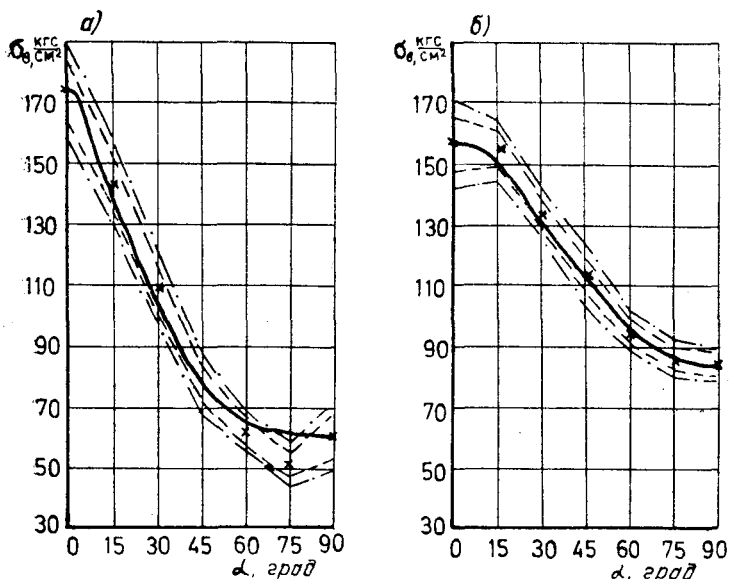


Рис. 6. Графики зависимости предела прочности от угла наклона линии действия сил:

a — первая партия плит; b — вторая партия плит; ——— кривая, построенная по формуле (2); x — экспериментальные значения; — — — верхняя и нижняя границы для среднего значения при 5%-ном уровне значимости; — — — верхняя и нижняя границы для среднего значения при 0,2%-ном уровне значимости.

висимости от направления усилия относительно ориентации древесных частиц, можно определить величину предела прочности материала в любом направлении. Одинаковый четвертый ранг тензоров, одинаковая физическая размерность и одинаковая форма записи упругих характеристик и показателей прочности ортотропных материалов позволяют предположить наличие связи между ними.

Проведенные с помощью тензора упругости и тензора прочности ортотропного тела [6] подсчеты значений величины связи в плоскости плиты показали, что при различных ориентациях усилия относительно оси наибольшей прочности материала эти значения близки между собой. В связи с тем, что исследовалась связь между случайными величинами и, следовательно, сам показатель связи также являлся случайной величиной, для анализа связи воспользовались аппаратом математической статистики. При этом определяли коэффициенты корреляции и уравнения линейной регрессии для групп образцов, с углами ориентации частиц 0, 15, 30, 45, 60, 75 и 90° и отдельной группой образцов с неориентированными частицами, после чего проводили расчет коэффициента корреляции и уравнения линейной регрессии для всех образцов партии.

В работе [7] приведены графики связи между пределом прочности σ_b и модулем упругости E для отдельных групп образцов. Как видно из этих графиков, между E и σ_b существует линейная связь с высоким коэффициентом корреляции. На рис. 7 приведен объединенный график связи между E и σ_b для всех образцов первой партии плит. Сравнение уравнений линейной регрессии и коэффициентов корреляции общей выборки с частными (рис. 8) показывает, что они отличаются друг от друга. Однако проведенный регрессионный анализ показал, что отклонение уравнений регрессии частных выборок от общей выборки является случайным и их можно считать выборкой из одной генеральной совокупности.

Связь между анизотропией упругих характеристик и анизотропией прочности дает возможность проведения неразрушающих испытаний анизотропии прочности с помощью графиков связи, построенных по результатам вибрационных

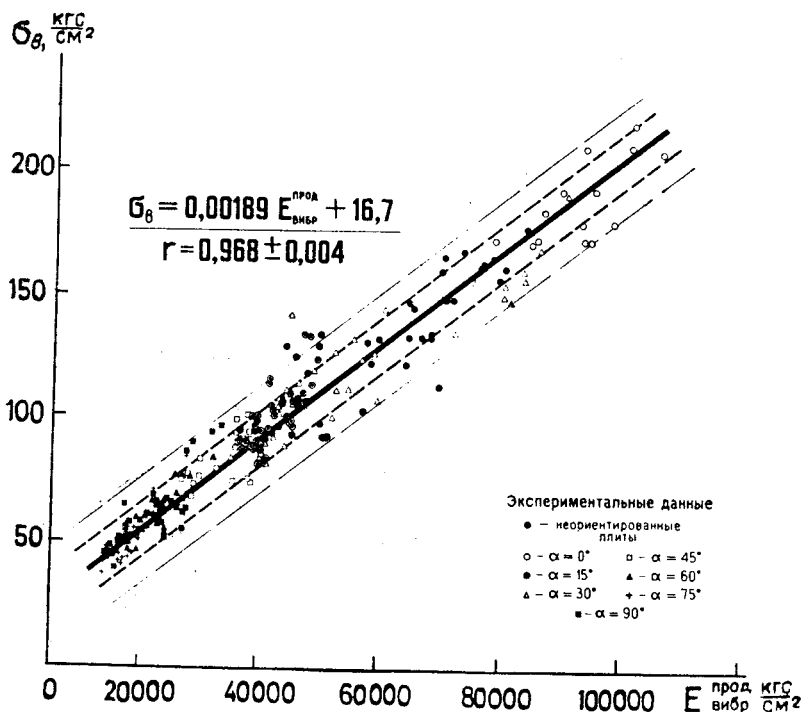


Рис. 7. Зависимость между $E_{\text{вибр. прод.}}$ и σ_b первой партии древесностружечных плит: ——— линия регрессии; — — — доверительный интервал при 31,7%-ном уровне значимости; — — — доверительный интервал при 5%-ном уровне значимости

(рис. 7) или ультразвуковых импульсных испытаний (рис. 9). Как видно из приведенных графиков, связь между анизотропией прочности описывается уравнением линейной регрессии с коэффициентом корреляции $r = 0,932 \div 0,968$.

Исследования связи между анизотропией прочности и анизотропией упругих характеристик второй партии плит показали, что у этих плит имеется тесная линейная связь.

Обобщая сказанное, следует отметить:

1. Древесностружечные плиты с повышенным сопротивлением вдоль направления ориентации древесных частиц могут

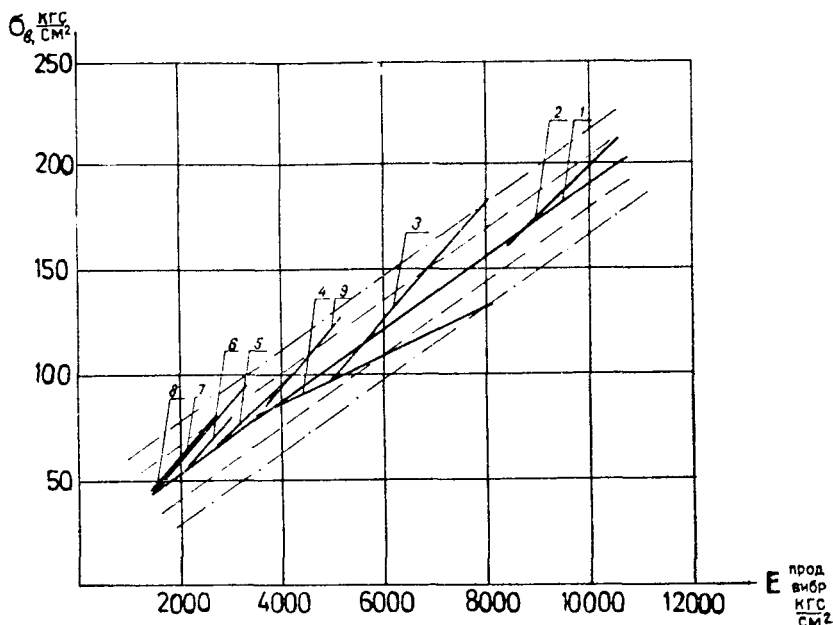


Рис. 8. Объединенный график связи между модулем упругости и пределом прочности древесностружечных плит первой партии в широком и узком диапазонах варьирования величин: 1 — линия регрессии общей выборки; 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 — линии регрессии образцов, вырезанных под углами $\alpha=0, 15, 30, 45, 60, 75$ и 90° , соответственно; 9 — линия регрессии для образцов плит с неориентированными частицами.

явиться перспективным конструкционным материалом. Анализ показывает, что древесностружечные плиты с ориентированными древесными частицами в трехслойных конструкциях, работающих на изгиб, позволяют значительно снизить материалоемкость изделий.

2. Разработаны методы исследования анизотропии древесностружечных плит с ориентированными частицами путем:

- растяжения образцов в плоскости пласти плиты;
- вибрационных испытаний образцов;
- ультразвуковых импульсных испытаний целых плит при одностороннем доступе к изделию.

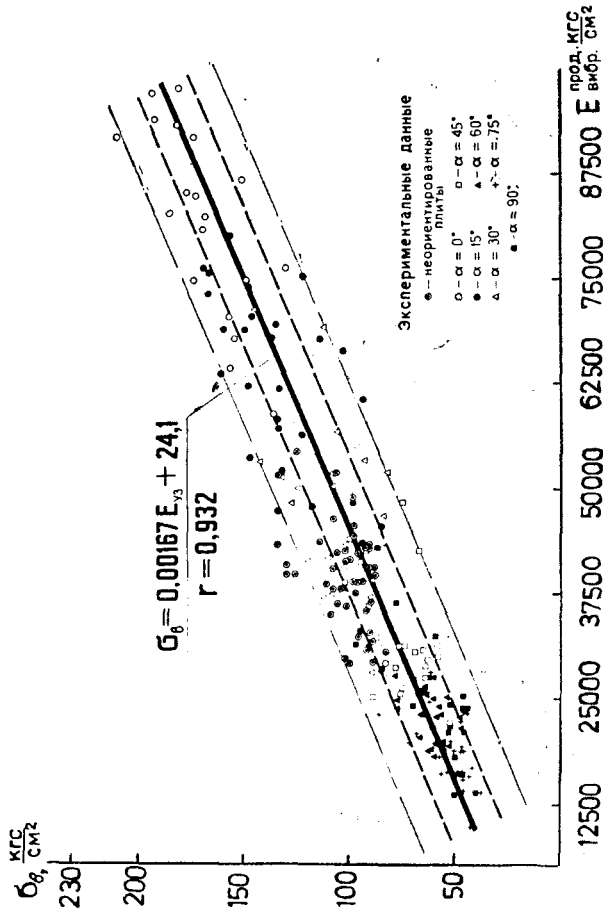


Рис. 9. Зависимость между величинами E_{y3} и σ_0 первой партии древесностружечных плит:
 — линия регрессии;
 — — — доверительный интервал при 31,7% уровне значимости;
 - · - · - доверительный интервал при 5%-ном уровне значимости.

3. В результате проведенных исследований установлено, что в древесностружечных плитах с ориентированными частицами не происходит нарушения расчетной схемы ортогональной симметрии исходной древесины, т. е. они являются ортотропными материалами, и характер анизотропии прочности и упругости описывается одинаковыми тензориальными формулами.

4. Установлена тесная корреляционная связь между модулем упругости E и пределом прочности σ_b , определенном при статическом растяжении образцов в плоскости пласти плиты (коэффициент корреляции $r=0,932 \div 0,968$). Это дает возможность исследовать анизотропию прочности плит по результатам ультразвуковых импульсных испытаний при одностороннем доступе к плите и конструкции из нее без вырезки образцов.

5. Результаты исследований дополняют имеющиеся сведения о древесностружечных плитах как конструкционном материале, что может способствовать расширению сферы их применения.

Исследование реологических характеристик плит*

В состав древесностружечной плиты входят анизотропные древесные частицы и искусственные смолы. В зависимости от расположения древесных частиц по отношению к направлению линий действия внешних сил меняется величина сопротивления плиты к воздействию прилагаемых нагрузок.

В работах [8, 9] описаны исследования упругоэластического состояния древесностружечных плит при ориентации древесных частиц поперек волокон по отношению к внешней силе. Целью данной работы является освещение влияния на реологические коэффициенты древесностружечных плит различной ориентации древесных частиц и направлений действия нагрузок.

Рассмотрим вначале вопросы теории деформирования древесностружечных плит.

При описании реологических свойств древесностружечных плит следует использовать дифференциальное уравнение де-

* Написана Г. В. Кларом, Б. И. Огарковым.

формирования древесных материалов с учетом ползучести [10]:

$$\begin{aligned} n_p E_M \frac{d\xi}{dt} + \beta E_d \left(\frac{t}{n_p} \right)^{\beta-1} \cdot \xi = \\ = n_p \frac{d\sigma}{dt} + \beta \left(\frac{t}{n_p} \right)^{\beta-1} \cdot \sigma, \end{aligned} \quad (12)$$

где ξ — относительная деформация;

σ — напряжение;

t — время;

β — время релаксации;

n_p — коэффициент формы кривой ползучести;

E_M — мгновенный модуль упругости;

E_d — длительный модуль упругости.

Если плита растягивается или сжимается постоянной нагрузкой ($\sigma = \text{const}$), то, интегрируя дифференциальное уравнение (12), можно найти зависимость между временем и относительной деформацией:

$$\xi = \xi_0 + \xi_0 \left(\frac{E_M}{E_d} - 1 \right) \left[1 - e^{-\frac{E_d}{E_M} \left(\frac{t}{n_p} \right)^{\beta}} \right], \quad (13)$$

где ξ_0 — начальная деформация;

e — основание натурального логарифма.

Таким образом, при одноосном растяжении или сжатии древесных материалов относительная деформация складывается из начальной упругой деформации и деформации ползучести, возрастающей со временем.

Если ввести обозначение

$$n^{\beta} = n_p^{\beta} \frac{E_M}{E_d}, \quad (14)$$

то выражение (13) примет вид:

$$\xi = \xi_0 + \xi_0 \left(\frac{E_M}{E_d} - 1 \right) \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{n} \right)^{\beta}} \right] = \xi_0 + \xi_n. \quad (15)$$

Постоянная n может быть названа временем релаксации деформации (временем деформации ползучести). Она показывает то время, за которое деформация ползучести достигает около 2/3 своей наибольшей величины, ибо при $t=n$

$$\xi_n = \xi_0 \left(\frac{E_m}{E_d} - 1 \right) \left(1 - \frac{1}{e} \right) = (\xi_n)_{\max} \left(1 - \frac{1}{e} \right) \approx \approx \frac{2}{3} (\xi_n)_{\max}. \quad (16)$$

Итак, деформация ползучести зависит от времени, начальной упругой деформации и реологических коэффициентов: мгновенного модуля упругости E_m , длительного модуля упругости E_d , времени релаксации n и коэффициента формы кривой ползучести β .

Процесс ползучести древесностружечных плит проходит длительное время (несколько суток) даже в условиях постоянства температуры и влажности окружающей среды. В связи с этим большой практический интерес представляет разработанный ранее [11] ускоренный метод нахождения реологических характеристик древесных материалов, позволяющий определить их из эксперимента, протекающего не более часа. Ускоренный метод использовался нами ранее для нахождения реологических коэффициентов древесностружечных плит, продольные оси ориентированной стружки, в которых были расположены перпендикулярно к прилагаемой растягивающей силе [12, 13].

Ускоренный метод заключается в следующем. Образцы с поперечным сечением 20×10 мм растягивались на прессе постоянной силой. На боковых гранях образца наклеивались датчики с базой 20 мм и сопротивлением 200 ом. Относительные упругие деформации ползучести измерялись с помощью прибора АИ-1 (измеритель статической деформации) с ценой деления 10^{-5} (относительных единицах). В начальный момент замерялась упругая деформация, а затем через каждую минуту — деформация ползучести.

Если в уравнение (15) подставить значения относительных деформаций ϵ_1 и ϵ_2 , соответствующих моментам времени t_1 и t_2 , то

$$f = \frac{\xi_1 - \xi_0}{\xi_2 - \xi_0} = \frac{1 - e^{-\frac{t_1^\beta}{n^\beta}}}{1 - e^{-\frac{t_2^\beta}{n^\beta}}}. \quad (17)$$

Числитель и знаменатель правой части выражения (17) можно разложить в ряд; при малых отношениях времени t

к времени релаксации деформации p в этих рядах можно отбросить члены второго порядка малости. Тогда

$$f = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^\beta. \quad (18)$$

Отсюда, после логарифмирования получим формулу для определения коэффициента формы кривой ползучести:

$$\beta = \frac{\ln f}{\ln \frac{t_1}{t_2}}. \quad (19)$$

Так как время релаксации деформации у древесных материалов составляет несколько часов, то для определения коэффициентов β можно использовать экспериментальные данные по определению деформации ползучести в промежутке времени от 1 до 5 минут. Комбинируя между собой различные значения времени в этом интервале, можно получить, например, десять значений β и взять их среднее значение.

Теперь перейдем к нахождению времени релаксации деформации p . Если ввести обозначение

$$c^* = e^{-\frac{1}{n^\beta}}, \quad (20)$$

то формула (17) примет вид:

$$f = \frac{1 - (c^*)^{t_1^\beta}}{1 - (c^*)^{t_2^\beta}}. \quad (21)$$

Примем $t_2=1$ часу, тогда

$$f(1 - c^*) = 1 - (c^*)^{t_1^\beta}. \quad (22)$$

При определенном значении t_1 , уравнение (22) можно решить графически путем относительно c^* . Мы брали, например, $t_1=2$ минуты=0,0333 часа.

Найдем значение n

$$n^\beta = \frac{1}{\ln c^*} = c \quad (23)$$

и возьмем десятичный логарифм от обеих частей этого уравнения. Тогда

$$\beta \lg n = \lg c_1, \quad (24)$$

$$\lg n = \frac{\lg c_1}{\beta}. \quad (25)$$

Используя таблицу антилогарифмов, получим время релаксации деформации n .

Выражение для определения мгновенного и длительного модуля упругости определим из отношения напряжения к начальной упругой деформации

$$E_M = \frac{\sigma}{\xi_0}. \quad (26)$$

Уравнение (15) можно записать так:

$$\xi = \xi_0 + \xi_0 \left(\frac{E_M}{E_d} - 1 \right) \left[1 - e^{-(c^*)t^\beta} \right]. \quad (27)$$

Беря значение относительной деформации $\xi_{\text{час}}$ для времени $t=1$ часу, получим

$$\frac{\xi_{\text{час}} - \xi_0}{\xi_0} = \left(\frac{E_M}{E_d} - 1 \right) (1 - c^*), \quad (28)$$

отсюда

$$\frac{E_M}{E_d} = 1 + \frac{\frac{\xi_{\text{час}} - \xi_0}{\xi_0}}{1 - c^*}. \quad (29)$$

Зная отношение $\frac{E_M}{E_d}$ и значение (26) для мгновенного модуля упругости, находим значение длительного модуля упругости E_d .

Для экспериментов были взяты древесностружечные плиты с ориентированной стружкой: однослойные и трехслойные с различным расположением древесных частиц по отношению к растягивающей силе.

Для 1-й, 2-й и 3-й партий образцов из однослойных плит и наружных слоев образцов из трехслойных плит 5-й и 6-й партий использовалась стружка, изготовленная на станке ДС-3. Средние размеры ее $30 \times 4 \times 0,4$ мм. Для 4-ой партии образцов однослойных плит использовались стружки—отходы деревообрабатывающих станков размером $16 \times 8 \times 0,4$ мм. Расход смолы марки МФ-17 при перемешивании ее со стружкой был 8%. Прессование плит проводилось при температуре плит пресса $135-140^\circ$ и удельном давлении

20 кгс/см². Плотность плит находилась в пределах 0,75—0,78 г/см³.

Вследствие большой разницы в пределе прочности при различном направлении древесных частиц брались различные растягивающие силы, а следовательно и напряжения, чтобы обеспечить приблизительно одинаковую величину во всех случаях отношения растягивающего напряжения к пределу прочности. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Реологические показатели древесностружечных плит

№ партии образцов	Расположение стружки	Растягивающие напряжения σ , кгс/см ²	Мгновенный модуль упругости, E_m , кгс/см ²	Длительный модуль упругости, E_d , кгс/см ²	Время релаксации деформации, п, час	Коэффициент изменения формы, β
Плиты однослойные						
1	ориентированы вдоль	125	113 980	97 090	3,1	0,32
2	ориентированы поперек	25	15 250	10 530	2,9	0,28
3	неориентированы	50	47 050	36 390	3,4	0,30
4	» »	25	25 360	18 560	1,2	0,26
Плиты трехслойные *						
5	ориентированы вдоль	100	67 310	59 860	1,3	0,26
6	ориентированы поперек	50	24 730	17 520	1,3	0,29

* Средний слой — стружки-отходы, составляют 50%, не-ориентированы.

Так как модуль упругости является одним из важных показателей расчета конструкций, то приведены результаты его статистической обработки (табл. 2), свидетельствующие о достаточно высоком показателе точности опыта.

Результаты исследований показали следующее. Вследствие того, что древесные частицы являются анизотропными телами, реологические характеристики древесностружечных плит зависят от направления ориентации древесных частиц по отношению к направлению действующей силы. Из полу-

**Результаты статистической обработки значений модулей упругости
мгновенного (E_m) и длительного (E_d)**

№ партии образцов	Расположение стружки	Мо- дуль упру- гос- ти	Статистические величины					п
			M кгс/см ²	$\pm m$ кгс см ²	$\pm \sigma$ кгс см ²	χ , %	p , %	
Плиты однослойные								
1	ориентированы вдоль	E_m	113980	465	2545	2,2	0,5	30
	» »	E_d	97090	845	4786	4,9	0,9	30
2	ориентированы поперек	E_m	15250	121	660	4,3	0,8	30
	» »	E_d	10530	166	906	8,5	1,5	30
3	неориентированы	E_m	47050	282	1545	3,3	0,6	30
	» »	E_d	36390	454	2486	6,8	1,3	30
4	неориентированы	E_m	25360	414	2264	8,8	1,6	30
	» »	E_d	18560	292	1595	8,6	1,5	30
Плиты трехслойные *								
5	ориентированы вдоль	E_m	67310	839	4587	6,8	1,2	30
	» »	E_d	59860	925	5057	8,3	1,6	30
6	ориентированы поперек	E_m	24730	321	1753	7,1	1,3	30
	» »	E_d	17520	273	1494	8,5	1,5	30

* Средний слой — стружки-отходы составляют 50%, неориентированы.

ченных данных можно также заключить, что больше всего от направления действия силы к направлению ориентации древесных частиц плиты зависят мгновенный модуль упругости и длительный модуль упругости. В меньшей степени эта зависимость проявляется для времени релаксации деформации. Коэффициент формы кривой ползучести можно считать независимым от направления действия силы к направлению ориентации древесных частиц.

В заключение следует отметить, что экспериментально-теоретическими исследованиями были выявлены особенности изменения анизотропии характеристик древесностружечных плит в зависимости от направления ориентации древесных частиц и направления приложения силы. При этом установле-

на тесная связь между модулем упругости и прочностью плит и возможность использовать неразрушающие методы их испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев В. И. К расчету на прочность и жесткость некоторых узлов и элементов мебели. В сб.: «Исследование прочности и жесткости мягкой и корпусной мебели, корабления и качества пиломатериалов, устойчивости рамных и дисковых пил», вып. 35. М., 1970, (МЛТИ).

2. Черкасов Г. С., Пильцер М. Ш. Физико-механические свойства древесностружечных плит с ориентированными частицами. Реф. инф. ВНИПИЭИлеспрома, «Механическая обработка древесины», 1970, № 12.

3. Ашкенази Е. К., Гершберг М. В., Абашин Э. Я., Броун В. И. Неразрушающие методы оценки механических свойств древесины. Тезисы Всесоюз. конф. по современным проблемам древесиноведения. Минск, 1971.

4. Голубов А. И. Исследование неразрушающего способа контроля качества древесностружечных плит. Автореферат канд. дисс. М., 1970.

5. Гершберг М. В. Исследование физико-механических свойств древесины вибрационным методом. Тр. ЦНИИГС, Л., 1962, вып. 36.

6. Акшенazi Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. Л., «Машиностроение», 1972.

7. Броун В. И., Связкина Т. М. Исследование анизотропии древесностружечных плит с ориентированными древесными частицами. Материалы научно-техн. конф. ЛЛТА им. С. М. Кирова, Л., 1971.

8. Огарков Б. И. Теория деформирования древесных материалов с учетом ползучести. В сб.: «Исследование в области древесины и древесных материалов». Красноярск, 1967.

9. Клар Г. В., Огарков Б. И. Исследование упругих и вязких характеристик древесностружечных плит. В сб.: «Исследования в области древесины и древесных материалов». Красноярск, 1967.

10. Огарков Б. И. Теория упругого последствия древесины. Журнал технической физики. 1957, т. 27, вып. 5.

11. Огарков Б. И., Стешинская И. М. Ускоренный метод определения упруго-вязких деформаций материалов. «Известия высших учебных заведений. Машиностроение». 1970, № 7.

12. Стешинская И. М., Огарков Б. И. Методика определения реологических характеристик древесностружечных плит. В сб.: «Механизация сельского хозяйства». Материалы научн. конф. 1970 г. Воронеж, 1971, вып. IV.

13. Клар Г. В., Огарков Б. И., Стешинская И. М. Упруго-эластическое состояние ориентированных древесностружечных плит. В сб.: «Исследования в области древесины и древесных пластин». Красноярск, 1971.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПАКЕТА ПРИ ПРЕССОВАНИИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Прочностные показатели стружечных плит в момент снятия внешнего давления и размыкания плит пресса характеризуются не только прочностью связи стружек в пакете, но и силами внутренних напряжений, возникающих в плите. Силы внутренних напряжений в этот момент в основном определяются избыточным давлением парогазовой смеси в пакете и его упругим восстановлением.

Определение продолжительности выдержки при прессовании пакетов без учета этих сил может привести к резкому снижению качества плит или даже к браку. Поэтому настоящая работа представляет собой исследование упругих сил и деформативности пакета в процессе прессования как факторов, вызывающих расслоение, понижение прочности и разнотолщинность плит.

Деформативность и изменение упругих напряжений в древесностружечной массе в процессе прессования определяются физическим состоянием ее составляющих. Физическое состояние стружечно-клеевого пакета характеризуется его температурой и температурой стеклования составляющих его компонентов. Считается, что при обычных температурах прессования компоненты стружечно-клеевой смеси находятся в стеклообразном и высокоэластическом состоянии [1]. В связи с этим в ней в это время развиваются упругие, высокоэластические и вынужденно-эластические деформации.

Последние два вида деформаций обладают релаксационным характером, приводящим к снижению упругих сил пакета в процессе прессования, оказывающим сопротивление внешнему давлению со стороны плит пресса. Второй основной причиной снижения упругих сил предварительно сжатого пакета является его усушка.

Исследование изменений свойств стружечных плит в процессе прессования производилось на установке, изготовленной на базе испытательной машины УМ-5. Отличительной особенностью этой установки по сравнению с ранее изготовленной [2] явилось устройство вертикальных ограничителей

толщины пакета. Крепление ограничителей толщины к нижней траверсе машины осуществлялось таким образом, чтобы не было концентрации напряжений на площадках соприкосновения и исключалось деформирование мест соединения. Сечение их было выбрано так, чтобы нагрузка на них не превышала 30—40 кгс/см². Для исключения неплотного соприкосновения опорные поверхности ограничителей толщины и верхней траверсы тщательно пришабровались.

Опыты проводились на однослойных плитах толщиной 20 мм. Пакет формировался круглой формы диаметром 105 мм из сосновой стружки фракции 10/1 от станков типа ДС-2. Стружка смешивалась с 10% мочевино-формальдегидной смолы М-60 в пересчете на вес сухого вещества. Отвердителем служил 10%-ный раствор хлористого аммония в количестве 1% сухого вещества от веса жидкой смолы.

Нашей целью было установить влияние основных факторов на величину упругих сил и деформативность пакета при горячем прессовании. Под деформативностью пакета подразумевался процесс его уплотнения вследствие сжатия, усушки и упругого восстановления, происходящего непосредственно после разъема плит пресса. В нашем случае переменными факторами были: время прессования, плотность плит, начальное влагосодержание стружечно-клеевой смеси и температура плит пресса. Наряду с этим изучалось влияние «парового удара» и скорости уплотнения на упругость и деформативность пакета.

Сформированный и подпрессованный до определенной толщины стружечный пакет укладывался между горячими плитами установки и центрировался. Включался двигатель испытательной машины, и пакет уплотнялся до толщины, определяемой высотой ограничителей. Усилие, развиваемое испытательной машиной во время уплотнения, полностью воспринималось упругим элементом силоизмерительного датчика и последовательно соединенным с ним образцом.

При посадке верхней траверсы на ограничители толщины двигатель испытательной машины автоматически выключался, удельное давление на пакет при этом достигало максимального значения. После этого скорость деформирования пакета становилась равной нулю и упругое сопротивление его снижалось. В это время давление, развиваемое испытательной машиной, распределялось между пакетом и ограничителями.

На характер деформирования тела и возникающие в нем напряжения значительное влияние оказывает фактор време-

ни силового воздействия. Для исключения этого фактора и создания практически одинаковых условий при проведении испытаний нагружение осуществляют или при постоянной скорости деформирования, или при постоянной скорости приложения нагрузки [3]. Нами принято первое условие, поэтому участок диаграммы постоянного давления, обычно наблюдаемый при прессовании, был исключен. В нашем случае заданная толщина пакета получается одновременно с максимальным значением внешнего давления.

Изменение упругих напряжений и толщины пакета в процессе прессования регистрировались через силоизмерительный датчик и датчик перемещения магнитоэлектрическим осциллографом с промежуточным усилением сигнала. Деформация при нагружении упругого элемента силоизмерительного датчика не превышала 0,02 мм, что по отношению к деформации пакета при его уплотнении с начальной толщиной 40 мм составляет не более 0,1%. При определении усилий с точностью до 0,5 деления шкалы осциллографа средняя погрешность измерения давления на пакет была 0,5—0,7%.

Мгновенный модуль упругости определялся по мгновенной деформации распрессовки пакета и соответствующему ей упругому усилию. Усушка пакета в процессе прессования вычислялась как разность деформаций от усушки и уплотнения пакета и деформаций от уплотнения при одинаковых условиях и постоянном давлении сжатия. Для получения деформации уплотнения без усушки прессование образцов производилось в закрытой прессформе со свободным перемещением верхней крышки. По методике было принято, что деформации уплотнения пакета в обоих случаях равны. Это возможно, если эластичность древесных частиц при изменении влажности практически не изменяется. Для выполнения этого условия предусматривалось, что количество удаляемой влаги при сушке пакета не превысит 3%.

Общее постоянное усилие на пакет при перемещении верхней головки в пределах 1,1 мм составляло 3250 н.

Образцы для определения усушки готовились из стружечной плиты, спрессованной холодным способом. Затем они обрабатывались на токарном станке до диаметра $95 \pm 0,1$ мм и калибровались по толщине. Номинальная толщина образцов была 20 мм, влажность 12%. Более подробно методика определения мгновенного модуля упругости и усушки пакета описана нами ранее [2].

Исследование влияния технологических факторов на силы упругости пакета в процессе прессования

При рассмотрении кривых (рис. 1) отчетливо наблюдаются три участка: уплотнение пакета до номинальной толщины, снижение упругого сопротивления пакета при неизменной толщине его и снятие внешнего давления. В начале уплотнения происходит только сближение частиц в пакете, и сопротивление его сжатию мало. При дальнейшем уплотнении сопротивление пакета сжатию поднимается практически с постоянной скоростью, т. е. наблюдается почти прямая зависимость между напряжением сжатия и деформацией пакета.

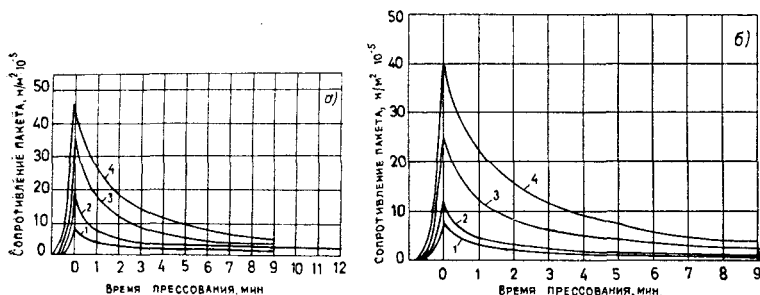


Рис. 1. Изменение упругого сопротивления пакета в процессе прессования древесностружечных плит без «парового удара» (а) и с применением «парового удара» (б) при различной плотности (γ), кг/м^3 : 1 — 500; 2 — 600; 3 — 700; 4 — 800. Влажность смеси (W) — 11,3%; скорость уплотнения пакета (V) — 20 мм/мин ; температура прессования (t) — 160°С; количество воды на 1 м^2 поверхности пакета (Q) — 150 г.

Из анализа представленных кривых установлено, что после достижения плотности пакета 450—550 кг/м^3 дальнейшее уплотнение его в основном происходит за счет деформации самих частиц (прямой участок кривых). Причем, чем больше плотность плит, тем раньше начинается такое уплотнение.

После достижения заданной толщины и максимального давления начинается участок снижения упругого сопротивления пакета. В начале этого участка (первые 2—3 мин.) происходит интенсивный прогрев пакета. В это время в результате ступенчатой конденсации пара зона повышенной влаж-

ности и температуры движется от промежуточных слоев пакета к середине. Вслед за этой зоной, с некоторым запаздыванием, идет зона изменения эластичности древесных частиц.

Далее вследствие ступенчатой конденсации пара и притока его в более глубокие слои, средние слои пакета прогреваются до температуры кипения воды под некоторым избыточным давлением. После этого начинается интенсивный процесс сушки.

В начальный период прессования уменьшение упругого сопротивления пакета происходит в основном за счет релаксации напряжений. Изменение напряжений в связи с усушкой и внутрипакетным уплотнением частиц по отношению к изменению общего напряжения составляет относительно небольшую величину.

Под внутрипакетным уплотнением понимается следующее: при сжатии пакета до толщины ограничительных прокладок напряжения воспринимается не всей плоскостью стружек, а их отдельными контактными площадками. На этих площадках возникают резкие пики напряжений, вызывающие местную ползучесть материала. В процессе ползучести и увеличения эластичности древесных частиц происходит внутрипакетное микроперемещение их относительно друг друга. Количество контактных площадок соприкосновения увеличивается, а напряжения, уменьшаясь, выравниваются. Частицы уплотняются в местах «новых» контактных связей. Уменьшение напряжений в ранее нагруженных контактных площадках стружек приводит к частичной распрессовке их в этих местах. Собственная пористость пакета снижается. Под этим термином следует понимать суммарный объем пор между древесными частицами, отнесенный к объему плиты. После прогрева пакета и закипания влаги в среднем слое кривые релаксации напряжений имеют более пологий вид. В это время на характер изменения упругих сил оказывает влияние и усушка пакета.

С уменьшением плотности древесностружечных плит величина упругого сопротивления пакета снижается (рис. 2). Для плит плотностью 500, 600 кг/м³ к концу прессования она становится незначительной. В то же время для плит относительно большой плотности (700—800 кг/м³) силы упругого сопротивления пакета сохраняются продолжительное время выше $3 \cdot 10^5$ н/м² и представляют опасность, т. к. могут вызвать расслоение плит. При неравномерной насыпке древесных частиц по площади ковра это явится одной из причин

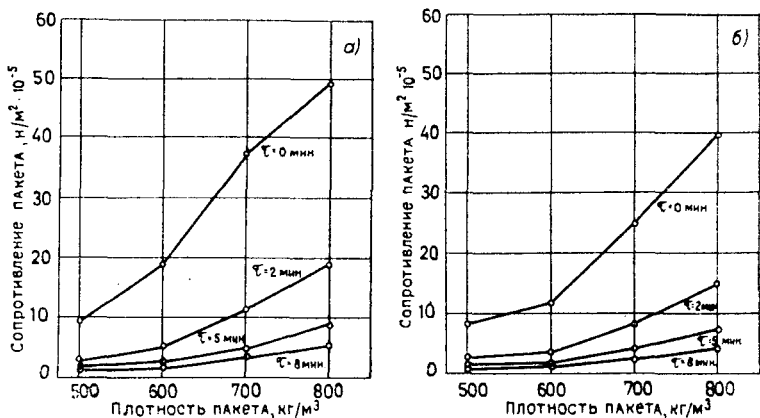


Рис. 2. Изменение упругого сопротивления пакета в процессе прессования древесностружечных плит в зависимости от плотности при различном времени выдержки τ ($W=11,3\%$, $V=20$ мм/мин; $t=160^\circ\text{C}$):

а) без «парового удара»; б) с использованием «парового удара», $Q=150$ г/м².

разнотолщинности древесностружечных плит. Последнее приводит к различной плотности плит по формату и, следовательно, к разной величине распрессовки после снятия внешнего давления.

В случае прессования древесностружечных плит с применением «парового удара» кривые упругого сопротивления пакета при одинаковых условиях обработки плит расположены ниже подобных кривых пакета, прессованного без увлажнения поверхности (рис. 2а и 2б). Максимальное значение удельного давления на пакет при его деформировании до номинальной толщины в этом случае тоже снижается.

Сравнивая кривые (рис. 2), легко видеть, что различие сил упругости для плит, прессованных с применением «парового удара» и без него, с увеличением их плотности растет. С течением времени эта разница уменьшается. Для плит плотностью 500, 600 кг/м^3 она становится к концу прессования совершенно незначительной.

Влияние «парового удара» на упругое сопротивление пакета объясняется ускорением его прогрева и увеличением эластичности частиц. Изменение эластичности древесных частиц, особенно поверхностных слоев, происходит за счет до-

полнительного увлажнения при повышенной температуре. В этом случае возможен переход компонентов стружечно-клеевой смеси в нецеллюлозной ее части из стеклообразного состояния в высокоэластическое. Если даже изменение влажности и температуры не приводят к изменению физического состояния компонентов смеси, то они все же, по-видимому, снижают предел вынужденной эластичности этих компонентов и тем самым способствуют уменьшению времени релаксации [4].

Влияние «парового удара» на снижение упругого сопротивления пакета, как было сказано выше, особенно заметно при большей плотности плит, когда предел вынужденной эластичности относительно высок. В этом случае при прессовании с «паровым ударом» дополнительное увлажнение и нагрев резко снижают этот предел и ускоряют переход от одних среднестатистических конформаций цепных молекул к другим [5, 6]. В процессе прессования влажность плит уменьшается, а эластичность древесных частиц падает. Поэтому с течением времени влияние «парового удара» на упругое сопротивление пакета снижается.

На упругое сопротивление пакета оказывает влияние также температура плит пресса (рис. 3). Исследования показывают, что с увеличением температуры прессования от 120 до 160°С упругое сопротивление пакета при прессовании уменьшается; однако при температуре 160—200°С влияние этого фактора на упругое сопротивление пакета менее заметно. Следует отметить, что температура прессования также оказывает влияние на величину необходимого давления при уплотнении пакета, но незначительное. Это объясняется тем, что за сравнительно короткое время уплотнения пакет не успевает прогреться и эластичность древесных частиц почти не меняется.

Заметное влияние на упругое сопротивление пакета оказывает также влажность стружечно-клеевой смеси (рис. 4). При ее повышении снижается как давление, необходимое для уплотнения пакета, так и упругие силы, развивающиеся в процессе прессования. Влага в пакете выполняет в данном случае роль не только ускорителя прогрева, но и роль пластификатора, разрыхляя тонкую структуру древесных частиц и уменьшая межмолекулярное взаимодействие.

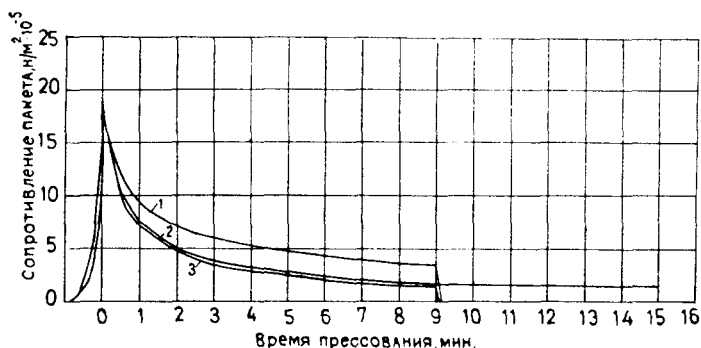


Рис. 3. Изменение упругого сопротивления пакета в процессе прессования в зависимости от температуры плит, °С: 1 — 120; 2 — 160, 3 — 200 ($\gamma=600 \text{ кг/м}^3$, $W=11,3\%$, $V=20 \text{ мм/мин}$).

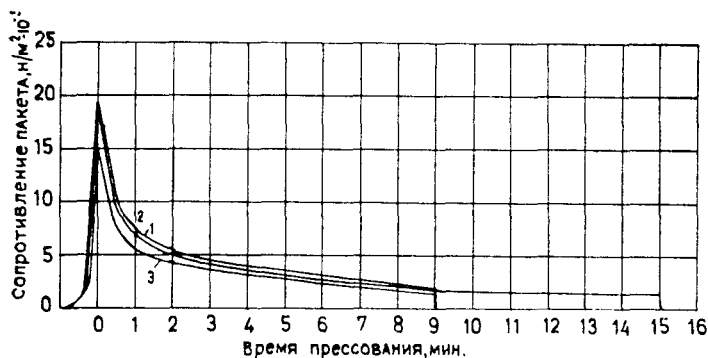


Рис. 4. Изменение упругого сопротивления пакета в процессе прессования в зависимости от начальной влажности стружечно-клеевой смеси, %:
1 — 9,0; 2 — 12; 3 — 15; ($\gamma=600 \text{ кг/м}^3$, $t=160^\circ \text{C}$, $V=20 \text{ мм/мин}$).

Значительное влияние на характер упругого сопротивления пакета оказывает скорость деформирования его при уплотнении (рис. 5). С ее увеличением давление сжатия пакета до номинальной толщины увеличивается. Так, при скорости уплотнения 20 мм/мин упругое сопротивление пакета уплотнению почти в 2 раза превышает сопротивление его при скорости 4 мм/мин . Однако после уплотнения пакета снижение упругих сил в процессе прессования происходит тем

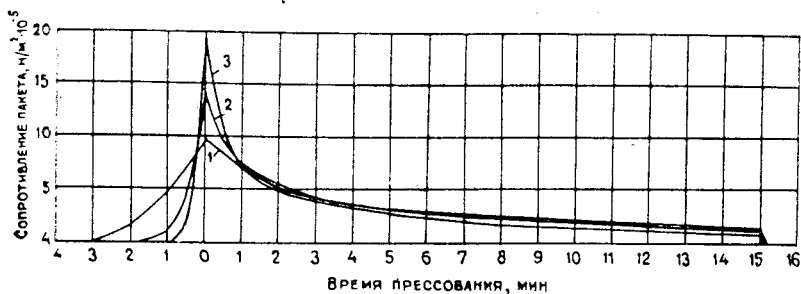


Рис. 5. Изменение упругого сопротивления пакета при прессовании древесностружечных плит в зависимости от скорости уплотнения, мм/мин: 1 — 4, 2 — 10, 3 — 20 ($\gamma=600$ кг/м³; $W=11,3\%$; $t=160^\circ\text{C}$).

быстрее, чем больше была скорость деформирования пакета при уплотнении. После 2—3-минутного прессования при условии значительной разности скоростей уплотнения абсолютное значение упругой силы становится тем меньше, чем выше была скорость уплотнения (кривая 3, 1).

При высокой скорости деформирования предварительно уплотненного пакета, когда время уплотнения частиц значительно меньше времени релаксации напряжений, стружечно-клеевая смесь должна вести себя как упругий материал. При очень малых скоростях деформирования, когда время релаксации напряжений мало по сравнению со временем уплотнения, материал представляется как высокоэластический [7, 8].

Однако при практически применяемых скоростях уплотнения пакета время релаксации напряжений сравнимо с временем уплотнения. Поэтому характер развития упругих сил в пакете во время уплотнения зависит от соотношения между временем релаксации и временем деформации. Чем ниже скорость нагружения, тем больше наблюдается отступление от линейности, обусловленное тем, что к упругой деформации добавляется некоторая доля высокоэластической и вынужденно-эластической. Следовательно, соотношение между упруго-мгновенными и упруго-эластическими деформациями зависит не только от материала, но и от скорости нагружения или деформирования.

Эти скорости, в свою очередь, определяются расположением пакета в прессе относительно места приложения на-

грузки. Как правило, нагрузка к пакетам прилагается через подвижную траверсу пресса, жестко связанную с плунжерами. Следовательно, при нижнем расположении плунжеров нагрузка на прессуемые пакеты воспринимается нижней поверхностью пакета, находящегося в первом промежутке пресса.

Зависимость характера деформирования пакета предвзвременно сжатого до плотности древесных частиц от места расположения его в прессе объясняется следующим образом. Развитие упругой деформации в объеме тела происходит со скоростью звука, и момент образования ее сдвигается по фазе на весьма малый промежуток времени по отношению к моменту приложения нагрузки. Этот интервал времени практически может быть принят равным нулю [3]. Поэтому считается, что упругая деформация изменяется с такой же скоростью, с какой изменяется нагрузка, а величина деформации не зависит от скорости нагружения или деформирования.

Распространение высокоэластической и вынужденно-эластической деформации в объеме тела происходит со скоростями значительно ниже скорости звука и сравнимыми со скоростью приложения нагрузки. В этом случае наблюдается запаздывание реакции системы. По мере распространения в объеме тела фронта этих деформаций, вызванные ими напряжения частично релаксируются. Поэтому, чем дальше пакет удален от места приложения нагрузки (подвижной траверсы пресса), тем ниже сопротивление его сжатию при уплотнении. Следовательно, максимальное значение сил упругости отдельных пакетов сдвигается во времени. Наибольшей упругостью в момент окончания уплотнения будут обладать пакеты, расположенные ближе к подвижной траверсе пресса.

Итак, при прессовании стружечно-клеевой смеси проявляются два физических состояния: стеклообразное и высокоэластическое, обуславливающие развитие упругих, высокоэластических и вынужденно-эластических деформаций. Упругое сопротивление пакета сжатию повышается с увеличением плотности плит и скорости деформирования при уплотнении, а также с понижением начальной влажности пакета и температуры плит пресса.

Использование при прессовании плит «парового удара» снижает упругое сопротивление пакета, притом тем сильнее, чем выше его плотность.

Влияние технологических факторов на модуль упругости и распрессовку пакета

На рис. 6 показана зависимость модуля упругости и упругого восстановления пакета при снятии внешнего давления и размыкании плит пресса от времени прессования. Из рисунка следует, что в начальный период прессования при условии раскрытия плит пресса наблюдается значительная распрессовка пакета, величина которой постепенно падает. Это объясняется снижением с течением времени упругих напряжений в пакете и склеиванием частиц между собой. Величина этой распрессовки определяется суммарной распрессовкой самих частиц по толщине и микрорасслоениями между ними.

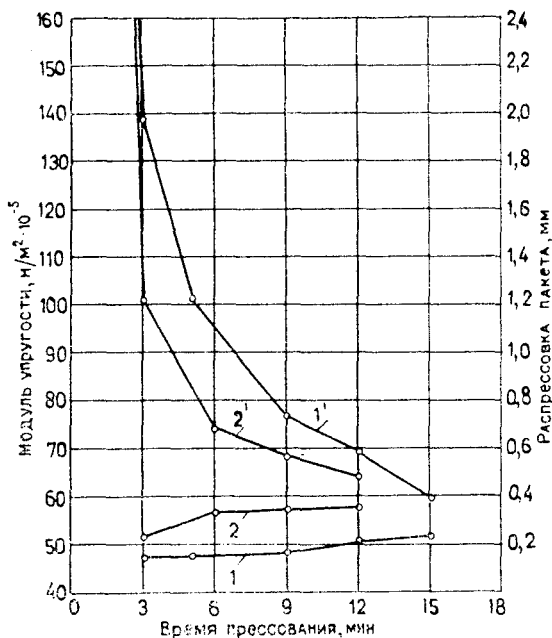


Рис. 6. Изменение модуля упругости и упругого восстановления пакета в процессе прессования: 1, 1' — без «парового удара»; 2, 2' — с использованием «парового удара» ($\gamma=600 \text{ кг/м}^3$; $W=11,3\%$; $t=160^\circ \text{C}$; $V=20 \text{ мм/мин}$; $Q=150 \text{ г}$).

При прессовании плит с использованием «парового удара» происходит ускоренное приобретение древесными частицами эластических свойств. Поэтому упругое восстановление

пакета при размыкании плит пресса к концу прессования на 20—30% меньше, чем для плит, полученных без применения «парового удара».

В процессе прессования наблюдается некоторое увеличение модуля упругости при растяжении пакета перпендикулярно плоскости прессования. Это связано с тем, что при нагревании пакета часть упругой деформации выпрямленных и сближенных частиц заменяется высокоэластической. Кроме того, одновременно с этим происходит увеличение количества локальных клеевых связей между частицами. Низкое значение модуля упругости пакета по сравнению с модулем упругости при растяжении древесины в тангентальном направлении обуславливается пористостью пакета, повышенной температурой в момент испытания и микрорасслоениями между поверхностями стружек при размыкании плит пресса.

Микрорасслоение стружек в пакете начинается в местах контакта их между собой, где отсутствует клеевая пленка. Затем эти отслоения распространяются в места клеевых связей. Следовательно, из-за непогашенных к концу прессования сил упругости древесных частиц частичный отрыв их друг от друга происходит не сразу по всей площади. В связи с этим разрушение клеевых связей происходит под разными углами, лежащими в плоскости, перпендикулярной плоскости стружечной плиты. Это вызывает появление моментов сил, способствует увеличению распрессовки и снижению прочности плиты.

При использовании «парового удара» уменьшение упругого сопротивления происходит быстрее, чем при обычном прессовании. Однако модуль упругости в первом случае выше, чем во втором. Это объясняется тем, что пакет, прессованный с использованием «парового удара», прогревается быстрее, что способствует резкому увеличению эластичности древесных частиц и уменьшению распрессовки. С увеличением плотности древесностружечных плит количество частиц стружечно-клеевой смеси в единице объема повышается. Это обуславливает рост упругой деформации частиц после снятия внешнего давления и размыкания плит пресса (рис. 7). С повышением плотности плит модуль упругости также повышается, что объясняется более ускоренным ростом упругих сил пакета в сравнении с ростом распрессовки.

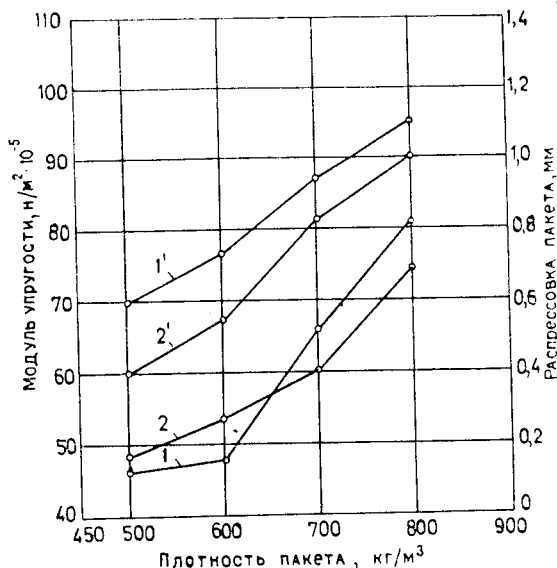


Рис. 7. Изменение модуля упругости и распрессовки пакета в зависимости от плотности древесностружечных плит при времени прессования 9 минут: 1, 1' — без «парового удара»; 2, 2' — с использованием «парового удара» ($W=11,3\%$; $t=160^{\circ}\text{C}$; $V=20\text{ мм/мин}$).

Как видно из графиков (рис. 8 и 9), при повышении влажности стружечно-клеевой смеси и температуры прессования распрессовка пакета уменьшается. Причем при температуре от 120 до 200° и влажности смеси от 9 до 15% уменьшение ее происходит по закону прямой.

Повышенное значение модуля упругости пакета при температуре прессования 120°C обусловлено низкой эластичностью древесных частиц. При этой температуре и времени выдержки стружечного пакета в прессе в течение 9 минут частицы стружечно-клеевой массы обладают еще значительной силой упругости. Температура среднего слоя пакета при этом еще не достигает температуры кипения влаги в нем и составляет приблизительно 80°C [9].

Однако распрессовка пакета в этот момент уже небольшая, так как стружки поверхностных слоев частично связаны между собой отвердевшей клеевой прослойкой и занять сво-

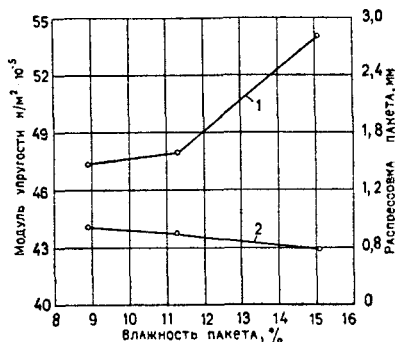


Рис. 8. Изменение модуля упругости (1) и упругого восстановления пакета (2) в зависимости от начальной влажности стружечно-клеевой смеси ($\gamma=600 \text{ кг/м}^3$; $t=160^\circ \text{C}$; $\tau=9 \text{ мин}$; $V=20 \text{ мм/мин.}$).

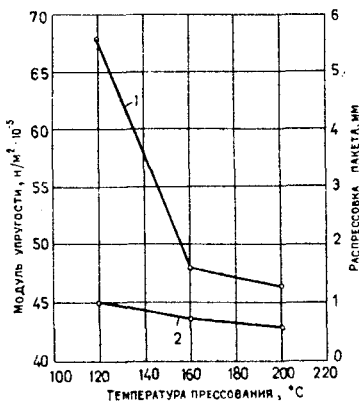


Рис. 9. Изменение модуля упругости (1) и упругого восстановления пакета (2) в зависимости от температуры прессования ($\gamma=600 \text{ кг/м}^3$; $\tau=9 \text{ мин}$; $W=11,3\%$; $V=20 \text{ мм/мин.}$).

бодное положение при деформировании не могут. В средних слоях пакета полного отверждения связующего в данный момент еще не произошло.

Влияние отверждения связующего на распрессовку пакета подтверждается нашими опытами. В этих опытах при условии прессования без введения связующего исходная влажность стружки принята равной влажности стружечно-клеевой смеси (11,3%). Пакеты прессовались по одному из ранее принятых режимов; плотность пакета $=600 \text{ кг/м}^3$; температура прессования 160°C , время выдержки 9 минут; скорость разъема плит установки 20 мм/мин.

Средняя величина упругого восстановления пакета по толщине в этом случае составила 1,14 мм. При прессовании с использованием связующего значение этого параметра равно 0,74 мм, что в 1,6 раза меньше свободной распрессовки древесных частиц пакета.

Как было указано ранее, упругие деформации определяются скоростью деформирования и соотношением упруго-мгновенной и высокоэластической частей ее. Чем выше скорость деформирования, тем меньше величина упругого восстановления пакета (рис. 10). Это обуславливается уменьшением доли высокоэластической деформации, добавляемой

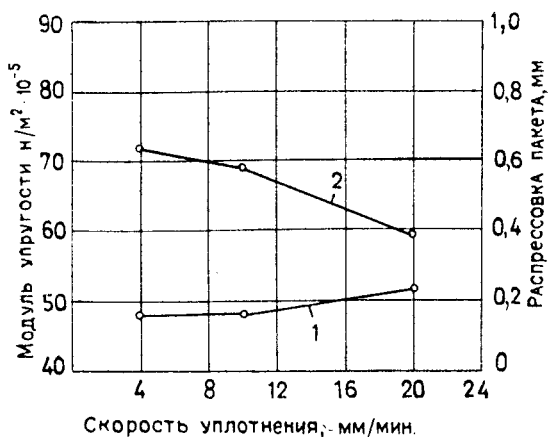


Рис. 10. Изменение модуля упругости (1) и упругого восстановления пакета (2) в зависимости от скорости размыкания плит пресса ($\gamma=600$ кг/м³; $t=160^\circ\text{C}$; $W=11,3\%$; $\tau=9$ мин).

к упруго-мгновенной. Доля высокоэластической деформации зависит от соотношения времени деформации к среднестатистическому времени релаксации. Это соотношение уменьшается с повышением скорости деформирования, что подобно понижению температуры.

Вторым фактором, снижающим распрессовку при повышении скорости деформирования пакета, является увеличение среднего давления на пакет при одинаковом времени прессования (рис. 5).

При повышении скорости деформирования модуль упругости пакета так же возрастает (рис. 10). Это согласуется с общепринятым положением.

Влияние усушки на упругое сопротивление пакета

Как отмечено ранее, усушка пакета является одним из факторов, оказывающим влияние на развитие в процессе прессования упругого сопротивления пакета. Величина этой деформации характеризуется коэффициентом усушки и количеством удаляемой влаги из пакета.

Результаты исследования усушки стружечного пакета по толщине представлены в табл. 1, из которой следует, что с увеличением плотности коэффициент усушки несколько

Таблица 1

Результаты исследования усушки стружечных плит по толщине

Плотность, $кг/м^3$	Толщина, $мм$	Условия прессования в прессфор- ме	Деформация, $мм$ по толщине	Показатели вариационной статистики					Кол-во уда- ленной вла- ги, %	Коэффициент усушки, %
				n	σ , $мм$	v , %	m , $мм$	p , %		
530 ± 26	20,01	открытая форма	0,92	14	0,08	8,70	0,021	2,28	2,9	0,48
520 ± 20	20,03	закрытая	0,64	14	0,06	9,40	0,016	2,50	0,0	
580 ± 14	19,97	открытая	0,88	13	0,07	7,95	0,019	2,04	3,0	0,43
580 ± 18	19,95	закрытая	0,62	14	0,06	9,70	0,016	2,60	0,0	
640 ± 23	19,98	открытая	0,76	12	0,06	7,85	0,017	2,24	2,7	0,39
640 ± 25	19,95	закрытая	0,55	11	0,05	9,10	0,015	2,70	0,0	

уменьшается. Это можно объяснить следующим образом. С увеличением плотности плиты ее собственная пористость уменьшается, а количество контактных площадок между древесными частицами в единице объема материала растет, что обуславливает (при уплотненном пакете и постоянном усилии сжатия) снижение контактных напряжений на площадках соприкосновения частиц. Частицы имеют неровные поверхности, поэтому деформация их при высыхании вызывает снижение контактных напряжений и не всегда приводит к уменьшению внешнего размера пакета по толщине. При этом, чем ниже начальные контактные напряжения на площадках соприкосновения, тем чаще должно наблюдаться указанное выше явление, являющееся причиной уменьшения коэффициента усушки с увеличением плотности пакета.

Подобная зависимость коэффициента усушки, определяемого при механическом сжатии древесины от ее плотности, наблюдалась в исследованиях Д. Нарайянамурти и К. Л. Бхаргаварима [10].

При изменении влажности пакета от 5—6% до точки насыщения волокна коэффициент усушки древесины практически является постоянной величиной [11, 12]. Следовательно, изменение напряжений (σ_τ) при сжатии пакета в связи с усушкой его по толщине может быть представлено следующей зависимостью:

$$\sigma_\tau = E \cdot K \left(\frac{W_n - W_\tau}{100} \right),$$

где E — модуль упругости пакета при его растяжении перпендикулярно плоскости прессования;

K — коэффициент усушки пакета по толщине, % на % изменения влажности;

W_n, W_τ — начальная влажность пакета и влажность его в момент времени τ .

Предположение о независимости модуля упругости от времени прессования вносит некоторую неточность в определение напряжений σ_τ . Однако отклонение модуля упругости от времени прессования незначительно. (0,5—0,7% на 1 минуту). Поэтому модуль упругости может быть принят постоянной величиной.

Если предположить, что в процессе прессования влажность пакета ($S=20$ мм) уменьшится на 5—6%, то изменение упругих напряжений определится:

$$\tau = \frac{48 \cdot 10^5 \cdot 0,43 \cdot 6}{100} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ н.м}^2 (1,2 \text{ кгс/см}^2).$$

Абсолютная усушка пакета составит:

$$\frac{20 \cdot 6 \cdot 0,43}{100} = 0,52 \text{ мм},$$

где $48 \cdot 10^5$ — модуль упругости пакета, н/м²;

0,43 — коэффициент усушки пакета по толщине, %.

Таким образом, исследования внутренних напряжений, развиваемых в пакете, деформативности и прочности склеивания древесных частиц в процессе выдержки позволяют выработать пути дальнейшей интенсификации процесса прессования плит и улучшения их качества. Одним из способов такой интенсификации служит контроль за диаграммой прессования, осуществляемый по изменению толщины пакета в процессе выдержки. Регистрация изменения толщины плиты дает качественное соотношение между внешним давлением и упругим сопротивлением пакета. При равенстве этих сил толщина плиты не меняется, что уменьшает разрушение клеевых связей и увеличивает прочность плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соснин М. И., Климова М. И. Определение упругого сопротивления пакета в процессе прессования. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971.
2. Соснин М. И., Юшков В. В., Кубракова Г. Г. Методика исследования физических процессов при прессовании древесностружечных плит. В сб.: «Исследование свойств древесины и древесных материалов». Красноярск, 1969.
3. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф., Дитенко Г. И. Прочность и деформативность слоистых пластиков. Киев, «Наукова думка», 1964.
4. Лазуркин Ю. С., Фогельсон Р. Л. О природе больших деформаций высокомолекулярных веществ в стеклообразном состоянии. ЖТФ, 1951, т. XXI, вып. 3.
5. Каргин В. А., Слонимский Г. Л. Об определении молекулярного веса линейных полимеров по их механическим свойствам. ЖФХ, 1949, т. XXII, вып. 5.
6. Трелоар Л. Физика упругости каучука. М., изд-во ИЛ, 1953.
7. Каргин В. А., Слонимский Г. Л. Краткие очерки физико-химии полимеров. М., «Химия», 1967.
8. Кобеко П. П. Аморфные вещества. М., изд-во АН СССР, 1952.
9. Отлев И. А. О продолжительности нагрева древесностружечных плит. «Лесной журнал», 1961, 1.

10. Narayanamurti D., Bhargava Rama K. The swelling and shrinkage of wood under mechanical restraint some further experiment. Drevarsky vysokum, 1968, 2 (Bratislava).

11. Перелыгин Л. М. Древесиноведение. М., «Лесная промышленность», 1969.

12. Чудинов Б. С. Теория тепловой обработки древесины. М., «Наука», 1968.

М. И. Климова, М. И. Соснин

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРОБЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

В процессе прессования, кондиционирования и эксплуатации древесностружечных плит в них возникают внутренние напряжения. Они в основном обуславливаются напряжениями в клеевых соединениях, несрелаксированными к моменту размыкания плит пресса, силами парогазового давления и упругости пакета, неравномерным изменением полей температуры и влажности плиты, напряжениями, вызванными в стружках при изменении их формы в процессе сжатия пакета.

Напряжения, возникающие внутри клеевого шва, зависят от его толщины [1, 2]. Считается, что при клеевой пленке из мочевино-формальдегидных смол толщиной свыше 0,1 мм нельзя получить прочного клеевого соединения [2]. В древесностружечных плитах с 8—10% смолы из-за большой удельной поверхности стружек толщина клеевых соединений между ними настолько мала (0,006—0,009 мм), что внутренние напряжения в клее в результате его усадки почти не возникают. Кроме того, при существующих способах распыления связующего пока не удастся полностью покрыть им всю поверхность частиц. Точечное распределение клея на поверхности частиц [3] способствует немедленной релаксации напряжений по мере их возникновения.

Напряжения, обусловленные давлением парогазовой смеси и силами упругости пакета, включая напряжения, вызванные изменениями формы стружек, релаксируются при размыкании плит пресса. Следовательно, основными напряжениями, возникающими по окончании прессования древесностружечных плит, следует считать напряжения, вызываемые неравномерным изменением температуры и влажности частиц в объеме плиты.

Влажностные и температурные напряжения, проявляющиеся в процессе прессования, ослабляются релаксацией их в

пакете, так как последний находится в таком гидротермическом состоянии, при котором скорость возникновения напряжений ниже или одного порядка со скоростью их релаксации. Возникновение после прессования влажностных напряжений в стружечных плитах обуславливается способностью их к сорбции и десорбции влаги. Это, в свою очередь, вызывает изменение их размеров и развитие объемно-напряженного состояния.

Другой причиной возникновения напряженного состояния материала может являться изменение его размеров с изменением температуры. Изменение размеров материала в связи с изменением влажности и температуры является физическим свойством его и при условии равномерного распределения этих параметров по объему тела в каждый момент времени не вызывает каких-либо опасных напряжений [4]. При асимметричном распределении влаги и температуры по толщине плиты и неравномерном выравнивании этих параметров возникают изгибающие моменты, вызывающие коробление плит.

Степень коробления плит при одинаковой конструктивной жесткости их, определяемой модулем упругости и осевым моментом инерции, характеризуется относительной деформацией изменения размеров отдельных участков материала при изменении влажности и температуры. Эти деформации определяются перепадом температуры и влажности по толщине плиты, а также коэффициентами температурного расширения, усушки и разбухания. Деформации, вызванные изменением температуры и влажности плит, как и для древесины, зависят от направления волокон стружки.

Величина температурных деформаций древесины значительно меньше, чем влажностных. Температурная деформация сосны в тангенциальном направлении при нагревании ее на 100° С примерно равна деформации древесины при увлажнении ее всего лишь на 1% [5]. Исходя из этого положения, можно считать, что температурные деформации стружечных плит при неравномерном поле температуры после прессования и неравномерном ее изменении в объеме плиты не должны оказывать существенного влияния на объемно-напряженное состояние плит и, следовательно, изменение их формы. Кроме того, при повышенной температуре скорость релаксации напряжений, вызванных влажностными и другими деформациями, значительно выше, чем при комнатной температуре.

При изменении температуры плит меняется их средняя равновесная влажность и потенциал влагопереноса. Это приводит к некоторому изменению характера выравнивания влажности по сечению плиты и развитию влажностных деформаций во времени. Расчеты показывают, что при снижении температуры стружечных плит в процессе кондиционирования, уменьшение перепада потенциала влагопереноса не превышает 10—15%. Вследствие этого происходит замедление перемещения влаги из средней части в поверхностные слои плиты. При охлаждении плит температурный градиент между внутренними и поверхностными слоями падает. Это также приводит к некоторому снижению перепада потенциалов влагопереноса между этими слоями.

Следовательно, повышенная температура в начале кондиционирования плит и ее градиент по толщине обуславливают незначительное увеличение скоростей выравнивания влажности в объеме плиты и развития внутренних напряжений. На основании вышесказанного можно считать, что развитие внутренних напряжений в плитах при хранении их в обычных условиях является не менее опасным, чем при повышенной температуре. При кондиционировании плит после прессования и их эксплуатации они находятся в нормальных температурных условиях [6, 7]. Это также позволяет считать, что развитие объемно-напряженного состояния в плитах происходит в основном за счет изменения послойной влажности при комнатной температуре.

Влажностные деформации капиллярно-пористых материалов вызываются молекулярно-поверхностными силами [8]. Эти силы, являясь внешними по отношению к скелету тела, создают сложные механические напряжения. Величина этих напряжений, определяемая капиллярным и расклинивающим давлениями жидкой фазы в твердом теле, является функцией влагосодержания. Подобная природа сил, вызывающих влажностные деформации, должна наблюдаться в стружечной плите как капиллярно-пористом коллоидном теле.

Рассматривая стружечную плиту как упруго-эластичное тело [9], можно считать, что при изменении влажности в ней будут развиваться как мгновенно-упругие деформации, так и деформации ползучести. В этом случае связь между напряжением σ и влажностной деформацией ϵ может быть представлена уравнением:

$$c\varepsilon + \dot{\varepsilon} = \frac{c\sigma}{E_{\partial}} + \frac{\sigma}{E_{\text{мн}}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{мн}}$, E_{∂} — мгновенный и длительный модули упругости древесностружечной плиты;

c — константа, характеризующая упруго-вязкие свойства материала;

$$c = \frac{H}{\eta},$$

где H — жесткость упругого элемента тела Кельвина;

η — коэффициент внутреннего трения вязкого элемента тела.

При кондиционировании и эксплуатации стружечных плит до момента достижения равновесия влажность их меняется непрерывно. Это должно вызывать непрерывное изменение напряжений, обуславливающих усадку и разбухание материала. Величина усадки и разбухания должна определяться суммой мгновенно-упругой, высокоэластической и вынужденно-эластической деформацией. Изменение деформаций ползучести определяется изменением их на данной ступени нагружения и деформаций, вызванных наследственностью от всех предшествующих нагрузок [10].

Решая уравнение (1) при $\varepsilon_0=0$ и $\sigma_0=0$, получим закон изменения влажностных деформаций при непрерывно изменяющейся во времени (t) нагрузке:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E_{\partial}} - \left(\frac{1}{E_{\partial}} - \frac{1}{E_{\text{мн}}} \right) e^{-ct} \int_0^t \dot{\sigma}(t) e^{ct} dt \quad (2)$$

или

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E_{\text{мн}}} + \left(\frac{1}{E_{\partial}} - \frac{1}{E_{\text{мн}}} \right) c e^{-ct} \int_0^t \sigma(t) e^{ct} dt. \quad (3)$$

При скачкообразном изменении σ от 0 до длительно действующего значения $\sigma(t)$, т. е.

$$\sigma = \begin{cases} 0, & t = 0 \\ \sigma(t), & t > 0, \end{cases}$$

уравнения (2, 3) примут вид [10]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma(t)}{E_{\text{мн}}} + \sigma(t) \left(\frac{1}{E_{\partial}} - \frac{1}{E_{\text{мн}}} \right) (1 - e^{-ct}). \quad (4)$$

Анализируя формулы (2, 3), можно видеть, что развитие влажностных деформаций (при $\Delta W = \text{const}$) определяется не только величиной напряжения, но и временем его воздействия. Чем выше скорость изменения σ , определяемая скоростью изменения влаги в плите, тем ниже влажностные деформации. При увеличении σ и уменьшении времени t составляющая деформации ползучести падает. Это, по-видимому, также является одной из причин уменьшения усушки материала при интенсивном удалении влаги из него [11].

Расчет влажностных напряжений, возникающих в стружечной плите, как упруго-эластическом теле, очень сложен. Поэтому проведем ориентировочную оценку этих напряжений без учета развития их во времени и релаксации напряжений. В этом случае можно считать, что изменение влажностных деформаций с изменением напряжения подчинено классической или линейной теории упругости. Такое допущение обуславливается тем, что с изменением напряжений деформации ползучести в стружечных плитах и древесных пластинках развиваются по линейному закону [10, 12, 13].

При развитии влажностных деформаций в процессе кондиционирования модуль упругости изменяется от $E_{\text{мн}}$ до $E_{\text{д}}$. А так как скорость развития этих деформаций при выравнивании влажности плит в нормальных условиях хранения, как правило, очень мала, то средний модуль упругости, по-видимому, близок к $E_{\text{д}}$. При этом условии в какой-то мере учитывается релаксация влажностных напряжений. Кроме того, для упрощения расчетов полагаем, что перемещение влаги в плитах происходит только по толщине (одномерное поле влагосодержания) и модули упругости при растяжении и сжатии в плоскости плиты равны.

При определении влажностных напряжений сначала рассмотрим значение их в стержне прямоугольного сечения, вырезанном из плиты. Для этого воспользуемся обычной теорией, основанной на гипотезе плоских сечений [14]. Возникающие в таких образцах напряжения снимаются по боковым поверхностям [15], и поэтому напряженное состояние образца является одноосным с направлением внутренних усилий вдоль стержня.

При изменении влажности и отсутствии клеевой связи между слоями стружечного пакета относительная деформация их характеризуется разностью кривых $\epsilon = \epsilon(s, t)$, $\epsilon = \epsilon(s, t) |_{t=0}$, подобной разности кривых распределения влаги по толщине пакета в те же моменты времени. Такое подобие связано с

линейной зависимостью изменения размеров при сушке и увлажнении плит с изменением влажности древесины в пределах до точки насыщения волокон [16, 17]. Линейная зависимость набухания древесины от влажности не распространяется на адсорбционную воду [18]. Однако это отклонение практически составляет небольшую величину и может не учитываться.

В действительности стружечные слои плиты склеены между собой и при кондиционировании и эксплуатации не могут свободно деформироваться. Верхние слои плиты, влажность которых, как правило, ниже средней, разбухают, средние слои ее — усыхают. Таким образом, действительный размер поверхностных слоев плит меньше их размера при свободном деформировании, и, следовательно, они испытывают сжимающие напряжения. Внутренние слои, размер которых больше размера при свободном деформировании, при выравнивании влажности испытывают растягивающие напряжения.

Для определения сил, вызываемых влажностными деформациями, действующих в каждом слое стержня, вырезанного из плиты, выделим в нем элементарную полоску n бесконечно малой толщины, шириной $b=1$. Очевидно, деформация каждой такой полоски, при условии свободного деформирования, будет пропорциональна изменению влажности. Тогда относительное значение деформации в момент времени t (ε_t) после окончания прессования будет равно:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta l_t}{l_n} = k [w(s, t) - w(s, t)|_{t=0}], \quad (5)$$

где Δl_t — абсолютная деформация слоя в момент времени t ;

l_n — начальная длина слоя ($t=0$);

k — коэффициент усушки или разбухания плит в долях единицы на 1% изменения влажности;

$W(s, t)|_{t=0}$ — влажность слоя после прессования плиты ($t=0$);

$W(s, t)$ — влажность слоя на толщине s в момент времени t .

Склеенные между собой слои стружечной плиты стремятся деформироваться по-разному и поэтому воздействуют друг на друга. Со стороны соседних слоев на слой n действует сила P , направленная в противоположную сторону от силы, обусловленной разностью влажностных деформаций

слоя. А так как смещения склеенных слоев относительно друг друга не происходит, то деформация слоя $n-\Delta l_p$, вызванная силой реакции P по абсолютной величине равна деформации, которую получил бы этот слой при изменении влажности, т. е.

$$\Delta l_p = \Delta l_t. \quad (6)$$

По закону линейной теории упругости

$$\Delta l_p = \frac{Pl_n}{EF}, \quad (7)$$

где E — модуль упругости при растяжении или сжатии слоя;
 F — площадь сечения слоя.

На основании (5, 6, 7) можно написать:

$$\frac{P \cdot l_n}{EF} = l_n k [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}], \quad (8)$$

откуда сила реакции в любом слое стружечной плиты определится как:

$$P(s) = kE(s)F [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}]. \quad (9)$$

Сила $P(s)$ по абсолютной величине равна силе, вызванной влажностными деформациями в слое. Значение этой силы, отнесенное к единице площади сечения слоя или на единицу его толщины при $b=1$ будет:

$$P_n(s) = kE(s)[W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}], \quad (10)$$

а при перераспределении влаги в плите, когда среднее ее значение не меняется:

$$P_n(s) = kE(s) [\bar{W} - W(s, t)|_{t=0}], \quad (11)$$

где $\bar{W}$ — среднее значение влажности в древесностружечной плите.

В действительности развитие влажностных напряжений в стружечных плитах нельзя характеризовать одноосным напряженным состоянием. Истинные напряжения в плитах всегда больше напряжений, возникающих в вырезанной полоске. Они характеризуются объемным напряженным состоянием. Однако развиваемые влажностные напряжения в направлении нормали к плоскости плиты малы и могут не учитываться. Это связано с малой величиной сил реакции, сдерживающих усушку и разбухание отдельных слоев стружечной пли-

ты (низкий модуль упругости, компенсация разбухания слоя усушкой соседних слоев и наоборот).

Следовательно, развитие влажностных напряжений в плите может быть практически отнесено к условиям плоского напряженного состояния. При оценке этих напряжений древесностружечную плиту с ориентацией частиц в одном направлении будем рассматривать как ортотропное тело. Для упрощения задачи проведем определение напряжений только в направлениях осей x и y (рис. 1), перпендикулярных плоскостям симметрии, т. е. вдоль и поперек частиц.

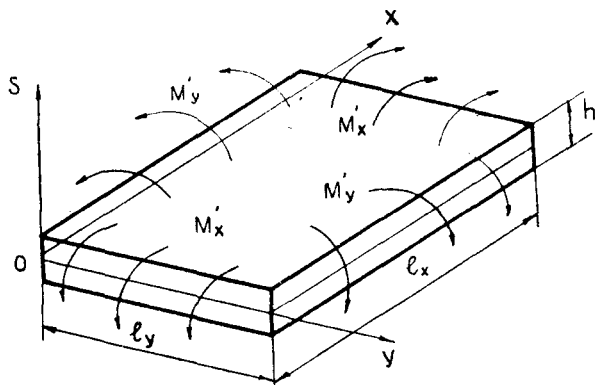


Рис. 1. Схема изгиба древесностружечной плиты.

Для ортотропного тела при плоском напряженном состоянии уравнения обобщенного закона Гука, отнесенные к главным направлениям, имеют вид [19]:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\sigma_y}{E_y} \mu_{xy}, \quad (12)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\sigma_x}{E_x} \mu_{yx}; \quad (13)$$

где ε_x , ε_y — относительные деформации в направлении нормальных напряжений σ_x и σ_y ;

E_x , E_y — соответственно модули упругости в направлении осей x и y ;

μ_{xy} , μ_{yx} — коэффициенты Пуассона.

Первый индекс характеризует направление деформаций материала, второй — направление вызвавшего ее усилия.

Из соотношений 12 и 13 получаем:

$$\sigma_x = \frac{E_x}{1 - \mu_{yx} \mu_{xy}} (\varepsilon_x + \varepsilon_y \mu_{xy}), \quad (14)$$

$$\sigma_y = \frac{E_y}{1 - \mu_{xy} \mu_{yx}} (\varepsilon_y + \varepsilon_x \mu_{yx}). \quad (15)$$

По аналогии с формулой (5) можно написать:

$$\varepsilon_x = k_x [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}], \quad (16)$$

$$\varepsilon_y = k_y [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}]. \quad (17)$$

где k_x и k_y — коэффициенты усушки и разбухания плиты в направлении x и y (вдоль и поперек направления ориентации древесных частиц).

Напряжение при изменении влажности слоя стружечной плиты равно вызвавшему его удельному усилию $P_n(s)$. Поэтому, учитывая равенства 16 и 17, удельные усилия $P_{nx}(s)$ и $P_{ny}(s)$ для любого слоя плиты, обусловленные влажностными деформациями, будут иметь вид:

$$P_{nx}(s) = \frac{E_x(s)}{1 - \mu_{yx} \mu_{xy}} (k_x + k_y \mu_{xy}) [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}], \quad (18)$$

$$P_{ny}(s) = \frac{E_y(s)}{1 - \mu_{xy} \mu_{yx}} (k_y + k_x \mu_{yx}) [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}]. \quad (19)$$

Для плиты с беспорядочным расположением стружек $E_x=E_y=E$, $K_x=K_y=K$, $\mu_{xy}=\mu_{yx}=\mu$. Удельное усилие $P_{nj}(5)$ при изменении влажности слоя выразится так:

$$P_{nj}(s) = \frac{E(s)}{1 - \mu} k [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}]. \quad (20)$$

Сравнивая формулы 10, 18, 19, 20, можно видеть, что истинные удельные усилия, развиваемые при выравнивании влажности в плите, больше, чем усилия в вырезанной полоске. При средних параметрах $\mu=0,3$ и $k_y=4k_x^*$ это различие составляет от 1,43 (для обычных плит) до 2,4 раза (для продольного направления плит с ориентацией частиц).

* См. М. И. Климова, М. И. Соснин «Некоторые свойства древесностружечных плит...» в данном сборнике.

Сила, сдвигающая одну часть слоев стружечной плиты относительно другой, определяется как равнодействующая системы сил, действующих на сдвигаемую часть. Эта сила Q называется перерезывающей силой. Она вызывает касательные напряжения в плите.

Изменение перерезывающей силы по толщине равно:

$$Q(s) = \int_{-\frac{h}{2}}^s P_n(s) ds \quad \left(-\frac{h}{2} \leq s \leq \frac{h}{2} \right), \quad (21)$$

где h — толщина стружечной плиты.

При условии малого изгиба можно принять, что силы P_n уравниваются в пределах плиты, т. е.

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} P_n(s) ds = 0. \quad (22)$$

Обозначив

$$\frac{k_x + k_y \mu_{xy}}{1 - \mu_{yx} \mu_{xy}} = c_x; \quad \frac{k_y + k_x \mu_{yx}}{1 - \mu_{yx} \mu_{xy}} = c_y; \quad \frac{k}{1 - \mu} = c_j$$

и подставив в (21) P_n из 18, 19, 20, получим значение перерезывающей силы, отнесенное к единице толщины плиты:

$$Q_i(s) = c_i \int_{-\frac{h}{2}}^s E_i(s) [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}] ds \quad \left(-\frac{h}{2} \leq s \leq \frac{h}{2} \right), \quad (23)$$

где индекс i при Q , E и s принимает значение x, y для главных направлений плиты с ориентацией частиц и значение j для любого направления обычной стружечной плиты.

Коэффициенты c_x, c_y, c_j характеризуют влажностную деформацию плит на 1% изменения влаги.

Касательные напряжения, как это видно из формулы 23, определяются характером изменения влажности по сечению стружечной плиты, модулем упругости и коэффициентами c_i .

Характер изменения влажности не зависит от направления сечения. Поэтому касательные напряжения для различных направлений в основном обуславливаются модулями упругости и коэффициентами усушки и разбухания. Величина этих напряжений в поперечном направлении для плит с ориентированными частицами близка к величине их в продоль-

ном направлении, так как $k_y E_y = k_x E_x$. Однако прочность плит в поперечном направлении в несколько раз ниже, чем в продольном [22]. При интенсивном изменении влажности по сечению плиты, когда скорость возникновения напряжений значительно превышает скорость их релаксации, увеличение касательных напряжений в поперечном направлении может привести к образованию микротрещин или нарушению целостности структуры плиты. Особенно опасно развитие перерезывающих сил в перекрещивающихся слоях плит с ориентированными частицами. В этом случае различие коэффициентов k вдоль и поперек волокон древесины приводит к повышению напряжений в клеевых слоях. При этом, чем толще склеиваемые слои, тем выше должны быть напряжения. Для уменьшения концентрации напряжений в клеевом слое необходимо уменьшать толщину перекрещивающихся слоев (увеличивать слойность), или вводить между слоями связующее с высоким показателем относительной деформации.

Искривление стружечной плиты вызывается несимметричностью изгибающих моментов, возникающих в результате неравномерного изменения влажности симметричных слоев. Изменение этих моментов по толщине плиты (в первой и второй половине ее) относительно срединной поверхности определяется:

$$M_1(s) = \int_0^s P_n(s) ds \quad \left(-\frac{h}{2} \leq s \leq 0 \right), \quad (24)$$

$$M_2 = - \int_0^s P_n(s) ds \quad \left(0 \leq s \leq \frac{h}{2} \right). \quad (25)$$

Тогда изгибающий момент на единицу толщины плиты, вызывающий непосредственное искривление стружечной плиты, определится как:

$$M = M_1 + M_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^0 P_n(s) ds - \int_0^{\frac{h}{2}} P_n(s) ds. \quad (26)$$

Подставляя значение $P_n(s)$, получим окончательное выражение изгибающего момента для направлений x, y, j , обозначенных индексом i :

$$M_i = c_i \left\{ \int_0^{-\frac{h}{2}} E_i(s) [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}] ds - \right.$$

$$- \int_0^{\frac{h}{2}} E_i(s) [W(s, t) - W(s, t)|_{t=0}] ds \Big\} . \quad (27)$$

Как видно из формулы (27), изгибающий момент, вызывающий коробление древесностружечных плит, обуславливается асимметричностью распределения влаги по сечению плиты относительно срединной плоскости и различным модулей упругости симметричных слоев. Величина его возрастает с увеличением коэффициентов влажностной деформации сл. Значения этих параметров в основном зависят от плотности плит и их структурного строения, определяемого анизотропией механических свойств древесины.

Если изменения влажности между слоями стружечной плиты не происходит, то изгибающий момент, вызывающий коробление плит, не возникает. При асимметрии модулей упругости появление изгибающего момента неизбежно даже при симметричном изменении поля влагосодержания. Кроме того, модуль упругости при растяжении плиты несколько выше, чем при сжатии [12].

Изменение модуля упругости по толщине характеризуется изменением послойной плотности плит, степенью ориентации стружки и неравномерным распределением фракционного состава частиц и связующего. Эти факторы оказывают также некоторое влияние на величину коэффициентов усушки и разбухания.

С другой стороны степень коробления древесностружечных плит при приложении к ним изгибающих моментов определяется сопротивлением плит изгибу. Для определения степени коробления плит воспользуемся теорией тонких пластинок [15, 21]. Она так же, как и теория изгиба стержней, основана на гипотезах прямолинейности нормалей в процессе деформации, нерастяжимости срединной плоскости при изгибе, отсутствии давления между слоями пластинки.

При приложении к древесностружечной плите (пластинке) изгибающих моментов M_x и M_y (см. рис. 1) происходит искривление ее срединной плоскости. Согласно перечисленных гипотез деформация в направлении оси s равна нулю, поэтому прогибы пластинки не зависят от координаты s . Это означает, что все точки плиты, лежащие на одной вертикали, получают одинаковые прогибы.

Если принять, что радиусы кривизны срединной плоскости после ее искривления будут R_x и R_y (рис. 2), то относи-

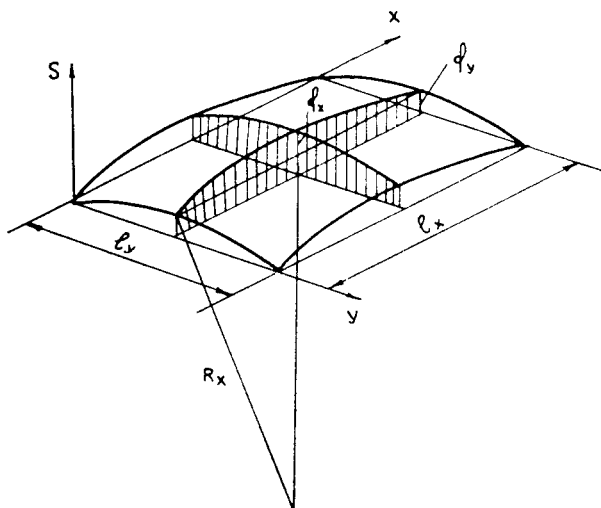


Рис. 2. Прогиб срединной поверхности древесно-стружечной плиты.

тельные деформации слоев пластинки в направлении осей x и y на расстоянии s от ее срединной плоскости как и при чистом изгибе стержней будут равны:

$$\varepsilon'_x = \frac{s}{R_x}, \quad (28)$$

$$\varepsilon'_y = \frac{s}{R_y}. \quad (29)$$

Учитывая связь между напряжениями и относительными деформациями (уравнения 15, 14) и подставляя значения последних из формул 28, 29, получим:

$$\sigma'_x = \frac{E_x}{1 - \mu_{yx}\mu_{xy}} \left(\frac{1}{R_x} + \frac{\mu_{xy}}{R_y} \right) s, \quad (30)$$

$$\sigma'_y = \frac{E_y}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}} \left(\frac{1}{R_y} + \frac{\mu_{yx}}{R_x} \right) s. \quad (31)$$

Из этих зависимостей вытекает, что напряжения от внешних нагрузок при изгибе пластинки распределяются по ее толщине по линейному закону (рис. 3).

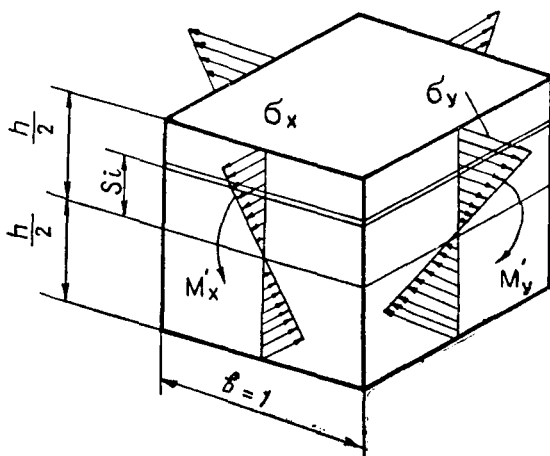


Рис. 3. Напряжения в элементе древесностружечной плиты.

Изгибающие моменты M'_x и M'_y , отнесенные к единице длины сечения плиты, определяются:

$$\begin{aligned}
 M'_x &= \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma'_x s ds = \frac{E_x}{1 - \mu_{yx} \mu_{xy}} \left(\frac{1}{R_x} + \frac{\mu_{xy}}{R_y} \right) \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} s^2 ds = \\
 &= \frac{E_x h^3}{12(1 - \mu_{yx} \mu_{xy})} \left(\frac{1}{R_x} + \frac{\mu_{xy}}{R_y} \right), \quad (32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M'_y &= \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma'_y s ds = \frac{E_y}{1 - \mu_{xy} \mu_{yx}} \left(\frac{1}{R_y} + \frac{\mu_{yx}}{R_x} \right) \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} s^2 ds = \\
 &= \frac{E_y h^3}{12(1 - \mu_{xy} \mu_{yx})} \left(\frac{1}{R_y} + \frac{\mu_{yx}}{R_x} \right). \quad (33)
 \end{aligned}$$

В этих формулах E_x и E_y — средние модули упругости при растяжении и сжатии древесностружечной плиты в направлении x и y .

Равенства (32) и (33) позволяют выразить среднюю кривизну срединной поверхности плиты K_n через изгибающие моменты:

$$K_{nx} = \frac{1}{R_x} = \frac{12}{h^3} \left(\frac{M_x'}{E_x} - \frac{\mu_{xy} M_y'}{E_y} \right), \quad (34)$$

$$K_{ny} = \frac{1}{R_y} = \frac{12}{h^3} \left(\frac{M_y'}{E_y} - \frac{\mu_{yx} M_x'}{E_x} \right). \quad (35)$$

Для изотропной плиты в плоскости прессования

$$M_x' = M_y' = M_j; \quad \mu_{yx} = \mu_{xy} = \mu; \quad E_x = E_y = E_j.$$

$$K_n = \frac{1}{R} = \frac{12 M_j}{h^3 E_j} (1 - \mu). \quad (36)$$

Для удобства среднюю кривизну плиты можно выразить через среднюю величину стрелы прогиба (f) пластинки (рис. 2). Если он мал по сравнению с радиусом кривизны R , то можно написать:

$$f = \frac{l^2}{8R}, \quad (37)$$

где l — размер стружечной плиты в плоскости сечения измеренного прогиба.

Искривление древесностружечных плит будет одинаковым при приложении к ним вместо внешних изгибающих моментов, вызванных влажностными деформациями. Поэтому $M'_x = M_x$; $M'_y = M_y$; $M'_j = M_j$.

Тогда степень искривления древесностружечных плит для направлений x, y, j , определяемая по стреле прогиба, окончательно будет иметь выражение:

$$f_x = \frac{3 l_x^2}{2 h^3} \left(\frac{M_x}{E_x} - \frac{\mu_{xy} M_y}{E_y} \right); \quad (38)$$

$$f_y = \frac{3 l_y^2}{2 h^3} \left(\frac{M_y}{E_y} - \frac{\mu_{yx} M_x}{E_x} \right); \quad (39)$$

$$f_j = \frac{3 l_j M_j}{2 h^3 E_j} (1 - \mu), \quad (40)$$

где l_x, l_y, l_j — размеры плиты в направлении x, y, j .

Общий наибольший прогиб плиты (превышение над плоскостью $s=0$) равен:

$$f = f_x + f_y. \quad (41)$$

Приведенные зависимости дают достаточно ясное представление о возникновении внутренних напряжений в древесностружечных плитах и их влиянии на формонизменяемость. Они вскрывают явления, которые трудно усмотреть экспериментально.

Формонизменяемость древесностружечных плит и понижение их прочности после прессования в основном вызывается влажностными напряжениями. Основной причиной возникновения этих напряжений является несимметричное поле влагосодержания по сечению плиты и различие модулей упругости симметричных слоев.

Величина коробления стружечных плит при одинаковом поле распределения и изменения влагосодержания определяется коэффициентами усушки и разбухания, степенью асимметричности модулей упругости симметричных слоев и жесткостью плиты.

Расчет влажностных и температурных напряжений в плитах при условии одноосного напряженного состояния не отражает действительной картины развития внутренних напряжений в плите. Влажностные напряжения в зависимости от типа плит и вида испытания превышают напряжения в стержне, вырезанном из плиты, в 1,4—2,4 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков А. Н. Исследование внутренних напряжений в клеевых соединениях. «Пластические массы», 1964, 1.
2. Djurón W. Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Abbindungen und Bindungsfestigkeit Kunstharzleimen mit Oberflächen eines Holzes von einer Dicke Leimefüge. Holz-Zentralblatt. 1956, N 106.
3. Векслер А. К. Оценка качества проклеивания древесных частиц. «Механическая обработка древесины». 1966, 5. «Издание ЦНИИТЭИлеспрома».
4. Лыков А. В. Теория сушки. М.-Л., «Энергия», 1968.
5. Уголев Б. Н. Деформативность древесины поперек волокон. В сб.: «Вопросы автоматизации, механизации и технологии деревообработки», М., 1969.
6. Дыскин И. М., Парфененко Г. А., Жуков Н. И. Влияние условий охлаждения древесностружечных плит на их свойства. «Механическая обработка древесины», 1969, 15, изд-е ВНИИТЭИлеспрома.
7. Влияние температуры кондиционирования на механические свойства древесностружечных плит. «Механическая обработка древесины», 1964, 4. Изд-е ЦНИИТЭИлеспрома.

8. Остриков М. С. О механическом действии капиллярно-поверхностных сил в дисперсных структурах при высыхании и увлажнении. Киев, 1947.

9. Соснин М. И., Климова М. И. Определение упругого сопротивления пакета в процессе прессования. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971.

10. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф., Дыбенко Г. И. Прочность и деформативность слоистых пластинок. Киев, «Наукова думка», 1964.

11. Стерлин Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. М., «Лесная промышленность», 1968.

12. Артюховский Н. К. Экспериментальное исследование длительной прочности и деформативности древесностружечных плит при растяжении, сжатии и изгибе. Научн. тр. Воронежского инж.-строит. ин-та, сб. 11, вып. 2. Воронеж, 1965.

13. Фурлетов В. Н. Напряженное и деформативное состояние армированных древесностружечных плит при длительном воздействии нагрузки. Тр. Архангельского лесотехнического ин-та им. В. В. Куйбышева. Архангельск, Северо-западное книжное изд-во, 1968.

14. Ван Цзы-де. Прикладная теория упругости. М., Физматгиз, 1959.

15. Биргер И. А. Методы определения остаточных напряжений в стержнях и пластинках. «Заводская лаборатория», 1962, 5.

16. Перельгин Л. М. Строение древесины. М., изд-во АН СССР, 1954.

17. Ханмамедов К. М. Некоторые результаты исследования закономерностей усушки и разбухания древесины. «Drevársky výskum», 1968, 2.

18. Чудинов Б. С. Явление отрицательного набухания древесины поперек волокон при адсорбции. В сб.: «Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы». М., «Наука», 1966.

19. Миклеев П. Г., Фридман Я. Б. Анизотропия механических свойств материалов. М., «Металлургия», 1969.

20. Работнов Ю. Н. Сопротивление материалов. М., Государственное изд-во физико-математической литературы, 1962.

21. Самуль В. И. Основы теории упругости и пластичности. М., «Высшая школа», 1970.

22. Клар Г. В., Климова М. И. Исследование процесса ориентации стружки механическим способом при формировании ковра древесно-стружечных плит. В сб.: «Исследование свойств древесины и древесных материалов». Красноярск, 1969.

М. И. Климова, М. И. Соснин

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ В СВЯЗИ С ИХ ФОРМОИЗМЕНЯЕМОСТЬЮ

В предыдущей статье сборника было показано, что формоизменяемость стружечных плит в основном определяется асимметричностью влажностных напряжений, возникающих в стружечных плитах после прессования. Величина этих на-

пряжений определяется характером распределения влаги по сечению плиты, коэффициентами усушки и разбухания плит по формату, модулями упругости симметричных слоев.

В данной статье рассматривается влияние основных экспериментально установленных, физико-механических свойств древесностружечных плит на коробление. В связи с этим исследовались влагораспределение, коэффициенты усушки и разбухания, а также послойная плотность, характеризующая модуль упругости слоев.

Определение коэффициентов усушки и разбухания древесностружечных плит

Определение коэффициентов усушки и разбухания проводилось в зависимости от плотности и структуры плит. Влажностные деформации замерялись в продольном и поперечном направлениях у плит с ориентированными частицами и в любом направлении у обычных плит (контрольный вариант).

Для получения плит использовалась стружка от станков ДС-3, смола М-60 в количестве 8—10% от веса сухих стружек и отвердитель — хлористый аммоний в количестве 1% от веса жидкой смолы.

Ориентация частиц осуществлялась на лабораторной установке механического действия [1], расстояние между перегородками решетки принималось 15 мм, от поверхности ковра — 0,9—1,1 см. Средние размеры частиц 16,1×3,1×0,30 мм. При формировании пакета обеспечивался угол ориентации частиц в пределах 25°. Размеры плит 625×625×20 мм. Прессование плит осуществлялось при температуре 160°С и времени выдержки в прессе 0,50 мм/мин. толщины готовой продукции.

После вылеживания плиты разделялись на образцы размерами 125×23 мм, часть из которых одновременно служила и для определения их средней плоскости. Толщина образцов соответствовала толщине готовых плит. Количество образцов для каждого варианта испытаний было принято 18—20 штук. Образцы одной партии (одной плотности и одного направления ориентации) делились на две группы. Выборка их из плиты по группам осуществлялась в шахматном порядке. Кондиционирование образцов производилось в климатической камере ТЕР-3 с автоматически регулируемой температурой и контролируемой влажностью воздуха в герме-

тически закрытых стеклянных сосудах. Относительная влажность воздуха соответствовала влажности древесины (6 и 16—18% при температуре 23°С). Нижний предел влажности образцов достигался выдерживанием их в камере при относительной влажности воздуха 29% (твердая фаза кристаллического хлористого кальция). Для достижения верхнего значения равновесной влажности вторая партия образцов закладывалась в эксикаторы над раствором хлористого кальция плотностью 1,15 г/см³, обеспечивавшим влажность воздуха 85%. Образцы, предназначенные для определения усушки по толщине, предварительно замерялись. После кондиционирования производился повторный обмер в ранее зафиксированных точках.

Определение коэффициентов усушки и разбухания плит связано с трудностью измерения малых деформаций. Так, для замера влажностных деформаций вдоль направления ориентации древесных частиц требуются образцы относительно больших размеров. При замере деформаций с точностью до 0,01 мм длина этих образцов, как правило, должна быть больше расстояния между центрами измерительных приборов указанной точности, так как в противном случае ошибка измерения сравнима с измеряемой величиной. Кроме того, образцы при испытании одновременно изменяют свои размеры по ширине и толщине, что затрудняет нанесение меток на поверхность образцов или их торцы. Фиксация измерительного инструмента на поверхности образца может быть также неточной вследствие разного давления прижима и недостаточной точности и чистоты обработки поверхностей.

На основании вышесказанного нами был избран способ замера деформаций, лишенный указанных недостатков и позволяющий измерять линейные перемещения материала с допустимой точностью.

Сущность способа заключается в прямом измерении малых деформаций, определяемых по величине сдвига общей разметочной линии, нанесенной на упругие планки, предварительно закрепленные по концам образца перед его кондиционированием. Планки изготавливаются из металла толщиной 0,4 мм. Нанесение общей разметочной линии производится непосредственно перед испытаниями. Базовое расстояние, на котором определялась влажностная деформация, во всех случаях было принято $100 \pm 0,5$ мм (рис. 1).

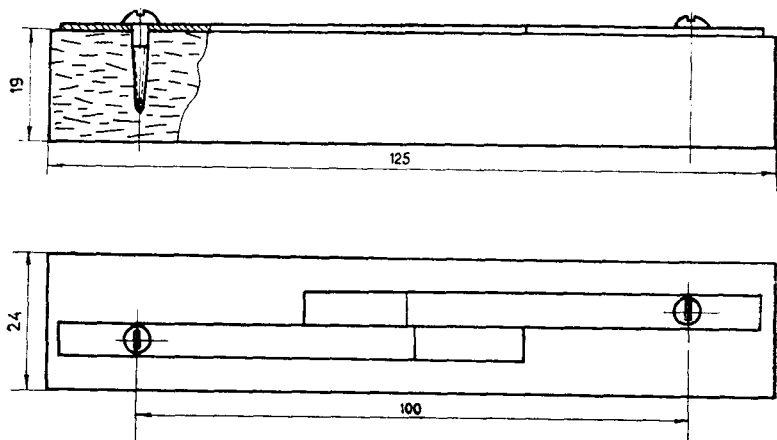


Рис. 1. Схема расположения планок на образце.

В результате длительного вылеживания и достижения средней равновесной влажности образцы одной партии разбухали, а другой — усыхали. В любом случае происходил сдвиг общей разметочной линии, нанесенной на металлические планки. Величина сдвига, определяющая абсолютную усушку и разбухание образца, замерялась микроскопом МБС-2. Точность совмещения шкалы с изображением предмета проверялась методом параллакса. При замере объекта с точностью до половины деления окулярной шкалы микроскопа относительная погрешность измерения влажностных деформаций образцов находилась в пределах от 1,2 до 5,5%. При двустороннем креплении пластинок на образцах поперечной разделки была обнаружена разница деформаций поверхностных слоев в пределах точности измерений.

Коэффициенты усушки и разбухания (k) определялись по формуле:

$$K = \frac{\Delta l \cdot 100}{l(W_k - W_n)}, \quad (1)$$

где Δl — деформация усушки или разбухания;

l — базовое расстояние измерения деформации;

W_n и W_k — начальная конечная влажность образца, %;

Как было указано ранее, часть образцов ($\bar{W}=7-8\%$) помещалась в сосуды, в которых равновесная влажность дре-

весины составляла 6 и 16—18%. В первом случае при кондиционировании образцов происходила сорбция влаги поверхностными слоями и десорбция — средними. При этих условиях влажность древесины не достигала 6%, так как ее равновесная влажность дана по десорбции. В наших опытах для плит эта влажность была $4,9 \pm 0,1\%$. Во втором случае происходила сорбция влаги. Однако и в этом случае влажность образцов была значительно ниже и составляла $12,7 \pm 0,1\%$.

На втором этапе кондиционирования при перемене образцов местами влажность в первом случае поднялась до 12,7%, а во втором снизилась до 5,1%. В результате разность равновесных значений влажности образцов при усушке составила 7,6%, при разбухании — 7,8%. Снижение равновесной влажности стружечных плит в сравнении с влажностью древесины объясняется пониженной адсорбционной способностью плит. Действительно, адсорбционная способность древесностружечной плиты как капиллярно-пористого коллоидного тела определяется ее структурой, количеством пор и капилляров в ней, их размерами, формой и взаимосвязью. Кроме того, на снижение равновесной влажности, вероятно, оказывают влияние связующее и условия гидротермической обработки плит.

Коэффициенты усушки и разбухания определялись через изменения влажностной деформации и влажности плит (I). Поэтому среднеквадратическое отклонение рассчитывалось, как отклонение функции нескольких переменных [3]. Средние относительные ошибки при определении плотности, влажности и базового расстояния при замере деформаций образцов соответственно составили: 0,2; 1,7 и 0,5%. Результаты статистической обработки материалов по коэффициентам усушки и разбухания представлены в табл. 1.

Коэффициенты усушки по толщине при плотности плит 530, 640 и 760 кг/м^3 соответственно составили для плит с ориентацией частиц — 0,48; 0,52; 0,66% и обычных плит — 0,55; 0,71; 0,75%. Некоторое снижение коэффициентов усушки и разбухания по толщине плит с ориентированными частицами, по-видимому, объясняется меньшей плотностью прессованных стружек в сравнении с обычными плитами.

Из анализа табл. 1 следует, что коэффициенты усушки и разбухания вдоль направления ориентации в 1,5 раза ниже, чем для обычных плит, тогда как в поперечном направлении эти коэффициенты в 2—3,5 раза выше, чем у плит без ори-

Таблица 1

**Коэффициенты усушки и разбухания по формату древесностружечных плит
в зависимости от плотности и ориентации частиц в пакете**

Направление ориентации частиц	Статистические показатели	Коэффициенты усушки					Коэффициенты разбухания				
		при плотности плит, кг/м ³									
		530	640	760	530	640	760	530	640	760	
Вдоль	M, %	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	n, шт.	18	18	27	17	18	27	17	18	27	27
	σ, %	0,0034	0,0027	0,0033	0,0023	0,0027	0,0033	0,0023	0,0027	0,0032	0,0032
	v, %	16,5	12,5	16,0	12,0	12,5	16,0	12,0	13,5	16,5	16,5
	m, %	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
	p, %	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Поперек	M, %	0,09	0,07	0,11	0,07	0,07	0,11	0,07	0,08	0,10	0,10
	n, шт.	17	18	9	18	18	9	18	17	9	9
	σ, %	0,014	0,015	0,017	0,012	0,015	0,017	0,012	0,015	0,0095	0,0095
	v, %	14,5	20,0	15,5	17,0	20,0	15,5	17,0	17,8	7,0	7,0
	m, %	0,0034	0,0035	0,0057	0,0028	0,0035	0,0057	0,0028	0,0036	0,0032	0,0032
	p, %	3,8	5,0	5,2	4,0	5,0	5,2	4,0	4,5	3,2	3,2
Несориентированные	M, %	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
	n, шт.	19	18	18	17	18	18	17	19	17	17
	σ, %	0,0050	0,0054	0,0083	0,0040	0,0054	0,0083	0,0040	0,0051	0,0043	0,0043
	v, %	16,0	17,0	20,0	13,3	17,0	20,0	13,3	17,0	15,0	15,0
	m, %	0,0012	0,0013	0,0020	0,0010	0,0013	0,0020	0,0010	0,0012	0,0010	0,0010
	p, %	4,0	4,3	5,0	3,3	4,3	5,0	3,3	4,0	3,3	3,3

ептации частиц. Отмеченная разница в коэффициентах усушки и разбухания в зависимости от направления частиц в пакете вызывает различия в деформировании слоев плит. Это в свою очередь приводит к короблению плит и снижению их прочности.

Распределение влаги и плотности по толщине стружечных плит

Для проведения этих исследований были изготовлены плиты с ориентированными частицами плотностью 550, 620, 700 кг/м³ и обычные плиты плотностью 620 кг/м³ (контрольный вариант). Плиты запрессовывались с ограничительной рамкой, моделирующей промышленные условия прессования, и одновременной регистрацией давления парогазовой смеси и температуры по методике, описанной ранее [4]. Влажность стружечно-клеевой смеси была 12,0 и 14,0%. Время прессования 0,45 мин/мм толщины плиты.

Отбор образцов для определения послойной влажности и плотности осуществлялся непосредственно после прессования путем высверливания пробок и разделки их по слоям. Определение влажности производилось весовым способом в 4 точках по ширине плиты (направление длины ограничительной рамки) и 5—9 точках по толщине ее, начиная от одной поверхности к другой. Количество повторностей образцов на одной плите для каждой точки равно 4, количество плит одной плотности и вида — не менее 6.

Для предотвращения потерь влаги, разделанные на слои образцы закладывались в боксы и взвешивались. Общее время на отбор образцов из плиты, их расслаивание специальным приспособлением и первое взвешивание составляло 30 ± 3 мин. К этому времени стружечная плита почти полностью остывала. Объем образцов для определения их послойной плотности замерялся ртутным объемомером. Результаты опытов обрабатывались методом вариационной статистики.

Распределение влаги в древесностружечной плите по толщине в зависимости от вида и плотности плит представлено на рис. 2. Из него видно, что характер распределения влаги по толщине стружечной плиты близок к параболическому. Однако ветви параболы не симметричны. Влажность верхней половины плиты несколько выше нижней, что является одной из причин коробления плит.

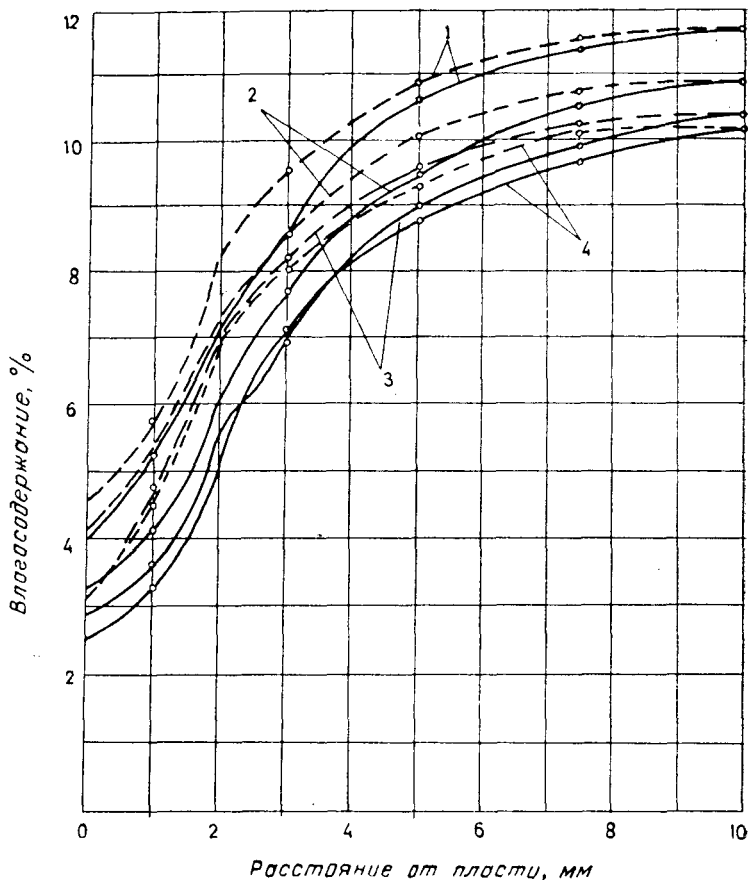


Рис. 2. Влагораспределение по толщине плит в зависимости от структуры и плотности: 1 — 700, 2 — 650, 4 — 520 кг/м^3 (плиты с ориентацией частиц), 3 — 620 кг/м^3 (без ориентации частиц). — — — — нижняя половина плиты, — — — — верхняя половина плиты.

Несимметричность распределения влаги по толщине плиты объясняется тем, что в процессе загрузки и выгрузки нижняя сторона плиты подвержена более сильному пропреву. Некоторое сглаживание асимметричности распределения влаги в плите происходит, по-видимому, за счет большего увлажнения нижней половины пакета в сравнении с верхней. Это вызвано тем, что при формировании пакет подвергается

вибрации и толчкам, и мелкие частицы постепенно просыпаются вниз на нижний поддон, что приводит к перераспределению фракционного состава стружечно-клеевой смеси в верхней и нижней частях пакета. Но так как при смешивании древесных стружек со связующим мелкие частицы и пыль получают относительно большее количество связующего, то нижняя часть пакета будет несколько дополнительно уплотнена и увлажнена. Последнее обстоятельство способствует снижению перепада средней влажности между верхним и нижним полупакетами плиты.

Из рис. 2 видно, что с увеличением расстояния от поверхности плиты к срединной плоскости наклон кривых к оси абсцисс сначала является приблизительно постоянной величиной, а затем уменьшается до нуля. Некоторое снижение его в поверхностных слоях в сравнении с промежуточными, по-видимому, связано с сорбцией паров воды из воздуха во время их отбора перед испытаниями.

Качественный характер распределения влаги по толщине стружечных плит в конце прессования не зависит от плотности и структуры пакета. Однако с увеличением плотности пакета среднее интегральное влагосодержание плит при прочих равных условиях повышается, а с использованием принципа ориентации частиц — снижается. Это объясняется различной проницаемостью пакетов разной плотности и структуры.

С повышением влажности стружечно-клеевой смеси средняя влажность пакета после прессования также повышается (рис. 3). При этом наблюдается более значительное перемещение влаги по толщине пакета.

Обработка результатов эксперимента на электронно-вычислительной машине показала, что распределение влаги (W) по толщине стружечной плиты после прессования с достаточной степенью точности описывается многочленом четвертой степени. Например, для плит плотностью 500 кг/м^3 с начальной влажностью смеси 14% это уравнение представляется в виде:

$$W = -0,000294 s^4 + 0,011604 s^3 - 0,237131 s^2 + 2,504759 s + 1,93937, \quad (12)$$

где s — толщина плиты в мм, s изменяется от 0 до 20.

Оценим влияние асимметричности распределения влаги по толщине плиты на величину перерезывающих сил и изгибающий момент, вызывающий коробление материала. Для

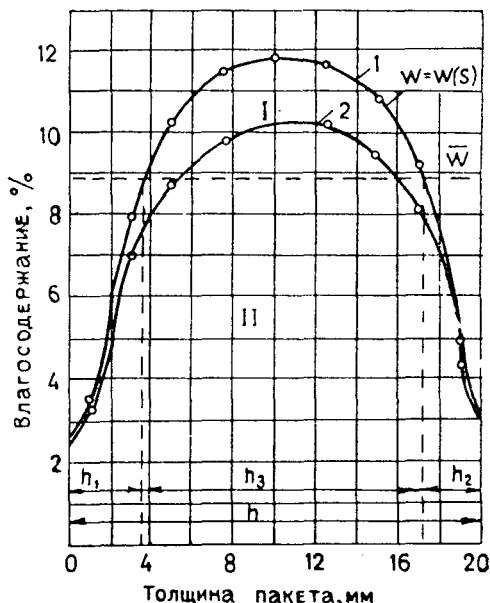


Рис. 3. Влагораспределение по толщине плиты в зависимости от влажности стружечно-клеевой смеси: 1 — 14%, 2 — 12% (плотность плит 500—520 кг/м³).

этого воспользуемся формулами изменения этих параметров по сечению плиты:*

$$Q(s) = \int_{-\frac{h}{2}}^s P(s) ds \quad \left(-\frac{h}{2} \leq s \leq \frac{h}{2} \right), \quad (3)$$

где

$$P(s) = E_i(s) \cdot c_i [\bar{W} - W(s, t)|_{t=0}].$$

Изгибающий момент относительно срединной поверхности в первой половине плиты —

$$M'(s) = + \int_0^s P(s) s ds \quad \left(-\frac{h}{2} \leq s \leq 0 \right); \quad (4)$$

* См. М. И. Климова, М. И. Соснин. «Аналитическое определение коробления древесностружечных плит» в данном сборнике.

во второй половине —

$$M''(s) = - \int_0^s P(s) ds \quad \left(0 \leq s \leq \frac{h}{2} \right). \quad (5)$$

Оценку произведем на примере стружечной плиты плотностью 500 кг/м^3 с начальной влажностью стружечно-клеевой смеси 14% (рис. 3, кривая 1). Будем считать, что в процессе кондиционирования происходит только перераспределение влаги в плите и средняя ее влажность остается постоянной, равной 8,9%. Тогда, используя данные распределения влаги по сечению плиты, найдем распределение удельных усилий по ее толщине. Затем, численно проинтегрировав уравнение 3—5, получим эпюры перерезывающих сил и изгибающего момента относительно срединной плоскости плиты (рис. 4, 5). Для упрощения расчетов при получении эпюр принимаем $E_1 c_1 = 1$. Эпюры, определяемые при фактических значениях E_1 и c_1 ($E = \text{const}$), подобны вычисленным и будут отличаться от них только численно.

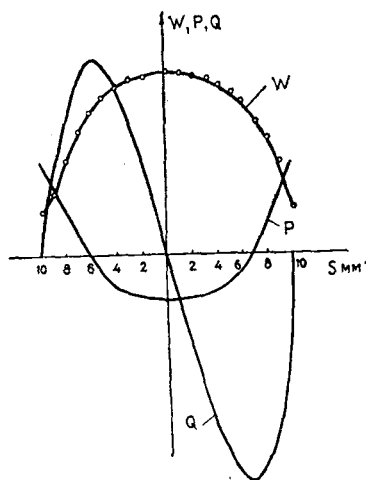


Рис. 4. Изменение влагосодержания (W), удельного усилия (P) и перерезывающих сил (Q) по толщине стружечной плиты.

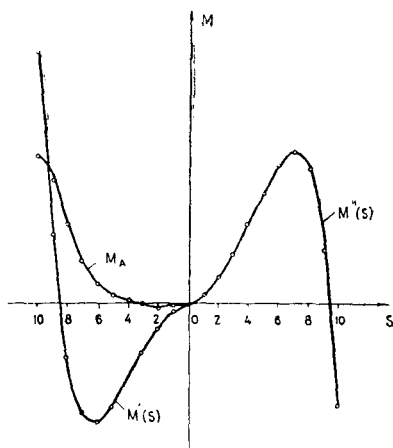


Рис. 5. Изменение изгибающих моментов по толщине стружечной плиты относительно срединной плоскости в первой — $M'(s)$ и второй — $M''(s)$ ее частях. M_A — изгибающий момент, вызывающий коробление плиты.

Из рисунка 4 видно, что максимальная величина перерезывающих сил, определяющая напряжения в склейке, находится в зоне, где влажность слоя равна средней влажности плиты. Удельное усилие в этой зоне, обуславливающее влажностную деформацию слоя, равно нулю. По мере приближения к срединной плоскости плиты перерезывающие силы уменьшаются, что способствует повышению прочности средних слоев плиты.

Изгибающие моменты первой $[M'(s)]$ и второй $[M''(s)]$ половины плиты не симметричны и не компенсируют друг друга (рис. 5). Сумма этих моментов определяет момент, который обуславливает непосредственное искривление материала (кривая M_A). Из анализа кривой видно, что с увеличением расстояния от срединной плоскости к поверхности плиты момент M_A и $\frac{dM_A}{ds}$ (абсолютное значение) увеличиваются.

Особенно резкое увеличение момента наблюдается при расстоянии от срединной плоскости выше 5—6 мм. Это объясняется повышенным изменением влажности поверхностных слоев в сравнении со средними.

Ранее было показано, что характер распределения влаги по сечению плит мало зависит от их структуры (рис. 2). Поэтому, для плит с ориентацией частиц в одном направлении изгибающий момент, вызывающий их коробление в поперечном направлении будет несколько выше, чем для обычных плит. Соотношение этих моментов приблизительно равно отношению произведений коэффициентов влажностных деформаций и модулей упругости $\left(\frac{c_n E_n}{c_E} \right)$. В среднем это

соотношение составляет 1,1—1,25. Однако жесткость стружечных плит, определяемая модулем упругости и моментом инерции, в поперечном направлении плит с ориентацией частиц в 2—2,5 раза меньше, чем для обычных плит. Следовательно, древесностружечные плиты с ориентацией частиц подвергаются более значительному короблению поперек направления ориентации частиц.

Как было показано ранее, на изгибающий момент оказывает влияние модуль упругости плиты. Чем выше его величина, тем больше изгибающий момент. При асимметричном распределении модулей упругости в симметричных слоях изгибающий момент, действующий на плиту, может еще более увеличиться, что приведет к повышению ее коробления.

Модуль упругости и прочность изменяются приблизительно пропорционально увеличению плотности стружечных плит. Следовательно, при разной плотности отдельных слоев плиты модули упругости их также будут различны. Поэтому асимметричное распределение плотности слоев по толщине древесностружечной плиты приводит к возникновению изгибающего момента, вызывающего коробление материала.

Исследования показали, что качественный характер распределения послойной плотности древесностружечных плит мало меняется в зависимости от их плотности и структуры (рис. 6). Как правило, плотность наружных слоев значительно превосходит среднее значение, что объясняется разной от-

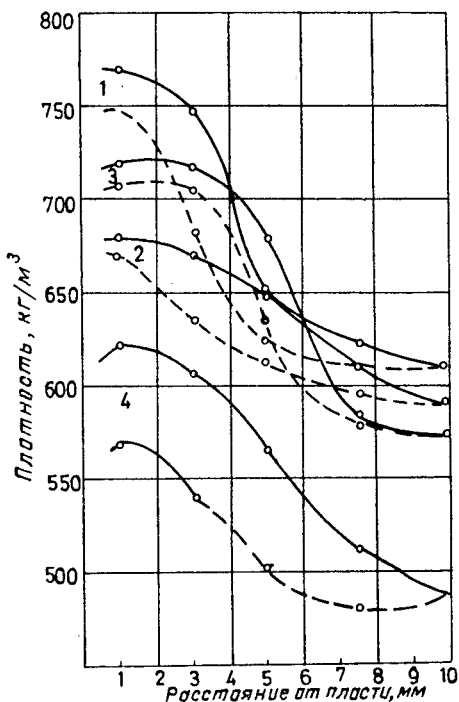


Рис. 6. Изменение плотности по толщине плит в зависимости от их средней плотности: 1 — 700, 2 — 620, 4 — 520 кг/м^3 (плиты с ориентацией частиц), 3 — 620 кг/м^3 (без ориентации частиц). — — — — нижняя половина плиты, — — — — верхняя половина плиты.

носителем деформативностью наружных и средних слоев пакета. При прессовании наружные слои пакета быстрее прогреваются и имеют более высокую температуру. Это приводит к тому, что в наружных слоях большая часть относительной упругой деформации заменяется высокоэластической и вынужденно-эластической. Эти деформации характеризуются большими перемещениями, что и является причиной более высокой плотности наружных слоев древесностружечных плит. Более высокая плотность материала между поверхностными и средним слоем связана с увеличением эластичности этих слоев при повышенной температуре за счет поступления влаги из наружных слоев в период уплотнения и начала прессования.

Как было показано ранее, при формировании пакета происходит перераспределение фракционного состава стружечно-клеевой смеси, в связи с чем нижняя часть пакета имеет повышенную влажность и содержание связующего. Поэтому средняя плотность нижних слоев плиты несколько больше верхних (рис. 6), что вызывает нарушение симметрии конструкции плиты, так как жесткость слоя является функцией его плотности. В связи с повышенным содержанием связующего в нижних слоях плиты модуль упругости их увеличивается в сравнении с верхними. Это также вызывает асимметричность влажностных напряжений.

При одинаковых условиях прессования значения минимальной и максимальной плотности слоев плит с ориентацией древесных частиц и обычных мало отличаются друг от друга. Так при плотности плит 620 кг/м^3 и $W=12\%$ послойная плотность плит с ориентацией частиц колеблется от 580 до 680 кг/м^3 . Для обычных плит она составляет 570— 720 кг/м^3 . Такое же положение наблюдается в отношении характера асимметричности распределения послойной плотности по сечению плит.

В ы в о д ы

Основной причиной повышенного коробления стружечных плит в направлении поперек ориентации частиц является увеличенная влажностная деформация в этом направлении в сравнении с обычными плитами.

Величина влажностных деформаций определяется распределением влаги в пакете, средней влажностью его и коэффициентами усушки и разбухания плиты. При плоском напря-

женном состоянии для плит с ориентированными частицами влажностные деформации в поперечном направлении в 2,0—2,5 раза выше, чем обычных плит.

Качественный характер распределения влаги в плите мало изменяется от плотности, структуры и начальной влажности пакета. При увеличении влажности стружечно-клеевой смеси и плотности плит средняя влажность их к началу кондиционирования повышается. При прессовании плит с ориентацией частиц значение ее ниже средней влажности обычных плит.

Асимметричность распределения плотности плиты по толщине в основном характеризуется перераспределением фракционного состава частиц и связующего при формировании пакета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клар Г. В., Климова М. И. Исследование процесса ориентации стружки механическим способом при формировании ковра древесностружечных плит. В сб.: «Исследование свойств древесины и древесных материалов». Красноярск, 1969.

2. Лыков А. В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968.

3. Кемниц Ю. В. Теория ошибок и измерения. М., Геодезиздат, 1961.

4. Климова М. И., Соснин М. И., Анисов П. П. Измерение давления парогазовой смеси и температуры при прессовании древесностружечных плит с ориентированными частицами. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971.

Г. В. Клар, А. С. Чернышева,
П. И. Ваньков.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АРБОЛИТА НА ДРОБЛЕНКЕ ОСИНЫ

Состояние вопроса

Исследования и производственный опыт свидетельствуют, что для получения арболита высокого качества может быть рекомендована древесина лишь хвойных пород (кроме лиственницы). Арболит из осины и других лиственных пород имеет низкое качество, и прочность его далеко не удовлетворяет техническим условиям на этот материал.

Исследования И. П. Мещеряковой [1] показали, что добавление в дробленку хвойных пород 20 и 40% дробленки

осины снижает прочность арболита в 28-суточном возрасте соответственно на 12 и 17%. Поэтому рекомендованы при производстве арболита добавки осины, не превышающие 20%.

Исследования НИИЖБа по выявлению влияния породы древесины (ель, сосна, береза, осина) на прочность арболита показали [2], что наилучшей породой является ель, а наихудшей — осина. Прочность на сжатие арболита из осины не достигает и 20 кгс/см^2 , вместо 35 кгс/см^2 , регламентированных техническими условиями [3]. Л. Н. Пискаревой и Ю. Е. Никифоровым [4] выявлено изменение прочности арболита из осины в пределах $10\text{—}30 \text{ кгс/см}^2$ в зависимости от вида и количества добавки минерализаторов и других веществ.

Осина широко распространена в лесах страны и по запасам среди лиственных пород занимает второе место после березы. При лесозаготовках значительная доля ее оставляется в недорубах, тонкомере и отходах. Это повышает пожарную опасность и ухудшает санитарное состояние леса. Отходы лесопиления и деревообработки осины пока не находят применения. Поэтому повышение прочности арболита из древесины осины имеет большое научное и практическое значение.

В настоящей работе освещаются результаты исследований арболита из древесины осины, в основу которых положены теоретические предпосылки повышения прочности арболита, выдвинутые Институтом леса и древесины СО АН СССР и Красноярским ПромстройНИИпроектом раньше. Задача работы состояла в исследовании влияния на повышение прочности арболита из древесины осины различных технических приемов извлечения из дробленки водно-растворимых веществ и ее ориентации в материале, использования различных вяжущих и способа их введения.

В опытах использовалась дровяная древесина осины, доставленная сплавом. Арболит получали по обычной технологии. Дробленка изготовлялась следующим образом: из цельной окоренной древесины на рубительных машинах получали щепу. Затем в молотковой дробилке ДМ-1 ее измельчали в дробленку, на сите с ячейками 2 мм отсеивалась пыль. Получилась дробленка, в которой фракции 7/5 и 5/3 составляли 83,2% (табл. 1). У частиц осиновой дробленки более выраженная игольчатая форма, нежели у частиц сосновой дробленки (большая длина и меньшая ширина).

В качестве минерализатора и ускорителя твердения вяжущего использовался раствор хлористого кальция плот-

Таблица 1

Гранулометрический состав осиновой дробленки

Фракция *	Содержание % к общему количеству	Размеры частиц в каждой фракции, мм		
		длина	ширина	толщина
$\frac{10}{7}$	6,7	26,4	6,1	2,6
$\frac{7}{5}$	34,5	19,7	2,9	1,5
$\frac{5}{3}$	48,7	12,6	2,2	1,3
$\frac{3}{2}$	5,5	10,6	1,9	0,8
$\frac{2}{1}$	3,0	9,2	0,9	0,4
Средневзвешенные размеры частиц		15,8	2,6	1,4

* Над чертой — диаметр отверстий сита, через которое частицы прошли; под чертой — диаметр отверстий сита, на котором частицы остались. Пылевидная фракция $\frac{1}{0}$, содержание которой было 1,6%, в расчет не принималась.

ностью 1,04 г/см³. Вяжущими были приняты портландцемент Красноярского завода марки «400» и белитошламовое вяжущее (гипсобелитошламовое) марок «150—200», также производимого в Красноярске.

В опытах был принят состав по весу 1:1,5 (древесина:цемент), который соответствовал по техническим уровням арболиту марки «35». Расход вяжущего при этом был: 360 кг и дробленки — 240 кг на 1 м³. Рассчитанная доза дробленки по принятой технологии замачивалась в растворе минерализатора в течение 15 минут, затем излишек раствора стекал в течение 3 минут. После этого увлажненная дробленка перемешивалась в бетономешалке с дозой цемента, и масса формовалась и прессовалась при 3—5 кгс/см². В зафиксированном положении арболит находился 2 суток, после чего образцы извлекались из формы и выдерживались в помещении с тем-

температурой 18—22° С и относительной влажностью воздуха не более 60%.

Испытания образцов проводились спустя 28 суток с момента изготовления. Размеры испытываемых образцов 10×10×10 см. Такие образцы вырезались из экспериментальных плит 26,5×26,5×10,0 см. При испытании определялись объемный вес, предел прочности при сжатии и влажность в момент испытания. Для каждого варианта изготовлялось 2—3 плиты, что позволяло получать 8—12 образцов. Результаты испытаний обрабатывались методом математической статистики.

Изменение прочности арболита за счет извлечения водно-растворимых веществ из дробленки

В арболите и других древесно-цементных материалах используемые породы древесины по содержанию водно-растворимых веществ, вредно влияющих на твердение и прочность вяжущего, подразделяются на пригодные, малопригодные и непригодные [5]. Наименьшее количество водно-растворимых веществ находится в древесине пихты, затем ели и сосны [2, 5]. Эти породы считаются основными в производстве арболита и фибrolита. Древесина березы и осины содержит несколько больше водно-растворимых и занимает промежуточное место между елью с сосной и лиственницей, в которой их содержится в среднем до 10—12%. Древесина осины содержит до 5—7% водно-растворимых веществ.

Наши исследования предшествующих лет показали, что из древесины осины и тем более лиственницы не может быть получен арболит высокого качества по обычной технологии.

Исследования по повышению прочности арболита из древесины лиственницы в результате удаления водно-растворимых веществ дают основание предполагать эффективность этого способа также для дробленки осины. С этой целью из нее экстрагировались водно-растворимые вещества кипячением в воде в течение 6 часов при гидромодуле 1:15. Содержание водно-растворимых до экстракции было 3,3%, после — 1,2% (на вес сухого вещества). Затем дробленка высушивалась, после чего из нее по описанной технологии получали арболит. Для контроля были изготовлены образцы из неэкстрагированной дробленки осины.

Результаты экспериментов предоставлены в табл. 2. Как видно из нее даже из выдержанной осиновой дробленки (до 6

**Изменение предела прочности при сжатии арболита
на экстрагированной и неэкстрагированной (контроль)
осиновой дробленке и порглицдцементе**

Заполнитель	Статистические величины						Объемный вес, кг/м ³	Влажность при испыта- ниях, %
	M, кгс/см ²	±m, кгс/см ²	±σ, кгс/см ²	γ, %	ρ, %	n		
Неэкстрагирован	23	1,15	3,2	13,9	5,0	8	720	10,4
Экстрагирован	43	0,35	0,99	2,3	0,8	8	710	13,8

месяцев) получается арболит с прочностью всего лишь 23 кгс/см², что составляет только 66% от прочности арболита, получаемого из сосновой дробленки. Извлечение водно-растворимых позволяет получать арболит прочностью 43 кгс/см², что на 87% выше требований технических условий.

Таким образом, освобождение осинового заполнителя от вредных для минеральных вяжущих веществ позволяет получать высокопрочный арболит.

Однако для внедрения в производство новой технологии необходимо ее экономическое обоснование.

**Изменение прочности арболита в зависимости
от вида вяжущего и способа его введения**

Теоретические положения и результаты экспериментальных проверок свидетельствуют об отрицательном влиянии водно-растворимых веществ древесины на процессы гидратации и твердения цементных растворов и прочность арболита. Это в большей мере проявляется при повышенном содержании в древесине водно-растворимых веществ и использовании вяжущих с удлиненными сроками твердения и щелочной средой.

Рекомендуемое некоторыми исследователями белитошламовое, а точнее — гипсобелитошламовое вяжущее имеет короткие сроки начала и конца схватывания и нейтральную среду раствора. Все это сокращает выделение водно-растворимых веществ. Однако это вяжущее имеет сравнительно низкую, нестабильную марку 150—200 и сроки хранения в пределах двух месяцев, что создает определенные трудности в произ-

водстве арболита. Другой особенностью его является большая водопотребность, что значительно удлиняет сроки сушки материала. Высокая гигроскопичность и водонасыщение гипсобелитошламового вяжущего из-за значительного содержания гипса в его составе (до 15%) требует разработки надежных мер защиты от увлажнения арболитовых изделий на этом вяжущем.

В практике производства арболита большей частью используется портландцемент марки «400» и выше. Из-за высокого содержания в осине водно-растворимых их необходимо либо удалять, либо применять другие способы нейтрализации. Нами был использован ранее апробированный способ двойной обработки древесных частиц вяжущим [7, 8]. В первый прием вносится 30% вяжущего. Затем дробленка выдерживается в течение суток, после чего перемешивается с оставшимся портландцементом. При первом перемешивании создается цементная корка вокруг древесных частиц, которая препятствует непосредственному контакту водно-растворимых веществ с основной долей вяжущего, благодаря чему улучшаются условия его гидратации и твердения. В предшествующих исследованиях при обработке сосновой дробленки гипсобелитошламовым вяжущим или активированным портландцементом с использованием в обоих случаях для второй обработки портландцемента был достигнут высокий рост прочности арболита.

В исследованиях по арболиту из осины для первой обработки использовалось гипсобелитошламовое вяжущее из-за коротких сроков его твердения. Осиновая дробленка перед смешиванием замачивалась в растворе хлористого кальция. Дальнейший процесс получения и испытания образцов не отличался от описанного выше. Для контроля были изготовлены образцы арболита только на гипсобелитошламовом вяжущем.

Данные испытаний представлены в табл. 3, из которой видно, что практически нет разницы в прочности арболита, полученного на портландцементе и гипсобелитошламовом вяжущем. Двойная же обработка способствовала росту прочности арболита на 17%. Несмотря на это, двойная обработка дробленки осины указанными вяжущими не дает должного эффекта, так как не достигается прочность арболита, предусмотренная техническими условиями.

**Изменение предела прочности при сжатии арболита
на осиновой дробленке в зависимости от вида
используемого вяжущего и способа его введения**

Вяжущее и способы его введения	Статистические величины						Объемный вес, кг/м ³	Влажность при испытан- иях, %
	M, кгс/см ²	±m, кгс/см ²	±σ, кгс/см ²	— %,	ρ, %	n		
Портландцемент; за один прием, 100%	23	1,15	3,2	13,9	5,0	8	720	10,4
Гипсобелитошламовое вяжущее, за один при- ем, 100%	24	0,8	2,25	9,3	3,2	8	710	11,6
Гипсобелитошламовое вяжущее (30%) + порт- ландцемент (70%)	27	1,5	4,3	15,9	5,5	8	740	12,5

**Изменение прочности арболита в зависимости
от порядка расположения дробленки**

Для достижения наибольшей прочности арболита на осино-
вой дробленке был использован способ создания упорядочен-
ной структуры за счет ориентации частиц заполнителя. Для это-
го при формировании арболитовую смесь укладывали в форму
через колеблющуюся решетку с параллельными пластинами,
расстояние между которыми составляло 9—10 мм. В осталь-
ном технология получения опытных образцов не отличалась
от обычной. Осиновая дробленка не экстрагировалась. В опы-
тах по ориентации применено как однократное введение порт-
ландцемента, так и двойная обработка заполнителя вначале
гипсобелитошламовым вяжущим (30%), затем портландце-
ментом (70%). Результаты испытаний представлены в табл.
4. Как видно из нее, за счет упорядоченного расположения
частиц даже при использовании портландцемента и неэкстра-
гированной древесины осины возможно повысить предел
прочности при сжатии в 1,5 раза (34 кгс/см²). При двойной
обработке заполнителя увеличение прочности материала за
счет ориентации происходит более, чем в 1,8 раза, а абсолют-
ная величина ее составляет 50 кгс/см².

По сравнению с прочностью арболита на портландцементе

Влияние ориентации неэкстрагированной осиновой дробленки, вяжущих и способа их введения на предел прочности арболита при сжатии

Вяжущее и способы его введения	Статистические величины						Объемный вес, кг/м ³	Влажность при испытаниях, %
	$M, \text{ кгс/см}^2$	$\pm m, \text{ кгс/см}^2$	$\pm \sigma, \text{ кгс/см}^2$	$v, \%$	$p, \%$	n		
Портландцемент; за один прием 100%	34	1,97	5,5	16,3	5,7	8	710	10,0
Гипсобелитошламовое вяжущее (30%) + портландцемент (70%)	50	1,57	4,4	8,8	3,1	8	740	10,6

по обычной технологии, двойная обработка заполнителя гипсобелитошламовым вяжущим и портландцементом с ориентацией частиц заполнителя позволяет более чем в два раза повышать предел прочности при сжатии.

Исследования арболита с ориентированной структурой на портландцементе и экстрагированной осиновой дробленке показали, что он достигает высокого предела прочности при сжатии вдоль направления ориентации дробленки — 56 кгс/см², что также удовлетворяет техническим требованиям на арболит.

В ы в о д ы

Обобщая исследования по повышению качества арболита из древесины осины, можно отметить следующее:

Арболит из осиновой дробленки по обычной технологии производства как на портландцементе, так и белитошламовом вяжущем имеет значительно меньшую прочность, чем регламентировано техническими условиями.

Экспериментально проверены и подтверждены способы повышения прочности арболита из древесины осины:

а) удаление водно-растворимых веществ из дробленки способствует значительному повышению прочности арболита.

б) ориентация неэкстрагированной дробленки при получении арболита на портландцементе позволяет получать мате-

риал с пределом прочности при сжатии вдоль направления ориентации до 34 кгс/см^2 , при одновременном снижении прочности в поперечном направлении.

в) на неэкстрагированной ориентированной дробленке с применением способа двойной обработки вяжущим предел прочности сжатия арболита составляет 50 кгс/см^2 , что значительно выше нормы.

г) сочетание экстракции с ориентацией частиц заполнителя при использовании портландцемента увеличивает прочность при сжатии арболита вдоль направления ориентации до 56 кгс/см^2 . При сжатии в поперечном направлении прочность составляет 37 кгс/см^2 .

Достигнутый высокий рост прочности арболита из осины может способствовать вовлечению ее в производство арболита.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Мещерякова. Исследование некоторых свойств арболита на древесной дробленке. Материалы координационного совещ. по научно-исследоват. и опытно-эксперимент. работам в области арболита. М., 1965.

2. Арболит. Под ред. Г. А. Бужевича. М., Изд-во лит-ры по строительству, 1968.

3. Межреспубликанские технические условия на арболит (МРТУ 21-4-65). М., Гослесбумиздат, 1965.

4. Л. М. Пискарева, Ю. Е. Никифоров. Арболит из отходов лесозаготовительной промышленности Сибири. В сб.: «Строительные материалы и изделия из местного сырья Восточной Сибири», вып. 1. Красноярск, 1970.

5. Х. Х. Коровец и Б. М. Линдвет. Изготовление цементного фибролита (Опыт Таллинского завода ТЭП). Таллин, 1958.

6. В. М. Никитин. Химия древесины и целлюлозы. М.-Л., Гослесбумиздат, 1960.

7. Авторское свидетельство № 302324.

8. П. И. Ваньков, Г. В. Клар. Исследования по технологии получения арболита повышенной прочности. В сб.: «Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера», № 20, Красноярск, 1971.

9. Г. В. Клар, М. И. Ваньков, Л. А. Охарева, М. И. Климова. Изменение свойств арболита при ориентации древесных частиц. В сб.: «Исследования в области древесины и древесных материалов». Красноярское книжное изд-во, 1967.

10. Г. В. Клар, П. И. Ваньков. Арболит новой структуры «Лесная промышленность», 1967, № 8.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ АРБОЛИТА

При современном уровне производства арболит и подобные ему древесно-цементные материалы, как правило, имеют невысокий уровень прочности, по сравнению с составляющими их основными компонентами — древесиной и вяжущим. Более того, последний не на всех породах древесины может быть достигнут.

В ряде исследований, в том числе и наших, показано, что водно-растворимые вещества древесины, главным образом сахара, отрицательно влияют на процесс гидратации и твердения цемента и в целом на прочность материала. Цементный раствор имеет щелочную среду с $\text{pH}=11\text{—}12$ и способствует переходу гемицеллюлоз в простейшие сахара. Таким образом, имеет место «несовместимость» древесины и минерального вяжущего.

С целью повышения качества арболита и подобных материалов прибегают к различным физическим, химическим и совместным обработкам древесных заполнителей, а также вводят в арболитовую смесь различные вещества и др.

Взаимодействие водно-растворимых веществ древесины и минеральных вяжущих пока не нашло четкого теоретического представления. Суждения по этому вопросу зачастую базировались на косвенных экспериментах по определению влияния на цементы сахаров в чистом виде [1—3]. Впервые с помощью метода меченых атомов [4] было доказано проникновение водно-растворимых веществ в раствор вяжущего при производстве фибролита. Затем экспериментально было установлено [4—7], что наибольшее отрицательное воздействие на процессы гидратации и твердения цементных растворов и в целом цементного камня оказывают сахара, содержащиеся в водно-растворимых веществах.

Механизм взаимодействия компонентов водно-растворимых веществ древесины и цементных растворов рассматривается как физико-химический процесс образования тончайших слоев вокруг цементных зерен, препятствующих гидратации и твердению вяжущих [4, 6, 8]. Одним из продуктов взаимодействия,

тормозящим процесс гидратации и твердения цемента, предполагаются сахара кальция [6, 9, 9]. При этом отмечается их образование за счет взаимодействия сахаров с окисью кальция [9] или с гидроокисью кальция [8] портландцемента.

Теоретический анализ количественной и качественной стороны взаимодействия используемых компонентов в производстве арболита и подобных ему материалов позволили нам предположить другой возможный путь образования сахаров кальция, который не исключает взаимодействия углеводов с окисью кальция вяжущих. Мы считаем также возможным образование сахаров кальция за счет химической реакции углеводной части древесины — сахаров и хлористого кальция, используемого в качестве минерализатора древесины и ускорителя твердения вяжущего.

В данной работе ставится задача исследовать взаимодействие сахаров (глюкозы, ксилозы, сахарозы и арабиногалактана) и хлористого кальция.

Исследования проводились с помощью двухлучевого инфракрасного спектрофотометра UR-20 в интервале частот $5000-7000\text{ см}^{-1}$. Все анализируемые вещества изучались в твердом состоянии. В качестве спектроскопически инертного разбавителя использован бромистый калий. При исследовании образцов применялось прямое и дифференцированное спектрофотометрирование. При прямом спектрофотометрировании в окно сравнения ставились пластинки из бромистого калия, при дифференцированном — таблетки смеси вещества в бромиде калия. Химический состав смеси в каждом случае определялся объектом исследования (хлористый кальций и изучаемый продукт). Навеска смеси, используемая при дифференцированном спектрофотометрировании, бралась с точностью до $0,00001\text{ г}$.

Простые сахара (глюкоза, сахароза, ксилоза) и хлористый кальций, используемый при проведении экспериментов, брались химически чистыми; арабиногалактан очищался по специальной методике лаборатории химии древесины Института леса и древесины СО АН СССР. Водно-растворимые продукты лиственницы сибирской получены путем экстрагирования древесины дистиллированной водой. Выделение из водного раствора этих продуктов во избежание карамелизации проводилось в вакууме при температуре 50°C и остаточном давлении 10 мм. рт. ст.

При проведении исследований изучалось ИК-поглощение отдельных компонентов и их бинарных смесей: сахара+хло-

ристый кальций*. ИК-спектры индивидуальных сахаров: глюкозы, сахарозы, ксилозы и арабиногалактана, а также хлористого кальция, использованных при составлении модельных смесей, приведены на рис. 1.

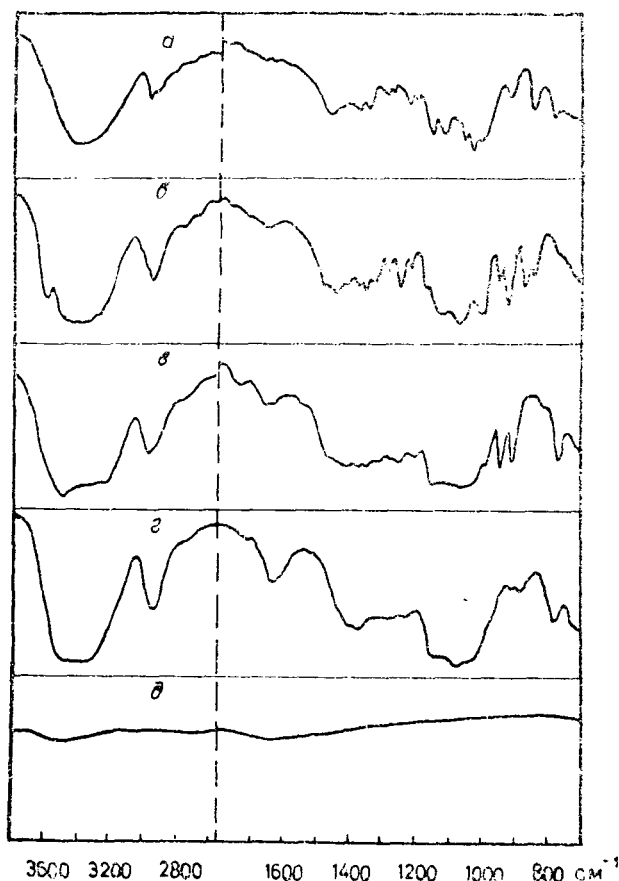


Рис. 1. ИК-спектры: а — глюкозы, б — сахарозы, в — ксилозы, г — арабиногалактана, д — хлористого кальция.

На первой стадии опытов брали незначительный расход хлористого кальция, равный 0,015—0,6% от веса сахаров. При этом анализировались бинарные модельные смеси, содержа-

* В подготовке исследуемых смесей принимала участие ст. лаборант В. И. Краснощекова.

ние хлористого кальция в которых составляло 0,015, 0,15 и 0,6% от глюкозы, сахарозы и ксилозы. Для благоприятного протекания взаимодействия между сахарами и хлористым кальцием, приготовление смеси осуществлялось путем растворения компонентов в воде, смешивания водных растворов и последующего ее выделения под вакуум. Сравнение ИК-поглощения модельных смесей со спектрами сахаров (рис. 1) не позволяет сделать уверенного заключения относительно различия качественного состава анализируемых смесей по сравнению с их составляющими компонентами, то есть об образовании продуктов взаимодействия углеводов с хлористым кальцием. В качестве примера для подтверждения такого вывода на рис. 2 приведены ИК-спектры модельной смеси, состоящей из сахарозы и хлористого кальция.

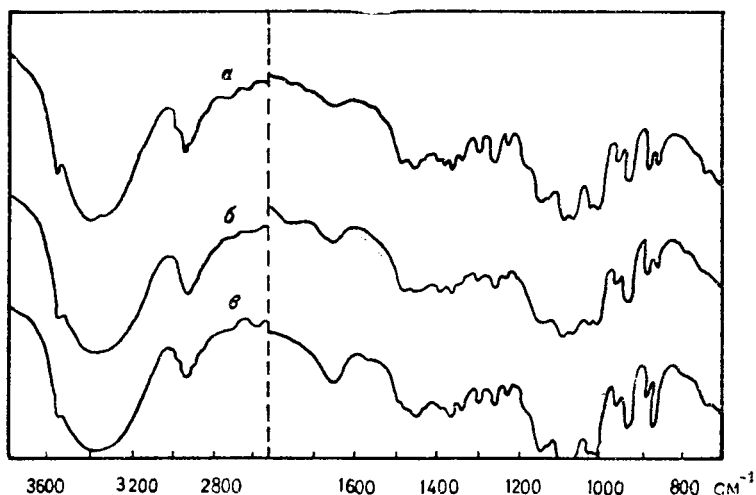


Рис. 2. ИК-спектры бинарных смесей: сахароза + хлористый кальций. Содержание хлористого кальция в смеси, %: а — 0,015; б — 0,15; в — 0,6.

Для более четкого представления об изменениях, происходящих в системах сахар+хлористый кальций, в дальнейшем изучались смеси, которые состояли из равных количеств обоих компонентов. При этом смешивание сахаров и хлористого кальция проводилось двумя различными методами. В первом случае оба компонента смешивались в сухом виде. Для этого равные навески сахара и хлористого кальция, пред-

варительно подсушенные в вакуумном сушильном шкафу, растирались в течение 10 минут в агатовой ступке. Растертые компоненты разбавлялись в отношении 1 : 1000 бромистым кальцием и тщательно перемешивались. Часть смеси, одинаковая по объему для всех проведенных методов, переносилась в прессформу для таблетирования. Таблетка закреплялась в кювете и анализировалась.

По второй методике смешивались растворы компонентов. Навески сахара и хлористого кальция растворялись каждая в 3 мл дистиллированной воды. Растворы сливались вместе, перемешивались и выдерживались в эксикаторе при комнатной температуре. По истечении двух часов полученные растворы в вакуум-сушильном шкафу выпаривались при температуре 60° С до постоянного веса. Сухой остаток (модельной смеси) разбавлялся бромистым калием и подготавливался к спектрофотометрированию.

Методические различия в приготовлении образцов к анализу обуславливают неодинаковые возможности для протекания взаимодействия между углеводами и минерализатором. Появление в среде значительного количества новых продуктов при смешивании сухих компонентов маловероятно. В случае смешивания исходных компонентов в виде растворов образованию продуктов взаимодействия способствуют благоприятные условия проведения эксперимента (гомогенная среда и двухчасовая экспозиция). Такое заключение, как будет показано далее, подтверждается анализом ИК-поглощения изучаемых смесей.

Результаты спектроскопического исследования свидетельствуют о том, что при смешивании сахаров и хлористого кальция происходит химическое взаимодействие. Во всех рассмотренных нами случаях ИК-поглощение модельных смесей не эквивалентно сумме исходных составляющих компонентов.

При сопоставлении ИК-спектров модельной смеси, состоящей из глюкозы и хлористого кальция (рис. 3), и ее отдельных компонентов (рис. 1 и др.) отмечаются следующие изменения:

1. Интенсивность поглощения в спектрах модельной смеси в интервалах частот 3050—2900, 1500—1200 и 900—700 см^{-1} менее значительна по сравнению с исходными веществами.

2. Поглощение в области основных валентных колебаний гидроксильных групп в спектре модельной смеси является более значительным, чем в спектре составляющих. Его макси-

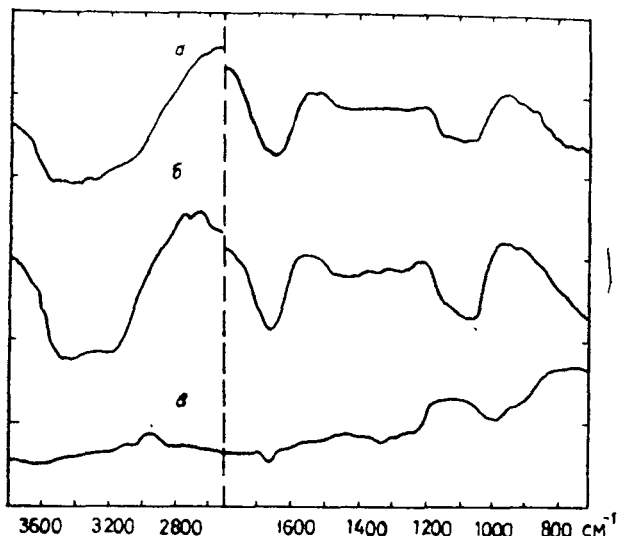


Рис. 3. ИК-спектры бинарных смесей: глюкоза + хлористый кальций (50:50). Смесь приготовлена: *а* — методом сухого смешивания; *б* — методом смешивания растворов; *в* — дифференциальный спектр смесей *б*—*а*.

мум сдвинут в высокочастотную область более чем на 100 см^{-1} .

3. В спектре хлористого кальция поглощение в интервале частот $1700\text{—}1600\text{ см}^{-1}$ практически отсутствует, в спектре глюкозы оно незначительно. Поглощение же исследуемой смеси характеризуется широкой интенсивной полосой с частотой при 1662 см^{-1} . По сравнению с ИК-спектром глюкозы ее максимум сдвинут более чем на 10 см^{-1} , что является признаком изменения природы карбонильного поглощения.

Полученные данные свидетельствуют о протекании химической реакции между глюкозой и хлористым кальцием. Относительно строения образующихся продуктов делать выводы пока затруднительно. Однако, исходя из уменьшения интенсивности поглощения в интервале частот $3050\text{—}2900$ и $900\text{—}700\text{ см}^{-1}$, мы пришли к заключению об участии в реакции C—H групп глюкозы.

Количество продуктов взаимодействия глюкозы и хлористого кальция зависит от способа приготовления модельной смеси. Более значительным оно является в случае пригото-

ления смеси методом растворов. Об этом можно судить по интенсивности полосы около 2970 см^{-1} , которая соответствует основным валентным колебаниям С—Н группы глюкозы. Ее интенсивность менее значительна в спектре модельной смеси, полученной при смешивании растворов (рис. 3а и 3б). Более отчетливыми оказываются в данном случае и другие отличия в спектрах модельной смеси и ее компонентов. Это подтверждается также результатами дифференциального спектрофотометрирования смесей, полученных по обоим методикам (рис. 3в). Следует также отметить, что спектры продуктов, полученных при смешивании растворов, являются более четкими по сравнению с поглощением смеси, приготовленной по методу порошков.

Аналогичное заключение сделано при рассмотрении бинарных систем: сахара+хлористый кальций, ксилоза+хлористый кальций, арабиногалактан+хлористый кальций.

Основной составной частью водно-растворимых продуктов лиственницы сибирской является арабиногалактан. Сравнение ИК-спектров этих веществ (рис. 1г и 4а) свидетельствует

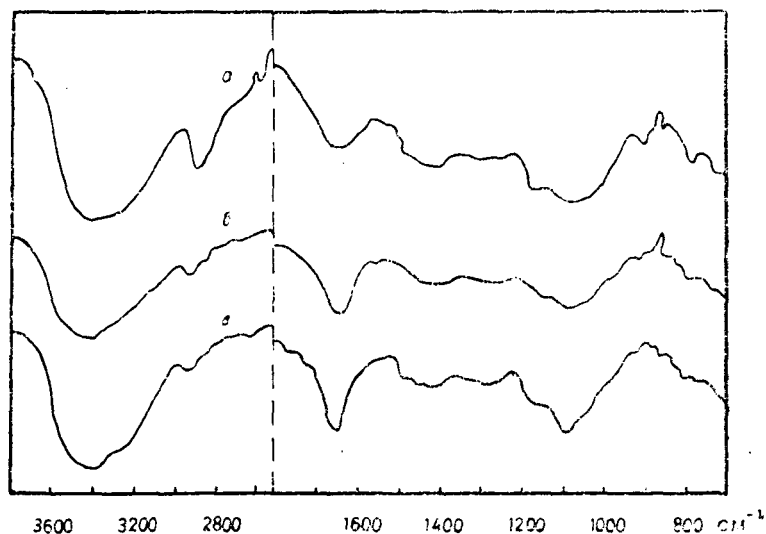


Рис. 4. ИК-спектры экстрактивных веществ лиственницы сибирской (а) и бинарных смесей: б — арабиногалактан + хлористый кальций; в — экстрактивные вещества + хлористый кальций.

с справедливости такого заключения. Значительное сходство наблюдается также при сравнении ИК-поглощения систем: родорастворимые продукты + хлористый кальций и арабиногалактан + хлористый кальций (рис. 4в и 4б). Отсюда следует, что водно-растворимые продукты лиственницы сибирской, как и другие исследованные сахара, вступают в химическое взаимодействие с хлористым кальцием, образуя сахараты кальция. В данной реакции участвуют С—Н группы этих веществ. Количество образующихся продуктов реакции приблизительно может быть оценено по интенсивности полосы основных валентных колебаний С—Н связей при 2945 см^{-1} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутт Ю. М., Беркевич Т. М. Исследование влияния некоторых органических добавок на свойства цемента. Тр. НИИ цемента, вып. 3. Промстройиздат, 1950.
2. Sanderman N., Dehn U. Holz als Roh- und Werkstoff, 1951, Н. 3.
3. Корровиц Х. Х., Линдвет Б. М. Изготовление цементного фибролита (опыт работы Таллинского завода ТЭП). Таллин, 1958.
4. Кауфман Б. Н., Шмидт Л. М., Скоблов Д. А., Поволоцкий А. С. Цементный фибролит, М., Госстройиздат, 1961.
5. Бугрина М. Г., Бужевич Г. А., Гарашин В. Р., Кокеткина А. И., Щербаков А. С. Влияние углеводов на процессы гидратации и твердения цемента. В сб.: «Некоторые вопросы прочности изделий деревообрабатывающей и мебельной промышленности». М., 1968, изд-е Моск. лесотехн. ин-та.
6. Логвиненко А. Т., Урываева Г. Д., Третьякова А. С. Влияние органических добавок на гидратацию глиноземистого цемента. Изв. СО АН СССР, сер. хим. наук, 1970, № 7, вып. 3.
7. Клар Г. В., Ваньков П. И. Новые пути повышения прочности арболита. В сб.: «Исследование древесины и материалов на ее основе». Красноярск, 1971.
8. Арболит. Под ред. Г. А. Бужевича. М., изд-во литературы по строительству, 1968.
9. Евсеев Г. А., Корнев В. А. Использование отходов деревообрабатывающей промышленности. Реф. инф. ВНИПИЭИ леспрома «Механическая обработка древесины», 1970, № 10.

РЕФЕРАТЫ

УДК 634.0.81:676.1:674

Некоторые данные о строении и свойствах клеточной стенки анатомических элементов древесины. В. Е. Москалева, Е. В. Гончарова. Стр. 6.

Рассматриваются тонкое строение клеточной стенки, изменения в ее структуре и свойствах в процессе различных видов обработок и действия некоторых дереворазрушающих грибов.

Рис. 12, библиогр. 38.

УДК 634.0.812

Влажность древесины растущих деревьев в различных районах произрастания. Л. Н. Исаева. Стр. 18.

Рассматривается зависимость влажности древесины растущих деревьев основных лесообразующих пород Сибири от условий произрастания. Приводятся результаты анализа достоверности различий влажности древесины заболони или ядра (спелой древесины) отдельных пород от типов леса.

Табл. 2, библиогр. 15.

УДК 634.0.812:674.031 034

Физические свойства древесины растущих деревьев на различных стадиях гниения. Л. Н. Исаева. Стр. 28.

Приводятся результаты исследований физических свойств древесины (влажности и плотности) при различных стадиях разрушения и анализ их отличий от здоровой древесины.

Табл. 4, библиогр. 19.

Пьезоэлектрический эффект во влажной древесине. В. А. Баженов, А. В. Кытманов, Л. И. Тюрикова. Стр. 39.

Описываются исследования факта изменения знака напряжения поляризации в древесине повышенной влажности. Констатируется, что вода, связанная в ориентированных участках целлюлозы, имея поперечную ориентацию молекул, создает пьезоэлектрическую текстуру, обратную по знаку пьезоэлектрической текстуре целлюлозы. При повышенной влажности «водная» пьезоэлектрическая текстура преобладает над «целлюлозной», что ведет к изменению знака напряжения поляризации на обратный.

Рис. 4, библиогр. 2.

Определение напряженного состояния древесины методом пьезоэлектрического эффекта. А. В. Кытманов. Стр. 46.

Описывается метод пьезоэлектрического эффекта для определения кривых распределения касательных к волокнам напряжений в образцах или элементах из древесины, который сводится к следующему. В момент воздействия на образец нагрузки измеряется напряжение поляризации в намеченных точках его поверхности. Рассчитывается коэффициент пропорциональности, по значению которого и величинам напряжения поляризации в точках определяются величины касательных напряжений в этих точках и строятся кривые их распределения.

Таб. 1, рис. 3., библиогр. 9.

Методика исследования пьезоэлектрических свойств древесины при повышенных скоростях деформирования. А. В. Кытманов, В. В. Сиротинин. Стр. 56.

Дается описание методики исследования пьезоэлектрического эффекта древесины. В отличие от прежней в ней используются повышенные скорости деформирования древесины, передвижные электроды, электронная измерительная аппаратура. Приводятся результаты исследования зависимости напряжения поляризации от скорости деформирования образцов и их влажности. Отмечается, что методика дает возможность исследовать пьезоэлектрический эффект влажной древесины, а также напряжение поляризации относительно малой величины и динамику его изменения.

Рис. 3, библиогр. 7.

УДК 634.0.812:538.69:539.143.43

О состоянии воды в древесине. Е. А. Колосовская, В. В. Иванов.
Стр. 61.

Описываются исследования адсорбции воды в древесине и целлюлозе методами ядерного магнитного резонанса. Изложены результаты работ, полученные в этой области. Исследован фазовый состав и обсуждается вопрос о фазовых переходах адсорбата древесины сибирской лиственницы влагосодержанием 32% и 44% в температурном интервале $+100^{\circ} - (-83^{\circ})\text{C}$.

Рис. 1, библиогр. 13.

УДК 674. 049.2

Влияние влажности на деформативность прессованной древесины. А. В. Апостол, А. А. Некрасова. Стр. 67.

Приводятся результаты исследования усушки прессованной древесины осины в зависимости от влажности, степени прессования и температуры прессования. На коэффициент усушки оказывает влияние состояние анатомических элементов древесины осины после прессования.

Таб. 1, рис. 3, библиогр. 13.

УДК 674.038

Результаты многолетних испытаний натуральной и консервированной древесины. О. А. Бауков. Стр. 73.

Десятилетние испытания биостойкости незащищенной древесины показали, что лучшую сохранность имеют образцы, проходящие испытания на песке. Прослеживается зависимость в разрушении образцов от длительности испытаний. Из антисептиков лучшими защитными свойствами обладают маслянистые — пентахлорфенол и антраценовое масло. Водорастворимые антисептики хорошо защищают древесину при повышенных концентрациях.

Табл. 1, рис. 2, библиогр. 3.

УДК 634.0.812 634.0.443

Разрушение коры и ветвей сосны домовыми грибами. И. А. Петренко. Стр. 79.

Приведены материалы изучения стойкости коры и ветвей сосны, используемых в строительстве для изготовления изоляционных плит и блоков. Кора и ветви подвергались воздействию трех видов домовых грибов.

Табл. 1, библиогр. 8.

Исследование газопроницаемости древесины сосны и ели по радиусу ствола в зависимости от состава экстрактивных веществ. Е. В. Харук, А. Ф. Разумова, А. И. Вологдин, Ю. С. Пилипчук. Стр. 84.

Исследовано изменение газопроницаемости древесины сосны и ели по радиусу ствола в зависимости от состава экстрактивных веществ. Показано, что изменение величины газопроницаемости экстрагированной древесины зависит не только от количественного, но и качественного состава экстрактивных веществ.

Табл. 2, рис. 1, библиогр. 10.

УДК 674.048

Влияние температуры и экстрактивных веществ на проницаемость древесины лиственных пород. Г. С. Ковригин, А. Ф. Разумова. Стр. 92.

Исследовано влияние температуры и экстрактивных веществ на проницаемость ядровой древесины дуба, ясеня, бархата, ореха. Установлено, что при нагревании древесины проницаемость ее увеличивается. Наибольшая величина для всех пород наблюдается при температуре 110—120° С. Экстрагирование древесины в спирто-бензольной смеси увеличивает проницаемость для всех пород, кроме дуба.

Табл. 5, рис. 3, библиогр. 8.

УДК 674.048

Исследование изменений ИК-спектров и рентгенодифрактограмм древесины сосны и ели в связи с высокотемпературной пропиткой. Ю. С. Пилипчук, Е. В. Харук, Г. С. Краснощекова, Г. С. Ковригин. Стр. 100.

На основании исследования древесины и экстрактивных веществ сосны и ели, нагретой при температуре от 70° С до 150° С, с помощью инфракрасной спектроскопии и рентгенодифрактометрии показано, что при нагревании даже при этих температурах происходят химические изменения древесины и экстрактивных веществ и изменения степени кристалличности древесины.

Рис. 8, библиогр. 10.

Экономическая эффективность глубокой пропитки древесины. А. И. Вологдин, Е. Я. Судачков, А. К. Бекишев. Стр. 114.

Приводится расчет условной экономической эффективности глубокой пропитки древесины. На примере строительства воздушных линий электропередачи на деревянных опорах с разной степенью пропитки показано, что глубокая пропитка является наиболее эффективной, несмотря на большую стоимость пропитки 1 м³ опор по сравнению с обычным способом пропитки.

Табл. 3, библиогр. 14.

Интегральная и дифференциальная теплота при теплообмене древесины в газообразной среде. Б. С. Чудинов. Стр. 120.

Приведен графоаналитический расчет полезной теплоты, поглощаемой или выделяемой древесными сортаментами различной формы, нагреваемыми или охлаждаемыми при граничных условиях третьего рода (теплообмен средней интенсивности). Расчет разработан в критериальной форме. Дано два примера практического использования предлагаемого расчета.

Рис. 9, библиогр. 2.

Анизотропия древесностружечных плит с ориентированными частями и методы ее исследования. В. И. Броун, Е. К. Ашкенази, Г. В. Клар, Л. И. Тюрикова, И. В. Егерь, Б. И. Огарков. Стр. 138.

Выявлены зависимости модулей упругости от угла наклона действия сил к направлению ориентации частиц. Установлена тесная связь между модулем упругости и прочностью. Экспериментальные данные согласуются с теоретически рассчитанными, что позволяет использовать неразрушающие методы испытаний. Установлено, что реологические характеристики зависят от направления ориентации древесных частиц по отношению к направлению действия сил. В большей мере это характерно для модуля упругости.

Табл. 2, рис. 9, библиогр. 13.

Исследование упругости и деформативности пакета при прессовании древесностружечных плит. М. И. Соснин. Стр. 163.

Рассматриваются основные особенности методики исследования физических процессов при прессовании древесностружечных плит. Приводятся результаты исследования по изучению упругих сил и деформативности пакета при его уплотнении, а также изменении этих параметров и модуля упругости в процессе прессования, снятия внешнего давления и размыкания плит пресса. Показывается, что изменение упругих сил обуславливается релаксацией напряжений в пакете и снижением напряжений при усушке плиты.

Результаты исследований позволяют выработать пути дальнейшей интенсификации процесса прессования плит и улучшения их качества. Табл. 1, рис. 10, библиогр. 12.

Аналитическое определение коробления древесностружечных плит. М. И. Климова, М. И. Соснин. Стр. 181.

Дается краткий анализ основных факторов, вызывающих напряженное состояние в стружечных плитах, которые рассматриваются как анизотропное тело при действии напряжений в двух главных плоскостях. Показано, что основной причиной возникновения напряжений является несимметричное поле влагосодержания по сечению плиты и различные модули упругости симметричных слоев. Аналитически определены влажностные напряжения и коробление стружечных плит для случая плоского напряженного состояния.

Рис. 3, библиогр. 22.

Некоторые свойства древесностружечных плит в связи с их формоизменяемостью. М. И. Климова, М. И. Соснин. Стр. 197.

Приводятся результаты исследований по определению основных свойств древесностружечных плит, оказывающих прямое влияние на их коробление. Рассмотрена методика замера влажностных деформаций плит. Определены коэффициенты влажностных деформаций в продольном и поперечном направлениях для плит с ориентацией древесных частиц и обычных плит в зависимости от их плотности. Рассматриваются результаты исследований по распределению влаги и плотности по толщине стружечной плиты. На основе асимметрии влагораспределения дается оценка перерезывающих сил и изгибающего момента, обуславливающего при перераспределении влаги в плите ее формоизменяемость.

Табл. 1, рис. 6, библиогр. 4.

УДК 674.816.2.

Исследование свойств арболита на дробленке осины. Г. В. Клар, А. С. Чернышева, П. И. Ваньков. Стр. 211.

Освещаются результаты исследований влияния различных технических приемов на прочность арболита. Достигнуто значительное повышение прочности, что может способствовать расширению сырьевой базы арболита за счет вовлечения в его производства древесины осины.

Таб. 4, библиогр. 10.

УДК 674.815.543.42.

Взаимодействие некоторых компонентов арболита Р. А. Степень, Г. В. Клар, П. И. Ваньков, А. А. Генералова, Г. Г. Кубракова. Стр. 220.

Дается краткий анализ литературы о взаимодействии водорастворимых веществ древесины — сахаров с компонентами минеральных вяжущих и отрицательном влиянии на прочность арболита. Выдвигается и на основе данных ИК-спектроскопии подтверждается положение об образовании сахаратов кальция за счет взаимодействия сахаров (глюкозы, ксилозы, сахарозы, арабиногалактана) с хлористым кальцием, который используется в качестве химической добавки для повышения качества арболита.

Рис. 4, библиогр. 9.

СОДЕРЖАНИЕ

В. Е. Москалева, Е. В. Гончарова. Некоторые данные о строении и свойствах клеточной стенки анатомических элементов древесины	6
Л. Н. Исаева. Влажность древесины растущих деревьев в различных районах произрастания	18
Л. Н. Исаева. Физические свойства древесины растущих деревьев в различных стадиях гниения	28
В. А. Баженов, А. В. Кытманов, Л. И. Тюрикова. Пьезоэлектрический эффект во влажной древесине	39
А. В. Кытманов. Определение напряженного состояния древесины методом пьезоэлектрического эффекта	46
А. В. Кытманов, В. В. Сиротинин. Методика исследования пьезоэлектрических свойств древесины при повышенных скоростях деформирования	56
Е. А. Колосовская, В. В. Иванов. О состоянии воды в древесине	61
А. В. Апостол, А. А. Некрасова. Влияние влажности на деформативность прессованной древесины	67
О. А. Бауков. Результаты многолетних испытаний натуральной и консервированной древесины	73
И. А. Петренко. Разрушение коры и ветвей сосны домовыми грибами	79
Е. В. Харук, А. Ф. Разумова, А. И. Вологдин, Ю. С. Пилипчук. Исследование газопроницаемости древесины сосны и ели по радиусу ствола в зависимости от состава экстрактивных веществ	84
Г. С. Ковригин, А. Ф. Разумова. Влияние температуры и экстрактивных веществ на проницаемость древесины лиственных пород	92
Ю. С. Пилипчук, Е. В. Харук, Г. С. Краснощекова, Г. С. Ковригин. Исследование изменений ИК-спектров и рентгенодифрактограмм древесины сосны и ели в связи с высокотемпературной пропиткой	100
А. И. Вологдин, Е. Я. Судачков, А. К. Бекишев. Экономическая эффективность глубокой пропитки древесины	114
Б. С. Чудинов. Интегральная и дифференциальная теплота при теплообмене древесины в газообразной среде	120
В. И. Броун, Е. К. Ашкенази, Г. В. Клар, Л. И. Тюрикова, И. В. Егерь, Б. И. Огарков. Анизотропия древесностружечных плит с ориентированными частицами и методы ее исследования	138

М. И. Соснин. Исследование упругости и деформативности пакета при прессовании древесностружечных плит	163
М. И. Климова, М. И. Соснин. Аналитическое определение ко- робления древесностружечных плит	181
М. И. Климова, М. И. Соснин. Некоторые свойства древесно- стружечных плит в связи с их формоизменяемостью	197
Г. В. Клар, А. С. Чернышева, П. И. Ваньков. Исследование свойств арболита на дробленке осины	211
Р. А. Степень, Г. В. Клар, П. И. Ваньков, А. А. Генералова, Г. Г. Кубракова. Взаимодействие некоторых компонентов арболита	220
Рефераты	228

CONTENTS

V. E. Moskaleva, E. V. Goncharova. Some data about construction and properties of the cell-wall of anatomical elements of wood . . .	6
L. N. Isaeva. Wood's moisture of growing trees in various of site . . .	18
L. N. Isaeva. Physical properties of wood of growing trees in different stages of decay . . .	28
V. A. Bazhenov, A. V. Kytmanov, L. I. Tjurikova. The piezoelectric effect in humid wood . . .	39
A. V. Kytmanov. Definition of wood tense condition by means of method piezoelectric effect . . .	46
A. V. Kytmanov, V. V. Sirotinin. About methodic investigation of piezoelectric properties of wood when the speed deformation is heighest . . .	56
E. A. Kolosovskaja, V. V. Ivanov. About state of water in wood . . .	61
A. V. Apostol, A. A. Nekrasova. The effect of moisture on the deformation of compressed wood . . .	67
O. A. Baukov. The results of many years tests of natural and preservative wood on the Eastern Field . . .	73
I. A. Petrenko. Decomposition of pine-tree bark and branches by domestic fungi . . .	79
E. V. Kharuk, A. F. Razumova, A. I. Vologdin, Ju. S. Pilipchuk. Investigation of gas-penetrability of wood pine and spruce on trunk's radius in relation with compound of extractives . . .	84
G. S. Kovrigin, A. F. Razumova. Effect of temperature and extractives on the permeability of leafwood . . .	92
Ju. S. Pilipchuk, E. V. Kharuk, G. S. Krasnoshchekova, G. S. Kovrigin. The examination of changes of infrared spectroscopy and X-ray diffractogram in pine and in spruce wood in connection with high-temperature treatment . . .	100
A. I. Vologdin, E. Ja. Sudachkov, A. K. Bekeshev. Economical efficiency of deep treatment of wood . . .	114
B. S. Chudinov. Calculation integral and differential heat when heat exchange of wood in gaseous medium occurs . . .	120
B. I. Brown, E. K. Ashkenazi, G. V. Klar, L. I. Tjurikova, I. V. Eger, B. I. Ogarkov. Anisotropy of particle boards with oriented particles and studying of its methods . . .	138
M. I. Sosnin. Study of elastisity and deformation of package on pressure of particle boards . . .	163

M. I. Klimova, M. I. Sosnin. Analytical determination of particle boards distortion	181
M. I. Klimova, M. I. Sosnin. Some properties of particle boards in relation with form change	197
G. V. Klar, A. S. Chernyshova, P. I. Van'kov. Use of aspen in arbolyte production	211
R. A. Stepen, G. V. Klar, P. I. Van'kov, A. A. Generalova, G. G. Kubrakova. The interaction some components of arbolyte.	220
Abstracts	228

ДРЕВЕСИНА И ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Утверждено к печати
Ученым советом Института леса и древесины

Редактор *Л. А. Северина.*

Сдано в набор 26. VIII. 1974 г. Подписано к печати 16. X. 1974 г.
Объем 15 печ. л. Формат бумаги $60 \times 84^{1/16}$. Тираж 800 экз. Заказ 271.
Цена 1 р. 15 коп. АЛ01044.

Типография «Красноярский рабочий», г. Красноярск, пр. Мира, 91.