

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра инновационных технологий и
оборудования деревообработки**

И. Т. Глебов, О.В. Кузнецова

Физика древесины

Методические указания
для выполнения практических занятий студентами,
обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
для всех форм обучения

Екатеринбург
2018

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБидС.
Протокол № 2 от 9 октября 2017 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент,
кафедры ИТОД

С.С. Тютиков

Редактор
Оператор компьютерной верстки

| | | |
|--------------------|-------------------|----------------|
| Подписано в печать | | Поз. |
| Плоская печать | Формат 60×84 1/16 | Тираж 10 экз. |
| Заказ№ | Печ. л. 1,86 | Цена руб. коп. |

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Введение

Для студентов первого курса института ИЛБиДС УГЛТУ введена учебная дисциплина «Физика древесины». Она показывает важность использования физических законов при решении профессиональных задач специалистами профилей «Лесоинженерное дело» и «Технология деревообработки». На практических занятиях студенты знакомятся с теоретическими положениями по изучаемой теме, приобретают умения и навыки решения задач, формируют свои компетенции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Работа относится к разделу механики древесины, изучающей вопросы влажности и деформативности древесины. Деформация – изменение размеров деревянного образца под действием внешних сил или внутренних напряжений.

Гигроскопичность. Древесинное вещество, образующее стенки клеток, гигроскопично. Оно способно поглощать, сорбировать влагу из воздуха. Гигроскопическая влага удерживается в стенках клеток физико-химическими связями и не может быть выдавлена. Максимальное количество связанной воды в древесине равно 30% от массы сухого древесинного вещества.

В полостях клеток может находиться свободная влага. Зимой свободная влага может замерзнуть, и лед, образующийся в полостях клеток, влияет на прочность древесины.

Удаление из древесины свободной влаги не изменяет механических свойств древесинного вещества. Удаление гигроскопической (связанной) влаги повышает плотность клеточных стенок. Так, плотность древесинного вещества при влажности $W=30\%$ равна $1,2 \text{ г/см}^3$, а для абсолютно сухого древесинного вещества всех пород равна $1,53 \text{ г/см}^3$.

Таким образом, *гигроскопичность* – это способность древесины изменять количество связанной влаги в зависимости от изменения температурно-влажностного состояния окружающего воздуха. Предел насыщения клеточных стенок $W_{п.н.}$ в среднем равен 30% при 20°C от массы сухого древесного вещества. С увеличением в древесине количества связанной влаги происходит разбухание древесины, то есть увеличение размеров и объема древесины.

Уменьшение содержания связанной влаги вызывает *усушку древесины*, то есть уменьшение линейных размеров. Среднюю усушку древесины при снижении содержания связанной влаги на 1% влажно-

сти называют коэффициентом усушки древесины. Коэффициент усушки

$$K_y = \frac{U_{\max}}{30},$$

где 30 – среднее значение предела насыщения клеточных стенок в %.

U_{\max} – максимальная, или полная, усушка, мм.

Среднее разбухание древесины при повышении содержания связанной влаги на 1% влажности называют коэффициентом разбухания.

Деформативность древесины (коробление) – способность древесины изменять свои размеры и форму при внешних воздействиях нагрузки, влажности, температуры. Поперечное коробление связано с различной усушкой (разбуханием) древесины в радиальном и тангенциальном направлениях (рис. 1). Его характер зависит от расположения годичных слоев, обусловленных формой поперечного сечения сортимента, а также местом выпилки его из бревна. Продольное коробление связано с некоторыми пороками древесины, например крупные сучки, наклон волокон. Следствием коробления является порок древесины – покоробленность (поперечная, продольная по пласти и по кромке, крыловатость).

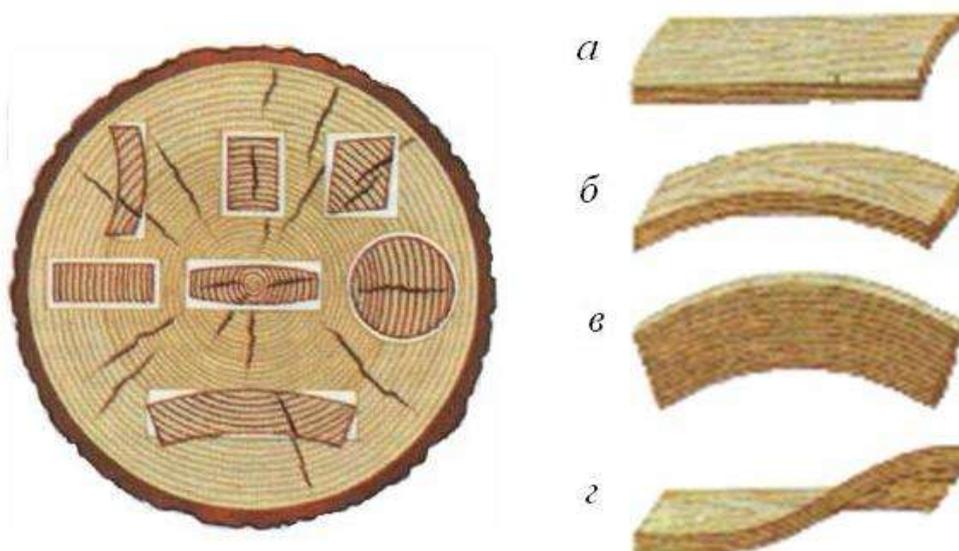


Рис. 1. Место вырезанных образцов и их покоробленность при высыхании:

a– поперечная; *б* – продольная по пласти;
в – продольная по кромке; *г* – крыловатость

Поперечная и продольная покоробленности возникают также из-за нарушения равновесия остаточных напряжений в высушенных пиломатериалах при механической обработке: одностороннем фрезеровании, ребровом делении толстых досок на тонкие. Продольная покоробленность досок наблюдается при распиловке бревен вследствие остаточных внутренних напряжений роста.

Определение усушки древесины

Для выполнения работы из древесины, например, сосны выпиливают образцы. Образцы должны иметь форму прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон от 10 до 30 мм. Углы наклона годовичных слоев по отношению к двум противоположным боковым граням образца не должны быть более 10°.

При определении усушки вдоль волокон высота образцов должна быть 100 мм.

Усушку древесины определяют по ГОСТ 16483.37-88 [2]. Работу выполняют в следующем порядке.

1. Определяют влажность образцов, которая должна быть выше предела насыщения клеточных стенок. При влажности, меньшей предела насыщения клеточных стенок, образцы следует вымачивать в дистиллированной воде при температуре (20 ± 5) °С до прекращения изменения размеров.

Изменение размеров образцов проверяют повторными измерениями двух-трех контрольных образцов в соответствующих направлениях через каждые трое суток. Вымачивание прекращают, когда разница между двумя последовательными измерениями будет не более 0,02 мм. В этом случае в протоколе об испытаниях необходимо указывать, что данные были получены на образцах после их вымачивания.

2. Посередине радиальной и тангентальной поверхности измеряют размеры поперечного сечения каждого образца $L_{r \max}$ в радиальном и $L_{t \max}$ в тангентальном направлениях, а также $L_{a \max}$ в направлении вдоль волокон с погрешностью не более 0,01 мм.

3. При необходимости образцы кондиционируют, не допуская образования трещин, до нормализованной влажности. Изменение

размеров двух-трех контрольных образцов проверяют повторными измерениями по п. 2 не менее чем, через каждые 6 ч после стабилизации режима кондиционирования. Кондиционирование образцов прекращают, когда разница между двумя последовательными измерениями будет не более 0,02 мм.

4. Размеры поперечного сечения каждого образца L_r в радиальном и L_t в тангентальном направлениях, а также L_a в направлении вдоль волокон измеряют по п. 2 .

5. Образцы высушивают до постоянных размеров при температуре (103 ± 2) °С, не допуская образования трещин. Изменение размеров двух-трех контрольных образцов проверяют повторными измерениями по п. 2 не менее чем через каждые 2 ч после 6 ч от начала высушивания. Сушку прекращают, когда разница между двумя последовательными измерениями будет не более 0,02 мм.

6. Образцы, растрескавшиеся в процессе испытаний, в дальнейшем не используют.

7. Образцы охлаждают до температуры окружающей среды.

8. Размеры поперечного сечения каждого образца $L_{r \min}$ в радиальном и $L_{t \min}$ в тангентальном направлениях, а также $L_{a \min}$ в направлении вдоль волокон измеряют по п. 2 .

9. Определяют максимальную усушку (β_{\max}) в процентах по формулам:

– для радиального направления

$$\beta_{r \max} = \frac{L_{r \max} - L_{r \min}}{L_{r \max}} \cdot 100; \quad (1)$$

– для тангентального направления

$$\beta_{t \max} = \frac{L_{t \max} - L_{t \min}}{L_{t \max}} \cdot 100; \quad (2)$$

– для направления вдоль волокон

$$\beta_{a \max} = \frac{L_{a \max} - L_{a \min}}{L_{a \max}} \cdot 100; \quad (3)$$

– по объему

$$\beta_{v \max} = \frac{L_{r \max} L_{t \max} L_{a \max} - L_{r \min} L_{t \min} L_{a \min}}{L_{r \max} L_{t \max} L_{a \max}} \cdot 100, \quad (4)$$

где $L_{r \max}$, $L_{t \max}$, $L_{a \max}$ – размеры образца при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок в направлениях соответственно радиальном, тангентальном и вдоль волокон, мм;

$L_{r \min}$, $L_{t \min}$, $L_{a \min}$ – размеры образца в абсолютно сухом состоянии в направлениях соответственно радиальном, тангентальном и вдоль волокон, мм.

Результат округляют с точностью до первого десятичного знака.

10. Усушку при уменьшении влажности до нормализованной (β) в процентах вычисляют по формулам:

для радиального направления

$$\beta_r = \frac{L_{r \max} - L_r}{L_{r \max}} \cdot 100; \quad (5)$$

для тангентального направления

$$\beta_t = \frac{L_{t \max} - L_t}{L_{t \max}} \cdot 100; \quad (6)$$

для направления вдоль волокон

$$\beta_a = \frac{L_{a \max} - L_a}{L_{a \max}} \cdot 100; \quad (7)$$

по объему

$$\beta_v = \frac{L_r \max L_t \max L_a \max - L_r L_t L_a}{L_r \max L_t \max L_a \max} \cdot 100, \quad (8)$$

где L_r, L_t, L_a – размеры образца при нормализованной влажности в направлениях соответственно радиальном, тангентальном и вдоль волокон, мм.

Нормализованная влажность древесины – равновесная влажность, приобретаемая при $t = 20 \pm 2^\circ \text{C}$ и влажности среды $W = 65 \pm 5\%$ (ГОСТ 23431-79).

Результат округляют с точностью до первого десятичного знака.

11. Коэффициент усушки (K_β) в процентах на 1 % влажности вычисляют по формулам:

– для радиального направления

$$K_{\beta r} = \frac{\beta_r \max}{W_n}; \quad (9)$$

– для тангентального направления

$$K_{\beta t} = \frac{\beta_t \max}{W_n}; \quad (10)$$

– для направления вдоль волокон

$$K_{\beta a} = \frac{\beta_a \max}{W_n}; \quad (11)$$

– по объему

$$K_{\beta v} = \frac{\beta_v \max}{W_n}, \quad (12)$$

где W_n – предел насыщения клеточных стенок древесины, %, принимаемый равным 30 %.

Результат округляют с точностью до второго десятичного знака на 1 % влажности.

Задание на выполнение работы

Дано: результаты измерений приведены в следующей таблице.

Взять один из вариантов.

| Вариант | Размет образца, мм | | | | | | | | |
|---------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------|
| | в абсолютно сухом состоянии | | | при влажности $W \geq 30\%$ | | | при нормализованной влажности | | |
| | $L_r \text{ min}$ | $L_t \text{ min}$ | $L_a \text{ min}$ | $L_r \text{ max}$ | $L_t \text{ max}$ | $L_a \text{ max}$ | L_r | L_t | L_a |
| 1 | 18,5 | 18,4 | 18,9 | 20,1 | 20,2 | 20,1 | 19,65 | 19,52 | 19,95 |
| 2 | 18,35 | 18,28 | 18,8 | 20,52 | 20,58 | 20,48 | 19,55 | 19,52 | 19,98 |
| 3 | 18,43 | 18,41 | 18,88 | 19,98 | 20,2 | 20,1 | 19,72 | 19,48 | 19,1 |
| | | | | | | | | | |

Определить максимальную усушку β_{max} , усушку при нормализованной влажности β , коэффициент усушки K_β в направлениях радиальном, тангенциальном, продольном и по объему; сравнить с данными табл. 1 и сделать вывод.

Пример.

Древесина сосны:

$$\beta_r \text{ max} = \frac{L_r \text{ max} - L_r \text{ min}}{L_r \text{ max}} \cdot 100 = \frac{20,1 - 18,5}{20,1} \cdot 100 = 7,21\%,$$

$$\beta_r = \frac{L_r \text{ max} - L_r}{L_r \text{ max}} \cdot 100 = \frac{20,1 - 19,65}{20,1} \cdot 100 = 2,24,$$

$$K_{\beta r} = \frac{\beta_r \text{ max}}{W_n} = \frac{7,21}{30} = 0,24.$$

Для сравнения в табл. 1 приведены значения усушки.

Таблица 1

Усушка поздней и ранней древесины

| Порода | Зона годичного слоя | Усушка, % | | | |
|-------------|---------------------|------------|----------------|---------------|----------|
| | | радиальная | тангенциальная | вдоль волокон | объемная |
| Лиственница | Ранняя | 3,23 | 7,11 | 0,27 | 10,34 |
| | Поздняя | 10,19 | 12,25 | 0,13 | 20,96 |
| Сосна | Ранняя | 2,91 | 8,05 | 0,19 | 10,86 |
| | Поздняя | 8,22 | 11,26 | 0,10 | 18,97 |
| Ель | Ранняя | 2,41 | 5,84 | 0,19 | 8,38 |
| | Поздняя | 6,25 | 8,81 | 0,14 | 14,63 |

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое гигроскопичность древесины?
2. Что означает термин «усушка древесины»?
3. Дайте характеристику деформативности (покоробленности) древесины.
4. Какие образцы используются в исследованиях усушки древесины?
5. Расскажите о порядке выполнения исследования усушки древесины.
6. Какие показатели используют для характеристики усушки древесины? Приведите формулы.
7. Какие значения имеют показатели усушки древесины? Приведите их примерные значения.

Библиографический список

1. Леонтьев, Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / Л.Л. Леонтьев. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 416 с.
2. ГОСТ 16483.37-88. Древесины. Метод определения усушки. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Древесина состоит из клеток веретенообразной формы, вытянутых вдоль волокон. Клетки бывают механические (опорные), проводящие и запасные.

Опорные клетки тонкие и длинные называют еще волокнами древесины. Внутри клетки имеется узкая и длинная полость. Оболочка клеток состоит из тонких волокон, скрученных между собой как нити каната. Такая конструкция обеспечивает высокую прочность древесины.

Древесина по своей природе является диэлектриком. Находясь в переменном электрическом поле, она проявляет свои диэлектрические свойства, которые характеризуются двумя показателями. Первый из них – **диэлектрическая проницаемость ε** .

Диэлектрическая проницаемость ε количественно равна отношению емкости конденсатора с прокладкой из древесины к емкости конденсатора с вакуумным зазором между электродами:

$$\varepsilon = \frac{C_{др}}{C_{вк}} = \frac{\varepsilon_{др}}{\varepsilon_{вк}}.$$

Второй показатель – **тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$** . Он определяет долю подведенной мощности, которая вследствие дипольной поляризации древесины поглощается ею и превращается в теплоту.

Угол δ называется углом диэлектрических потерь. Чем больше угол δ , тем больше рассеиваемая мощность.

Древесина по своей природе не проводит электрический ток. В ней отсутствуют свободные электрические заряды. По своим электрическим свойствам молекулы древесины эквивалентны электрическим диполям, которые в свободном состоянии расположены хаотично. В молекулах древесины центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают (рис. 2).

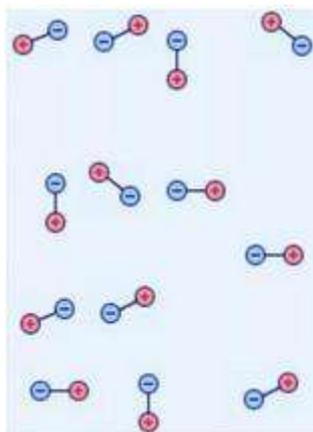


Рис. 2. Молекулы древесины

При помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле происходит деформация молекул и возникает индуцированный дипольный электрический момент молекул, пропорциональный напряженности поля. Происходит поляризация молекул. Если внешнее электрическое поле создать переменным током высокой частоты, то направление деформации молекул будет следовать за направлением магнитного поля. При этом процесс ориентации сопровождается трением и соударением молекул, затраченная на это работа превращается в тепло.

Чем больше напряжение поля, тем больше угол поворота диполей; чем больше частота тока, тем чаще меняется направление поля, тем чаще молекулы меняют свое положение и тем интенсивнее нагревается диэлектрик. диэлектрическая проницаемость абсолютно сухой древесины сравнительно мало зависит от ее плотности.

Диэлектрическая проницаемость поперек волокон абсолютно сухой древесины средней плотности составляет примерно 1,8...2,2. Вдоль волокон диэлектрическая проницаемость в 1,5...2 раза больше, чем поперек.

С повышением влажности древесины диэлектрическая проницаемость увеличивается, так как ϵ_g воды равняется 81, $\epsilon_g = 81$.

Тангенс угла диэлектрических потерь древесины зависит от ее плотности. Поскольку потери в древесинном веществе значительно выше, чем в воздухе, с увеличением плотности древесины $\text{tg}\delta$ возрастает. Так же, как и диэлектрическая проницаемость, $\text{tg}\delta$ вдоль волокон

примерно в 2 раза больше, чем поперек (разницы между тангенциальным и радиальным направлением практически не наблюдается). Повышение частоты влияет на величину $\text{tg}\delta$.

При исследовании диэлектрических свойств в широком диапазоне частот от $3 \cdot 10^2$ до 10^9 Гц, были обнаружены весьма сложные зависимости $\text{tg}\delta$ от частоты при разной влажности древесины. Так, например, для древесины бука вдоль волокон при влажности 12 % с повышением частоты $\text{tg}\delta$ вначале резко падает, достигает минимума при частоте 10^5 Гц и затем также резко возрастает.

Диэлектрическая проницаемость некоторых пород древесины приведена ниже

Выделение тепла диэлектриком, помещенным в поле токов высокой частоты (ТВЧ) используется на практике, например, при сушке древесины (рис. 3), при склеивании деталей и др.

Диэлектрическая проницаемость

| Порода | Ель | Бук | Дуб |
|------------------------------|------|------|------|
| вдоль волокон | 3,06 | 3,18 | 2,86 |
| в радиальном направлении | 1,98 | 2,20 | 2,30 |
| в тангенциальном направлении | 1,91 | 2,40 | 2,46 |

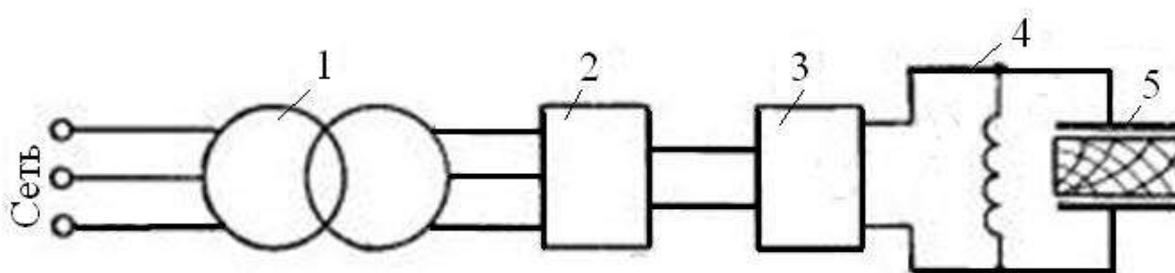


Рис. 3. Нагреватель ТВЧ для сушки древесины:

1 – трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – генератор;
4 – колебательный контур; 5 – конденсатор

Высокочастотные нагреватели для склеивания древесины.

При склеивании толстых заготовок, когда клеевой слой расположен глубоко от наружной поверхности, нагрев осуществляют в поле токов высокой частоты (ТВЧ).

Склеиваемый пакет состоит из древесины и клеевых слоев. Фактор потерь клеевого слоя выше, чем древесины, поэтому он нагревается более интенсивно. Тепло избирательно накапливается в клеевом слое. По мере отверждения клеевого шва фактор потерь его уменьшается и избирательность нагрева клеевого слоя ослабевает.

Источником электрической энергии, подводимой к электродам, является высокочастотный генератор. Наиболее часто применяются генераторы моделей ВЧГ1-1/40, ВЧГ2-4/27, ВЧГ3-60/13, ВЧГ4-4/27 (здесь в числителе указана колебательная мощность, кВт, а в знаменателе – рабочая частота, МГц).

При склеивании древесины (используется избирательность диэлектрического нагрева – нагревается клей до температуры его поляризации 260°С - вследствие более высокой диэлектрической проницаемости клея по сравнению с древесиной (рис. 3) [1].

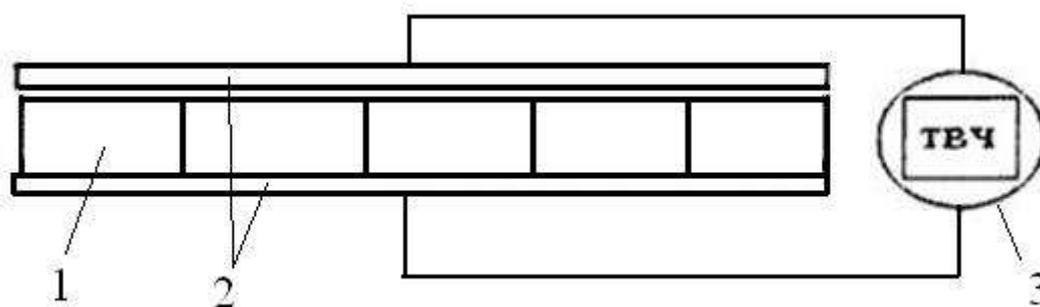


Рис. 3. Склеивание древесины в поле ТВЧ:
1 – склеиваемый пакет; 2 – электроды; 3 – генератор ТВЧ

Принципиальное преимущество такого способа заключается в избирательности нагрева. Поскольку в жидком клее диэлектрические потери выше, чем в сухой древесине, то электрическая энергия концентрируется в основном в зоне клеевых слоев, что значительно ускоряет процесс склеивания.

Интенсивность нагрева диэлектрика зависит от напряженности и частоты электрического поля, а также от электрических характеристик материала диэлектрика [2]. Напряженность электрического поля определяется по формуле:

$$E = U / d, \quad (1)$$

где U – величина напряжения, подведенного к электродам, В;

d – расстояние между электродами, см.

Единицей измерения напряженности поля является В/см или кВ/см.

Для каждого материала экспериментально находится величина напряженности – пробивной градиент напряжения, при превышении которого происходит электрический пробой (разряд). Рабочая напряженность, или допустимый градиент напряженности, принимается в 1,5...2 раза меньше пробивного градиента.

Частота электрического тока, Гц:

$$f = 3 \cdot 10^8 / \lambda, \quad (2)$$

где λ - длина волны, м.

При склеивании древесины в поле ТВЧ $\lambda = 10...100$ м, $f = 3...30$ МГц.

Электрическая характеристика диэлектрика определяется диэлектрической проницаемостью материала ϵ и тангенсом угла потерь, $\text{tg}\delta$. Величины ϵ и $\text{tg}\delta$ зависят от строения древесины, ее влажности, свойств клея, частоты, направления тока и т.д.

Произведение электрической проницаемости на коэффициент потерь $\epsilon \text{tg}\delta$ называют фактором потерь, который характеризует свойства материала при высокочастотном нагреве (табл. 8).

Таблица 8

Диэлектрические свойства склеиваемой древесины

| Наименование | Древесина сухая | Сосна влажностью W, % | | Бук влажностью 15 % | Березовая фанера влажностью 10 % | Два слоя березовой фанеры, между ними слой жидкой фенолформальдегидной смолы |
|-------------------|-----------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|--|
| | | 10 | 15 | | | |
| ϵ | 4 | 3 | 8,2 | 9,4 | – | – |
| $\text{tg}\delta$ | 0,05 | 0,05 | 0,04... 0,059 | 0,058 | – | – |
| Фактор потерь | 0,2 | 0,15 | 0,33... 0,48 | 0,55 | 0,13... 0,21 | 0,58... 0,72 |
| Частота, МГц | – | 5...10 | 1...10 | 1...10 | 1...10 | 1...10 |

Склеиваемый пакет состоит из древесины и клеевых слоев. Фактор потерь клеевого слоя выше, чем древесины, поэтому он нагревается более интенсивно. Тепло избирательно накапливается в клеевом слое. По мере отверждения клеевого шва фактор потерь его уменьшается и избирательность нагрева клеевого слоя ослабевает.

Значения ϵ и $\text{tg}\delta$ для клея следующие:

| | ϵ | $\text{tg}\delta$ |
|-------------------|------------|-------------------|
| до отверждения | 25...60 | 0,5...0,8 |
| после отверждения | 3...6 | 0,5...0,8 |

Интенсивность нагрева при $E = \text{const}$ можно регулировать за счет изменения частоты тока f . Нижний предел f диктуется желаемой интенсивностью нагрева (не менее 3...5 МГц), а верхний предел зависит от допустимой неравномерности нагрева (не более 5%). Увеличение частоты тока приводит к уменьшению длины волны и усилению неравномерности нагрева за счет стоячих волн.

При склеивании в поле ТВЧ в соответствии с расположением электродов относительно клеевых слоев возможен поперечный, параллельный и рассеянный нагрев.

При поперечном нагреве клеевые слои располагают параллельно поверхностям электродов и силовые линии электрического поля направлены перпендикулярно слоям. В этом случае прогревается весь склеиваемый материал. Такой нагрев применяется, например, при производстве фанеры.

При параллельном нагреве клеевые слои параллельны силовым линиям электрического поля (рис. 3) и перпендикулярны электродам. В этом случае в основном разогреваются клеевые слои, примерно в 14 раз быстрее, чем древесина. Однако этот способ нагрева возможен только в случае, если ширина клеевого слоя не превосходит 76 мм, а расстояние между электродами не более 300 мм. В противном случае в средней части клеевого слоя будут дефекты

Удельная мощность. Удельная мощность, выделяемая в 1 см³ материала вследствие возникновения диэлектрических потерь, определяется по формуле

$$p = 0,55 \epsilon \text{tg}\delta f E^2 \cdot 10^{-12}, \quad (3)$$

где p – удельная мощность, Вт/см³;

E – напряженность электрического поля, В/см;

f – частота тока, Гц.

Мощность генератора, кВт:

$$P = \frac{pV}{1000\eta}, \quad (4)$$

где V – объем заготовки в границах пластин конденсатора, см³;

η – КПД генератора и конденсатора, $\eta = 0,5 \dots 0,8$.

Задание

Начертить расчетную схему нагревателя для склеивания деревянных заготовок толщиной 100 мм, шириной 50 и 120 мм, длиной 500 мм. Рассчитать мощность генератора нагревательной установки при попарно склеивании заготовок. Назначить режимы склеивания. Напряженность поля приведена ниже.

Напряженность поля

| | Клей карбамидный | | |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | $W_{dp} = 8\%$ | $W_{dp} = 10\%$ | $W_{dp} = 14\%$ |
| $E, \text{ В/см}$ | 1200 | 1100 | 700 |

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое диэлектрическая проницаемость?
2. Изобразите молекулы древесины как электрические диполи.
3. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$?
4. Начертите схемы нагревательных устройств.
5. Что такое напряженность электрического поля?
6. Как определяется удельная электрическая мощность нагревателя?

Библиографический список

1. Волынский, В. Н. Технология клееных материалов: Учебно-справочное пособие/ В.Н. Волынский. — СПб.: Профи, 2009. — 392 с
2. Глебов, И.Т. Оборудование для склеивания древесины/ И.Т. Глебов, В.Г. Новоселов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2000. – 142 с.

Практическое занятие №3

АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Звук представляет собой механические колебания в упругих средах и характеризуется амплитудой и спектром частот [1].

Частота колебаний измеряется в герцах: 1 Гц = 1 колебанию в секунду.

Для человеческого уха звук частотой:

– 0,001...17 Гц – инфразвук – не слышен;

– от 17 Гц до 20 кГц (с длиной волны от 20 м до 17 мм) – слышимый звук; частота обычного человеческого голоса 100...300 Гц;

– от 20 кГц до 100 кГц – ультразвук, неслышен.

В среднем скорость звука в древесине вдоль волокон составляет 5000 м/с.

Древесину по проводимости звука характеризуют звукопроводностью, звукоизолирующей и звукопоглощающей способностью, резонансными свойствами.

Скорость распространения звука C определяется по времени распространения упругой волны по длине образца, м/с:

$$C = \frac{l}{\tau}, \quad (1)$$

где l – расстояние между датчиками, установленными по длине образца, м;

τ – время распространения упругой волны, с.

Скорость звука можно определить так, м/с:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

где E – динамический модуль упругости древесины, Н/м² = Па;

ρ – плотность древесины, кг/м³.

Скорость звука можно определить так, м/с:

$$C = 2lf_o, \quad (3)$$

где l – длина образца (расстояние между датчиками), м;

f_o – резонансная частота, Гц.

Значения скорости звука и плотности древесины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модули упругости и скорости звука
для некоторых пород древесины [1]

| Порода | Плотность, г/см ³ | Модули упругости, кПа/см ² | | $C_{//}$ | C_{\perp} | Отношение $C_{//} / C_{\perp}$ |
|--------|---------------------------------|--|-------------|----------|-------------|-----------------------------------|
| | | $E_{//}$ | E_{\perp} | | | |
| Ель | 0,47-483 | 110000 | 5500 | 4790 | 1072 | 4,47 |
| Сосна | 0,52 | 120000 | 4600 | 4760 | 932 | 5,11 |
| Пихта | 0,45 | 110000 | 4900 | 4890 | 1033 | 4,73 |
| Бук | 0,73 | 160000 | 150000 | 4638 | 1420 | 3,27 |
| Дуб | 0,69 | 130000 | 100000 | 4304 | 1193 | 3,61 |

Скорость звука в сухой древесине значительно больше скорости звука в сырой древесине. С увеличением температуры древесины скорость звука убывает.

Звукоизолирующая способность древесины. Характеризуется ослаблением прошедшего через древесину звука. Оценивается разницей звукового давления (в децибелах) до и после перегородки из древесины и по коэффициенту звукопроницаемости. Коэффициент звукопроницаемости показывает во сколько раз уменьшается звук за перегородкой (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики звукоизолирующей способности древесины

| Порода | Толщина перегородки, см | Звукоизоляция, дБ | Коэффициент звукопроницаемости |
|--------|-------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Сосна | 3 | 12 | 0,065 |
| Дуб | 4,5 | 27 | 0,002 |

По строительным нормам звукоизоляция стен жилых зданий должна быть не ниже 40 дБ, а межэтажных перекрытий – 48 дБ. Отсюда видно, что звукоизолирующая способность массивной древесины сравнительно невысока.

Способность древесины поглощать звук вызвана рассеянием звуковой энергии в структурных полостях и необратимыми тепловыми потерями вследствие внутреннего трения. Для оценки этой способности используют **коэффициент звукопоглощения**. Коэффициент звукопоглощения сосновой перегородки толщиной 19 мм в диапазоне частот 100-4000 Гц находится в пределах 0,081-0,110.

Резонансная способность древесины. Это способность древесины резонировать, т.е. усиливать звук без искажения его высоты (тона). Эта способность древесины широко используется при строительстве акустических залов и изготовлении музыкальных инструментов, точнее основной их звукоизлучающей детали – деки. Хотя в природе немало других материалов, обладающих акустическими свойствами, даже превосходящими древесину по силе излучаемого звука, однако по нежности и тембровой окраске звучания, пока не найдено достойного заменителя древесины [2].

Энергия, передаваемая деке струной, расходуется на трение внутри деки и излучается в виде звуковой энергии в окружающее пространство. Известно, что в окружающий воздух передается только 3...5% энергии, передаваемой деке.

Дека – это деревянная деталь струнного инструмента, которая передает колебания от струн воздуху, делая звук намного громче, чем издает струна сама по себе. Дека работает по принципу вынужденных колебаний. Она колеблется под влиянием струны, производя звук той же частоты, но с другим тембром.

Корпус гитары, например, состоит из верхней и нижней деки, которые соединены между собой обечайкой.

У пианино резонансная дека представляет собой щит толщиной 10 мм, склеенный из нескольких дощечек, выпиленных из древесины

резонансной ели. На обратной стороне деки перпендикулярно волокнам древесины наклеены бруски из древесины ели, называемые рипками.

Гитарная дека имеет толщину 4...5 мм. Делают ее из дощечек толщиной 6 мм и шириной 60 мм радиальной распиловки древесины резонансной ели влажностью 8 %, без трещин и сучков с одинаковой шириной годовых колец. Дощечки склеивают по ширине казеиновым клеем или клеем ПВА. После склеивания щит калибруют по толщине.

Комплекс акустических свойств древесины, определяющих возможность ее использования в качестве материала для изготовления дек музыкальных инструментов, характеризуется скоростью звука, определяемой по формуле (2):

$$K = C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Этот показатель характеризует главным образом способность материала к звуковому излучению, поэтому его называют константой излучения, или акустической константой K . Те породы древесины, для которых значения константы K максимальны, наилучшим образом подходят для изготовления музыкальных инструментов и для отделки акустических залов.

Наибольшей величиной акустической константы обладает древесина ели, пихты и кедра. Резонансные заготовки согласно ГОСТ 6900-83 должны изготавливаться из древесины с мелкими и равными годичными слоями, без сучков, крени, наклона волокон и других пороков древесины.

Наилучшими резонансными свойствами обладает древесина длительной (50 лет и более) выдержки.

Задание. В табл. 3 приведены значения плотности и модуля динамической упругости для некоторых пород древесины.

Определить значения акустической константы K и выбрать наилучшие породы для изготовления музыкальных инструментов и отделки акустических залов..

Акустические константы древесины при влажности 10%

| Порода | Плотность, кг/м ³ | Модуль упру- го- сти $E \cdot 10^9$, Н/м ² | Константа из- лучения K , м/с |
|-----------------------|---------------------------------|---|------------------------------------|
| Береза | 630 | 14,2 | |
| Бук | 670 | 12,4 | |
| Вяз | 480 | 10,1 | |
| Граб | 680 | 3,2 | |
| Груша | 630 | 11,9 | |
| Дуб | 690 | 13 | |
| Ель резонанс- ная | 420 | 9,0...9,6 | |
| Ива | 450 | 8,98 | |
| Кедр сибирский | 380 | 11,8 | |
| Клен полевой | 700 | 11,9 | |
| Липа | 320 | 8,94 | |
| Лиственница | 660 | 14,3 | |
| Ольха | 520 | 9,33 | |
| Осина | 495 | 11,2 | |
| Пихта кавказ- ская | 450 | 11 | |
| Пихта сибир- ская | 380 | 11,2 | |
| Сосна | 500 | 12,2 | |
| Яблоня | 680 | 16,3 | |
| Ясень | 700 | 11,9 | |

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое звук, слышимый и неслышимый звук, частота и длина волны колебаний звука?
2. Напишите формулы для определения скорости звука в древе-
сине.
3. Расскажите о звукоизолирующей способности древесины.
4. Что понимают под резонансной способностью древесины?
5. Как определяется акустическая константа K ?

6. Что такое дека? Как выполнены деки в различных музыкальных инструментах? Как делается дека?

7. Какие породы древесины используют для изготовления музыкальных инструментов?

Библиографический список

1. Леонтьев, Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / Л.Л. Леонтьев. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 416 с.

2. Рыжова Н.В. Физика древесины/ Н.В. Рыжова, В.В. Шутов. – Кострома: КГТУ, 2009. – 75 с.

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Тепловыми называют такие свойства древесины как теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, тепловое расширение [1, 2].

Теплоемкость – это способность древесины поглощать (выделять) теплоту при нагревании (охлаждении). Это способность древесины аккумулировать тепло и отдавать его.

Показателем теплоемкости служит *удельная теплоемкость* СДж/кг·град:

$$C = \frac{Q}{m\Delta_t}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, полученное деревянным образцом при нагреве, Дж;

m – масса нагреваемого образца, кг;

Δ_t – разность конечной и начальной температуры образца, град.

Поскольку состав древесинного вещества у всех пород одинаков, удельная теплоемкость древесины не зависит от породы. При температуре 0 °С для абсолютно сухой древесины удельная теплоемкость равна 1550 Дж/(кг·°С). С повышением температуры удельная теплоемкость несколько возрастает по линейному закону. С увеличением влажности древесины от 0 до 130 % удельная теплоемкость увеличивается в 2 раза.

Для сухой и свежесрубленной древесины при температуре 20°С удельная теплоёмкость равняется 1700...2000 и 2600...3000 Дж/(кг·°С) соответственно. От породы древесины удельная теплоёмкость не зависит.

Теплопроводность – способность материальных тел к переносу энергии (теплообмену) от более нагретых частей тела к менее нагретым.

тым частям тела. Такой теплообмен происходит во всех телах с неоднородным распределением температур.

Количественно теплопроводность характеризуется *коэффициентом теплопроводности* λ , Вт/м·°С.

Известно, что количество тепла, передаваемое деревянной заготовке Q , Дж:

$$Q = \lambda F \tau \frac{\Delta_t}{\Delta_x}, \quad (2)$$

где F – площадь сечения перпендикулярного тепловому потоку, м²;

τ – продолжительность нагрева, с;

Δ_t – перепад температур, °С;

Δ_x – расстояние между начальной и конечной точками нагрева, м.

Мы все знакомы на бытовом уровне с теплопроводностью дерева. Древесина известна своими качествами теплоизоляции. Образ «теплого» дерева вполне объясним с точки зрения теории теплопроводности. Ощущение теплоты или холода зависит не только от температуры предмета, к которому мы прикасаемся, но и от скорости, с которой он передаёт или отбирает тепло нашей кожи. К примеру, если вы касаетесь холодного металла, то он отбирает тепло в сотни раз быстрее, чем холодное дерево. Хотя их температура и одинакова, ваши ощущения таковы: дерево теплее. Именно поэтому в течение многих столетий дерево используют в качестве материала для изготовления ружейного ложа, сидений и рукояток инструмента.

Сравнительные значения теплопроводности и теплоемкости различных материалов приведены в табл. 1.

Задание.

1. **Дано:** масса нагреваемых заготовок $m_1 = 3$ кг, $m_2 = 5$ кг, $m_3 = 7$ кг, $m_4 = 9$ кг, $m_5 = 11$ кг, начальная температура заготовок $\tau_n = 18^\circ\text{C}$, конечная – $\tau_k = 100^\circ\text{C}$.

Определить. Используя формулу удельной теплоемкости

$$C = \frac{Q}{m\Delta_t},$$

найти количество тепла Q , передаваемое к заготовкам Дж и построить график зависимости Q от m .

Таблица 1

Значения теплопроводности и теплоемкости древесины

| Порода древесины | Плотность ρ , кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·град | Удельная теплоемкость C , Дж/кг·град |
|----------------------------|--------------------------------------|--|--|
| Береза | 510...770 | 0,15 | 1700 |
| Дуб вдоль волокон | 700 | 0,23 | 2000 |
| Дуб поперек волокон | 700 | 0,1 | 2000 |
| Кедр | 500...570 | 0,095 | 1900 |
| Клен | 620...750 | 0,19 | 1900 |
| Лиственница | 670 | 0,13 | 2000 |
| Опилки древесные | 200...400 | 0,07...0,093 | – |
| Пихта | 450...550 | 0,1...0,26 | 1800 |
| Сосна, ель вдоль волокон | 500 | 0,18 | 1800 |
| Сосна, ель поперек волокон | 500 | 0,09 | 1800 |
| Тополь | 350...500 | 0,17 | 1700 |
| Фанера клееная | 600 | 0,12...0,18 | 2300...2500 |

2. **Дано.** Между верхней и нижней горячими плитами пресса зажат пакет склеиваемых заготовок (рис. 1). Температура обеих плит 150°C , а температура клеевого слоя должна быть 120°C . Толщина склеиваемого пакета $X = (40; 32; 25; 16; 10)$ мм.

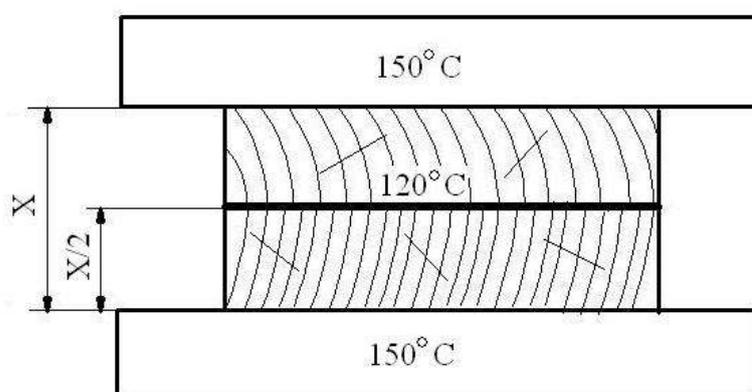


Рис. 1. Положение склеиваемого пакета в плитах пресса

Толщина заготовок $h = X/2$, длина $l = 1,0$ м; ширина $b = 150$ мм.
Порода – выбрать самостоятельно.

Определить время прогрева пакета до температуры 120°C в клеевом слое, используя данные табл. 1 и формулу для теплового потока

$$Q = \lambda F \tau \frac{\Delta t}{\Delta x}.$$

Построить график зависимости времени прогрева пакета от толщины склеиваемых заготовок.

Пример решения задачи при толщине пакета $X = 20$ мм, порода древесины – тополь.

1. По табл. 1 принимаем:

– плотность древесины $\rho = 350$ кг/м³;

– коэффициент теплопроводности древесины

$\lambda = 0,12$ Вт/(м·град.);

– удельная теплоемкость $C = 1700$ Дж/(кг·град.).

2. Находим объем заготовки

$$v = hlb = 0,010 \cdot 0,15 \cdot 1,0 = 0,0015 \text{ м}^3.$$

3. Масса заготовки

$$m = \rho v = 350 \cdot 0,0015 = 0,525 \text{ кг}.$$

4. Количество тепловой энергии, необходимое провести через заготовку к клеевому слою

$$Q = Cm\Delta t = 1700 \cdot 0,525 \cdot (150 - 120) = 26775 \text{ Дж}.$$

5. Площадь сечения склеиваемого пакета, перпендикулярного тепловому потоку

$$F = bl = 0,15 \cdot 1,0 = 0,15 \text{ м}^2.$$

6. Находим время прогрева пакета

$$\tau = \frac{Q\Delta x}{\lambda F\Delta t} = \frac{26775 \cdot 0,010}{0,12 \cdot 0,15 \cdot (150 - 120)} = 495,8 \text{ с}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства древесины называют тепловыми?
2. Что такое теплоемкость? Удельная теплоемкость древесины. Ее значения.
3. Что такое теплопроводность? Коэффициент теплопроводности, как он находится?
4. Назовите области использования теплофизических свойств древесины на практике.

Библиографический список

1. Леонтьев, Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / Л.Л. Леонтьев. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 416 с.
2. Анучин Н.А. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2/ Н.А. Анучин, В.Г. Атрохин, В.Н. Виноградов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1986.– 631 с.

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Способность материала проводить тепло называют **теплопроводностью**, λ (Вт/м·°С). Теплопроводность определяет какое количество тепла проходит через 1 м² стенки материала толщиной 1 метр за 1 секунду [1].

Термическим сопротивлением древесины называют способность ее препятствовать распространению теплового движения молекул. Это свойство древесины имеет исключительное значение в домостроении.

Если для комфортного проживания в доме необходимое значение сопротивления теплопередачи составляет 1,1С° м²/Вт, то для того чтобы стены дома удовлетворяли современным нормам по энергосбережению, его значение должно составлять 3,33 С° м²/Вт. По действующим требованиям СНиП II-3-79 минимальное значение термического сопротивления составляет 3,15 С° м²/Вт. Надо отметить, что хотя эти требования заметно отстают от европейских.

Сопротивление теплопередаче представляет собой способность стены толщиной d препятствовать потерям тепла, м²·°С/Вт:

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

где: d – толщина деревянной стены, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала Вт/(м·°С).

В случае, если стена состоит из нескольких слоев, имеющих разную толщину, то суммарное сопротивление теплопередаче определяется как сумма сопротивлений каждого из слоев.

Теплопроводность древесины сильно зависит от ее влажности, поскольку влага заполняет поры древесины и превращает газовую пору в пузырек с жидкостью. В жилом доме образуется много влаги. Влага образуется на кухне, ванной комнате, в туалете, наконец, от дыхания человека. Деревянные стены впитывают

влагу. С увеличением влажности древесины теплопроводность ее увеличивается.

Например, теплопроводность древесины сосны и ели (в сухом состоянии) поперек волокон составляет 0,09 Вт/(м·°С). При нормальных условиях эксплуатации (А) и при эксплуатации во влажной зоне (Б) коэффициент теплопроводности материала увеличивается и составляет 0,14-0,18 Вт/(м·°С).

Для нормальных условий эксплуатации можно принять коэффициент теплопроводности древесины сосны $\lambda = 0,15$ Вт/(м·°С).

Для определения сопротивления теплопередаче необходимо знать климатические условия в заданном регионе. Эти условия характеризуются величиной температуры наиболее холодной пятидневки, с обеспечением 92% (t_{92}), средней температуры за отопительный сезон ($t_{отоп.пер}$) и продолжительностью отопительного сезона ($z_{отоп.пер}$).

Важной величиной является «градусо-сутки отопительного периода» (ГСОП), которая определяется как:

$$\text{ГСОП} = (t_{вв} - t_{отоп.пер}) z_{отоп.пер}, \quad (2)$$

где $t_{вв}$ – средняя температура воздуха внутри жилого помещения, принимается равной 20°С.

Климатические параметры холодного периода года [2] для г. Екатеринбурга приведены ниже:

- температура наиболее холодной пятидневки, 92%, °С. $t_{92} = -32$ °С;
- средняя температура отопительного периода, °С, $t_{отоп.пер} = -5,4$ °С;
- продолжительность отопительного периода, сут., $z_{отоп.пер} = 221$ сут.

Базовое, нормированное значение сопротивления теплопередаче $R_{норм}$ находится так, м²·°С/Вт:

$$R_{норм} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (3)$$

где a, b – коэффициенты [3], $a = 0,00035$, $b = 1,4$.

Зная нормированное значение сопротивления теплопередаче $R_{норм}$, по формуле (1) можно найти толщину стены d . Если стена дома сделана из бруса (рис. 1), то толщина стены равна толщине бруса. Если стена сделана из оцилиндрованных бревен (рис. 2, 3),

то, сравнивая расчеты для стен из бруса и бревна, получены переводные коэффициенты ε и μ [4].



Рис. 1. Стены дома из бруса



Рис. 2. Стена дома из оцилиндрованных бревен

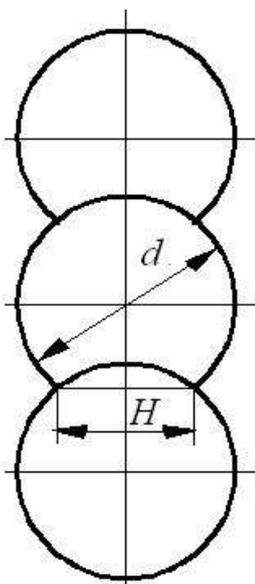


Рис. 3. Схема соединения бревен продольным пазом

Ширину паза принимают так: $H = (0,45...0,55)d$. Коэффициент $\varepsilon = H/d$, равен отношению ширины паза к диаметру бревна, коэффициент $\mu = H_{эфф}/d$, равен отношению толщины бруса к диаметру бревна, имеющие одинаковые теплопроводящие свойства. Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов

| ε | μ | ε | μ | ε | μ |
|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| 0 | 0,64 | 0,35 | 0,77 | 0,7 | 0,9 |
| 0,05 | 0,66 | 0,4 | 0,79 | 0,75 | 0,92 |
| 0,1 | 0,68 | 0,45 | 0,81 | 0,8 | 0,93 |
| 0,15 | 0,7 | 0,5 | 0,83 | 0,9 | 0,97 |
| 0,2 | 0,72 | 0,55 | 0,84 | 0,95 | 0,98 |
| 0,25 | 0,73 | 0,6 | 0,86 | | |
| 0,3 | 0,75 | 0,65 | 0,88 | | |

Пример. для строительства стен дома используются бревна диаметром $d = 45$ см. Ширина паза – 23 см.

Отсюда: $\varepsilon = 23/45 = 0,5$. Табличное значение $\mu = 0,83$. Далее находим толщину стены, сложенной из бруса, в отношении к диаметру бревна, имеющих одинаковые теплопроводящие свойства: $H_{эфф} = \mu d = 0,83 \cdot 45 = 37,4$ см = 0,374 м.

Получив эту цифру, можно рассчитать тепловое сопротивление R стены, сложенной из бревна. Для этого подставляем полученные значения в формулу (1). Например,

$$R = \frac{H_{эфф}}{\lambda} = \frac{0,374}{0,15} = 2,49 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Фактическое сопротивление теплопередаче определяют по формуле:

$$R_{факт} = Rk,$$

где k – коэффициент теплотехнической однородности наружной стены, $k = 0,92$.

Фактическое сопротивление должно быть равно нормированному значению или превышать его ($R_{факт} > R_{норм}$).

Задание

Дано. Деревообрабатывающее предприятие производит дома из оцилиндрованных сосновых бревен диаметром 25, 30, 35, 40, 45 см.

Определить:

- выбрать диаметр бревна;
- ширину соединительного продольного паза бревна;
- нормированное и фактическое термосопротивление сопротивление.

Порядок решения. 1. Выбираем диаметр бревна.

2. Вычертить расчетную схему соединения бревен.

3. Определить значение ГСОП по (2).

4. Определить нормированное значение сопротивления по (3).

5. Найти значения коэффициентов ε и μ .

6. Найти фактическое тепловое сопротивление.

7. Выводы.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое теплопроводность и термическое сопротивление древесины? Где эти понятия используются?
2. Как определить климатические параметры холодного периода года для данной местности? Назовите эти параметры.
3. Как найти фактическое и нормативное термосопротивление?

Библиографический список

1. Леонтьев, Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / Л.Л. Леонтьев. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 416 с.
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Свод правил.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Свод правил.
4. Таштабанов Ринат. Теплый деревянный дом. Расчет толщины стен. <https://www.forumhouse.ru/articles/house/6702>.

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ

Основные теоретические положения

Паропроницаемость – это способность задерживать или пропускать водяной пар различными материалами в результате разности парциального давления водяного пара (давление пара при отсутствии других газов в системе) с учетом одинакового атмосферного давления с обеих сторон.

Это величина P , численно равная количеству водяного пара в миллиграммах, проходящего за 1 ч через слой материала площадью 1 м^2 и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинакова, а разность парциального давления водяного пара равняется 1 Па [1].

Коэффициент паропроницаемости – это величина, которая равна плотности стационарного потока водяного пара проходящего в изотермических условиях (при постоянной температуре) через слой материала толщиной в один метр в единицу времени при разности парциального давления в 1 Па обозначается μ , мг/(м·час·Па) [1].

Сопротивление паропроницанию – показатель, характеризующий разность парциальных давлений водяного пара в паскалях у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через стену площадью 1 м^2 за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон изделия; Это есть величина, численно равная отношению толщины слоя испытываемого материала к значению паропроницаемости, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$q = \frac{H}{\mu}.$$

Указанные понятия распространяются на строительные материалы и изделия. Они используются при расчете сопротивления паропроницанию, например, стен деревянного дома.

Часто люди, живущие в деревянном доме утверждают, что в таком доме жить легко, так как стены его «дышат». Материал деревянной стены пропускает не только воздух, но и пар. Действительно, по сравнению с другими строительными материалами древесина обладает хорошей паропроницаемостью (рис. 1). Сопротивление паропроницаемости стен различных строительных материалов показано в табл. 1.

Древесина сосны и древесных материалов обладают хорошей паропроницаемостью. Кирпич тоже пропускает пары и воздух, но меньше, чем древесные материалы.

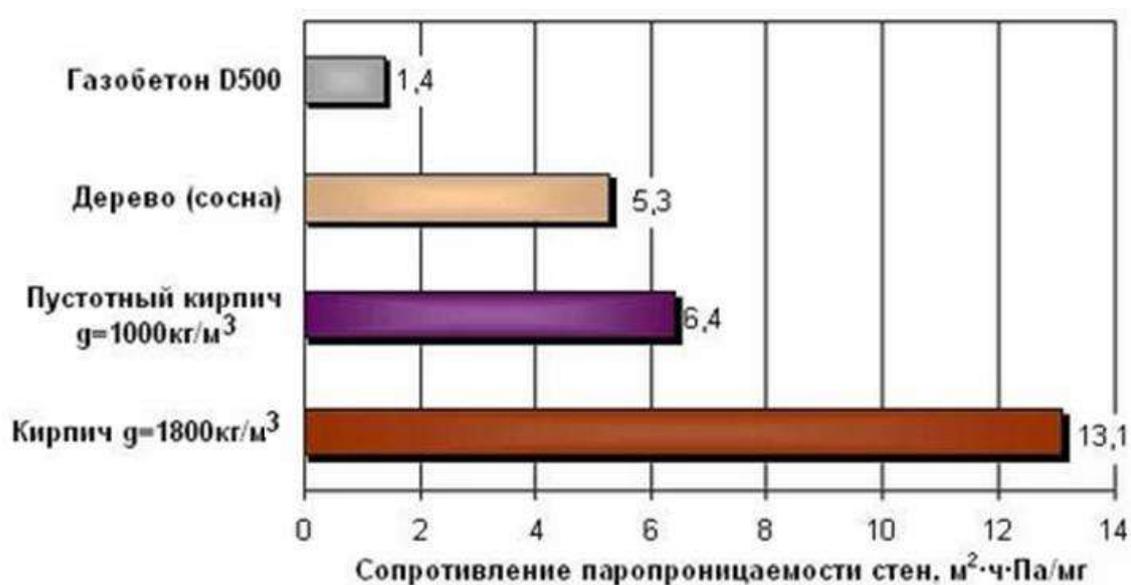


Рис. 1. Сопротивление паропроницаемости стен различных строительных материалов

Таблица 1

Коэффициент паропроницаемости древесных строительных материалов

| Материал | Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па) |
|----------------------------------|--|
| Сосна, ель поперек волокон | 0,06 |
| Сосна, ель вдоль волокон | 0,32 |
| Дуб поперек волокон | 0,05 |
| Дуб вдоль волокон | 0,30 |
| Фанера клееная | 0,02 |

| | |
|---|------|
| ДСП и ДВП, 1000-800 кг/м ³ | 0,12 |
| ДСП и ДВП, 600 кг/м ³ | 0,13 |
| ДСП и ДВП, 400 кг/м ³ | 0,19 |
| ДСП и ДВП, 200 кг/м ³ | 0,24 |

Образующийся в доме пар, выдыхаемый человеком, выделяемый при приготовлении пищи, принятии ванной, создает повышенную влажность в доме. Его заметно в виде конденсата на стеклах окон, например. Можно предположить, если стена имеет высокую паропроницаемость, то в доме образуется хороший микроклимат и легко дышится.

На самом деле это не совсем так. Замечено, что 97% пара удаляется из помещений через вытяжные устройства, и только 3% – через стены. Стены деревянного дома дышат, но незначительно. И при таком дыхании в ветреную холодную погоду из дома выдувается тепло. А ещё дышащие стены менее долговечны. Чем выше паропроницаемость материала, тем больше он может набрать влаги. Пар, выходя из дома через стену, на холоде превращается в воду и даже замерзает, превращается в лед.

При падении ночью температуры, замерзшая влага смещается внутрь стены. Образующийся лед всегда занимает больший объем, чем капельки воды. При расширении льда происходит частичное разрушение материала. Несколько сотен таких циклов приводят к полному разрушению материала. Поэтому паропроницаемость древесины, используемой в строительстве домов, свойство не только бесполезное, но и вредное.

В идеале конструкцию стены дома нужно проектировать таким образом, чтобы точка замерзания влаги приходилась на такой утеплитель, который защищен от проникновения влаги. В качестве примера такого материала можно привести утеплитель Пеноплекс или утеплитель из минеральной ваты с использованием паронепроницаемой пленки, защищающей утеплитель от проникновения влаги (рис. 2).

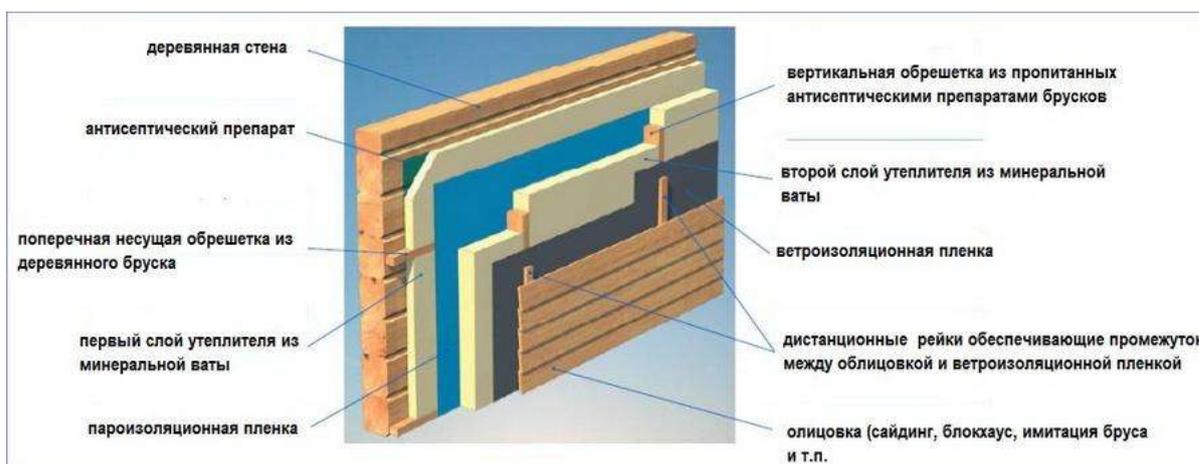


Рис. 2. Схема утепления стены

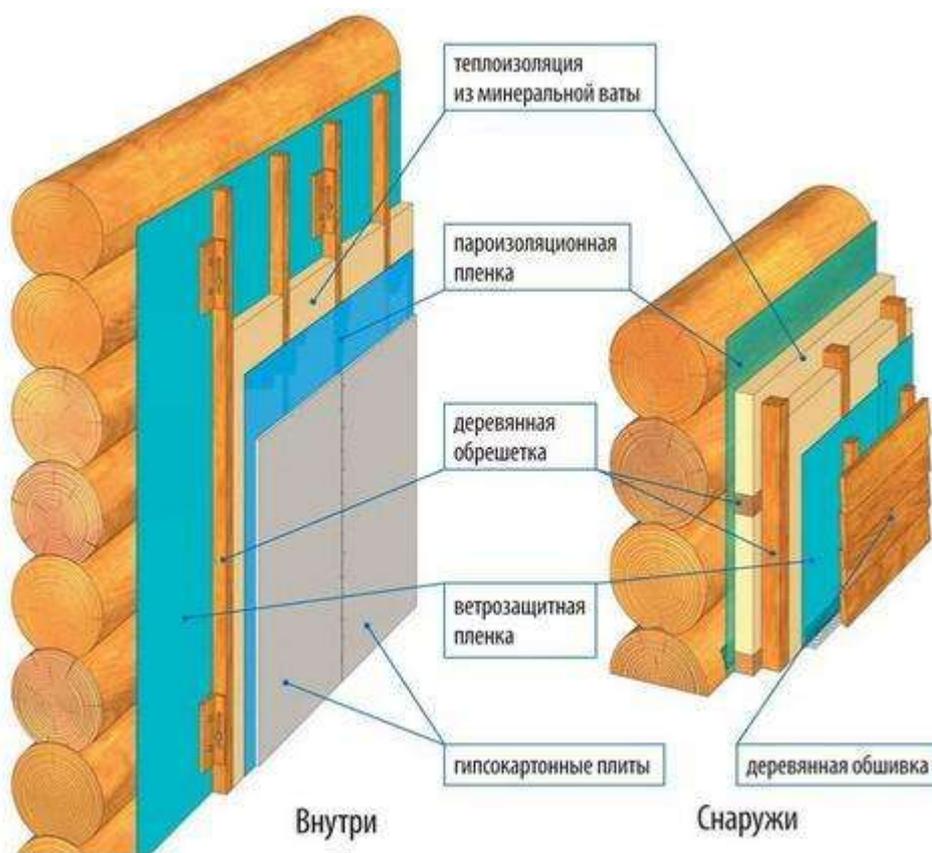


Рис. 3. Схема теплоизоляции стены дома

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое паропроницаемость, коэффициент паропроницаемости? Размерность.
2. В чем вред паропроницаемости?

Задание

1. Изучить материал.
2. Изучить схемы утепления стен дома.

Библиографический список

1. ГОСТ 25898-2012 Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Определение усушки древесины | 4 |
| Диэлектрические свойства древесины | 12 |
| Акустические свойства древесины | 19 |
| Тепловые свойства древесины | 25 |
| Термическое сопротивление древесины | 30 |
| Паропроницаемость древесины | 36 |