

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. В. Шетько, Л. В. Игнатович, А. И. Скроцкий

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕБЕЛИ И СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано
учебно-методическим объединением по образованию в области
природопользования и лесного хозяйства в качестве
учебно-методического пособия для студентов учреждений
высшего образования по специальности 1-46 01 02 «Технология
деревообрабатывающих производств» и экономических
специальностей лесохозяйственного профиля*

Минск 2020

УДК 674.2+684.4(076.5)
ББК 37.134.1+38.635я7
Ш52

Рецензенты:

кафедра интерьера и оборудования
УО «Белорусская государственная академия искусств»
(кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры Л. Ю. Дубовская);
кандидат технических наук, генеральный директор
ОАО «Речицадрев» В. В. Тулейко

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

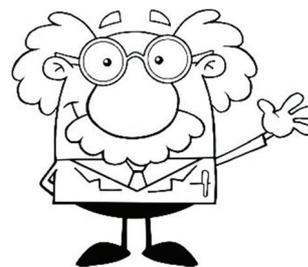
Шетько, С. В.

Ш52 Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-46 01 02 «Технология деревообрабатывающих производств» и экономических специальностей лесохозяйственного профиля / С. В. Шетько, Л. В. Игнатович, А. И. Скроцкий. – Минск : БГТУ, 2020. – 193 с.
ISBN 978-985-530-769-4.

Учебно-методическое пособие содержит лабораторные работы по основным разделам, соответствующим профилю будущих специалистов. Лабораторные работы направлены как на определение качественных показателей древесных, клеевых и других материалов, применяемых в изготовлении столярно-строительных изделий и мебели, так и на установление качественных показателей самих изделий. Выполнение работ способствует приобретению опыта решения технологических задач в области деревообработки и опыта использования технической и нормативной документации.

УДК 674.2+684.4(076.5)
ББК 37.134.1+38.635я7

ISBN 978-985-530-769-4 © УО «Белорусский государственный технологический университет», 2020
© Шетько С. В., Игнатович Л. В.,
Скроцкий А. И., 2020



ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная технология изделий из древесины – это высокоорганизованное механизированное производство, базирующееся на последних научно-технических достижениях в области деревообработки, использовании новых материалов, совершенствовании применяемых и внедрении прогрессивных технологических режимов и процессов.

Лабораторный практикум составлен согласно программе курсов «Технология производства мебели и столярно-строительных изделий», «Технология производства мебели» для студентов, имеющих соответствующую теоретическую подготовку и опыт выполнения лабораторных работ по общеинженерным дисциплинам и по дисциплине «Основы научных исследований».

Авторы стремились не ограничивать студентов узкими рамками лабораторного практикума. Значительная часть методики каждой лабораторной работы должна разрабатываться студентом самостоятельно в соответствии с целью работы. В лабораторном практикуме рассмотрены теоретические основы изучаемых явлений, приведено основное направление выполняемых работ, также изложены вопросы по охране труда, предложена методика отбора образцов и подготовки их к проведению испытаний (исследований) и методика по статистической обработке результатов проведенных исследований, расчет погрешности измерений.

Основное внимание в лабораторном практикуме сосредоточено на оказании помощи студентам в глубоком, целенаправленном изучении основных разделов перечисленных дисциплин, чтобы способствовать выработке инициативы и самостоятельности в решении вопросов, связанных с будущей инженерной деятельностью современного молодого специалиста.

Целью лабораторного практикума является овладение навыками проведения технологических процессов, изучение приборов и методов измерения – метрологического обеспечения технологического процесса, свойств материалов, приобретение опыта решения творческих, научно-исследовательских и технологических задач в области деревообработки.

Успешное выполнение лабораторной работы во многом зависит от знания студентом цели работы и способов ее достижения, другими словами, от подготовки студента. Приступая к выполнению работы, необходимо на практике изучить средства и способы измерения тех или иных параметров, технологические режимы, правильно выбрать и использовать методы обработки результатов проведенных исследований.

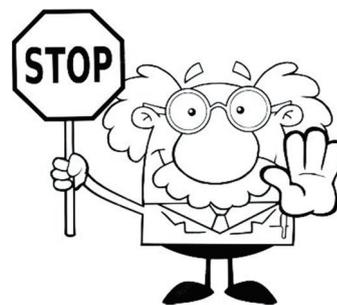
Перед лабораторными занятиями студент должен изучить теоретический материал, приведенный в каждой лабораторной работе, последовательность выполнения работы, глубоко проанализировать и изучить значения, методику выполнения работы и способы обработки результатов исследований. Во время подготовки и проведения лабораторных работ нужно руководствоваться методическими указаниями, изложенными в данном лабораторном практикуме, лекциями и рекомендуемой литературой, список которой предусмотрен в настоящем пособии.

Для активизации процесса освоения излагаемого материала после каждой лабораторной работы имеются вопросы для самоконтроля уровня знаний.

Результаты экспериментальных исследований каждой работы следует оформлять в виде отчета, который включает название и номер работы, перечень применяемых материалов, приборов, схему лабораторной установки, описание методик, содержание исследований, результаты обработки экспериментальных данных, таблицы экспериментальных данных. Обязательным является анализ полученных результатов и формулирование выводов по итогам выполненных работ.

Выполнение лабораторных работ должно быть индивидуальным, в отдельных случаях разрешается выполнение задания группой в количестве не более трех человек. К лабораторным работам студенты допускаются после контрольного опроса преподавателем с целью определения подготовки к занятиям.

При работе в лаборатории студенты должны строго соблюдать правила внутреннего распорядка и техники безопасности.



ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Выполнение всякого вида работ в лаборатории требует строгого соблюдения правил охраны труда, производственной санитарии и гигиены, пожарной безопасности с целью избежания возникновения несчастных случаев: механического травматизма, химических и тепловых ожогов, поражения электрическим током.

2. В помещениях при работе должна соблюдаться чистота. На рабочих столах и вокруг работающих не должно быть ничего лишнего. Запрещается загромождать столы склянками, реактивами и другими предметами, не нужными в данный момент для работы.

3. При выполнении любой работы в лаборатории важно быть предельно внимательными, не следует отвлекаться от выполняемых действий и мешать другим студентам.

4. При всех работах необходимо соблюдать максимальную осторожность, помня, что неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами и свойствами веществ, с которыми ведется работа, могут повлечь за собой травмы.

5. Предварительно до начала выполняемых работ следует изучить устройство и принцип работы используемого оборудования. Необходимо досконально знать пропорции при смешивании химических веществ, например при получении клеевых композиций. Студенты не допускаются к выполнению работ в случае, если эти знания отсутствуют.

6. Перед началом работ на оборудовании (установке) или приборе, работающем от электроэнергии, следует до включения его в электросеть проверить шнур, вилку и розетку на предмет отсутствия повреждений и убедиться в том, что оборудование (установка) или прибор заземлен.

7. Никакие вещества в лаборатории нельзя пробовать на вкус. Нюхать какие бы то ни было вещества необходимо с осторожностью, не вдыхая полной грудью, а направляя к себе пары или газ движением руки.

8. Все операции с химическими материалами следует проводить только в вытяжном шкафу с включенной вентиляцией. В случае перерыва действия вентиляции все работы в вытяжных шкафах, связанные с выделением вредных веществ, газов, паров, необходимо немедленно прекратить.

9. При работе с кислотами и едкими щелочами глаза работающих должны быть защищены специальными очками, руки – резиновыми перчатками и нарукавниками, а одежда – фартуком (халатом).

10. Следует осторожно работать со стеклянной посудой для предупреждения механического травматизма. Все пролитое, разбитое или просыпанное на столах, мебели и на полу необходимо тотчас убирать. Химическая посуда перед опытом и после его проведения должна быть тщательно очищена и вымыта.

11. В случае повреждения или разбития ртутного термометра студент должен немедленно поставить преподавателя в известность.

12. После опытов остатки клеевых материалов и других химических веществ запрещается сливать в раковину, их следует собирать в специальную тару.

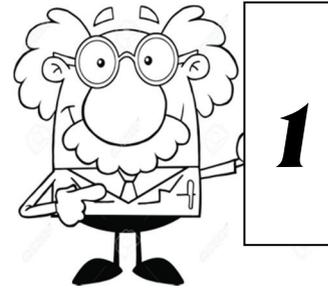
13. Уходя из лаборатории, нельзя оставлять включенными приборы, в том числе нагревательные, и вентиляцию.

14. При выполнении работ по склеиванию (облицовыванию) с применением карбамидоформальдегидных клеев необходимо соблюдать следующие правила:

– перед началом работы следует убедиться в отсутствии посторонних предметов на рабочем месте и в исправности прессового оборудования, заземляющих устройств;

– важно строго соблюдать правила технической эксплуатации оборудования;

- необходимо работать в спецодежде, пользоваться средствами индивидуальной защиты (резиновыми перчатками, защитными очками, респираторами), до и после работы руки полезно смазывать вазелином или специальным кремом;
- следует содержать рабочее место в чистоте;
- нельзя скапливать у рабочего места пустые емкости из-под материалов, их необходимо своевременно выносить;
- в случае возникновения пожара или тушения пламени следует использовать огнетушитель;
- по окончании работы необходимо произвести уборку рабочего места.



Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ СТАНКА (ЛИНИИ)

Общие положения

Одним из критериев качества изделий из древесины является соответствие размеров и формы деталей, обработанных на оборудовании, размерам и форме деталей в соответствии с конструкторской документацией на изделие. Точность работы станка проверяется путем обработки образцов на станке [1, 2].

Точность или погрешность работы станка (линии) зависит от поля рассеяния значения размеров партии деталей (сборочных единиц), обработанных на станке при данном его состоянии и наладке.

Точность работы станка определяется возможным полем рассеяния значения размеров (математическим ожиданием поля рассеяния 6σ). Она не зависит от точности (погрешности) наладки станка, потому что величина 6σ является лишь точной характеристикой данного станка при принятых условиях обработки. Указанное положение позволяет отдельно исследовать влияние точности работы станка и его настройки на точность изделий деталей и сборочных единиц.

На точность работы станка оказывает влияние действие целого ряда погрешностей. Все они подразделяются на две группы: систематические и случайные.

Общая погрешность представляет собой алгебраическую сумму всех переменных погрешностей:

$$\Delta_o = \Delta_c + \Delta_{сл}, \quad (1.1)$$

где Δ_c – систематическая погрешность изготовления изделия; $\Delta_{сл}$ – случайная погрешность изготовления изделия.

Систематическая погрешность изготовления изделия – это погрешность, которая при одинаковых условиях принимает одно и то же значение по модулю и знаку, т. е. погрешность, которая остается постоянной в пределах обработки данной партии деталей или изменяется закономерно. При этом одни изменения вносят одинаковую погрешность на все детали данной партии (например, непараллельность направляющих), другие – изменяют величину погрешности закономерно (например, износ режущего инструмента). Поэтому систематические погрешности разделяют на неизменные и переменные.

Неизменная систематическая погрешность – это погрешность, которая принимает одинаковое значение по модулю и знаку (погрешности в основной кинематической схеме станка, неточности основных элементов приспособлений, непараллельность направляющих, перекос стола, неправильная установка и др.).

Переменная систематическая погрешность – это погрешность изготовления продукции, которая закономерно меняется по модулю и знаку (износ и затупление режущего инструмента, износ приспособлений, температурные деформации элементов станка и инструмента и др.).

Случайная погрешность изготовления изделий – это погрешность, которая при одинаковых условиях принимает различные значения по модулю и знаку. Эти погрешности могут вызываться нестабильностью величин допуска на обработку, внутренними напряжениями в материале деталей и сборочных единиц, неоднородностью качества технологических баз заготовок и деталей, ошибками базирования деталей и сборочных единиц, неоднородностью механических свойств древесины, ошибками измерений, нестабильностью режимов обработки и др. [1, 2].

При суммировании погрешностей необходимо помнить:

- 1) систематическая погрешность складывается алгебраически;
- 2) систематическая погрешность со случайной складывается арифметически;
- 3) случайная погрешность складывается по правилу квадратного корня:

$$\Delta = \sqrt{(R_1\Delta_1)^2 + (R_2\Delta_2)^2 + \dots + (R_n\Delta_n)^2}, \quad (1.2)$$

где Δ – суммарная погрешность; R_1, R_2, \dots, R_n – коэффициенты, зависящие от вида кривых распределения составляющих погрешностей; $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ – составляющие погрешности.

Если погрешности подчиняются одному и тому же закону распределения, то $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = K$. Тогда суммарная погрешность находится по формуле

$$\Delta = K\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}. \quad (1.3)$$

В большинстве случаев погрешности носят случайный характер. Распределение составляющих погрешностей подчиняется закону Гаусса ($K = 1$), который математически можно выразить следующей формулой:

$$y = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.4)$$

где y – частота (особенность, вероятность) появления погрешностей в зависимости от их величины; σ – средняя квадратическая погрешность (характеристика кривой); x – погрешность размера, которая отсчитывается от центра группирования, т. е. от среднего размера x .

Определение погрешностей проводят двумя методами: расчетно-аналитическим и статистическим.

По расчетно-аналитическому методу находят отдельные составляющие погрешности с учетом факторов, которые вызвали их появление. Потом эти погрешности составляют, руководствуясь установленными правилами, и получают суммарную погрешность.

По статистическому методу проводят наблюдения и замеры деталей при обработке партии, а потом после обработки и анализа полученного численного значения делают соответствующие выводы.

В производстве изделий из древесины в основном используют статистический метод изучения погрешностей обработки, что обосновывается независимостью действия причин, которые приводят к рассеиванию размеров.

Для определения точности работы деревообрабатывающего станка образуют выборки. Выборка (выборочная совокупность) – это часть генеральной совокупности объектов, отобранная по определенной методике, обеспечивающей ее репрезентативность (представительность), т. е. возможность распространения полученных результатов с достаточной достоверностью на всю генеральную совокупность [1].

Для определения точности работы станка объем выборки берут равным от 10 до 50 деталей, по которым делают 30–150 измерений размеров и определяют совместное влияние случайных и систематических факторов [1].

Цель работы – определение точной характеристики работы станка по размерам партии образцов, обработанных при одной его наладке; определение поля рассеяния значения размеров и возможности получения взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц при обработке на этом же станке.

Приборы и материалы: микрометр или индикаторная скоба; штангенциркуль; 100–200 деталей или сборочных единиц, обработанных на станке за одну настройку, точность которого определяется.

Порядок выполнения работы

Проводят измерение размеров деталей после их обработки на станке (линии).

Полученные размеры сгруппировывают по интервалам (табл. 1.1).

Вычисляют статистические характеристики распределения размеров деталей, а также возможные предельные значения размеров и устанавливают допуск на заданный размер.

Строят полигон и теоретическую кривую Гаусса.

На график наносят графические отклонения в соответствии с ГОСТ 6449.19–1982 «Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки (с Изменением № 1)» [2].

Вычисляют в процентном соотношении количество достойных деталей и количество брака, в том числе поправимого и непоправимого.

При выполнении лабораторной работы по определению точности работы станка обрабатывают партию деталей, например в количестве 120 штук, и измеряют их с точностью до 0,01 мм. Полученные размеры разбивают на 8–10 интервалов, затем строят график, на котором по горизонтальной оси отложены значения, соответствующие средним значениям интервалов, а по вертикальной – цифры замеров в каждом интервале. Если соединить намеченные пункты прямыми линиями, получают ломаную линию – практическую кривую распределения, или полигон распределения.

В качестве примера определим точность работы рейсмусового станка.

На данном станке обработаны заготовки длиной 700 мм, шириной 100 мм и толщиной 30 мм в количестве 120 деталей. В качестве контролируемого размера принимают толщину деталей. Замеры выполняют с точностью до 0,01 мм.

Необходимо найти предельные размеры деталей. Они будут равны: минимальный – 29,80 мм и максимальный – 30,28 мм. Все полученные размеры делят на 8 интервалов. Расчеты сводят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Распределение размеров деталей по интервалам
и расчет статистических характеристик**

Номер интервала n	Границы интервала, мм	Среднее значение размера в интервале x , мм	Количество размеров в интервале (частота) m	xt	$(x - \bar{x})^2 m$
1	29,80–29,86	29,83	4	119,32	0,2116
2	29,86–29,92	29,89	6	179,34	0,1734
3	29,92–29,98	29,95	8	239,60	0,0968
4	29,98–30,04	30,01	28	840,28	0,0700
5	30,04–30,10	30,07	31	932,17	0,0038
6	30,10–30,16	30,13	25	753,25	0,1225
7	30,16–30,22	30,19	12	362,28	0,2028
8	30,22–30,28	30,25	6	181,50	0,2166
Всего			120	3607,74	1,0975

Примечание. Здесь \bar{x} – среднее значение размеров всей партии деталей, которое вычисляется по формуле (1.5).

По данным табл. 1.1 строят теоретическую и практическую кривые распределения (рис. 1.1), или полигон распределения (сплошная линия). Для построения теоретической кривой распределения погрешностей (кривой Гаусса) и определения точности работы станка, т. е. теоретически возможных максимальных и минимальных размеров деталей, следует найти центр группирования размеров и среднее квадратическое отклонение σ .

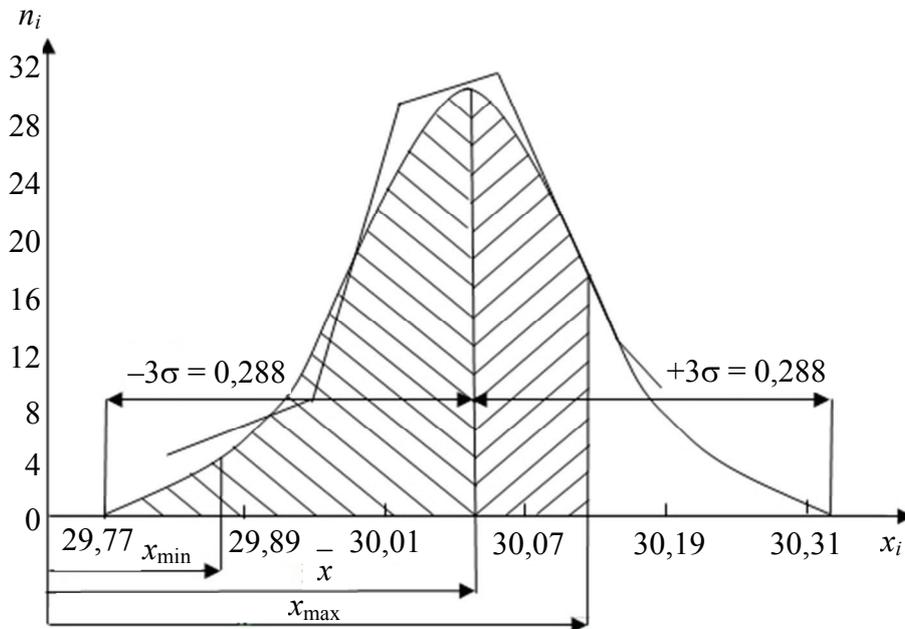


Рис. 1.1. Теоретическая и практическая кривые распределения партии деталей

Центр группирования размеров вычисляют как средневзвешенный:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n xm}{\sum_{i=1}^n m}, \quad (1.5)$$

где \bar{x} – среднее значение размеров всей партии деталей; x – погрешность размера, которая отсчитывается от центра группирования; m – количество размеров в интервале (частота); n – принятое количество интервалов.

При подстановке численных значений получим:

$$\bar{x} = \frac{3607,74}{120} = 30,06 \text{ мм.}$$

Величину интервала определяют по формуле

$$r = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}, \quad (1.6)$$

где x_{\max} , x_{\min} – соответственно максимальный и минимальный размеры деталей, мм; n – принятое количество интервалов.

Найдем r по вышеприведенной формуле:

$$r = \frac{30,28 - 29,80}{8} = 0,06 \text{ мм.}$$

Среднеквадратическое отклонение рассчитывают по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 m_i}{m - 1}}, \quad (1.7)$$

где x_i – значение размера в i -м интервале, мм; \bar{x} – среднее значение интервала, мм; m_i – частота повторов деталей в i -м интервале.

При подстановке значений получим:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,0975}{119}} = 0,096 \text{ мм.}$$

Зная \bar{x} и σ , можно найти математическое ожидание рассеивания размеров деталей. Согласно закону о нормальном распределении, оно равно $\bar{x} \pm 3\sigma$. Тогда $x_{\max} = 30,06 + 0,288 = 30,348$ мм и $x_{\min} = 30,06 - 0,288 = 29,772$ мм.

Погрешность работы станка составит:

$$\Delta = 6\sigma = 6 \cdot 0,096 = 0,576 \text{ мм.} \quad (1.8)$$

Для построения теоретической кривой рассеивания размеров на оси абсцисс откладывают значение $\bar{x} = 30,06$ мм. Ординату, соответствующую \bar{x} (на горизонтальной оси графика восстанавливают перпендикуляр, на котором откладывают y_{\max}), вычисляют по формуле

$$y_{\max} = \frac{0,4rm}{\sigma}, \quad (1.9)$$

где r – величина интервала, мм; m – количество размеров в интервале (частота); σ – среднеквадратическое отклонение.

В нашем примере

$$y_{\max} = \frac{0,4 \cdot 0,06 \cdot 120}{0,096} = 30.$$

Другие ординаты находят в зависимости от долей σ по следующей формуле:

$$y_i = zy_{\max}, \quad (1.10)$$

где z – коэффициент, который зависит от значения σ и определяется по табл. 1.2; y_{\max} – максимальное значение параметра ординаты y теоретической кривой нормального распределения.

Таблица 1.2

Значения коэффициента z

Доля σ	z	Доля σ	z	Доля σ	z
0,1	0,995	1,1	0,546	2,1	0,110
0,2	0,980	1,2	0,487	2,2	0,089
0,3	0,956	1,3	0,430	2,3	0,071
0,4	0,923	1,4	0,375	2,4	0,056
0,5	0,883	1,5	0,325	2,5	0,044
0,6	0,835	1,6	0,278	2,6	0,034
0,7	0,783	1,7	0,236	2,7	0,026
0,8	0,726	1,8	0,198	2,8	0,020
0,9	0,667	1,9	0,169	2,9	0,015
1,0	0,607	2,0	0,136	3,0	0,011

Для контролируемой детали принимаем 13-й квалитет точности. По таблице точности для размера 30 js13 найдем допустимое отклонение. Оно равно $\pm 0,16$ мм, значит, допуск $\delta = 0,32$ мм. Тогда допустимые наибольшее и наименьшее значения будут равны:

$$x_{\max \text{ д}} = \bar{x} + 0,16 = 30,06 + 0,16 = 30,22 \text{ мм},$$

$$x_{\min \text{ д}} = \bar{x} - 0,16 = 30,06 - 0,16 = 29,90 \text{ мм}.$$

Разница между значениями ординат для рассматриваемого примера приведена в табл. 1.3.

Оценку точности работы станка проводят на основе сравнения значений δ и 6σ . Когда $\delta \geq 6\sigma$, то станок будет обеспечивать

необходимую точность обработки деталей. Отметим, что при $\delta \geq 99,73\%$ деталей станок соответствует необходимой точности. При $\delta < 6\sigma$ станок не будет обеспечивать необходимую точность обработки деталей.

В нашем примере $\delta < 6\sigma$.

Таблица 1.3

Значения ординат в зависимости от σ

Доля σ	z	$y_i = zy_{\max}$
0,5	0,883	$y_1 = 0,883 \cdot 30 = 26,49$
1,0	0,607	$y_2 = 0,607 \cdot 30 = 18,21$
1,5	0,325	$y_3 = 0,325 \cdot 30 = 9,75$
2,0	0,136	$y_4 = 0,136 \cdot 30 = 4,08$
2,5	0,044	$y_5 = 0,044 \cdot 30 = 1,32$
3,0	0,011	$y_6 = 0,011 \cdot 30 = 0,33$

Определим количество бракованных деталей.

Для этого вычисляют ту часть площади, которая ограничена нормальной кривой и соответствует значению $\delta \pm 0,16$ мм (на рис. 2.2 она заштрихована).

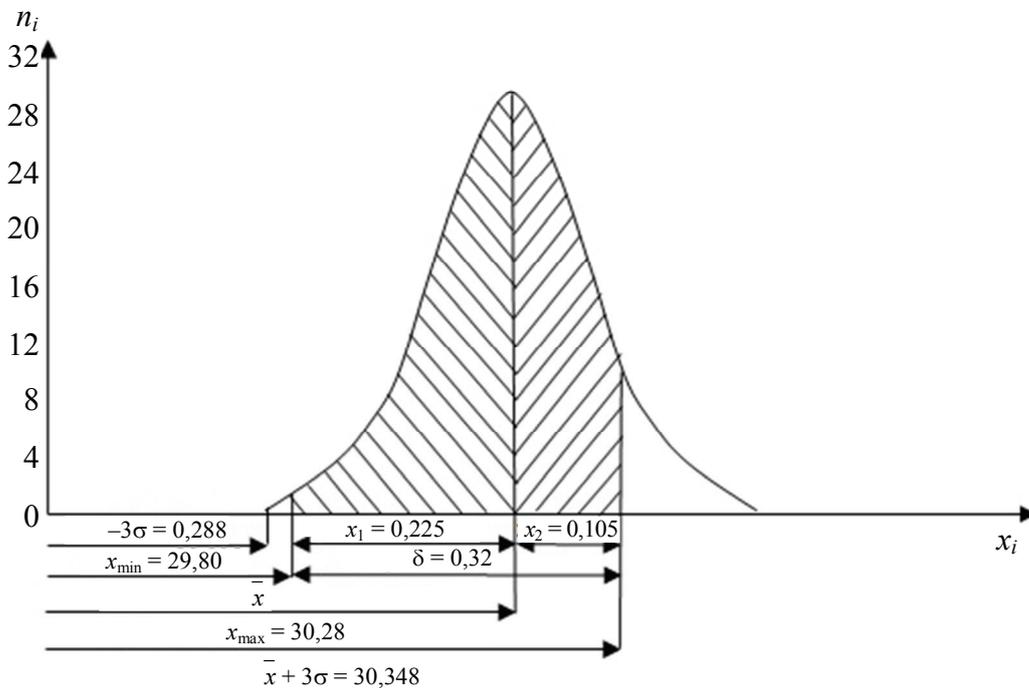


Рис. 1.2. Вероятность соблюдения заданного допуска

Левую часть площади относительно значения \bar{x} находят по следующей формуле:

$$S_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{-x^2} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.11)$$

Правую часть площади вычисляют по формуле

$$S_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{+x_2} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.12)$$

Решение этих уравнений приближительным методом дает следующие значения:

$$\frac{x_1}{\sigma} = \frac{\bar{x} - x_{\min \text{ д}}}{\sigma} = z_1, \quad (1.13)$$

$$\frac{x_2}{\sigma} = \frac{x_{\max \text{ д}} - \bar{x}}{\sigma} = z_2. \quad (1.14)$$

Конкретные значения площади S по величине $z = \frac{x}{\sigma}$ определяют с помощью табл. 1.4.

Таблица 1.4

Значения S , %, в зависимости от величины z

z	S	z	S	z	S
0	0	0,8	28,810	1,6	44,520
0,1	3,980	0,9	31,590	1,7	45,540
0,2	7,930	1,0	34,130	1,8	46,410
0,3	11,790	1,1	36,430	1,9	47,130
0,4	15,540	1,2	39,490	2,0	47,720
0,5	19,150	1,3	40,320	2,1	48,210
0,6	22,570	1,4	41,920	2,2	48,610
0,7	25,800	1,5	43,320	2,3	48,930

Пользуясь табл. 1.4, рассчитывают вероятность изготовления качественных и бракованных деталей.

В нашем примере получим следующие величины:

$$z_1 = \frac{30,06 - 29,90}{0,096} = 1,67, \quad S_1 = 45,5\%,$$

$$z_2 = \frac{30,22 - 30,06}{0,096} = 1,67, \quad S_2 = 45,5\%.$$

Общий процент качественных деталей составит:

$$S_1 + S_2 = 45,5 + 45,5 = 91\%.$$

4,5% деталей имеют завышенный размер, и брак их можно исправить. 4,5% деталей имеют заниженный размер, и их уже исправить нельзя.

Коэффициент точности работы станка находят как отношение величины активного поля рассеивания размера детали к допускаемому, и он должен быть меньше 1:

$$K_T = \frac{6\sigma}{\delta}. \quad (1.15)$$

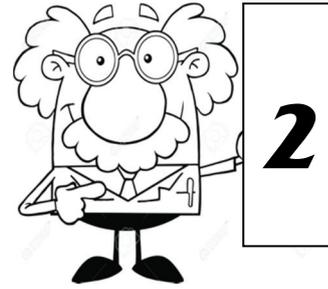
В нашем случае

$$K_T = \frac{6 \cdot 0,096}{0,32} = 1,8.$$

Таким образом, исследуемый станок по точности работы не соответствует требованиям, потому что дает поле рассеивания размеров деталей $6\sigma = 0,576$ мм при допускаемом $\delta = 0,32$ мм, или 9% брака. Необходимо отрегулировать станок и заменить изношенные детали.

Контрольные вопросы

1. Как определяется точность или погрешность работы станка? Чем она является?
2. В чем заключается цель исследования технологической точности работы станка (линии)?
3. Какие погрешности влияют на точность работы станка?
4. При известных \bar{x} и σ найдите по номограмме (см. рис. 1.1 на с. 13) наименьший и наибольший допуски на размер.
5. Какие факторы влияют на точность размеров деталей?
6. Чем характеризуется точность размеров деталей?



Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННЫХ КЛЕЕВ

Общие положения

Клеи представляют собой вещества или смеси веществ органической, элементоорганической или неорганической природы, которые в связи с характерными для них специфическими свойствами способны при определенных условиях создавать стойкие соединения разных материалов. Склеивание является наиболее распространенным способом соединения деталей и узлов изделий из древесины, поэтому в деревообрабатывающей и мебельной промышленности широко применяются клеевые материалы преимущественно на основе синтетических смол и полимеров.

Клей используют:

1) в мебельной промышленности (облицовывание щитовых элементов; сборка узлов, изделий из мебели; склеивание элементов мягкой мебели; изготовление гнуто-клееных блоков);

2) при изготовлении столярно-строительных изделий (паркетные щиты и доски; детали окон и дверей; заготовки по длине на зубчатый шип; заготовки по длине и ширине на гладкую фугу).

Карбамидоформальдегидные (КФ) клеи являются наиболее крупнотоннажным видом синтетических клеевых материалов. Более 80% КФ-смол применяется при изготовлении клеев в деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Высокая адгезионная стойкость, достаточно хорошая теплостойкость и водостойкость соединений, высокая скорость отверждения, хорошее смешивание с водой, небольшая цена, достаточная база сырья обеспечивают

этим клеям широкое распространение. Различают карбаминоформальдегидные клеи горячего и холодного отверждения. Выделяют следующие основные сферы применения карбаминоформальдегидных смол [3–5]:

- КФ-Ж, КФ-БЖ, КФ-Б – облицовывание деталей мебели;
- КФ-17 – изготовление гнуто-клееных элементов, шиповых соединений, спортивного инвентаря и т. д.;
- КФ-МХ (малотоксичная смола) – облицовывание древесностружечных плит (ДСтП) декоративно-бумажно-слоистым пластиком, склеивание шиповых соединений, массивной древесины и т. д.

Для горячего склеивания и облицовывания деталей мебели используют в основном отечественные клеи на основе смол КФ-БЖ и КФ-Ж, зарубежные фирмы предлагают целый ряд карбаминоформальдегидных клеев или смол, например Клейберит 871.0, Borden One-shot Resin, смолы L-553, L-101 и другие клеевые материалы.

Для склеивания без нагрева применяют в основном клеи на основе смол КФ-17, КФК-20, КФ-Ж (модифицированная) и КФ-МХ, но в некоторых случаях используют клей на основе смолы КФ-БЖ. Отвердителем является 10%-ный раствор щавелевой кислоты. Склеивание холодным способом можно также выполнять при отдельном нанесении основы клея и отвердителя на поверхность: на одну из склеиваемых поверхностей наносится смола, на другую – водный отвердитель. Использование этой технологии позволяет сократить время выдержки деталей в прессе, при этом жизнеспособность клея практически не ограничена. Таким образом, склеивают соединения рамочной конструкции, шиповые соединения, облицовывают ДСтП декоративно-бумажно-слоистым пластиком. Смола холодного отверждения КФ-17 характеризуется наивысшим содержанием свободного формальдегида (2,5%), поэтому его употребление в промышленности ограничено.

Недостатками КФ-клеев являются: усадка, хрупкость клеевого соединения, выделение формальдегида.

В производстве мебели в значительном объеме применяют **дисперсионные клеи**, и их использование постоянно растет благодаря целому комплексу преимуществ в сравнении с другими типами клеев.

Дисперсионные клеи представляют собой систему, которая состоит из дисперсированных частиц (дисперсная фаза), распределенных в дисперсной среде. Для склеивания применяют дисперсии

преимущественно в виде гидрозолей, которые представляют собой системы, содержащие в жидкой среде твердые частицы синтетических полимеров. Дисперсионные клеи, используемые в деревообрабатывающей и мебельной промышленности, условно могут быть разделены на две группы: клеи на основе дисперсий термопластов и латексные.

Из клеев на основе дисперсий термопластов наибольшее распространение получили клеи на основе дисперсий поливинилацетата (ПВАД), гаммаполимерной, грубодисперсной, синтезированной с одного вида полимера [6]. Поливинилацетат при комнатной температуре является сравнительно твердым полимером, который нужно пластифицировать. Часто для пластификации используют эфиры фталевой и себаценовой кислот. Большое значение при склеивании имеет дозировка пластификатора в отношении к поливинилацетату.

Процесс склеивания дисперсионными клеями происходит в три стадии. Первоначально в результате частичного выпаривания воды сближаются глобулы. На второй стадии глобулы вступают в тесное соприкосновение, а остаточная влага выталкивается из среды между ними. На третьей стадии глобулы образуют единую клеевую пленку.

Исходя из особенностей процесса склеивания дисперсионными клеями, влага удаляется путем впитывания ее подложкой и выпаривания с поверхности при открытой выдержке.

В зависимости от состава и предназначения различают следующие марки дисперсий (ГОСТ 18992–1980 [6]): непластифицированные – Д-50Н, Д50С, Д50В; пластифицированные – ДФ49/2,5Н, ДФ48/5С, ДФ48/5СЛ, ДФ7/7С, ДФ47/7В, ДФ47/7ВП, ДФ40/20В.

На рынке клеевых материалов Республики Беларусь фирмы Kleiberit, Rakoll, Turmer, Jowat, AkzoNobel, Superlok, Titebond II Premium Wood Glue, Korlok и др. сертифицировали широкую гамму клеев для склеивания столярных изделий, мебельного щита и клееного бруса: Клейберит 303.0, ПУР-501, Темпо-347, Иоваколь 102.70, Иоваколь 124.00, Bindan-D4 и др.

Дисперсии средней и высокой вязкости более удобно наносить вальцами, низкой вязкости – вручную щетками, кистями, а также впрыскиванием при помощи сопла.

Основными недостатками поливинилацетатных клеев являются их низкая теплостойкость, текучесть клеевых швов при

повышенных температурах, недостаточная водостойкость, склонность к ползучести.

В мебельной промышленности дисперсионные клеи употребляются при облицовывании ДСтП декоративно-слоистым пластиком; облицовывании ДСтП рулонными облицовочными материалами и ПВХ-пленками методом каширования; склеивании шиповых соединений; обработке кантов и деталей сложного профиля; монтажном наклеивании на лаковые поверхности щитовых деталей; изготовлении дублированного материала на основе шпона; приклеивании ткани, пенопластов к деревянным деталям.

Клеевые соединения, образованные карбамидоформальдегидными смолами, обеспечивают невысокие значения прочности при неравномерном отрыве, но обладают хорошей тепло- и водостойкостью. ПВА-дисперсии образуют клеевые соединения с более высокими показателями прочности, однако имеют низкую тепло- и водостойкость.

Поливинилацетатные дисперсии совмещаются с карбамидоформальдегидными смолами в любых соотношениях, поэтому, меняя содержание в композициях, можно получать клеевые составы с широкой гаммой технологических и эксплуатационных особенностей. При смешивании ПВА-дисперсий с карбамидоформальдегидной смолой происходит химическое взаимодействие поливинилового спирта, находящегося в ПВА-дисперсии, свободного формальдегида с моно- и диметилмочевиной, которые имеются в карбамидоформальдегидных смолах. Реакция протекает при нормальной температуре и ускоряется при нагреве, в итоге образуется пространственная молекулярная структура. Химические процессы, происходящие в карбамидополивинилацетатных (комбинированных) клеевых композициях, влияют на их реологические и технологические свойства [3, 4].

В ряде случаев клеевые соединения, полученные *комбинированными клеями*, приобретают такие качества, которые не достижимы при применении некоторых клеев в отдельности. Одним из преимуществ комбинированных клеев является уменьшение содержания в них свободного формальдегида. Они образуют более прочные соединения с повышенными эксплуатационными свойствами. Увеличивается стойкость соединений к действию тепла и влаги, повышается усталостная прочность соединений, испытывающих знакопеременные нагрузки, увеличивается их долговеч-

ность, уменьшается формоизменяемость деталей. Кроме того, при использовании комбинированных клеев удастся улучшить и некоторые их технологические свойства, например, регулировать вязкость, увеличивать жизнеспособность, сократить продолжительность отверждения.

Комбинированные клеи применяют при склеивании обрезков древесно-стружечных плит на кромку, облицовывании древесно-стружечных плит декоративно-бумажно-слоистым пластиком, изготовлении щитовых деталей кухонной мебели, облицовывании пленками на основе бумаги, насыщенными синтетическими смолами с глубокой степенью отверждения.

Показатель кислотности комбинированного клея определяется количеством добавленной ПВА-дисперсии. От этого параметра зависит и продолжительность отверждения клея, так как связывание свободного формальдегида поливиниловым спиртом тормозит реакцию хлористого аммония с формальдегидом, которая приводит к образованию соляной кислоты, и это замедляет отверждение комбинированного клея.

При выполнении лабораторной работы студенты изучают влияние количества вводимой ПВА-дисперсии в состав комбинированного клея, а также количества хлористого аммония на продолжительность отверждения и показатель кислотности комбинированного клея. Для получения математического описания этого воздействия используют метод математического планирования эксперимента, в частности полный факторный план типа 2^2 [5].

В качестве исследуемых параметров выбирают: x_1 (G) – количество ПВА-дисперсии, которую вводят в карбамидоформальдегидную смолу; x_2 (H) – количество хлористого аммония.

Постоянными факторами в проводимых исследованиях были приняты: температура отверждения клея – 100°C ; расход карбамидоформальдегидной смолы – 50 г.

В качестве параметра оптимизации рассматривают: y_1 – продолжительность отверждения комбинированного клея, с; y_2 – показатель кислотности рН комбинированного клея.

Значения натуральных факторов взяты с расчетом, что компоненты вводят в 50 мас. ч. карбамидоформальдегидной смолы. Основной уровень и интервалы варьирования параметров приведены в табл. 2.1. Пределы изменения факторов были установлены с учетом имеющихся априорных данных.

Таблица 2.1

Значения факторов

Уровни факторов	Значения факторов (параметров)			
	нормализованные		натуральные, мас. ч.	
	x_1	x_2	G	H
Верхний уровень x_j^{\max}	+	+	20	0,75
Нижний уровень x_j^{\min}	-	-	0	0,25
Основной уровень x_j^0	0	0	10	0,50
Интервал варьирования Δx_j			10	0,25

Уровни факторов представляют собой границы исследуемой области по данному технологическому параметру.

Основной уровень находят по следующей формуле:

$$x_j^0 = \frac{x_j^{\max} + x_j^{\min}}{2}, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (2.1)$$

Интервал варьирования рассчитывают по формуле

$$\Delta x_j = \frac{x_j^{\max} - x_j^{\min}}{2}. \quad (2.2)$$

Матрица планирования полного факторного плана 2^k для $k = 2$ представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Матрица планирования эксперимента
полного факторного плана 2^2**

Номер опыта	Значения факторов				Продолжительность отверждения комбинированного клея, с	рН комбинированного клея
	нормализо- ванные		натуральные, мас. ч			
	x_1	x_2	G	H	y_{1i}	y_{2i}
1	-	-	0	0,25		
2	+	-	20	0,25		
3	-	+	0	0,75		
4	+	+	20	0,75		

Каждый опыт в матрице планирования повторяют 2 раза.

Значения нормализованных факторов (x_i) можно выразить через значения натуральных факторов (G_i или H_i) по следующим формулам:

$$x_1 = \frac{G_i - x_1^0}{\Delta x_1}, \quad x_2 = \frac{H_i - x_2^0}{\Delta x_2}. \quad (2.3)$$

В результате реализации полного факторного плана получают линейную математическую модель изучаемого объекта в виде уравнения регрессии:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2. \quad (2.4)$$

Выражение (2.4) записано в нормализованных значениях факторов. Для перехода к натуральным обозначениям вместо x_1 и x_2 в формулу (2.4) подставляют правую часть уравнений (2.3).

Цель работы – освоение методики определения главных свойств комбинированных клеев; изучение влияния количества ПВА-дисперсии в составе комбинированного клея, а также количества хлористого аммония на продолжительность отверждения и показатель кислотности комбинированного клея.

Приборы и материалы: технические весы ВТК-500 с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; рН-метр типа рН-673 М или портативный прибор HI 98128 фирмы Hanna instruments; электрическая плитка; водяная баня; секундомер; держатель пробирок; термометр; пробирки П1-16-150ХС; стеклянная палочка диаметром 4 мм; фильтровальная бумага; стакан емкостью 200 мл; карбамидоформальдегидная смола (ГОСТ 14231–1988) [3]; поливинилацетатная дисперсия (ГОСТ 18992–1980) [6]; хлористый аммоний в порошке (ГОСТ 2210–1973) [8].

Порядок выполнения работы

Приготавливают четыре клеевые композиции на основе 50 г карбамидоформальдегидной смолы, необходимое количество ПВА-дисперсии и хлористого аммония вводят в смолу в соответствии с табл. 2.2.

Для приготовления одной из композиций комбинированного клея взвешивают 50 г карбамидоформальдегидной смолы с

точностью до $\pm 0,1$ г на технических весах. Затем в эту же емкость со смолой, не снимая ее с весов, добавляют нужное количество ПВА-дисперсии (см. табл. 2.1 на с. 24) и все тщательно перемешивают. На аналитических весах взвешивают с точностью до ± 1 мг необходимое количество хлористого аммония, которое определяют в соответствии с матрицей планирования исследований (см. табл. 2.2 на с. 24).

Хлористый аммоний высыпают в приготовленную клеевую композицию и все тщательно перемешивают на протяжении 5 мин.

Пользуясь приготовленной композицией, устанавливают продолжительность отверждения клея y_{1i} , согласно ГОСТ 14231–1988 [3]. Количество определений продолжительности отверждения клея для каждой клеевой композиции должно быть не менее двух.

Определение продолжительности отверждения пробы клея при 100°C выполняют в следующем порядке [3]. Помещают 2 г приготовленного клея в стандартную пробирку диаметром (16 ± 1) мм. Опускают пробирку с помощью держателя в водяную баню с кипящей водой (100°C). Уровень клея в пробирке должен быть на 10–20 мм ниже уровня воды. Одновременно включают секундомер. Клей непрерывно перемешивают стеклянной палочкой. Перемешивание клея должно выполняться с одинаковой скоростью, потому что она влияет на передачу тепла от стенок пробирки к клею и, таким образом, на скорость его отверждения.

В момент перехода клея в желатинообразное состояние включают секундомер. Показания секундомера фиксируют время желатинизации клея, которое записывают в секундах. За результат испытания принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений, допустимое расхождение между которыми не должно превышать 2 с. В случае если допустимое расхождение более 2 с, проводят третий опыт и за результат принимают среднее арифметическое значение трех опытов.

Время с момента опускания пробирки в кипяток до начала желатинизации (отверждения) клея считают продолжительностью отверждения пробы клея. Результаты измерений записывают в табл. 2.3.

После определения продолжительности отверждения клея нужно очистить пробирку. Это сделать легче, когда пробирка будет опущена в холодную воду на протяжении 2 мин.

Таблица 2.3

Результаты определения продолжительности отверждения комбинированного клея при 100°C

Номер опыта	Значение продолжительности отверждения клея, с			Среднее арифметическое значение продолжительности отверждения \bar{y}_1 , с	Значение выходной функции \hat{y}_1	Показатель дисперсии S_1^2
	$y_{1(1)}$	$y_{1(2)}$	$y_{1(3)}$			
1						
2						
3						
4						
				$\sum \bar{y}_1$		

Пользуясь приготовленными клеевыми композициями, устанавливают показатель кислотности рН комбинированного клея y_{2i} , согласно ГОСТ 14231–1988 [3]. Количество определений показателя кислотности рН клея для каждой клеевой композиции должно быть не менее двух.

Показатель кислотности рН клеевых композиций изучают с помощью рН-метра, метод измерения описан в лабораторной работе № 3. Результаты измерений показателя рН заносят в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты определения кислотности рН комбинированного клея

Номер опыта	Показатель кислотности рН клея			Среднее арифметическое значение рН \bar{y}_2	Значение выходной функции \hat{y}_2	Показатель дисперсии S_2^2
	$y_{2(1)}$	$y_{2(2)}$	$y_{2(3)}$			
1						
2						
3						
4						
				$\sum \bar{y}_2$		

Обработка результатов и их анализ

Значение среднего арифметического по каждому опыту вычисляют по следующей формуле:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n}, \quad (2.5)$$

где y_{ij} – значение выходной величины в j -м наблюдении i -го опыта; n – количество повторов каждого опыта (наблюдений).

Итоги расчетов записывают в табл. 2.3 и 2.4 (см. на с. 27) в графу соответственно \bar{y}_1 и \bar{y}_2 .

Коэффициенты регрессии определяют с помощью следующих формул:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij} y_i}{N}, \quad (2.6)$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, \quad (2.7)$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} y_i}{N}, \quad (2.8)$$

где x_{ij} – значение испытания для j -го образца из i -й единицы первой стадии отбора; y_i – значение выходной величины i -го опыта; N – число опытов в матрице планирования.

В нашем случае для полного факторного плана 2^k , где $k = 2$, эти формулы будут иметь следующий вид:

$$b_0 = \frac{\bar{y}_{11} + \bar{y}_{12} + \bar{y}_{13} + \bar{y}_{14}}{4}, \quad b_1 = \frac{-\bar{y}_{11} + \bar{y}_{12} - \bar{y}_{13} + \bar{y}_{14}}{4}, \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{-\bar{y}_{11} - \bar{y}_{12} + \bar{y}_{13} + \bar{y}_{14}}{4}, \quad b_{12} = \frac{\bar{y}_{11} - \bar{y}_{12} - \bar{y}_{13} + \bar{y}_{14}}{4}. \quad (2.10)$$

Для нахождения величины функции \hat{y}_i в полученную модель подставляют нормализованные значения факторов x_1 и x_2 . Результаты записывают в графу \hat{y}_1 и \hat{y}_2 соответственно табл. 2.3 и 2.4 (см. на с. 27).

Определяют оценку дисперсий в каждой строчке матрицы планирования (по каждой серии опытов) по формуле

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[(y_{ii} - \bar{y}_i)^2 \right]}{n-1}, \quad (2.11)$$

где y_{ii} – значение выходного параметра в i -м наблюдении i -го опыта; \bar{y}_i – значение среднего арифметического по каждому опыту; n – количество повторов каждого опыта (наблюдений).

Результаты вычислений записывают в табл. 2.3 и 2.4 (см. на с. 27).

Проверку однородности дисперсии проводят по критерию распределения Кохрена. Расчетное значение критерия находят на основании следующей формулы:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2}, \quad (2.12)$$

где S_{max}^2 – наибольшая дисперсия из рассматриваемых дисперсий в матрице планирования эксперимента; S_i^2 – оценка дисперсий в каждой строчке матрицы планирования.

Определяют табличные значения критериев $\sigma_{\text{табл}}$ (см. табл. П2.1) по числу степеней свободы $f_1 = n - 1$ и количеству дисперсий f_2 ($N = 4$).

Если $\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{табл}}$, то принимается гипотеза об однородности дисперсии. В противном случае она отклоняется.

Оценку дисперсии воспроизводимости эксперимента находят как среднее арифметическое дисперсий опытов по формуле

$$S_{[y]}^2 = \frac{\sum_{f=1}^N S_i^2}{N}, \quad (2.13)$$

где S_i^2 – оценка дисперсий в каждой строчке матрицы планирования; N – число опытов в матрице планирования; $f = N(n - 1)$ – число степеней свободы.

Дисперсию коэффициентов регрессии вычисляют по следующей формуле:

$$S_{[b_i]}^2 = \frac{S_{[y]}^2}{Nn}. \quad (2.14)$$

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводят с помощью t -критерия Стьюдента. Для каждого коэффициента регрессии находят

$$t_{\text{расч}} = \frac{|b_i|}{\sqrt{S_{[b_i]}^2}}. \quad (2.15)$$

По $f_y = N(n - 1)$ и уровню значимости q определяют $t_{\text{табл}}$ (см. табл. П2.2). Если $t_{\text{расч}} < t_{\text{табл}}$, то коэффициент не является важным и исключается из уравнения.

Проверяют адекватность уравнения по критерию Фишера:

$$S^2 = n \sum_{i=1}^N \left(\bar{y}_{ii} - \hat{y}_{ii} \right)^2, \quad (2.16)$$

где n – число повторов каждого опыта (наблюдений); N – число опытов в матрице планирования; \bar{y}_{ii} – среднее арифметическое значение выходного параметра в i -м наблюдении i -го опыта; \hat{y}_{ii} – значение выходного параметра в i -м наблюдении i -го опыта.

Рассчитывают число степеней свободы:

$$f_{\text{ад}} = N - P, \quad (2.17)$$

где N – число опытов в матрице планирования; P – число значимых коэффициентов регрессии.

Если $N = P$, то адекватность уравнений проверить невозможно.

Устанавливают дисперсию адекватности, которая характеризует расхождение между итогами опыта и значением выходного показателя, найденного из уравнения регрессии:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{S^2}{f_{\text{ад}}}. \quad (2.18)$$

Определяют расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{[y_i]}^2}. \quad (2.19)$$

Для уравнения при уровне его значимости $q = 0,05$ рассчитывают $F_{\text{табл}}$ по числу степеней свободы $f_{\text{ад}} = N - P$ и $f_y = N(n - 1)$

(см. табл. П2.3). Если $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, дисперсии однородные и полученную математическую модель считают адекватной.

Коэффициенты регрессии и их адекватность можно вычислить на компьютере.

Контрольные вопросы

1. Перечислите преимущества и недостатки карбамидоформальдегидных клеев. Расскажите, где применяются эти клеи.

2. Назовите карбамидоформальдегидные клеи холодного способа отверждения. Где они используются?

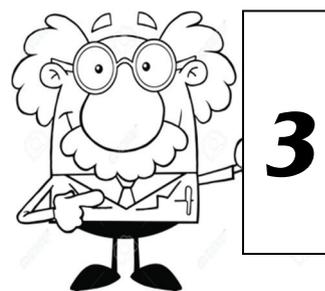
3. Приведите дисперсионные клеи, которые применяются в деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Назовите их преимущества и недостатки, а также область использования.

4. Опишите стадии отверждения дисперсионных клеев.

5. Какие комбинированные клеи вы знаете? Перечислите их достоинства и недостатки. Где они применяются?

6. Определите рН комбинированного клея.

7. Установите продолжительность отверждения комбинированного клея.



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ КЛЕЕВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Общие положения

Формирование клеевого слоя предусматривает адгезионное закрепление клеевого материала на поверхности древесины. Под *адгезией* клеевого материала понимают связь жидкой и твердой фаз. Адгезия оценивается работой, которую надо затратить для отрыва жидкости от поверхности твердого тела.

Контакт клеевого материала с твердой поверхностью (рис. 3.1) может осуществляться на разной площади, поэтому работу адгезии необходимо относить к единице площади контакта.

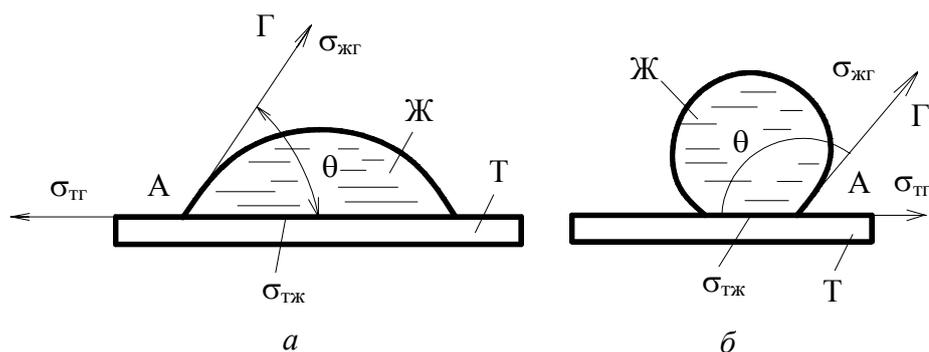


Рис. 3.1. Краевой угол θ в системе
твердое тело – жидкость – газ:
а – жидкость смачивает поверхность;
б – жидкость не смачивает поверхность

Взаимодействие жидкой и твердой фаз распространяется на небольшое расстояние вглубь жидкости. По мере удаления слоя жидкости от поверхности твердого тела адгезионное взаимодействие уменьшается, уступая когезионному.

Когезия материалов – это связь между молекулами в объеме жидкой фазы. Уже отмечалось, что для определения работы, возникающей при контакте клея с твердым телом, необходимо знать площадь контакта его с поверхностью. Эта площадь характеризуется способностью клеевого материала смачивать поверхность подложки.

Смачивание – явление, которое происходит в результате взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердых тел и приводит к искривлению поверхности жидкости у поверхности твердого тела. Форма поверхности жидкости, соприкасающейся с твердым телом, зависит от того, какие силы притяжения больше: между молекулами жидкости и твердого тела или между молекулами самой жидкости. В первом случае (рис. 3.1, *a*) жидкость будет смачивающей, в краевой зоне угол θ между плоскостью, касательной к поверхности жидкости, и плоскостью твердого тела острый. Во втором случае жидкость не смачивает твердую поверхность и угол θ тупой (рис. 3.1, *b*).

Угол θ между касательной АГ к поверхности жидкости и смоченной поверхностью твердого тела называется **краевым**. Краевой угол всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкости. Вершина краевого угла А находится на линии смачивания – линии, вдоль которой соприкасаются все фазы, участвующие в смачивании (в данном случае – твердое тело (Т), жидкость (Ж) и газ (Г)). Следовательно, краевой угол – это угол наклона поверхности жидкости к смоченной части поверхности твердого тела [9].

При формировании клеевого слоя неровности поверхности постепенно сглаживаются, и происходит растекание жидкости за счет поверхностного натяжения, поскольку любая система стремится к состоянию, соответствующему минимальному значению свободной энергии.

Различают равновесные и неравновесные краевые углы. **Равновесный краевой угол** θ_0 зависит только от поверхностных натяжений на границах раздела фаз, участвующих в смачивании. Поэтому для каждой системы при данных внешних условиях равновесный краевой угол имеет одно определенное значение. Термин

«краевой угол» используют только для характеристики равновесного состояния при смачивании. Краевые углы, измеренные при отклонении системы от состояния термодинамического равновесия, называют *неравновесными*, или *контактными* θ .

В зависимости от значений равновесного краевого угла выделяют три основных случая:

1) несмачивание (плохое смачивание) – краевой угол тупой $180^\circ > \theta > 90^\circ$ (вода на парафине);

2) смачивание (ограниченное смачивание) – краевой угол острый $90^\circ > \theta > 0^\circ$ (вода на стекле);

3) полное смачивание – равновесный краевой угол не устанавливается (капля растекается в тонкую пленку).

Таким образом, определив краевой угол, можно установить характер взаимодействия между жидкостью и твердым телом и точно ответить на вопрос, есть ли смачивание в данной системе и при данных условиях или же смачивание отсутствует. Границей между смачиванием и несмачиванием является краевой угол в $\theta_0 = 90^\circ$. Принято считать, что при $\theta < 90^\circ$ жидкости смачивают поверхность, а при $\theta > 90^\circ$ – не смачивают.

Другими термодинамическими величинами, характеризующими контактирование фаз, участвующих в смачивании, являются поверхностное натяжение $\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$.

Поверхностное натяжение – это сила, действующая по касательной к поверхности жидкости, стремясь сократить поверхность лакокрасочного материала до минимальных размеров. В случае капли жидкости такой поверхностью является сфера.

Зависимость равновесного краевого угла θ_0 от поверхностных натяжений на границах раздела фаз, участвующих в смачивании, описывается уравнением Юнга [9]:

$$\cos\theta_0 = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}}. \quad (3.1)$$

Таким образом, значение краевого угла, которое можно определить экспериментально, является необходимым, но еще недостаточным показателем, характеризующим адгезию клеевого материала и смачивания.

Поверхности реальных твердых тел, к которым относится и древесина, не соответствуют той идеальной модели, которая ис-

пользована при выводе уравнения Юнга. Разнообразные шероховатости, поры, неоднородности химического состава, следы механической обработки, трещины оказывают значительное влияние на смачивание. Прежде всего, меняется значение краевого угла (по сравнению с идеальной поверхностью). Кроме того, при смачивании одной и той же твердой поверхности при одинаковых параметрах окружающей среды (давлении, температуре) статические краевые углы могут иметь различные значения в зависимости от условий их формирования. Такое явление получило название *гистерезиса смачивания*.

Гистерезис смачивания в реальных условиях обуславливается наличием на поверхности различных препятствий, затрудняющих растекание жидкости. Данное явление называют кинетическим гистерезисом, при котором величины краевых углов зависят от длительности контакта фаз. Неровности поверхности приводят к увеличению площади фактического контакта клеевого материала с твердым телом по сравнению с гладкой поверхностью в k раз. Повышение площади фактического контакта вызывает пропорциональное увеличение поверхностного натяжения. Таким образом, поверхностные натяжения шероховатой и гладкой твердой поверхностей связаны между собой следующими соотношениями:

$$\sigma_{тг}^{\text{ш}} = k\sigma_{тг}, \quad \sigma_{тж}^{\text{ш}} = k\sigma_{тж}, \quad (3.2)$$

где $\sigma_{тг}^{\text{ш}}$, $\sigma_{тж}^{\text{ш}}$ – поверхностное натяжение твердого тела для шероховатой поверхности; k – коэффициент шероховатости – отношение фактической площади поверхности, с учетом выступов и впадин, к ее проекции на горизонтальную плоскость.

Если рассмотреть уравнение Юнга (3.1) применительно к капле на шероховатой поверхности в состоянии равновесия, то вместо поверхностных натяжений $\sigma_{тг}$ и $\sigma_{тж}$ необходимо брать их увеличенные значения в соответствии с уравнением (3.2):

$$\cos\theta^{\text{ш}} = \frac{\sigma_{тг}^{\text{ш}} - \sigma_{тж}^{\text{ш}}}{\sigma_{жг}} = k \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}} = k \cos\theta_0, \quad (3.3)$$

где $\theta^{\text{ш}}$, θ_0 – краевой угол соответственно на шероховатой и гладкой поверхностях, град.

Таким образом, на основании формулы (3.3) можно сделать вывод, что при отсутствии смачивания ($\theta_0 > 90^\circ$) повышение

шероховатости приводит к увеличению макрокраевого угла. Измеряемый статический краевой угол θ^{III} называют макрокраевым углом. При смачивании жидкостью материала ($90^\circ > \theta_0 > 0^\circ$) повышение коэффициента шероховатости вызывает уменьшение макрокраевого угла θ^{III} . При достаточно большом коэффициенте шероховатости $k > 1 / \cos\theta_0$ и $\theta_0 < 90^\circ$ выполняется термодинамическое условие полного смачивания.

После контакта клеевого материала с твердой поверхностью происходит его растекание, характеризуемое увеличением площади контакта материала с поверхностью твердого тела и изменением краевого угла от 180° до θ_0 . Динамические краевые углы θ_d зависят от длительности t контакта твердого тела с материалом. Скорость растекания можно охарактеризовать производной $d\theta_d / dt$.

Если клеевой материал растекается по гладкой однородной поверхности и капля все время имеет форму сферического сегмента (см. рис. 3.1 на с. 32), то движущая сила, отнесенная к единице длины периметра смачивания, составляет:

$$\Delta\sigma = (\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}) - \sigma_{\text{жг}} \cos\theta_d. \quad (3.4)$$

При ограниченном смачивании уравнение Юнга можно представить $\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}} = \sigma_{\text{жг}} \cos\theta_0$. Отсюда движущая сила растекания при ограниченном смачивании гладкой однородной поверхности равна:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{жг}} (\cos\theta_0 - \cos\theta_d). \quad (3.5)$$

При смачивании шероховатой поверхности в уравнении (3.5) вместо угла θ_0 нужно ввести равновесный краевой угол θ^{III} , определяемый по формуле (3.3).

При полном смачивании после того, как капля превратится в практически плоский жидкий слой, движущая сила растекания на гладкой твердой поверхности составляет:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}} - \sigma_{\text{жг}}. \quad (3.6)$$

Последние достижения в области физической химии привели к созданию новых научных направлений. Одно из них – это наука о получении материалов с нужными для технологии свойствами. Все большее значение при решении задач направленного измене-

ния свойств материалов приобретают добавки – особого рода вещества, называемые *поверхностно-активными веществами (ПАВ)*.

Применение ПАВ позволяет изменить статические краевые углы, тем самым повысить скорость растекания материалов по поверхности твердых тел и улучшить ее смачивание. Необходимость в управлении скоростью смачивания возникает во многих случаях, особенно при использовании быстроотверждающихся систем.

Известно несколько методов определения краевого угла смачивания: прямое измерение краевого угла; расчет краевого угла по форме капли; определение краевого угла методом погружения; определение краевого угла в капиллярах; определение краевого угла на нитях.

Наиболее удобными и достоверными являются первые два способа. При измерении краевого угла смачивания по форме капли применяют оптические приборы, например бинокулярную лупу М-24 (рис. 3.2). Прибор состоит из оптической части (I), штатива (II), препарировочного столика (III).

В оптическую часть бинокулярной лупы входят два тубуса 3, каждый из которых может работать самостоятельно. Оба тубуса соединены между собой общим каркасом, отливкой 5 с двумя конусными отверстиями, оси которых наклонены в вертикальной плоскости и образуют угол 15° . Вершина этого угла совпадает с плоскостью предмета. Каждый из тубусов лупы дает отдельное изображение предмета в глазу наблюдателя. Объединение обоих изображений предмета, видимое с двух сторон, способствует получению полного стереоскопического эффекта.

Прямое изображение предмета в лупе достигается с помощью призмной системы Порро второго рода, оборачивающей изображение, полученное от объектива. Призмная система имеется в окулярной части каждого тубуса.

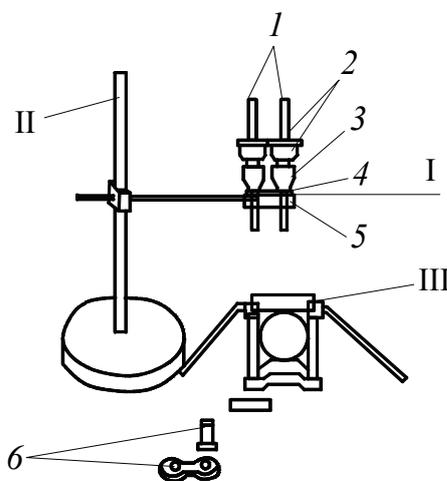


Рис. 3.2. Прибор для определения краевого угла смачивания:
1 – окуляры; 2 – призмные коробки; 3 – тубус; 4 – ручки;
5 – салазки; 6 – объективы;
I – оптическая часть;
II – штатив; III – препарировочный столик

Призмённые коробки 2 вращаются эксцентрично вместе с окулярами 1, благодаря чему интервал между окулярами может быть установлен по расстоянию между зрачками глаз наблюдателя в пределах от 51 до 72 мм.

Объективы б всех трёх увеличений подобраны парами; каждая пара вставлена в общие салазки 5 для удобства замены одного увеличения другим. Центрируют каждую пару объективов отдельно для каждого прибора. К прибору приложены объективы следующих увеличений: 1,15[×]; 1,75[×]; 2,65[×] и окуляры 12[×] и 17[×]. Увеличение лупы и поле зрения представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Увеличение лупы и поле зрения

Окуляр	Объектив					
	1,15 [×]		1,75 [×]		2,65 [×]	
	Увеличение	Поле зрения	Увеличение	Поле зрения	Увеличение	Поле зрения
12 [×]	13,8	14,15	21,0	9,0	31,8	6,0
17 [×]	19,5	11,8	27,0	7,8	45,05	15,3

В поле зрения окуляра 12[×] имеется шкала измерения линейных величин рассматриваемого объекта. Шкала нанесена на стеклянной пластинке с ценой одного деления 0,1 мм.

Точность измерения длин с помощью шкалы составляет ±2% от длины измеряемого объекта. Разрешающая способность биноклярной лупы не превышает 0,01 мм.

Салазки 5 с объективами, на которых выгравировано числовое значение увеличения этой пары объективов, вставляют в паз, находящийся в нижней части корпуса прибора и имеющий форму ласточкина хвоста. К салазкам привернута ручка 4, за которую и следует держать их при установке в корпус. Оправы объективов не допускается брать руками, чтобы не расстроить центровку объективов. Салазки вставляют в прибор с левой стороны.

Окуляры 1 также подобраны парами по увеличениям для каждого прибора и не рекомендуется разъединять их, применяя отдельные окуляры в разных приборах.

Для получения резкого изображения предмета служит кремальерный механизм, привёрнутый к корпусу лупы; он состоит из кремальеры и трубки, перемещающих лупу перпендикулярно плоскости

предмета. Грубая установка на резкость происходит за счет перемещения лупы вместе с горизонтальной штангой на колонке штатива.

Предмет для исследования и препарирования помещают на препарировочный столик (см. рис. 3.2 на с. 37), входящий в комплект бинокулярной лупы. Он представляет собой чугунное основание четырехугольной формы с вмонтированными колонками, несущими на верхней части рамку с направляющими для стеклянной пластины столика и металлической шторки.

При работе в проходящем свете металлическая шторка удаляется из своих направляющих, и свет с зеркала попадает на предмет, находящийся на стеклянной пластинке. Зеркало состоит из двух поверхностей – плоской зеркальной и матовой, заключенных в одну оправу. Зеркало вращается вокруг горизонтальной оси для направления света от источника на предмет.

На верхней рамке столика с обеих сторон имеются винты, на которые надеты подлокотники, служащие опорой для рук препаратора.

Исследование может производиться также в отраженном свете, для чего предмет должен быть освещен сбоку или сверху.

Схема оптики бинокулярной лупы показана на рис. 3.3.

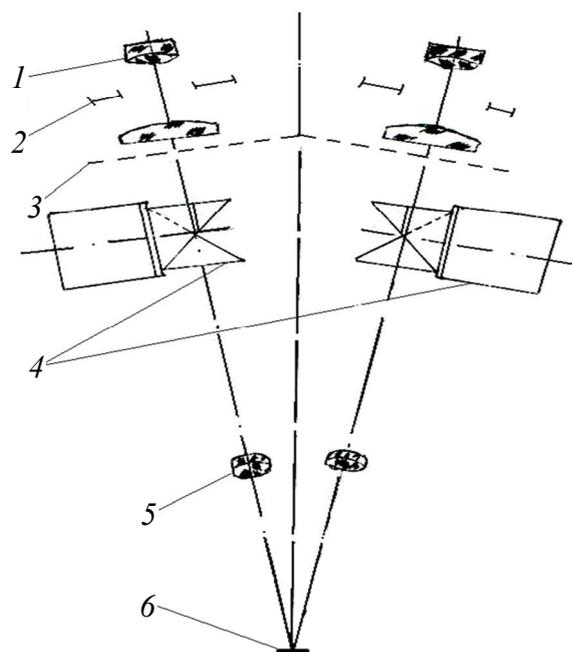


Рис. 3.3. Схема оптики бинокулярной лупы М-24:
1 – сменные окуляры; 2 – верхний срез тубуса;
3 – плоскость изображения; 4 – призма Порро второго рода;
5 – сменные объективы; 6 – объект

Цель работы – изучение вопросов смачивания и растекания клеевых материалов на подложках, а также определение краевого угла смачивания различных клеевых материалов.

Приборы и материалы: биноккулярная лупа М-24; пипетка; стеклянные пластинки размером 90×120 мм; образцы из древесины и древесных материалов; клеевые материалы; шлифовальная шкурка; вода; ветошь.

Порядок выполнения работы

Стеклянные пластинки обезжиривают растворителем, промывают водой и высушивают. Древесные подложки обрабатывают шлифовальной шкуркой до получения нужного значения показателя шероховатости поверхности $R_{m \max}$ (по указанию преподавателя).

Работу проводят по одному из нижеперечисленных вариантов.

1. Изучают влияние показателя шероховатости поверхности $R_{m \max}$ на показатель краевого угла смачивания поверхности клеевым материалом (показатель шероховатости поверхности $R_{m \max}$ изменяется в проводимой работе не менее чем на трех уровнях). Строят графическую зависимость. Делают выводы по полученным результатам.

2. Используют клеевой материал различных марок (или концентрации) для сравнения при определении показателя краевого угла смачивания поверхности. Строят графическую зависимость. Делают выводы по полученным результатам.

Каплю испытуемого материала с помощью пипетки наносят на подготовленную поверхность подложки. После достижения каплей состояния равновесия определяют ее высоту и диаметр с помощью биноккулярной лупы, имеющей определенную степень увеличения.

Для получения точных результатов необходимо добиться резкого изображения проекции твердой поверхности в виде тонкой пленки и резко ограниченных контуров капли.

При определении значений размерных параметров капли следует пользоваться следующей формулой:

$$L = nK, \quad (3.7)$$

где L – длина измеряемого объекта, мм; n – число делений шкалы; K – коэффициент, зависящий от увеличения сменных объективов:

– для объектива $1,15\times$ – $K = 0,0869$;

– для объектива $1,75\times$ – $K = 0,0571$;

– для объектива $2,65\times$ – $K = 0,0377$.

Замеры размерных параметров капли заносят в табл. 3.2.

Обработка результатов и их анализ

Краевой угол смачивания определяют расчетным путем через тангенс угла θ , который находят по формуле

$$\theta = \frac{4dh}{d^2 - 4h^2}, \quad (3.8)$$

где θ – краевой угол, град.; d – диаметр капли, мм; h – высота капли, мм.

За результат принимают среднее арифметическое трех определений на одной подложке, расхождение между которыми не должно превышать 3%.

Результаты расчета записывают в табл. 3.2. Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Таблица 3.2

Результаты измерения величины краевого угла смачивания

Вид материала подложки	Марка клеевого материала	Вязкость клеевого материала	Размеры капли, мм		Краевой угол смачивания	
			диаметр	высота	$\text{tg } \theta$	θ , град.

Результаты испытаний анализируются студентом. Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое смачивание? От чего зависит форма поверхности жидкости? Какой угол называют краевым?

2. Что значит равновесный и неравновесный краевой угол? Как смачивается подложка при различных значениях равновесного краевого угла?

3. Что такое поверхностное натяжение? Какую зависимость описывает уравнение Юнга?

4. Перечислите факторы, которые влияют на смачивание жидкостью твердых подложек (древесины).

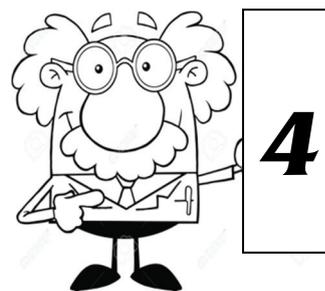
5. Какое явление получило название гистерезиса смачивания?

6. Как происходит смачивание шероховатых поверхностей? Какой вид имеет уравнение Юнга применительно к капле на шероховатой поверхности?

7. При помощи каких приборов можно определить значение краевого угла смачивания по форме капли? Опишите устройство прибора.

8. Приведите схему оптики бинокулярной лупы М-24. Дайте характеристику объективов, используемых в этом приборе.

9. Опишите порядок измерения значения краевого угла смачивания с применением бинокулярной лупы.



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГРУПП И ИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

В производстве изделий из древесины склеивание применяется для соединения заготовок по толщине, ширине и длине, для получения деталей крупных сечений и повышенной формоустойчивости, для облицовывания заготовок древесным шпоном и т. д.

Характер склеивания, а также условия эксплуатации, в которых могут находиться изделия, обуславливают разнообразие требований, которым должны отвечать технологические и эксплуатационные свойства как склеиваемой древесины, так и используемых клеев. В связи с этим вопрос обеспечения оптимальной прочности клеевых соединений (адгезионная прочность) остается актуальным.

Принято различать два типа адгезии: собственно адгезию, характеризующую прочность изменения адгезива с субстратом, и механическую, вызванную проникновением адгезива (впитывание) в поры субстрата. Последний вид адгезии, являющийся результатом действия чисто механических (когезионных) сил, наблюдается для пористых подложек (бумага, древесина и др.). Хорошая адгезия к поверхности – необходимое условие надежной работы любого клеевого соединения. Это важное условие не всегда легко выполнить, так как в настоящее время в промышленности применяется широкий и быстро меняющийся ассортимент клеевых материалов.

Адгезионная прочность является одной из важных практических характеристик адгезионного соединения. Несмотря на многообразие механизмов адгезионного взаимодействия, можно выделить основной фактор, влияющий на адгезионную прочность, – характер межфазных молекулярных сил. Адгезионное взаимодействие с полимерными материалами оказывает влияние на состояние поверхности древесины и на ее деформационно-прочностные свойства. Межфазные молекулярные силы определяют кинетику релаксационных процессов, что в конечном итоге предопределяет долговечность адгезионных соединений.

Факторами, благоприятствующими адгезии, являются температура, длительность адгезионного контакта, давление. Введение пластификаторов, наличие общего растворителя облегчают диффузионный обмен в контактном слое и способствуют улучшению адгезии. Кроме того, установлено, что в адгезии существенную роль играет возникновение химических связей между молекулами адгезива и субстрата [9].

При высоких температурах не исключается химическое взаимодействие с металлической подложкой феноло- и карбамидоформальдегидных, масляных, алкидных и других пленкообразователей. Введением катализаторов и активацией поверхности подложки можно ускорить это взаимодействие и снизить его температуру.

Адгезионная прочность – многофакторный показатель, зависящий от природы полимера и подложки и условий формирования покрытий. Адгезионная прочность возрастает от увеличения в пленкообразователе содержания полярных функциональных групп, а также от фазового и физического состояния материала пленки. Аморфные пленкообразователи образуют более адгезионно-прочные покрытия, чем кристаллические [9, 10].

На величину адгезии существенное влияние оказывает толщина клеевого слоя. При отверждении клея происходит сокращение объема или усадка материала. Поскольку свободному сокращению объема пленки препятствуют развивающиеся между ней и древесиной адгезионные силы, то в пленке должны возникнуть напряжения. Эти напряжения приводят к значительному ослаблению связи клеевого слоя с древесиной, а в хрупких пленках – к их растрескиванию [9].

Проведен ряд исследовательских работ по повышению величины адгезионной прочности путем поверхностной модификации

подложки. Поверхностная модификация является в настоящее время одним из основных способов увеличения адгезионной прочности склеиваемых материалов. Повышения адгезионной прочности можно добиться посредством предварительного рентгеновского облучения отдельных компонентов материала или всего материала в целом. В процессе облучения в поверхностном слое материала появляются кислородсодержащие адгезионно-активные группы.

Во многих научных работах неоднократно упоминается об эффективности механохимической модификации полимеров. Этот способ оказался эффективным как для систем полимер – металл, так и для систем полимер – полимер. Механохимические процессы, происходящие и сопровождающиеся разрывом макромолекул, являются основной причиной резкого повышения адгезионной прочности. В результате механодеструкции образуются свободные макрорадикалы, прививка адгезива к которым приводит к росту адгезионной прочности. Образование свободных макрорадикалов доказано экспериментально [9].

Вопрос управления адгезией клеевых соединений давно приобрел актуальность и еще остается недостаточно изученным. До последнего времени адгезию клеевых материалов к древесине пытались улучшать в основном совершенствованием рецептур и режимов их отверждения. Как показала практика, это не всегда эффективно, а в некоторых случаях просто неприемлемо. Исходя из современных взглядов на природу адгезии и результатов исследований установлено, что при формировании адгезионной прочности решающую роль играет энергия химически активных групп и их концентрация в поверхностном слое древесины.

В состав древесины входят вещества различного химического строения: целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, экстрактивные вещества. Этим сложным строением, а также наличием в основном компоненте древесины – целлюлозы – относительно большого количества химически активных гидроксильных групп ОН можно объяснить хорошую адгезию к древесине самых различных по происхождению и химическому составу клеев [11].

Шероховатость поверхности и другие факторы также играют значительную роль при формировании адгезионной прочности, но в меньшей степени, чем энергия химически активных групп в поверхностном слое древесины [9].

Химическая активность поверхности древесины может меняться в результате различного рода воздействий. Возможны три метода обработки поверхности: механический (шлифование), сопровождающийся, как известно, химическими превращениями в поверхностном слое материала; физический (облучение поверхности древесины УФ-лучами и т. д.); химический (обработка щелочью КОН), при котором происходит привитие гидроксильных групп ОН.

При обработке поверхности древесины абразивом химические эффекты преобладают над механическими. Имеются работы, где показано, что механическая обработка абразивом поверхности субстрата в присутствии полимера способствует достижению значительно более высокой адгезионной прочности, чем в том случае, когда поверхность субстрата обрабатывали абразивом на воздухе перед нанесением полимера [9].

Возникшие в процессе механохимической обработки в присутствии полимера свободные радикалы взаимодействуют с макромолекулами полимера. Если же механическую обработку поверхности проводить на воздухе до нанесения полимера, то возникшие радикалы успевают дезактивироваться, так как их время жизни составляет всего 10^{-3} – 10^{-6} с.

Деформация подложек придает изотропной шероховатости определенную направленность, превращая ее в систему параллельных гребней и борозд. Таким образом, сравнительно невысокая деформация жестких полимеров, имеющих развитую пространственную сетку, приводит к росту их поверхностного натяжения и оказывает существенное влияние на смачивание [9, 10].

Вопрос по подготовке поверхностей древесины к склеиванию химическими методами остается малоизученным.

Показатель химически активных групп и их концентрации в поверхностном слое древесины (кислотность) изучают с помощью рН-метра в соответствии с ГОСТ 12523–1977 [12].

Сущность метода заключается в получении водной вытяжки путем холодного или горячего экстрагирования исследуемого материала с последующим определением в ней концентрации водородных ионов (рН), характеризующей активную кислотность или щелочность поверхности исследуемой древесины.

Метод основан на измерении электрического потенциала, который возникает при опускании электродов в исследуемый рас-

твор и зависит от концентрации ионов водорода в растворе. Концентрацию водородных ионов измеряют с помощью рН-метра любой системы со стеклянным и каломельным электродами с погрешностью измерения не более 0,05 рН. В лаборатории кафедры используют стационарный прибор рН-673 М и портативный прибор HI 98128 фирмы Hanna instruments.

Значения рН, характеризующие химические свойства поверхности подложки, могут быть измерены непосредственно на поверхности древесины (без получения водной вытяжки) с помощью прибора, разработанного в Московском лесотехническом институте (МЛТИ).

Для обеспечения максимальной точности измерения рекомендуется периодически, как минимум раз в месяц, настраивать шкалу рН-метра (любого типа). Калибровка прибора проводится с помощью приготовленных буферных растворов, которые имеют величины рН со значениями 4,0; 6,9; 9,2.

Калибровка прибора выполняется также, если требуется предельная точность измерения или после измерения рН агрессивных сред.

Цель работы – освоение методики изменения и определения химически активных групп и их концентрации в поверхностном слое древесины; изучение стандартного метода [12] определения концентрации водородных ионов рН.

Приборы и материалы: рН-метр типа рН-673 М (рН-340) или портативный прибор HI 98128 фирмы Hanna instruments; цикля; весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; образцы из древесины размером 150×150 мм; шлифовальная шкурка № 8, 10, 12, 20 и 24; дистиллированная вода; фильтрующая бумага; колбы из химически устойчивого стекла со шлифами емкостью 200–250 см³; притертые пробки; стаканы вместимостью 50 см³.

Порядок выполнения работы

Студенты получают 12 образцов из древесины сосны или другой породы размером 150×150 мм. Образцы делятся на шесть партий, т. е. в каждой партии по два образца. Первая партия образцов – контрольная, в ней образцы не подвергаются шлифованию или другому механическому воздействию. Образцы из второй и последующих

партий шлифуют одним из указанных номеров шлифовальной шкурки (номера шлифовальных шкурок, используемых для проведения работы: № 8, 10, 12, 20 и 24), т. е. образцы из группы два шлифуют шлифовальной шкуркой № 8, образцы из группы три – шкуркой № 10 и т. д. Шлифование осуществляют ручным электрифицированным инструментом.

После выполнения операции шлифования с плоскости образцов каждой партии равномерно по всей поверхности снимают механическим путем слой материала толщиной 1–2 мм в виде стружки (волокна). Для каждого испытания требуется около 2 г воздушно-сухой пробы для проведения экстрагирования в соответствии с ГОСТ 12523–1977 [12].

Для проведения холодного экстрагирования массу (около 2 г) приготовленной воздушно-сухой пробы, взвешенной с погрешностью не более 0,01 г, помещают в колбу из химически устойчивого стекла со шлифом. Пробу заливают 100 см³ воды, прокипяченной в течение 5 мин и охлажденной до 20–25°С, имеющей рН в пределах 5,9–7,2. Колбу закрывают притертой пробкой и оставляют стоять на протяжении 1 ч при температуре 20–25°С, встряхивая через каждые 10–15 мин.

Приготавливают две пробы экстракта из каждого образца. Экстракт каждой пробы подвергают определению концентрации ионов водорода в растворе с использованием рН-метра.

Прибор рН-метр марки рН-340 подключают к электросети и поворачивают тумблер в положение «Включено». Промывают электроды дистиллированной водой, затем осушают их фильтрующей бумагой. Электроды и сосуд перед каждым определением величины рН ополаскивают небольшим количеством экстракта, который не доливается к общему количеству водной вытяжки.

На штатив прибора ставят емкость с экстрактом и опускают в нее электроды. Погружают электроды в экстракт (проверив предварительно температуру экстракта, которая должна быть $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$) и определяют величину рН водной вытяжки на рН-метре. Значение рН отсчитывают после стабилизации индикатора, не менее чем через 30 с после погружения электродов в экстракт.

Ручку «Температура раствора» переводят по шкале в положение, которое соответствует температуре клея. Устанавливают переключатель в диапазон измерений рН, равный 1–14. Отсчитывают значение рН по положению стрелки на нижней шкале с точностью

до 0,5. Показание записывают через 2–3 мин после опускания электродов в клей. Для более точного измерения рН (до $\pm 0,01$) переводят переключатель в положение на диапазон измерения с градацией 3 рН. Отсчет проводят по верхней шкале, при этом нулевое деление шкалы соответствует нижнему значению этого диапазона.

После окончания измерений тщательно промывают электроды и опускают в емкость с дистиллированной водой. Результаты измерений заносят в таблицу. Количество измерений в одном опыте должно быть не менее двух.

**Концентрация в поверхностном слое древесины
химически активных групп после ее шлифования**

Порода исследуемой древесины	Номер шлифовальной шкурки	Продолжительность обработки шкуркой, мин	Марка прибора рН-метра	Показатель кислотности рН
------------------------------	---------------------------	------------------------------------------	------------------------	---------------------------

Показатель кислотности рН экстракта каждой пробы можно замерять также портативным прибором HI 98128. Перед началом работы нажимают и удерживают кнопку ON/OFF/MODE в течение 2–3 с. На некоторое время на дисплее появятся все символы, после чего прибор покажет остаточный заряд батарей в процентах.

Перед проведением замеров необходимо убедиться в том, что прибор откалиброван. Перед погружением электродов в анализируемый раствор следует ополоснуть электроды небольшим количеством этого раствора.

Прибор с электродами помещают в анализируемый раствор, слегка перемешивая его прибором. Показания можно снимать только тогда, когда с дисплея (в левом верхнем углу) прибора пропадет символ нестабильности показаний (символ часов). Значение рН автоматически компенсируется по температуре. В верхней части дисплея отображается значение рН, а в нижней – температура раствора. Фиксация показаний дисплея производится нажатием и удерживанием клавиши SET/HOLD на протяжении 2–3 с, пока на дисплее не появится HOLD (например, 5,8 HOLD). Чтобы вернуться в обычный режим измерения, нажимают любую кнопку.

Для отключения прибора в режиме измерения удерживают кнопку ON/OFF/MODE до тех пор, пока в нижней части дисплея не появится OFF, после чего кнопку отпускают.

Результаты измерений заносят в таблицу. Количество измерений для каждой пробы экстракта должно быть не менее двух.

После окончания измерений тщательно промывают электроды рН-метра дистиллированной водой и надевают на них защитный колпачок, содержащий небольшое количество раствора HI 70300 или HI 7007.

Обработка результатов и их анализ

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов двух определений, округленное до десятых долей единиц рН.

Допускаемое расхождение между двумя параллельными испытаниями не должно превышать 0,2. Если разница больше допустимого расхождения, то следует повторить определение на двух дополнительно приготовленных пробах. При этом за результат испытания принимают среднее арифметическое результатов четырех определений.

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты испытаний анализируются студентом. По результатам измерений строится график изменения концентрации в поверхностном слое древесины от номера шлифовальной шкурки. Полученную зависимость анализируют.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют типы адгезии и их характеристики?
2. Перечислите факторы, благоприятствующие адгезии.
3. Назовите способы повышения величины адгезионной прочности путем поверхностной модификации подложки.
4. Что происходит в поверхностном слое жестких полимеров при невысокой деформации?
5. В чем заключается сущность метода получения водной вытяжки для определения рН?
6. Какие рН-метры существуют и на чем основан метод установления показателя кислотности рН материала?



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ПРИ ОБЛИЦОВЫВАНИИ ПЛАСТЕЙ ЩИТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Общие положения

Облицовывание – это наклеивание на поверхность заготовки (основы) листовых материалов (облицовок). Облицовывание предназначено для повышения эстетических качеств изделий, прочности, поверхностной стойкости и формоустойчивости. Облицовывают брусковые и щитовые детали, которые могут иметь плоские и криволинейные поверхности. Пласти облицовывают обычно с двух сторон во избежание нарушения симметричности конструкции, что ведет к короблению детали. Способы облицовывания зависят от вида облицовываемой поверхности и применяемых материалов.

Основой под облицовывание могут быть: плита столярная (ГОСТ 13715–1978) [13]; древесно-стружечная плита (ГОСТ 10632–2014) [14]; древесно-волокнистая плита (ГОСТ 4598–1986) [15]; фанера (ГОСТ 3916.1–1996; ГОСТ 3916.2–1996) [16, 17]; мебельный щит.

Листовыми материалами (облицовкой) могут служить: натуральный шпон (строганный или лущеный); искусственный (имитационный) строганный шпон; полимерные пленки на основе пропитанных смолами бумаг с полной поликонденсацией смолы (карбами-доформальдегидной, карбамидомеламинаформальдегидной и др.); полимерные отделочно-декоративные пленки на основе поливинилхлорида и его сополимеров, полиэфира и др.; самоприклеивающиеся пленки; декоративный бумажно-слоистый пластик и т. д.

Для облицовывания используют различные, в основном синтетические, клеи. Вид применяемого клея и его характеристики в первую очередь зависят от технологического процесса, а также от свойств основы и облицовок. Для облицовывания преимущественно используются карбамидоформальдегидные клеи (жидкие, порошковые), применяемые как в чистом виде, так и в виде различных модификаций. Некоторое распространение получили дисперсионные, меламиноформальдегидные клеи, реже – клеи-расплавы.

Характеристика, режимы, марка, фирма-производитель применяемых клеев приведены в лабораторной работе № 6. Технологический процесс облицовывания включает следующие основные стадии: подготовку основы и облицовку, приготовление и нанесение клея на основу, формирование и прессование пакета.

Подготовка основы к облицовыванию состоит из ее шлифования (если есть необходимость), очистки от пыли и других загрязнений. Колебание толщины основы не должно превышать $\pm 0,3$ мм при облицовывании натуральным шпоном и $\pm 0,2$ мм при облицовывании синтетическим материалом. Шероховатость поверхности плит или деталей (основы) $R_{m \max}$ по ГОСТ 7016–1982 не должна превышать 200 мкм при облицовывании натуральным шпоном и 60 мкм при облицовывании синтетическим полимерным материалом. Влажность материала основы составляет $(8 \pm 2)\%$.

Чистовые облицовки из древесного шпона подготавливают в соответствии с требованием технологического режима. Влажность облицовок должна быть $(6 \pm 2)\%$ (примерно на 2% ниже, чем влажность материала основы); при наборе делянок шпона отклонение от прямолинейности кромок должно быть не более 0,33 мм на 1000 мм длины, отклонение от перпендикулярности кромок и пласти – не более 0,2 мм. Шероховатость поверхности кромок составляет 32 мкм. Подготовка синтетического облицовочного материала заключается в создании параллельности и перпендикулярности кромок; он должен быть равномерно пропитан; иметь равномерный оттенок и текстуру; не слипаться; не иметь складок, пятен, полос и т. д.

Декоративный бумажно-слоистый пластик (ДБСП) (ГОСТ 9590–1976) широко используется для облицовывания поверхностей мебельных изделий. Облицовывают преимущественно при обычной температуре или с умеренным нагреванием до тем-

пературы, не превышающей 100°C. Декоративным бумажно-слоистым пластиком толщиной 1,0–1,3 мм облицовывают рабочие поверхности, фасадные – толщиной 0,7–0,8 мм. Влажность ДБСП составляет 4–6%.

Облицовывание пластей щитовых заготовок, как правило, осуществляется горячим способом в однопролетных, многопролетных и вакуумных (детали с криволинейными поверхностями) прессах с применением синтетических клеев. Рецепты приготовления некоторых приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Рецепты приготовления синтетических клеев

Компонент клея	Дозировка, мас. ч., для марок смол		
	КФ-Б	КФ-Ж	КФ-БЖ
Карбаминоформальдегидная смола	100	100	100
Отвердитель: – аммоний хлористый технический при горячем прессовании	1,0–1,8	0,8–1,5	0,5–1,0
– щавелевая 10%-ная кислота при холодном прессовании	10–15	10–15	10–15
Наполнитель: древесная мука, каолин или тальк	5–10	5–10	5–10

В зависимости от рН смолы рекомендуется вводить в нее указанное в табл. 5.2 количество отвердителя.

Таблица 5.2

Количество отвердителя в зависимости от рН смолы

рН смолы	7,5–8,0	6,5–7,0	6,0–6,5
Количество отвердителя	1,0–1,5	0,5–0,8	0,4–0,5

Для пластификации клеевых швов и с целью изменения покоробленности облицованных заготовок в карбаминоформальдегидные клеи добавляют до 30 мас. ч. поливинилацетатной дисперсии (ПВАД). Клей наносят на основу с помощью клеевых вальцов. Оптимальное количество клея, которое обеспечивает качественное облицовывание, зависит от многих факторов, главным из которых является вид материала основы и облицовки, марка используемого

клея. Слишком тонкие и толстые клеевые прослойки снижают прочность клеевого соединения, излишнее количество клея способствует переувлажнению и пробиванию им облицовок. Установлено, что наибольшая прочность склеивания наблюдается при толщине клеевой прослойки 0,05–0,10 мм [18].

Формирование пакетов заключается в совмещении облицовок с основой, на плась которой уже нанесен клей. Облицовывание горячим способом осуществляется в однопролетных и многопролетных прессах при температуре плит 120–130°C. Необходимая величина давления прессования зависит от вида клея и его вязкости, качества и размеров склеиваемых поверхностей. Усилие прессования обуславливается различными факторами и может рассчитываться по следующим формулам:

– усилие гидравлического пресса:

$$P_{\text{п}} = \frac{\pi D^2}{4} nq \cdot 9,8 = 7,85 \cdot 9,9 D^2 nq; \quad (5.1)$$

– общее давление плит пресса, необходимое для склеивания или облицовывания при удельном давлении:

$$P = qS; \quad (5.2)$$

– давление по манометру, необходимое для склеивания или облицовывания при удельном давлении:

$$P_{\text{м}} = \frac{P}{9,8S_{\text{п}}} K = \frac{qS}{S_{\text{п}}} K; \quad (5.3)$$

– максимальная площадь детали, которая может быть склеена или облицована при номинальном усилии пресса:

$$S = \frac{P_{\text{п}}}{q}; \quad (5.4)$$

– площадь сечения плунжера данного пресса:

$$S_0 = \frac{qS}{nq} K, \quad (5.5)$$

где $P_{\text{п}}$ – общее усилие гидравлического пресса (номинальное усилие пресса), Н; D – диаметр плунжера, см; n – число плунжеров; q – давление прессования, МПа; P – общее давление плит пресса,

оказываемое на склеиваемую или облицовываемую деталь, Н; S – площадь детали, учитываемая по одной стороне детали в одном пролете пресса, см²; P_m – давление по манометру, Н; S_{Π} – суммарная площадь сечения плунжеров пресса, см²; K – коэффициент, учитывающий сопротивление подъему плит пресса, принимаемый $K = 1,1$; S_0 – площадь сечения одного плунжера, см².

Облицовывание в однопролетном прессе – это скоростное облицовывание с использованием быстроотверждающихся клеев. Этот процесс, помимо увеличения производительности оборудования и снижения трудозатрат, позволяет почти полностью исключить технологическую выдержку после облицовывания.

В качестве основного оборудования при выполнении операции облицовывания щитовых деталей применяют преимущественно комплексные линии моделей АКДА-4940-1, АКДА-4938-1, а также импортные системы «Вемхенер», «Диффенбахер», «Бюркле» и т. п. Технологический режим горячего способа облицовывания пластей щитовых заготовок в однопролетном прессе с использованием карбамидоформальдегидных клеев приведен в табл. 5.3 [18].

Таблица 5.3

Технологический режим облицовывания пластей щитовых заготовок (ДСтП) в однопролетном прессе

Параметр	Нормы для клея		
	КФ-Б	КФ-Ж	КФ-БЖ
Температура воздуха в помещении, °С, не ниже	18	18	18
Относительная влажность воздуха в помещении, %, не выше	65	65	65
Вязкость клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-4, с	60–180	60–180	60–180
Жизнеспособность клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, ч, не менее	2	10	10
Расход клея при облицовывании, г/м ² :			
– шпоном строганым	110–130	110–120	110–120
– шпоном лущеным	110–130	110–130	110–130
– пленками	90–100	90–100	90–100
Температура плит пресса, °С	120–130	120–130	120–130
Давление прессования, МПа:			
– для шпона древесины	0,5–0,8	0,5–0,8	0,5–0,8
– синтетического материала	0,4–0,5	0,4–0,5	0,4–0,5

Параметр	Нормы для клея		
	КФ-Б	КФ-Ж	КФ-БЖ
Выдержка пакета под давлением, с, не менее:			
– для древесного шпона при толщине, мм: 0,6–0,8	25–30	60–70	35–40
1,1–1,5	20	70–90	30–45
– для синтетического материала	20	35–40	20–30
Технологическая выдержка в стопе до следующей обработки, ч, не менее	2	2	2

Облицовывание щитовых заготовок в многопролетном прессе ведется преимущественно в обогреваемых прессах с применением карбамидоформальдегидных клеев. Облицовываемые детали в смежных пролетах пресса должны быть расположены строго одна над другой и центрированы по отношению к осям пресса. В соответствии с требованиями технологического режима следует соблюдать параметры, указанные в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Режим облицовывания в многопролетном прессе с применением клея на основе синтетической смолы марки КФ-Ж (М)

Параметр	Нормы для клея
Температура воздуха в помещении, °С, не ниже	18
Относительная влажность воздуха в помещении, %, не выше	65
Температура металлических прокладок при формировании пакета, °С, не выше	30
Вязкость клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-4, с	60–80
Жизнеспособность клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, ч, не менее	10
Расход клея при облицовывании, г/м ² :	
– шпоном строганым	110–140
– шпоном лущеным	120–160
– пленками	90–100
Нанесение клея	На облицовываемую поверхность
Время от момента нанесения клея до загрузки пакетов в пресс, мин, не более	10

Параметр	Нормы для клея
Время от начала загрузки первого пакета до установления необходимого давления, мин, не более	1
Выдержка пакета под давлением, мин, при температуре, °С:	
– 110–120	3–5
– 130–140	2–4
Удельное давление прессования, МПа:	
– для пленки	0,4–0,5
– натурального шпона	0,8–1,0
Технологическая выдержка в стопе после облицовывания	До остывания, не менее 24 ч

Облицовывание щитовых заготовок ДБСП осуществляется преимущественно в необогреваемых многопролетных прессах. Облицовывание без нагревания клеевого слоя выполняют обычно блоками пакетов. Одновременно можно облицовывать до 50–60 щитов. Для облицовывания с нагреванием в один пролет пресса загружают по одному пакету. Клеевые материалы для приклеивания декоративного пластика и компенсирующих облицовок используют с учетом последующей эксплуатации изделий мебели и применяемой технологии облицовывания. В качестве оборудования при выполнении операции облицовывания ДБСП используют преимущественно многосекционный гидравлический или механический пресс марки АПО82МА. Характеристика, режимы применяемых клеев рассмотрены в лабораторной работе № 6.

Технологический режим облицовывания ДБСП пластей щитовых заготовок холодным методом с использованием клея на основе синтетической смолы марки КФ-М (Х) приведен в табл. 5.5 [18].

Таблица 5.5

**Режим облицовывания ДБСП с применением клея
на основе синтетической смолы марки КФ-М (Х)**

Параметр	Нормы для клея
Температура воздуха в помещении, °С, не ниже	20
Относительная влажность воздуха в помещении, %, не выше	65
Вязкость клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-4, с	50–100

Параметр	Нормы для клея
Жизнеспособность клея при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, ч, не менее	2–3
Расход клея без учета потерь, $\text{г}/\text{м}^2$	150–180
Время от загрузки деталей в пресс до установления полного давления, мин, не более	5
Удельное давление прессования, МПа	0,4–1,0
Выдержка пакета под давлением, мин, не менее	3–5
Технологическая выдержка в стопе после снятия давления, ч, не менее	24

Оценка прочности приклеивания облицовки к основе выполняется по ГОСТ 15867–1979 путем определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв листовых облицовочных материалов толщиной не более 2 мм с точностью, которая соответствует $\varepsilon\delta^3 \geq 1 \text{ Нм}$ ($1 \text{ кгс} \cdot \text{см}$) [19].

Заготовки для образцов выпиливают в виде прямоугольного бруска в соответствии с ГОСТ 15867–1979 [19]. Количество образцов из одной заготовки должно обеспечивать точность результатов при статистической обработке в пределах 5–7%.

Показатели прочности клеевого соединения при облицовывании представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

**Показатели прочности клеевого соединения
на неравномерный отрыв по ГОСТ 15867–1979**

Толщина облицовочного материала, мм	Прочность клеевого соединения, кН/м, не менее		
	строганный шпон	лущенный шпон	ДБСП
0,4	1,0/1,4	–	–/2,0
0,55	–	1,6/2,2	–
0,6	1,4/2,0	–	–
0,7	–	–	1,7*/3,0
0,75	–	2,0/2,8	–
0,8	1,7/2,5	–	2,3*/–
0,9	–	–	2,5*/3,5
0,95	–	2,4/3,4	–

Толщина облицовочного материала, мм	Прочность клеевого соединения, кН/м, не менее		
	строганный шпон	лущенный шпон	ДБСП
1,0	2,0/3,1	–	2,7/3,8
1,15	–	2,8/3,9	–
1,3	–	–	3,5/4,7
1,5	–	3,4/4,8	–
1,6	–	–	3,9/5,8

Примечание. В столбцах 2–4 в числителе указана прочность клеевого соединения при облицовывании пластей, а в знаменателе – кромок. Для облицовывания материала толщиной менее 0,4 мм показатель прочности не устанавливается в связи с малой жесткостью материала. Качество облицовывания должно определяться методом «среза ножом» в соответствии с документацией на этот материал.

* Показатели прочности клеевого соединения при облицовывании импортным пластиком.

Этот метод не выполняется для испытания образцов, облицованных пленками на основе бумаги, пропитанной синтетическими смолами.

Цель работы – изучение требований, предъявляемых к облицовыванию плитных и клеевых материалов; изучение условий и технологических режимов различных способов облицовывания плитных материалов; исследование влияния основных технологических факторов на прочность приклеивания облицовки к основе (плите) путем определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовки.

Приборы и материалы: лабораторный пресс с электрообогревом плит; испытательная машина марки Р-0,5 с погрешностью измерения нагрузки не более 1%; приспособление для испытания образцов на неравномерный отрыв облицованных материалов; весы ВТК-500; штангенциркуль с точностью измерения не более 0,1 мм; микрометр; влагомер МГ-4; заготовки плитных материалов влажностью $(8 \pm 2)\%$; листовой облицовочный материал толщиной не более 2 мм, влажностью $(6 \pm 2)\%$; клей различных марок (карбамидоформальдегидный – жидкий или порошковый; ПВА и др.).

Порядок выполнения работы

Работу проводят по одному из следующих вариантов.

1. Определяют зависимость влияния расхода клея на прочность склеивания облицовки с основой. При проведении исследований принимают, например, расход клея 80, 100, 150 и 200 г/м². Остальные параметры режима берут по справочным данным.

2. Устанавливают зависимость влияния давления облицовывания на прочность склеивания облицовки с основой. При проведении опыта принимают давление q , равным 0,4; 0,8; 1,2 и 1,6 МПа. Остальные параметры режима уточняют по справочным данным.

3. Изучают влияние продолжительности открытой или закрытой выдержки после нанесения карбамидоформальдегидного клея (жидкого или порошкового) на прочность склеивания облицовки с основой.

Студентам выдают 4–5 образцов плиты-основы (заготовка ДСтП, МДФ), параметр шероховатости поверхности $R_{m \max}$ которой не должен превышать 200 мкм; облицовочный материал (шпон строганный или лущеный); синтетический клей, например карбамидоформальдегидный.

Измеряют температуру и влажность в помещении, где проводят лабораторные исследования. Параметры должны соответствовать технологическим режимам облицовывания, которые указаны в разделе «Общие положения» данной лабораторной работы (см. табл. 5.3–5.5 на с. 55–58).

Измеряют длину, ширину и толщину плиты-основы, толщину облицовки; влажность; нумеруют пакет и взвешивают его. Полученные данные заносят в табл. 5.7.

Выбирают и готовят рабочий раствор клея. Расчетное количество клея Q , г/м², требуемое для нанесения на образец (плиту-основу), определяют по формуле

$$Q = 2cS, \quad (5.6)$$

где c – относительный расход клея, г/м²; S – площадь облицовываемого образца, м².

Полученные данные записывают в табл. 5.7.

Клей наносят лабораторными клеевыми вальцами или с помощью кисти.

Взвешивают облицовываемый пакет (плиту-основу с облицовкой) с нанесенным клеем и рассчитывают фактический расход клея Q_{ϕ} , г/м², по следующей формуле:

$$Q_{\phi} = \frac{g_2 - g_1}{2S}, \quad (5.7)$$

где g_2 – вес облицовываемого пакета с клеем, г; g_1 – вес облицовываемого пакета без клея, г; S – площадь склеивания, м².

Полученные результаты заносят в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Результаты исследования облицовывания

Номер образца (щита)	Размер основы, мм			Толщина облицовки h , мм	Масса пакета без клея g_1 , Г	Количество нанесенного клея g , Г	Масса пакета с клеем g_2 , Г
	длина	ширина	толщина				
1							
...							
n							

Окончание табл. 5.7

Относительный расход клея c , г/м ²	Фактический расход клея Q_{ϕ} , г/м ²	Режим облицовывания			
		усилие прессования F , Н	давление облицовывания q , МПа	температура плит T , °С	продолжительность облицовывания t , с
1					
...					
n					

Режим облицовывания определяют в зависимости от варианта задания по справочным данным. Облицовывание выполняют в лабораторном прессе (каждый образец – по отдельности) следующим образом.

Разогревают плиты пресса до необходимой температуры, согласно технологической характеристике режимов облицовывания, приведенной выше. Устанавливают плиты пресса с промежутком 60–100 мм. Загружают облицовываемый пакет в пресс (используя металлические прокладки при формировании пакета).

Вычисляют усилие прессования по формуле

$$P = qS, \quad (5.8)$$

где P – общее давление плит пресса на облицовываемую заготовку, Н; q – удельное давление прессования, МПа; S – площадь облицовываемой заготовки (учитывается по одной стороне), м^2 .

Устанавливают расчетное усилие прессования, которое должно обеспечивать полное смыкание плит пресса. Выдерживают прессуемый пакет под давлением в течение необходимого времени.

Размыкают плиты пресса и достают пакет. Полученные данные записывают в табл. 5.7 (см. на с. 61).

После окончания работы необходимо выключить пресс, очистить плиты, помыть посуду и кисточку, убрать рабочее место.

Определяют прочность клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовки.

Облицовки должны быть прочно приклеены к плите-основе. Испытания прочности приклеивания производят сразу после окончания технологической выдержки в соответствии с технологическим режимом по ГОСТ 15867–1979 (см. табл. 5.6 на с. 58–59) [19]. На облицованной поверхности не допускаются расхождения и нахлестки полос облицовок, неприклеенные места, пятна просочившегося клея, разрыв, отщепы и вмятины.

Выпиливают (под контролем преподавателя) из каждого облицованного пакета образцы по ГОСТ 15867–1979 для испытания клеевого соединения на неравномерный отрыв. Сначала выпиливают заготовки в виде прямоугольных брусков длиной, кратной длине нужного образца, с припуском на распиловку (рис. 5.1), при этом направление волокон шпона должно совпадать с длиной заготовки [19].

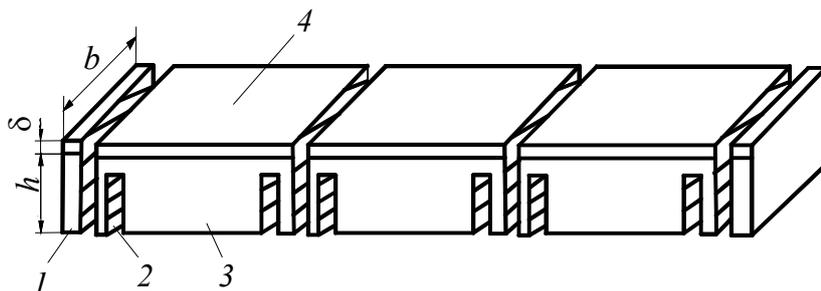


Рис. 5.1. Заготовка для выпиливания образцов:
1 – пропилен; 2 – пропилен для образования свеса облицовки;
3 – плита-основа; 4 – облицовочный материал

Пропилы для образования свесов облицовочного материала не доводят до облицовки на 0,1–0,2 мм.

Форма и размеры образцов должны быть такими, как показано на рис. 5.2.

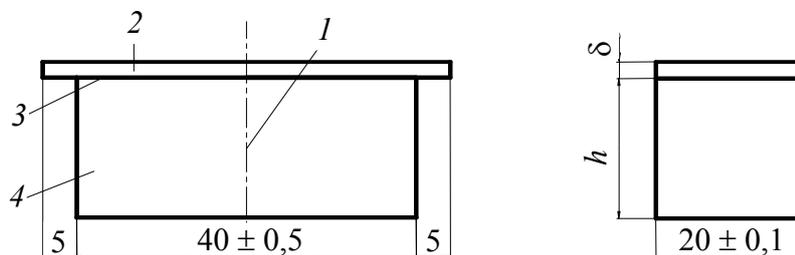


Рис. 5.2. Заготовка для испытания:
 1 – линия для установки пуансона;
 2 – облицовочный материал;
 3 – клеевой слой; 4 – плита-основа

Торцовые поверхности образца должны быть параллельны между собой и перпендикулярны кромкам.

Измеряют ширину образца у торцов основы и толщину облицовочного материала с точностью до 0,1 мм. Полученные данные записывают в табл. 5.8.

Таблица 5.8

**Результаты испытаний образцов
 на неравномерный отрыв облицовочного материала**

Номер образца	Партия № 1			Партия № 2			Партия № 3			Партия № 4		
	<i>P</i> , Н	<i>b</i> , м	σ , Н/м	<i>P</i> , Н	<i>b</i> , м	σ , Н/м	<i>P</i> , Н	<i>b</i> , м	σ , Н/м	<i>P</i> , Н	<i>b</i> , м	σ , Н/м

Перед испытанием нумеруют каждый образец.

Подготовленный образец устанавливают на опоры приспособления (рис. 5.3).

Пуансон центрируют по линии приложения нагрузки. Ставят приспособление с образцом в испытательную машину марки Р-0,5 и закрывают ограждающее устройство. Включают машину и нагружают образец с постоянной скоростью, равной $(0,4–0,5) \cdot 10^{-3}$ м/с (24–30 мм/мин).

По шкале машины определяют разрушительную нагрузку *P* в начальный момент отрыва облицовочного материала.

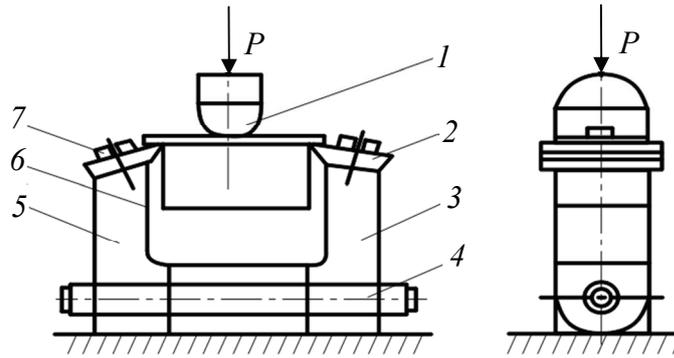


Рис. 5.3. Приспособление для испытания образцов на неравномерный отрыв облицовочного материала:
 1 – пуансон; 2 – нож; 3 – самоустанавливающаяся опора с цилиндрической основой; 4 – стержень;
 5 – опора с плоской основой;
 6 – образец; 7 – шуруп

Рассчитывают с погрешностью не более чем 1 Н/м прочность σ , Н/м, клеевого соединения при испытании на неравномерный отрыв по формуле

$$\sigma = \frac{P}{2b}, \quad (5.9)$$

где P – разрушительная нагрузка, Н; b – ширина образца, м.

Результаты заносят в табл. 5.8 (см. на с. 63).

Обработка результатов и их анализ

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на неравномерный отрыв облицовочного материала, их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

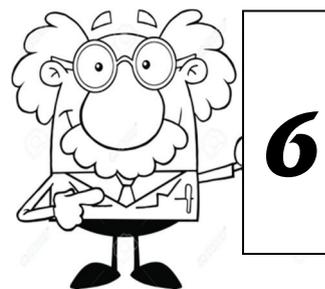
Результаты испытаний анализируют, сравнивают со стандартными значениями, указанными в табл. 5.6 (см. на с. 58–59), обращают внимание, чтобы полученные значения клеевого соединения были не ниже приведенных.

По результатам испытаний, согласно выбранному варианту, строят графическую зависимость, делают вывод о степени влияния выбранных факторов на прочность склеивания.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите способы, оборудование для облицовывания щитовых заготовок. Что влияет на выбор способа облицовывания?
2. Какие требования предъявляются к материалам, применяемым при облицовывании?
3. Чем руководствуются при выборе режима облицовывания?
4. Как производится расчет усилия, необходимого для облицовывания? Приведите расчет усилия прессования для прессов различной конструкции.
5. Что влияет на расход клея при облицовывании?
6. Как определить прочность клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов? В чем заключается сущность испытания?
7. Чем отличается облицовывание в однопролетном прессе от облицовывания в многопролетном?



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ПРИ ОБЛИЦОВЫВАНИИ КРОМОК ЩИТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Общие положения

Облицовывание кромок выполняет не только декоративную функцию, но и защищает древесно-стружечную плиту или другой материал от воздействия внешних факторов.

Облицовывание кромок заготовок с использованием клеев-расплавов – довольно сложная технологическая операция, требующая знания особенностей осуществления этого процесса. На прочность клеевого соединения как при облицовывании, так и во время эксплуатации изделий могут оказывать влияние свойства облицовываемой плиты, клеев-расплавов, кромочного материала, а также технологические параметры режима склеивания.

Можно выделить следующие основные факторы, влияющие на качество склеивания: выбор сочетания клея-расплава и кромочного материала; температура клея-расплава в резервуаре для расплавления клея и на клеенаносящем ролике; распределение клея-расплава по кромке облицовываемой заготовки; необходимый прижим кромочного материала к кромке (контактное давление роликов); скорость подачи щитовых заготовок; условия содержания щитовых заготовок и кромочного пластика.

Из технологических параметров облицовывания важнейшее значение при работе с клеями-расплавами имеет их температура. Поскольку клеи-расплавы являются типичными термопластичными материалами, переходящими в текучее состояние только при

повышенных температурах, необходимая вязкость клея и его способность к смачиванию склеиваемой поверхности также связаны с температурой его переработки [20]. Факторами, от которых зависит температура клея при сцеплении, являются толщина клеевой пленки, температура основы, температура клея при нанесении, скорость подачи.

Для каждого клея-расплава определяется рабочая температура, которую измеряют соответствующими термопарами, установленными в резервуаре для расплавления клея и на клеенаносящем ролике. Но даже при правильно выбранной рабочей температуре в момент приклеивания кромочного материала она может оказаться недостаточной. Причинами такого явления могут быть: холодные, влажные щитовые детали, особенно зимой при хранении их на не обогреваемых складах, недостаточная скорость подачи на станке, сквозняки на участках нанесения клея [21]. Если используются холодные или сырые плиты, необходим предварительный нагрев кромок таких плит.

При высоких скоростях подачи (более 40 м/мин), а также при облицовывании широких кромок деталей также бывает недостаточной достигаемая температура. Установка дополнительного резервуара для расплавления клея с целью предварительного нагрева клея-расплава, из которого он подается в резервуар для расплавления клея уже нагретым до температуры 140–160°C, позволяет исключить это явление.

Температура помещения, в котором проводится облицовывание кромок деталей, также играет существенную роль и не должна быть ниже 15°C.

Количество нанесенного на кромку детали клея-расплава и его распределение по поверхности имеют огромное значение при облицовывании кромок.

Расплавленный клей остывает тем медленнее, чем больше слой нанесенного клея, и это способствует хорошему склеиванию, но и приводит к чрезмерному выдавливанию клея и загрязнению рабочих поверхностей. Недостаточное количество клея не обеспечивает необходимую плотность склеивания. Кроме того, при нанесении клея-расплава на рыхлую кромку древесно-стружечной плиты он должен создавать условия для грунтования поверхности, так как при применении тонких кромочных материалов при недостаточном расходе клея проявляются все неровности плиты.

Использование щитовых заготовок мебели повышенной влажности, кроме чрезмерного охлаждения клея-расплава, может привести также к образованию покровного барьера, мешающего нормальному растеканию клея по кромке детали и приводящего к ослаблению прочности клеевого шва. Для поддержания правильного режима склеивания требуется кондиционирование щитовых деталей и кромочного материала при температуре цеха.

Распределение клея по поверхности кромки заготовки (с целью правильной настройки) удобно контролировать с помощью прозрачных пленок, применяемых в качестве кромочных материалов. Такие прозрачные пленки можно изготовить из полипропиленовых или полиэтилентерефталатных пленок.

Кромки щитовой детали облицовывают на станке с использованием прозрачных пленок, затем их тщательно осматривают. Таким же способом можно оценить правильность установки прижимного ролика. Если под прозрачной пленкой видны риски от клеенаносащего ролика, следовательно, усилие прижима недостаточно и его необходимо отрегулировать.

Клей-расплав требует тщательного подбора материалов с тем, чтобы кромочный материал и клей соответствовали друг другу.

Исходя из того, на какой основе изготовлен клей, различают следующие типы клеев-расплавов, представленных в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Типы и состав клеев-расплавов

Вещество в составе клея	Наименование вещества	Назначение вещества
Полимер	Этиленвинилацетат (ЭВА), полиамид (ПА), полиуретан реактивный (ПУР), аморфный полиальфаолефин (АПАО) и др.	Когезия, совместимость с другим веществом
Смолы (натуральные и синтетические)	Инденкумароновые смолы, канифоль и др.	Адгезия
Воск	Парафин, микро- и полиэфирный воск	Реология, эксплуатационные свойства, скорость схватывания
Наполнители	Минеральные продукты тонкого помола (окись алюминия, древесная мука, силикаты, мел, сажа и др.)	Когезия, реология, технологические свойства, стойкость, прочность
Добавки	—	Термостабильность

В качестве основы клеев-расплавов наиболее широкое применение нашел этиленвинилацетат (ЭВА): в настоящее время выпускается большое количество самых разнообразных клеев-расплавов на основе ЭВА.

На рынке клеевых материалов в последнее время появились ненаполненные клеевые материалы наряду с наполненными. Сейчас в Германии каждый четвертый погонный метр кромки облицовывают ненаполненными клеями-расплавами. Преимущество ненаполненных клеев-расплавов по сравнению с наполненными клеями заключается в следующем: улучшение смачиваемости поверхности, что приводит к повышению адгезии; увеличение прочности клеевого шва (улучшение адгезии); повышение теплостойкости клеевого шва за счет высокой когезии; пониженный расход благодаря низкой плотности (оптимален по затратам); прозрачный тонкий клеевой шов, поэтому малозаметен на изделии; приклеивание любого кромочного материала (вида, цвета и декора) без замены клея; применение высокоскоростного оборудования (от прямых кромок и софтформинга до обрабатывающих центров).

Прежде чем выбрать клей-расплав, необходимо определиться, какими кромочными материалами и какие кромки (прямые или профильные) будут облицовываться. Примерное структурное соотношение использования различных материалов для облицовывания кромок следующее:

- 1) кромочные материалы на основе бумаг – около 50%;
- 2) полимерные кромочные материалы – приблизительно 50%;
- 3) натуральный шпон – до 10%;
- 4) раскладки из натуральной древесины – порядка 2–3%;
- 5) профили из алюминия и других металлов – до 7–8%.

Кромочный материал на основе бумаг продолжает оставаться распространенным видом кромочных материалов. Требованиям мебельного производства наиболее полно отвечает двух- и более слойный материал типа МКР-2 и его зарубежные аналоги. В последние годы в мебельной промышленности все шире применяются термопластичные кромочные материалы. Они превосходят меламиновые кромочные материалы на основе бумаг по оптическим свойствам, возможностям обработки. Полимерные кромочные материалы отличаются высокой эластичностью и ударной прочностью. Возможность изготовления закругленных и овальных

кромки у щитовых деталей не только делают готовую мебель привлекательной, но и в значительной степени снижают опасность ее повреждения в процессе производства, при транспортировке, уменьшают травмоопасность при эксплуатации. Высокая эластичность материала позволяет его фрезеровать без риска расщепления. Наносимый на все полимерные кромочные материалы универсальный грунтовочный материал (праймер) дает возможность использовать в процессе производства обычные клеи-расплавы (ПУР, ЭВА).

Сегодня за рубежом в производстве мебели все большую популярность приобретают экологически безопасные полимерные кромочные материалы, в первую очередь, на основе:

- полипропилена (ПП), главным достоинством которого является его высокая эластичность при вторичной обработке, а также при сгорании отходов образуется только двуокись углерода и вода;

- акрилнитридбутадиенстирола (АБС), основным преимуществом которого является высокая прочность;

- прозрачного акрилового полимера, позволяющего придать кромке объем (3D-эффект).

Существуют трудности, связанные с правильным подбором клея-расплава для облицовывания кромок щитов жесткими материалами (ПВХ, полиэфирными, меламинными пленками, слоистым пластиком, массивной древесиной), которые будут подвергаться воздействию высоких температур или влажности. У этих жестких кромочных материалов внутренние напряжения в клеевом шве возникают при впитывании или потере влаги приклеенным кромочным материалом. Если в то же время клей-расплав размягчится под влиянием высокой температуры окружающей среды, то нарушится прочность клеевого соединения. ПВХ и полиэфирные кромочные пластики в период эксплуатации мебели могут давать значительную усадку, что приводит к возникновению больших внутренних напряжений, а также они относятся к трудносклеиваемым материалам [20]. Показатели физико-механических свойств отдельных кромочных пластиков представлены в табл. 6.2.

В последнее время большим спросом пользуются металлические поверхности на кромках. В ассортименте полимерных кромок появился большой ряд одноцветных материалов различных

металлических оттенков. Например, популярным является кромочный материал с вариантом отделки «составной алюминий». В этом декоративном материале совмещены различные оттенки алюминия, создающие эффект постоянного изменения цвета металла при изменении угла преломления света.

Таблица 6.2

Физико-механические свойства кромочных пластиков

Марка кромочного пластика	Размеры кромочного пластика, мм		Прочностные показатели			
	ширина	толщина	предел прочности при растяжении, МПа	модуль упругости при изгибе, 10^2 МПа	модуль упругости при растяжении, 10^2 МПа	жесткость, кгс · см
МКР-2	23	0,25	99,2	104,3/108,0	39,2	1,1
МКРПЭ-2	23	0,47	93,0	35,4/38,9	27,3	2,7
ПВХ фирмы RENAU	23	0,50	112,1	107,1/111	40,9	3,0

Примечание. В столбце 5 в числителе указаны значения для лицевой стороны, а в знаменателе – для нелицевой.

Кромочные материалы с эффектом объема продолжают свое развитие и совершенствование. Отличительной чертой кромочного материала с объемным эффектом является нанесение декоративного печатного рисунка или металлической фольги (с окраской золота или алюминия) на обратную сторону прозрачного материала-основы. За счет этого декор защищен от повреждения и создается дополнительное ощущение глубины цвета и объема.

К трехмерным кромочным материалам относятся материалы с эффектом инея на стекле, так называемые «замороженные» пленки (3D-freeze).

Популярными являются натуральные рулонные кромочные материалы, которые могут изготавливаться из различных пород древесины – дуба, вишни, венге, бамбука и др.

Оборудование для облицовывания кромок деталей в зависимости от их формы разделяется на две основные группы: оборудование для облицовывания только прямолинейных кромок и оборудование, предназначенное для облицовывания прямолинейных и

криволинейных кромок. Все устройства и станки для облицовывания кромок могут быть разделены на ручные кромкооблицовочные устройства, кромкооблицовочные станки с ручной подачей и станки проходного типа с механической (конвейерной) подачей деталей, которые бывают одно- и двухсторонними. В общем случае при облицовывании кромок выполняются операции наклеивания полосы кромочного материала, удаления продольных свесов и свесов по толщине детали, а также формирования фасок на ее ребрах.

В известных кромкооблицовочных станках могут использоваться два способа нанесения клея-расплава: так называемый «холодное – горячее» (kalt – heiss), когда клей заранее нанесен на кромочный материал и перед облицовыванием разогревается непосредственно в станке; «горячее – холодное» (heiss – kalt), когда расплавленный клей наносится на кромочный материал, на кромку заготовки или на обе склеиваемые поверхности уже в самом станке.

Недостатки первого способа в том, что потери нанесенного на кромочный материал клея, удаляемого вместе с его свесами, составляют около 20%. При удалении свесов пилами и фрезами клей разогревается и налипает на режущий инструмент. Кроме того, количество клея-расплава, нанесенного на кромочный материал, ограничено, поэтому он не может заполнить поры древесностружечной плиты, а это снижает прочность склеивания. Предварительное нанесение не позволяет заменить клей другим, что бывает нужно при модификации характеристик оборудования и свойств облицовываемой детали. Необходимость разогревания клея-расплава, нанесенного на кромочный материал, до нужной температуры в процессе движения ограничивает скорость подачи оборудования. Данный способ применяется в основном в ручных кромкооблицовочных устройствах и в кромкооблицовочных станках с ручной подачей деталей.

Основной недостаток способа «горячее – холодное» состоит в том, что клей при нанесении и последующем прижатии кромочного материала к кромке детали выдавливается и попадает на ее пласт, из-за чего возникает необходимость применения специальных устройств для его удаления. Данный способ нашел преимущественное распространение в кромкооблицовочных станках.

Из проведенного анализа факторов, влияющих на прочность клеевого соединения при облицовывании кромок, видно, что наибольшее воздействие оказывают: технологические параметры режима облицовывания (температура клея-расплава, скорость подачи деталей, контактное давление роликов на пластик при прокатывании); показатели, характеризующие химическую активность поверхности; внутренние напряжения, которые возникают в кромочном пластике и носят усадочный и термический характер. Технологические параметры для облицовывания кромок щитовых деталей с использованием ручных или низкоскоростных станков и отдельной группы клеев-расплавов представлены в табл. 6.3.

Оценка прочности приклеивания кромочного материала к основе выполняется по ГОСТ 15867–1979 [19] путем определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов толщиной не более 2 мм с жесткостью, соответствующей $\varepsilon\delta^3 \geq 1,0 \cdot 10^{-1}$ Нм (1 кгс · см). Сущность метода заключается в определении разрушающей нагрузки, приходящейся на единицу ширины образца, с которого происходит отрыв покрытия при неравномерном распределении напряжений по площади склеивания.

Этот способ не выполняется для испытания образцов, облицованных однослойными пленками на основе бумаги, пропитанных синтетическими смолами. Методика проведения испытания, форма и размеры образца представлены в лабораторной работе № 5. Скорость подачи на проходных станках-автоматах, безусловно, связана с их производительностью и должна быть не ниже 20 м/мин. Современное проходное автоматизированное оборудование и имеющиеся клеи-расплавы позволяют повысить скорость облицовывания до 40–60 м/мин, а по данным зарубежных фирм – до 100 м/мин.

Показатели прочности клеевого соединения при облицовывании кромок представлены в табл. 6.4.

Цель работы – изучение вопросов, связанных с облицовыванием кромок щитовых заготовок из древесных материалов (требования, предъявляемые к клеям-расплавам, кромочным материалам и заготовкам; используемое кромкооблицовочное оборудование); исследование влияния технологических факторов на прочность склеивания кромочного материала с основой при облицовывании кромок щитов из древесно-стружечных плит.

Клеевые системы для облицовывания кромок щитовых деталей

Свойства	Марка клея					
	Клейберит 788.3	Клейберит 788.7	Нотаколл 630	Нотаколл 635	Иовагерм 286.60	Иовагерм 280.30
Основа	ЭВА-сополимер					
Назначение	Прямая кромка, низкая скорость подачи (3–8 м/мин), пригоден для ручной подачи, низкая рабочая температура	Кромки из шпона, меламина, АБС, ПВХ, пластикового ламината на станках с ручной подачей	Кромки из шпона, меламина, АБС, ПВХ, пластикового ламината на станках с высокой адгезией	Кромки из шпона, меламина, АБС, ПВХ, ПП, прямая кромка, софтформинг на станках низко- и среднескоростных	Кромки из шпона, пластика высокого давления, бумажные кромки, АБС, ПВХ, ПП, прямая кромка, софтформинг на станках низко- и среднескоростных	
Вязкость по Брукфильду, определяемая при 200°С, шпатель 27/5, Па·с	Около 38 000	Около 35 000	22 000–32 000*	10 000–14 000	Около 60 000	Около 50 000
Температура в логике, °С	–	–	150–170	130–140	–	–
Температура на валике, °С	130–160	130–190	160–190	140–160	180–200	190–210
Оптимальная скорость подачи, м/мин: – прямые кромки; – профильные кромки	Ручная	От 5	Ручная	Ручная	5–20	5–20
Давление	0,6–0,8 Н/мм ²	80–100	3–5 кг/см ²	Определяется опытным путем	0,6 Н/мм ²	0,6–0,8 Н/мм ²
Расход, г/м ²	80–120	80–100	Определяется опытным путем	Определяется опытным путем	230–280	150–180

* Вязкость по Брукфильду, определяемая при 160°С.

Таблица 6.4

Показатели прочности клеевого соединения при облицовывании кромок

Толщина облицовочного материала, мм	Прочность клеевого соединения, кН/м, не менее		
	строганный шпон	лущеный шпон	кромочный пластик, ДБСП
0,40	1,4	–	2,0
0,60	2,0	–	–
0,70	–	–	3,0
0,75	–	2,8	–
0,80	2,5	–	–
0,90	–	–	3,5
0,95	–	3,4	–
1,00	3,1	–	3,8
1,15	–	3,9	–
1,30	–	–	4,7
1,50	–	4,8	–
1,60	–	–	5,8

Приборы и материалы: испытательная машина марки Р-0,5 с погрешностью измерения нагрузки не более 0,02 Н; приспособление для испытания; кромкооблицовочный станок SMART ES (Италия); штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм; микрометр; весы; образцы из древесных материалов; клей-расплав; кромочный материал толщиной от 0,4 до 3,0 мм.

Порядок выполнения работы

Студентам выдают заготовки из древесно-стружечных плит или МДФ толщиной до 60 мм (в зависимости от условий проведения работы); кромочный материал одного или нескольких видов в зависимости от условий проведения работы толщиной от 0,4 до 3,0 мм; клей-расплав. Работу проводят по одному из нижеперечисленных вариантов.

1. Изучают влияние расхода клея-расплава на прочность склеивания (удельный расход используемого клея-расплава указан в его технической характеристике и варьирует в проводимой работе не менее чем на трех уровнях). Остальные технологические параметры облицовывания не изменяют. Строят графическую зависимость. Делают выводы по полученным результатам.

2. Изучают влияние рабочего давления при облицовывании на прочность склеивания (рабочее давление изменяют в пределах от 0,6 до 0,8 МПа, диапазон выбран по технической характеристике используемого оборудования). Остальные технологические параметры облицовывания не изменяют. Строят графическую зависимость. Делают выводы по полученным результатам.

3. Используют различный кромочный материал для сравнения прочности склеивания при использовании одной марки клея-расплава:

– по виду: пластиковый ламинат, ПВХ, АБС, меламин, шпон строганный рулонный, рейки;

– по толщине, изменяя ее в пределах от 0,4 до 3,0 мм.

Строят графическую зависимость. Делают выводы по полученным результатам.

Температура древесины, клеев и воздуха в помещении, где производят склеивание, должна составлять $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, а влажность воздуха в помещении – 70%.

Заготовки из древесных материалов (ДСтП, МДФ) взвешивают и замеряют размеры для определения площади кромки, подлежащей облицовыванию. Взвешивание деталей производят с точностью $\pm 0,1$ г. Результаты замеров записывают в табл. 6.7 (см. на с. 80).

Режимы облицовывания принимают, руководствуясь характеристикой клея-расплава, видом используемого кромочного и облицовываемого материалов. Режимы облицовывания кромок щитовых заготовок для отдельных материалов представлены в табл. 6.3 (см. на с. 74). Облицовывание кромок щитовых заготовок осуществляют на полуавтоматическом кромкооблицовочном станке SMART ES (рис. 6.1), техническая характеристика которого приведена в табл. 6.5 (см. на с. 78). Кромкооблицовочный станок предназначен для облицовывания кромок как криволинейных, так и прямолинейных щитовых деталей небольших партий. Станок оснащен вертикальным клеевым узлом, с помощью которого клей-расплав наносится на кромочный материал.

Перед началом работы к станку подключают компрессор 14, станок включают в электросеть и проворачивают рукоятку 2. Устанавливают рулон кромочного материала на держателе 7. Свободный конец кромочного материала проводят через отверстие держателей ножей 8 до упора, при этом кромочный материал находится между подающим и прижимным валиками. Убеждаются

в том, чтобы устройство прижима кромки было отрегулировано с помощью рукоятки 10, т. е. расстояние между прижимной пластиной и клеенаносящим роликом должно быть минимальным (в зависимости от толщины кромочного материала), чтобы избежать контакта прижимной пластины с клеем.

Открывают крышку 11 емкости для клея на станке SMART ES и засыпают необходимое количество (достаточное для выполнения операции) клея-расплава, настраивают терморегулятор 1 на требуемую температуру расплавления клея. Температура зависит от марки клея и типа кромочного материала (производители станка SMART ES рекомендуют при использовании кромки ПВХ подбирать клей-расплав с температурой размягчения не более 160°C). Включают специальную кнопку 4 и ждут, пока на табло терморегулятора высветится необходимая температура клея-расплава (температура полного его расплавления). Поворачивают ручку селектора 5 на отметку «1» или «2». При установке ручки селектора на отметку «1» скорость вращения подающего и клеенаносящего валов будет минимальная, а при установке ручки селектора на отметку «2» – максимальная.

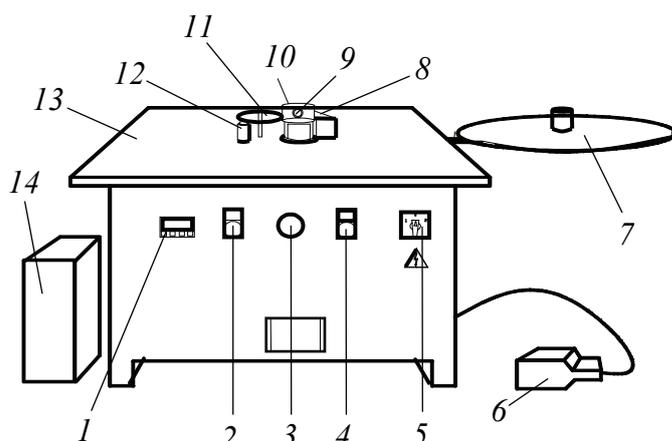


Рис. 6.1. Общий вид станка SMART ES:

- 1 – цифровой терморегулятор; 2 – пусковая рукоятка;
- 3 – аварийная кнопка; 4 – специальная кнопка;
- 5 – переключатель скорости роликов (селектор);
- 6 – пневматическая педаль; 7 – держатель кромочного материала;
- 8 – отверстие держателей ножей;
- 9 – рукоятка регулятора толщины клея-расплава;
- 10 – рукоятка регулирования прижима кромки;
- 11 – крышка емкости для клея; 12 – прижимной вал;
- 13 – стол станка; 14 – компрессор

Технические данные станка SMART ES

Параметр	Значение параметра
Максимальный размер облицовываемой заготовки, мм	800×3000
Максимальная высота заготовки, мм	60
Вид облицовываемого материала: – массив древесины; – ламинированные и неламинированные ДСтП; – плиты МДФ; – составные материалы древесного происхождения	–
Вид кромочного материала: – пластиковые ламинаты; – АБС; – ПВХ; – меламин; – шпон в рулонах; – рейки	–
Толщина кромочного материала, мм	0,4–3,0
Размеры рабочего стола, мм	710×800
Скорость роликов	2750/5500 мм/мин, 22/44 RPM
Рабочее давление, МПа	0,6–0,8
Габаритные размеры станка, мм	850×750×1100

Регулируют толщину клея-расплава на клеенаносящем ролике с помощью специального регулятора 9. При уменьшении толщины клея рукоятку регулятора поворачивают по часовой стрелке, а при увеличении – против часовой стрелки.

При нажатии и удерживании педали 6 начинается движение кромочного материала к клеенаносящему валу, который наносит клей на кромочный материал. Затем кромочный материал с нанесенным клеем, удерживаясь фиксаторами высоты, поступает к прижимному валу. В этот момент облицовываемую заготовку, уложенную на стол станка 13, прижимают к кромочному материалу и перемещают ее по длине кромки. После приклеивания кромочного материала по всей длине кромки щитовой заготовки отпускают педаль, после чего станок автоматически обрезает кромочный материал.

В случае аварийной ситуации остановку станка осуществляют нажатием специальной кнопки 3. В таком случае, помимо остановки станка, прекращается подача электроэнергии. Чтобы

снова запустить станок, поворачивают аварийную кнопку по часовой стрелке.

При облицовывании кромок щитовых заготовок кромочным материалом на станке SMART ES могут возникнуть проблемы. Причины и пути устранения этих проблем рассмотрены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Возможные дефекты при облицовывании кромок щитовых заготовок

Проблема	Причина	Решения
Станок не начинает работать	Не достигнута необходимая температура клея-расплава	Подождать достижения заданной температуры
Станок останавливается	Не достигнута необходимая температура клея-расплава	Подождать достижения заданной температуры
Кромки ПВХ повреждаются при контакте с клеевым роликом	Температура клея-расплава слишком высокая	Понизить температуру, температура 140–150°C максимальная
Плохое склеивание	Неподходящий клей	Заменить клей

Облицованные детали укладывают на ровную поверхность (поддон) и выдерживают в стопе. Детали хорошо приклеены, когда при визуальном осмотре клеевой шов по всей длине без зазоров, перекосов и подтеков клея.

Облицованную деталь взвешивают и определяют фактический расход клея. Взвешивание деталей производят с точностью $\pm 0,1$ г. Результаты замеров записывают в табл. 6.7.

Оценку прочности приклеивания кромочного материала к основе выполняют по ГОСТ 15867–1979 [19] путем определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов. Для проведения испытаний из каждой облицованной детали вырезают образцы в количестве не менее 6 штук. Форма и размеры образцов для проведения испытания представлены на рис. 6.2.

Перед испытанием каждый образец нумеруют. Ширину образца у торцов основания и толщину облицовочного материала δ измеряют с погрешностью не более 0,1 мм. Посередине длины на боковых кромках образца карандашом проводят линию, перпендикулярную поверхности облицовочного материала, для правильной установки пуансона.

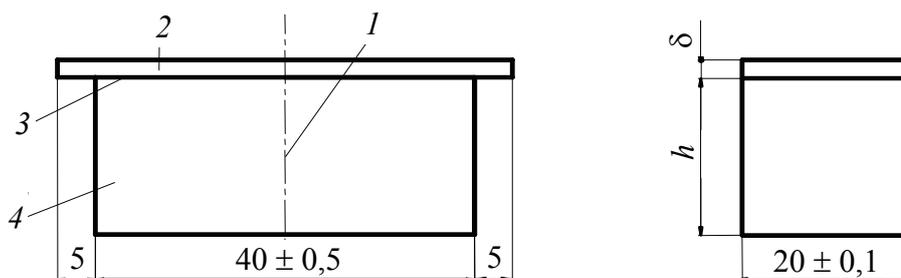


Рис. 6.2. Образец для испытаний:

1 – линия для установки пуансона; 2 – облицовочный материал;
3 – клеевой слой; 4 – основание

Методика проведения испытания клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов рассмотрена в лабораторной работе № 5.

По шкале машины определяют разрушающую нагрузку P в начальный момент отрыва облицовочного материала. Результаты испытаний заносят в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Определение предела прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов

Номер образца	Марка клея	Материал основы		Кромочный материал	Вес основы и кромочного материала, г		Фактический расход клея Q_{ϕ} , г/м ²	Ширина образца b , м	Разрушающая нагрузка P , Н	Прочность клеевого соединения, Н/м	Разрушение по основе, % площади
		вид	толщина, мм		без клея	с клеем					

Обработка результатов и их анализ

Расход клея-расплава Q_{ϕ} , г/м², определяют весовым методом по средним значениям из трех повторений и вычисляют по формуле

$$Q_{\phi} = \frac{g_2 - g_1}{S}, \quad (6.1)$$

где g_2 – вес заготовки после нанесения клея, г; g_1 – вес заготовки до нанесения клея, г; S – площадь заготовки, м².

Прочность клеевого соединения при испытании на неравномерный отрыв облицовочных материалов σ , Н/м, рассчитывают с погрешностью не более чем 1 Н/м по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{P}{2b}, \quad (6.2)$$

где P – разрушительная нагрузка, Н; b – ширина образца, м.

Результаты вычислений записывают в табл. 6.7. За результат определения принимают среднее арифметическое значение прочности клеевого соединения шести испытанных образцов.

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты испытаний анализируют. По результатам проведенной работы строят графики. Полученные зависимости оценивают.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные факторы, влияющие на качество склеивания.

2. Укажите факторы, от которых зависит температура клея-расплава при склеивании.

3. Как контролируют распределение клея-расплава по поверхности кромки детали с целью правильной настройки оборудования?

4. Какие типы клеев-расплавов различают по основе изготовления?

5. Что значит ненаполненные клеевые материалы и наполненные? В чем заключается преимущество ненаполненных клеев-расплавов по сравнению с наполненными?

6. Назовите, какие кромочные материалы используют для облицовывания кромок щитовых заготовок.

7. Какие существуют трудности, связанные с правильным подбором клея-расплава для облицовывания кромок щитов жесткими материалами?

8. Перечислите существующее оборудование для облицовывания кромок щитовых деталей.

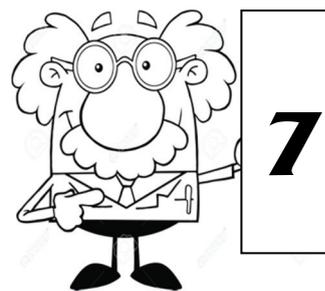
9. Какие способы нанесения клея-расплава могут использоваться в известных кромкооблицовочных станках? Назовите недостатки и преимущества способов.

10. Перечислите основные технологические параметры для облицовывания кромок щитовых деталей.

11. Каким путем выполняется оценка прочности приклеивания кромочного материала к основе? В чем заключается сущность метода?

12. Приведите порядок выполнения работы.

13. Назовите причины и пути устранения проблем, которые могут возникнуть при облицовывании кромок щитовых заготовок кромочным материалом на станке SMART ES.



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Склеивание заготовок, деталей и изделий из древесных материалов в виде брусков и щитов брусьев позволяет получить детали с нужными размерами, улучшить декоративные свойства изделия, увеличить полезный выход деталей и заготовок путем использования короткомерных заготовок и кусковых отходов.

В деревообрабатывающей промышленности для изготовления деталей мебели, столярных изделий и т. д. методом склеивания применяют короткомерные заготовки или кусковые отходы из древесины хвойных и лиственных пород, которые получают при раскросе пиломатериалов и черновых заготовок после вырезания из них пороков и дефектов, не допустимых стандартами на изделия мебельные.

Склеиваемые заготовки должны иметь правильную форму, одинаковые размеры поперечного сечения и быть одной породы. Сколы, вырывы и вмятины глубже 0,5 мм и шириной больше $\frac{1}{4}$ ширины склеиваемой поверхности не допускаются. Крыловатость для прямолинейных заготовок не должна превышать 2 мм на 1000 мм длины. Склеиваемые поверхности должны иметь шероховатость $R_{m \max}$ не выше 200 мкм. На склеиваемых поверхностях не допускаются масляные пятна, пыль и другие загрязнения.

Для обеспечения качественного клевого шва склеиваемые заготовки (детали) и используемый клей должны пройти акклиматизацию,

т. е. должны выдерживаться в помещении, в котором они будут обрабатываться и склеиваться. Кроме того, независимо от марки применяемого клея для получения прочного клеевого соединения необходимо соблюдать следующие условия:

- температура древесины, клея, а также воздуха в помещении должна быть не ниже 18–20°C;
- относительная влажность воздуха – 55–65%;
- влажность древесины – 8–12%;
- разность влажности древесины склеиваемых заготовок – 1,5–2,0%.

Поддерживание постоянной влажности в производственном помещении обеспечивается за счет микрокапельной системы увлажнения воздуха, поскольку при недостаточной влажности заготовки будут пересыхать и растрескиваться.

Если разница во влажности двух склеиваемых заготовок из древесины превышает 4%, уже это приводит к ослаблению клеевого соединения на 50% (разница во влажности склеиваемых заготовок не должна быть более 2%). В результате разницы в содержании влаги древесина либо усыхает, либо разбухает, что приводит к изменению размеров и объема материала. Причем деформация древесины в тангенциальном направлении в 1,5–2 раза больше, чем в радиальном.

Склеиваемые заготовки очень тщательно фугуются непосредственно перед склеиванием (табл. 7.1). Не допускается склеивание брусковых заготовок из цельной древесины по истечении 24 ч после механической обработки (фуговки) заготовки. При изготовлении щита ширина заготовок древесины (ламели) должна быть в пределах 30–70 мм, так как при большей их ширине значительно увеличивается коробление склеенного щита.

Таблица 7.1

Режимы склеивания заготовок и деталей

Параметр	Нормы для клея		
	КФ-МХ	КФК-20	КФ-ЖМ
Массовая доля сухого остатка, %	Не менее 70	65 ± 2	67 ± 2
Вязкость клея при 20°C, с:			
– по ВЗ-4	–	90–300	–
– ВЗ-1 (диаметр сопла 5,4 мм)	50–100	–	40–60
Жизнеспособность клея при (20 ± 1)°C, ч	2–8	0,5–4,0	10

Параметр	Нормы для клея		
	КФ-МХ	КФК-20	КФ-ЖМ
Расход клея, г/м ²	140–160	130–150	150–170
Давление прессования, МПа	0,5–0,8	0,5–0,8	0,5–0,6
Температура отверждения клея, °С	18–22	120–130	18–20
Время прессования	3–5 ч	60–90 с	1,5–2,0 ч
Технологическая выдержка после склеивания, ч, не менее	4	2	2

Для получения качественных заготовок нужно правильно расположить склеиваемые детали (по годовым кольцам), которые должны находиться под углом 45–90° (тем самым достигается лучшая стабильность формы). При объемном склеивании необходимо обращать внимание на хорошую стыковку всех склеиваемых поверхностей. При отклонениях по толщине повышается время склеивания и уменьшается прочность [11].

Клей должен храниться в закрытых емкостях и обязательно в отапливаемом помещении, температура в котором должна быть не ниже 10°С. Необходимо также, чтобы помещение, в котором хранятся емкости с клеем и где осуществляется перемешивание клея, было отделено от производственных помещений (клееприготовительное отделение). Это позволит избежать попадания в клей посторонних предметов, стружки, пыли и т. д.

Для склеивания массивной древесины используют малотоксичные карбамидоформальдегидные клеи на основе жидких смол – КФ-МХ, КФК-20, КФ-Ж (модифицированный). Клей, приготовленный на смоле марки КФ-МХ холодного отверждения, наносят на заготовки по двум вариантам – обычным способом, когда приготовленным клеем покрывают одну из склеиваемых заготовок, или при отдельном нанесении компонентов клея в качестве отвердителя применяют 10%-ный водный раствор щавелевой или ортофосфорной кислоты (5–15 мас. ч.). Клей, приготовленный на основе смолы марки КФК-20 горячего способа отверждения, позволяет значительно повысить прочность клеевого соединения. Для приготовления клея на модифицированной смоле марки КФ-Ж холодного отверждения в качестве отвердителя используют ВАГ-3, который дает возможность получить клеевые материалы с высокими прочностными показателями и сократить время отверждения.

Клей, приготовленный на основе смолы марки КФ-Ж с применением в качестве отвердителя хлористого аммония, пригоден для горячего способа склеивания [4, 5].

За рубежом более широко распространены порошкообразные карбамидоформальдегидные клеи. В Республике Беларусь сертифицирован порошкообразный самоотверждающийся карбамидоформальдегидный клей Borden One-shot Resin для деревообработки, выпускаемый фирмой Borden Chemical UK Ltd (Германия). Клей представляет собой мелкодисперсное сыпучее вещество белого цвета, позволяющее получить водостойкие клеевые соединения, которые удовлетворяют требованиям стандарта DIN EN B 204 класса D3. В состав порошка введен отвердитель Hardener в количестве, необходимом для обеспечения высококачественного склеивания древесных материалов как холодным, так и горячим способом. Для приготовления раствора клея необходимо смешать две части порошка Borden One-shot Resin с одной частью холодной воды в развес. Расход клея при ручном нанесении составляет 100–150 г/м², при механическом нанесении расход меньше, нанесение клея – одностороннее. Давление прессования достигает 0,35–0,45 Н/мм². Время технологической выдержки склеенных деталей после снятия давления составляет 24 ч. Время склеивания зависит от температуры склеивания (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Зависимость времени склеивания от температуры

Время склеивания древесных материалов											
при температуре, ч				при температуре, мин				при температуре, с			
10°C	20°C	25°C	30°C	50°C	70°C	80°C	90°C	100°C	120°C	130°C	140°C
18	3	2	1	4,5	2,5	2,2	2	95	70	65	60

Жизнеспособность порошкового клея один год. Жизнеспособность раствора клея зависит от температуры воздуха в помещении (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Зависимость жизнеспособности клеевой композиции от температуры

Температура воздуха в помещении	10°C	15°C	20°C	25°C
Жизнеспособность	3–5 ч	2,0–2,5 ч	40–60 мин	20–30 мин

Выпускаются порошкообразные самоотверждающиеся карбамидоформальдегидные клеи марок Каурит 100, Каурит 106, Каурит 131, Каурит 171, Каурит 176. Указанные клеи в виде водных растворов применяют для склеивания древесины в поле токов высокой частоты, а также для склеивания массивной древесины холодным способом.

Концерн Dyno Industrier AS (Норвегия) для деревообрабатывающей промышленности производит синтетические смолы как жидкие, так и порошкообразные. Порошкообразные карбамидоформальдегидные смолы марок L-553, L-101 используются для производства гнuto-клееных заготовок, фанеры, мебельных деталей [4].

Порошкообразный малотоксичный карбамидоформальдегидный клей горячего прессования Клейберит 871.0 фирмы Kleiberit (Германия) предлагается для склеивания древесины и древесных материалов.

Меламиноформальдегидная порошкообразная смола IB (Канада) представляет собой белое сыпучее вещество с длительным сроком хранения и предназначена для высококачественного облицовывания и склеивания.

На рынке клеевых материалов фирм Kleiberit, Rakoll, Turner, Jowat, AkzoNobel, Superlok, Titebond II Premium Wood Glue и др. имеется широкий выбор клеев для склеивания столярных изделий, мебельного щита и клееного бруса.

Для склеивания деталей из массивной древесины основные поставщики клеевых композиций в Республике Беларусь предлагают эффективные отверждаемые дисперсионные одно- и двухкомпонентные клеи, обеспечивающие высокую водо- и теплостойкость клеевым соединениям. Отдельные клеевые композиции позволяют получать два клея из одного состава с различными заданными качествами склеивания по стандарту DIN EN 204/205 соответственно группе нагрузки по водостойкости как D3, так и D4, что дает возможность варьировать варианты нагрузки в зависимости от области дальнейшего применения клееного изделия. Согласно Европейским стандартам для изделий, подвергающихся атмосферным воздействиям, можно использовать клеи группы нагрузки D4 с чрезвычайно высокими водо- и теплостойкими свойствами. Для изделий, применяемых внутри помещения, возможно использование клеев группы нагрузки D3.

Дисперсионные клеи, имеющие целый ряд преимуществ, пришли на смену карбамидоформальдегидным клеям и все шире применяются в производстве современных экологически безопасных изделий. Если раньше их использование сдерживалось из-за их термопластичных свойств и ограниченной адгезии, то с созданием отверждаемых дисперсионных клеев и сополимерных дисперсий они с успехом могут применяться практически для всех видов склеивания в деревообрабатывающих производствах. Режимы склеивания отдельных клеев на основе ПВА-дисперсий представлены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Режимы склеивания отдельных клеев на основе ПВА-дисперсий

Параметр	Нормы склеивания для клея				
	Клейберит 303.0	Rakoll Duplit AL	Bindan-F	Иоваколь 102.70	Cascol 3339
Основа	ПВА-дисперсия		Синтетический клей	ПВА-дисперсия	
Отвердитель	5% турбо Клейберит 303.5	5 мас. ч. Rakoll Duplit	–	5% Иоват 195.40	–
Жизнеспособность при 20°C: – без отвердителя	Не ограничена		12 мес.	Не ограничена	6 мес.
– с отвердителем	24 ч	5 ч	–	5 ч	–
Нанесение клея	Одно- или двухстороннее		Двух-стороннее	Одно- или двух-стороннее	Одно-стороннее
Расход клея, г/м ²	120–200	180–200	130–170	150–200	60–200
Время открытой выдержки, мин	6–10	9–11	10–14	5–8	До 4
Время закрытой выдержки, мин	–	–		–	До 7
Давление прессования, Н/мм ²	0,7–1,0	0,1–0,5	0,7	≥0,2	0,1–1,0

Параметр	Нормы склеивания для клея				
	Клейберит 303.0	Rakoll Duplit AL	Bindan-F	Иоваколь 102.70	Cascol 3339
Время прессования, мин:					
– при 20°C	15	15–25	60	30	2–5
– 50°C	5	–	30	4	2
– 80°C	2	–	10	1,5	≥2
Класс водостойкости:					
– с отвердителем	D4	D4	–	D4	–
– без отвердителя	D3	–	D3	D3	D3

В Республике Беларусь выпускается поливинилацетатная дисперсия (ПВА) по ГОСТ 18992–1980 [6]. Однако она не получила широкого распространения из-за низкого качества склеивания. Для повышения водостойкости отечественной дисперсии в ее состав вводят специальные добавки, например меламино-, карбамидоформальдегидную смолу, хром азотнокислый [22].

При изготовлении изделий из древесины (например, стеновой и оконный брус), которые эксплуатируются в жестких климатических условиях, используют клеевые системы. Отличительной особенностью ЭПИ-системы от двухкомпонентного ПВА-клея класса D4 (EN 204) является то, что эта композиция характеризуется почти двукратным запасом прочности, тепло-, водостойкости (D4++) и долговечности.

Данное обстоятельство имеет огромное значение для белорусского производителя, когда температурно-влажностные условия цеха, древесины часто очень трудно соблюдать по различным причинам. Отсутствие требований последующей отделки склеенных изделий позволяет применять этот тип клея для наружных работ при изготовлении садовой мебели, при строительстве коттеджей (лестницы, перила, наружные балки перекрытий и т. д.). Главный недостаток ЭПИ-систем заключается в достаточно низкой жизнеспособности клеевой системы – от 30 до 60 мин.

При склеивании заготовок из древесины клей наносится равномерным слоем на одну из склеиваемых поверхностей, а при требовании повышенной водостойкости – на обе склеиваемые поверхности. Перед нанесением клея необходимо удалить пыль с поверхности склеиваемых заготовок, что улучшит качество клеевого соединения.

На малых и средних предприятиях, где объемы производства клееных изделий невелики, как правило, клей наносят вручную с использованием кистей, валиков, зубчатых шпателей. Для ускорения нанесения клея вручную и улучшения качества клеевого слоя применяется приспособление, включающее ванночку с клеем и два металлических валика: дозирующий с рельефной поверхностью и клеенаносящий, облицованный мягкой пористой резиной или поролоном. Однако при планировании объемов производства клееных изделий необходимо обязательно учитывать, что нанесение клея вручную является трудоемкой и малопроизводительной операцией, а также не позволяет получить ровный по величине и равномерно распределенный по поверхности клеевой слой. Поэтому на крупных предприятиях, производящих в больших объемах клееные деревянные изделия, широко используются различные клеенаносящие станки и установки. Современные клеенаносящие станки снабжены расходомерами, обеспечивающими заданное соотношение компонентов клея, блоками контроля и сигнализации, что позволяет оператору контролировать ход процесса, оперативно изменять его параметры, экономить клей.

При применении высокопроизводительного оборудования (скорость подачи ламели от 70 м/мин и выше) рекомендуется использовать отдельные клеевые системы, когда смола наносится на поверхность одной заготовки, а на поверхность второй – отвердитель. Для отдельного нанесения клея применяют специальное клеенаносящее оборудование. Преимуществами склеивания с использованием отдельного способа нанесения компонентов является неограниченная жизнеспособность клеевых составов; гарантированное качество нанесения (равномерность, количество) благодаря автоматическому контролю; увеличенное время сборки в комбинации с коротким временем прессования и последующим временем технологической выдержки; непрерывность процесса производства для чистки клеенаносящего оборудования после каждой смены; сокращение расхода клея до 10%; снижение до минимума отходов клея.

Склеивание брусков, брусьев и щитов пластями, на ребро или в торец осуществляется как холодным способом, так и горячим. Холодный способ склеивания проводят при температуре производства помещения (температура воздуха в помещении не ниже 18–20°C; относительная влажность воздуха – 55–65%). Горячий способ склеивания осуществляется при повышенной температуре. Он позволяет интенсифицировать процесс склеивания и требует применения специального оборудования.

Холодное склеивание выполняют при минимальных затратах энергии, но при этом требуется значительная выдержка для отверждения клея и выравнивания влажности. Процессы склеивания этим способом занимают большие производственные площади. Холодный способ склеивания используют главным образом для крупногабаритных изделий, особенно когда они имеют сложную форму.

Склеивание с нагревом осуществляется по разным вариантам подвода тепла к клеевому слою. Контактный прогрев применяется при склеивании тонких деталей, которые контактируют с горячей поверхностью пресса или ваймы. Естественно, что чем глубже от нагреваемой поверхности находится клеевой слой, тем больше требуется времени на нагрев. При нагреве за счет аккумулированного тепла (конвективный нагрев) передача тепла к клеевому слою осуществляется горячим воздухом или нагревом инфракрасными излучателями.

Нагрев в поле токов высокой частоты (ТВЧ) проводится в вайме или специальном прессе. Наименьшая продолжительность выдержки в прессе достигается при применении нагрева клеевого слоя в поле ТВЧ. При этом длительность склеивания зависит от марки клея, склеиваемых материалов и напряжения поля [11].

В процессе склеивания необходимо равномерное сжатие склеиваемых поверхностей по всей площади под давлением. Усилие прессования при склеивании древесины обычно находится в пределах от 0,1 до 1,2 Н/мм². С этой целью используют различное прессовое оборудование, приспособления, которые приводятся в действие пневматическим, гидравлическим или механическим способами и которые обеспечивают прижим склеиваемых поверхностей по пласти и перпендикулярно клеевым соединениям.

Для сращивания заготовок в длину существует широкий спектр установок различных фирм-изготовителей. Так, фирма Weinig (Германия) выпускает от самой простой ProfiJoint до высоко-

производительной линии типа HS 120 или линии Combiact, на которой одинаково легко делается вертикальное и горизонтальное сращивание.

В производстве клееного щита хорошо зарекомендовали себя линии фирмы Weinig на базе прессы циклического действия ProfiPress и прессы бесконечного действия ContiPress, на который с одной стороны непрерывно подаются ламели, а с другой – постоянно выходит щит. Прессы имеют оригинальную конструкцию и очень просты в эксплуатации. Возможен широкий выбор прессового оборудования (по его производительности и выходным размерам щит), например, зона прессования может быть рассчитана на длину щита (2,5; 3,5; 4,5; 5,5 м и т. д.). Возможно использование прессов с односторонней или двухсторонней загрузкой.

Клеенаносящее устройство наносит клей путем опрыскивания поверхности заготовки и работает тактами – подача клея осуществляется в нужный момент. Устройство легко снимается и чистится путем продувания.

Кроме того, клеенаносящее устройство укомплектовано калибрами для использования различного клея. При правильной эксплуатации прессов экономия клея составляет 60%. Если пресс задействован не на полную длину, то на нем параллельно можно изготавливать несколько щитов. Для установки рабочего размера имеется специальный упор.

Выбор прессового оборудования и его расчет ведут исходя из необходимого усилия, найденного по величине площади склеивания и удельного давления склеивания, указанного в технологических режимах. Усилие для склеивания поверхностей определяют по формуле

$$Q = \sum Sq, \quad (7.1)$$

где Q – общее усилие склеивания, Н; $\sum S$ – суммарная площадь склеиваемых заготовок, мм²; q – удельное давление склеивания, Н/мм².

Исходя из этого усилия, находят необходимое количество прессовых приспособлений. Простейшими прессующими устройствами для склеивания заготовок являются винтовые зажимы – струбцины. Струбцины могут развивать давление до 8 кН. Нормирование давления при зажиме заготовок в струбцине осуществляется динамометрическим ключом, регистрирующим усилие привода или крутящий момент [11].

Усилие винта, развиваемое струбциной, вычисляют по следующей формуле:

$$Q = nPLK, \quad (7.2)$$

где Q – осевое усилие винта, Н; n – число винтов; P – сила, приложенная при завинчивании винта (на динамометрическом ключе), Н · мм; L – плечо рычага, м; K – коэффициент усиления винта, который находят по формуле

$$K = \frac{1}{r \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0,3\mu d}, \quad (7.3)$$

где r – радиус резьбы винта, мм; α – угол подъема резьбы; φ – угол трения в винтовой паре (30°); μ – коэффициент трения торца винта; d – диаметр торца, мм.

Угол подъема резьбы определяют по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{\pi d_{\text{cp}}}, \quad (7.4)$$

где h , d_{cp} – соответственно шаг и средний диаметр винта, мм.

Основным показателем прочности клеевого соединения служит предел прочности при сдвиге, при скалывании вдоль волокон древесины, при изгибе. В Беларуси действует ГОСТ 15613.1–1984 [23], который устанавливает методы определения предела прочности клеевого соединения на гладкую фугу при скалывании вдоль волокон клееной массивной древесины. Сущность метода заключается в определении разрушающей нагрузки при испытании образца и вычислении предела прочности при этой нагрузке. Из клеенных заготовок выпиливают образцы, форма и размеры которых представлены на рис. 7.1.

Образцы устанавливают в приспособление для испытаний (рис. 7.2). Поверхности уступов образца должны плотно прилегать к соответствующим поверхностям приспособления.

Приспособление с установленным в нем образцом помещают на опорную платформу испытательной машины так, чтобы ось приспособления совпадала с осью нагружающего устройства испытательной машины. Образец нагружают непрерывно при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины $(0,6 \pm 0,15)$ мм/мин. Испытания продолжают до разрушения образца.

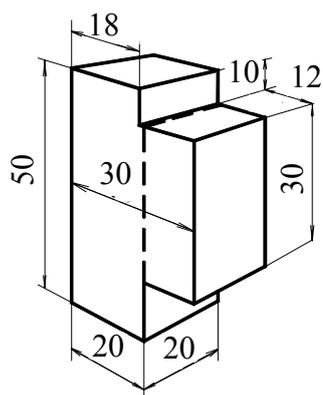


Рис. 7.1. Общий вид образца

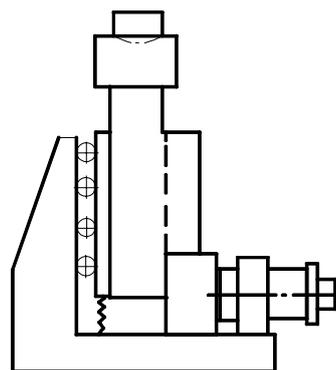


Рис. 7.2. Приспособление для испытания образцов

Европейский стандарт EN 205 ориентирован на испытание прочности склеивания древесины при сдвиге. Для испытаний используют заготовки из древесины бука плотностью $(700 \pm 100) \text{ кг/м}^3$. При этом строго регламентируется влажность древесины (12%) и условия акклиматизации древесины перед склеиванием: температура $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха $(65 \pm 5)\%$ или $(+23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(50 \pm 5)\%$ соответственно. Испытания проводят на образцах, форма и размеры которых показаны на рис. 7.3. Волокна древесины должны располагаться вдоль плоскости склейки (по направлению растяжения при испытаниях), а годовые кольца – под углом $30\text{--}90^\circ$ к плоскости склейки. Испытания осуществляют не ранее чем через 7 сут после склеивания заготовок.

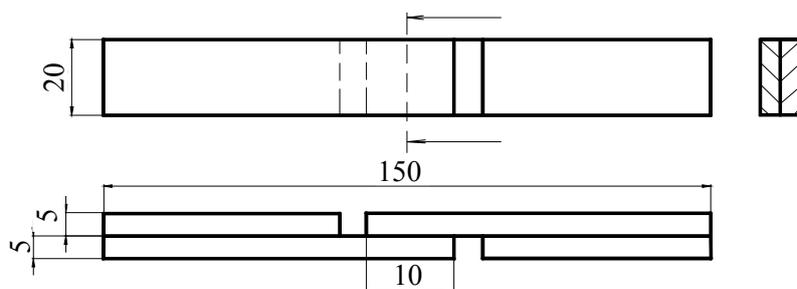


Рис. 7.3. Общий вид образца по EN 205

При эксплуатации клевого соединения большое значение имеет его стойкость к различным видам внешних воздействий (чаще всего воды, температуры и их совместного действия при циклических изменениях). Она характеризуется прочностью кле-

вого соединения после таких воздействий, что также предполагает проведение испытаний.

Полученные в результате испытаний значения прочности клеевых соединений оценивают путем сопоставления с нормативными показателями, которые также регламентируются стандартами.

Нормативы прочности клеевых соединений древесины на сдвиг в соответствии с EN 205 приводятся в европейском стандарте EN 204, в котором одновременно регламентируются требования к водостойкости клеевых соединений. Этот стандарт предусматривает классификацию клеевых соединений на четыре группы нагрузки по водостойкости: D1, D2, D3 и D4.

Деление клеевых соединений по водостойкости на четыре группы есть и в ГОСТ 17005–1982 [24], где за основу взяты результаты испытаний при скалывании вдоль волокон древесины по ГОСТ 15613.1–1984 [23]. Нормативы в соответствии с ГОСТ 17005–1982 ниже, чем в случае EN 204, однако, учитывая различные методы испытаний, их вряд ли можно сравнивать.

Цель работы – изучение требований, предъявляемых к склеиванию древесных материалов и клеевым материалам; освоение условий и режимов склеивания заготовок из древесины при применении различных клеев; изучение стандартных методов [23] определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины и применение этих методов на практике с целью проверки качества склеивания заготовок из массивной древесины.

Приборы и материалы: испытательная машина марки Р-0,5 с погрешностью измерения нагрузки не более 1%; приспособление для испытания на скалывание; штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм; динамометрический ключ; струбцина для склеивания заготовок; влагомер МГ-4; заготовки массивной древесины влажностью $(8 \pm 2)\%$; клей различных марок (ПВА, карбамидоформальдегидный клей и др.).

Порядок выполнения работы

Студентам выдают заготовки из древесины хвойных пород толщиной 20 мм, шириной 45 мм и длиной 250–300 мм. Образцы должны иметь шероховатость $R_{m \max}$ не выше 200 мкм. Для склеивания

массивной древесины используют несколько видов клеев (как карбамидоформальдегидных, так и ПВА-дисперсий или клеев на основе ПВА-дисперсий и др.) различных фирм-производителей для сравнения.

Работу проводят по одному из нижеперечисленных вариантов.

1. Изучают влияние продолжительности выдержки с момента окончания механической обработки заготовки до момента нанесения клея на ее поверхность.

2. Исследуют влияние расхода клея на прочность склеивания.

3. Изучают влияние продолжительности открытой выдержки ПВА-клея или клея на основе ПВА-дисперсии после его нанесения на поверхность древесины на прочность склеивания.

4. Исследуют влияние усилия прессования на прочность склеивания заготовок из массивной древесины.

Температура древесины, клеев и воздуха в помещении, где производят склеивание, должна составлять $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, а влажность воздуха в помещении – 70%.

Заготовки из древесины взвешивают и замеряют их линейные размеры по ГОСТ 6564–1984 [25]. Рассчитывают объемную массу материала каждой заготовки (ρ , кг/м^3). Определяют влажность склеиваемых заготовок влагомером. Разность влажности склеиваемых заготовок не должна превышать 2%. Результаты замеров записывают в табл. 7.5.

Склеиваемые фугованные заготовки шлифуют непосредственно перед склеиванием, удаляют пыль для улучшения качества клеевого соединения. Определяют краевой угол смачивания обработанной поверхности.

Клей наносят равномерным слоем на каждую (или одну) из склеиваемых поверхностей (вручную с использованием шпателя), в зависимости от характеристики клея и назначения склеиваемой детали в изделии. Расход клея и режимы склеивания принимают, руководствуясь характеристикой клея. Определяют фактический расход клея.

По истечении времени открытой выдержки (для ПВА-клеев) детали с нанесенным на них клеем складывают склеиваемыми поверхностями и сжимают в прессе или в струбцине. Температура склеивания составляет 20°C . Усилие для склеивания заготовок в прессе рассчитывают по формуле (7.1). Усилие винта, развиваемое струбциной, определяют по формуле (7.2) с использованием

динамометрического ключа. Расчетное усилие должно обеспечивать полное смыкание склеиваемых поверхностей до тех пор, пока не будет достигнута необходимая начальная прочность.

Склеенные детали вынимают из пресса, укладывают на ровную поверхность (поддон) через прокладки сечением 15×25 мм, расстояние между которыми должно быть не более 300–400 мм, и выдерживают в стопе. Детали хорошо приклеены, когда при визуальном осмотре клеевой шов по всей длине без зазоров, перекосов и подтеков клея.

Таблица 7.5

Определение предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон

Номер образца	Марка клея	Фактический расход клея $Q_{\text{ф}}$, г/м ²	Влажность древесины, %	Плотность древесины, кг/м ³	Краевой угол смачивания θ , град.	Размеры площади скалывания образца, мм		Разрушающая нагрузка P , Н	Прочность при скалывании, Н/мм ²	Разрушение по древесине, % площади
						ширина b	длина l			
1										
2										
3										
Среднее значение										
Контрольные образцы из массивной древесины										
1										
2										
Среднее значение										

Склеенные заготовки можно пускать в производство для дальнейшей механической обработки не раньше чем через 24–72 ч. Продолжительность технологической выдержки зависит от вида клея. Технологическая выдержка необходима для окончательного отверждения клея, а также для выравнивания внутренних напряжений, возникших при склеивании в заготовках. При определении прочностных свойств по ГОСТ 15613.1–1984 [23] заготовки выдерживают в течение 3 сут после склеивания.

После технологической выдержки склеиваемые заготовки раскаивают на образцы (см. рис. 7.1 на с. 94) для испытания в

количестве не менее 5 штук из каждой склеенной заготовки. Одновременно выпиливают образцы из массивной древесины для проведения контрольных испытаний.

Заготовки из массивной древесины, склеенные на гладкую фугу, и контрольные испытывают на предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон [23] по методике, описанной выше, с использованием разрывной машины. Разрушающую нагрузку определяют с погрешностью не более 50 Н. При испытании образцов фиксируют процент разрушения по древесине. Результаты, полученные в ходе проведения испытаний, заносят в табл. 7.5 (см. на с. 97).

Обработка результатов и их анализ

Контроль расхода клея $Q_{\text{ф}}$, г/м², осуществляют путем взвешивания заготовок с точностью $\pm 0,1$ г и рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{ф}} = \frac{g_2 - g_1}{S}, \quad (7.5)$$

где g_2 – вес заготовки после нанесения клея, г; g_1 – вес заготовки до нанесения клея, г; S – площадь заготовки, м².

Вычисляют объемную массу ρ , кг/м³, материала образцов по следующей формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (7.6)$$

где m – масса образца, кг; V – объем образца, м³.

Краевой угол смачивания определяют с помощью бинокулярной лупы, а затем рассчитывают тангенс угла θ , который находят по формуле

$$\text{tg } \theta = \frac{4dh}{d^2 - 4h^2}, \quad (7.7)$$

где θ – краевой угол смачивания, град.; d – диаметр капли, мм; h – высота капли, мм.

Предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон $\sigma_{\text{ск}}$, Н/мм², вычисляют с округлением до 0,1 Н/мм² по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{ск}} = \frac{P}{bl}, \quad (7.8)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; b – ширина площади скалывания образца, мм; l – длина площади скалывания образца, мм.

Результаты вычислений записывают в табл. 7.5 (см. на с. 97).

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты определений анализируются студентом. По результатам проведенной работы строятся графические зависимости, которые впоследствии анализируются студентом.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите причины, по которым проводится склеивание массивной древесины для изготовления деталей (изделий).

2. Назовите требования, которые предъявляются к заготовкам из древесины, подлежащим склеиванию.

3. Какие условия должны быть созданы в помещении, где производят склеивание древесины? Опишите условия акклиматизации древесины перед склеиванием.

4. Перечислите существующие способы склеивания древесины, оборудование, режимы склеивания.

5. Какие клеевые композиции используют для склеивания массивной древесины? Чем руководствуются при выборе клея для склеивания древесины?

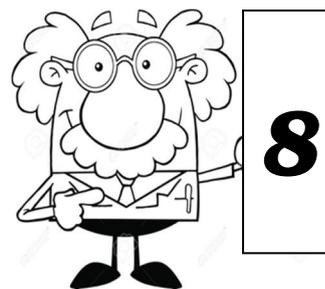
6. Назовите преимущества склеивания с применением раздельного способа нанесения компонентов клея на поверхность заготовок. Когда этот способ приемлем?

7. Как производится расчет усилия, необходимого для склеивания древесины?

8. Опишите методику определения прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон и суть метода.

9. В чем заключается сущность испытания клеевого соединения по стандарту EN 205?

10. Какие группы нагрузки по водостойкости предусматривает стандарт EN 204?



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ПРОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

Общие положения

Склеивание заготовок из древесины по длине позволяет получить детали с требуемыми размерами, увеличить их формоустойчивость, улучшить декоративные свойства изделий, повысить полезный выход деталей и заготовок.

Склеиваемые заготовки должны быть обработаны в соответствии с требованиями конструкторской и технологической документации. Точность формирования зубчатых шипов должна соответствовать качеству 13. Шероховатость поверхностей $R_{m \max}$, образующих просматриваемый (наружный) шов, должна быть не выше 200 мкм. Винтовая покособленность заготовок не должна превышать 2 мм на 1000 мм длины.

Влажность древесины, предназначенной для склеивания, имеет большое значение. На практике принимают среднюю величину влажности древесины $W = (10 \pm 2)\%$. Склеиваемые между собой заготовки не должны отличаться по влажности более чем на 6%. Перепад влажности в соседних слоях не должен превышать 2,0–2,5%. Рекомендуется принимать влажность заготовок на 2–3% ниже величины влажности, равновесной условиям эксплуатации, так как набухание волокон и сжатие их в поперечном направлении менее опасно, чем усушка, вызывающая в древесине отрывающие и скалывающие усилия.

Основным пороком, нормируемым в склеиваемых заготовках, являются сучки, которые более других пороков влияют как на механическую прочность самой древесины, так и на прочность клеевых соединений при эксплуатации. В зоне соединения не допускаются сучки диаметром более 5 мм. Сучки, допускаемые техническими требованиями на продукцию, должны находиться от основания шипов на расстоянии не менее трех размеров сучка, измеренного в направлении длины заготовки. При вырезке недопускаемого сучка рез должен выполняться от него на расстоянии не менее одного размера этого сучка.

Кроме сучков, в заготовках нормируются трещины, наклон волокон, сердцевина, гниль и т. п.

Для обеспечения качественного склеивания заготовки и применяемый клей должны пройти акклиматизацию. При выборе клея следует обращать внимание на его технологические свойства. Жизнеспособность клея должна в 1,5–2 раза превышать время соединения и запрессовки заготовок. Вязкость клея по ВЗ-4 должна быть в пределах 60–400 с. Клей, как правило, наносят вальцовыми клеенаносящими станками на обе поверхности склеивания. Критерием достаточности количества нанесенного клея служит его выдавливание в виде цепочки мелких капель по всей длине клеевого шва. Излишнее количество нанесенного клея не ухудшает качество склеивания, однако приводит к сильному загрязнению оборудования и удорожанию процесса.

Для склеивания заготовок на зубчатый шип можно использовать карбамидоформальдегидный клей на основе смолы КФ-МТ или комбинированный карбамидополивинилацетатный клей на основе смолы КФ-Ж, который применяется как двухкомпонентная система: на один торец наносят ПВАД, на другой – карбамидоформальдегидную смолу. Оптимальное значение этого показателя конкретизируется в зависимости от породы склеиваемой древесины и принятого способа склеивания. Отверждение клея в зубчатых соединениях производится при температуре склеивания, которая должна быть не менее 16°C. Время выдержки при этой температуре для достижения соединением технологической прочности должно быть не менее 12 ч для терморезактивных клеев и не менее 3 ч для дисперсионных клеев.

Склеивание заготовок торец в торец по длине осуществляется двумя способами: склеиванием при температуре окружающей среды

(холодное склеивание) и ускоренным склеиванием при повышенной температуре (склеивание с нагревом). Для ускорения процесса отверждения клея в клеевых швах используют различные способы нагрева, однако основным является периферийный (контактный или конвективный) нагрев и диэлектрический нагрев клеевых швов в поле токов высокой частоты (режимы склеивания рассмотрены в лабораторной работе № 7). Склеивание должно производиться не позднее чем через 24 ч после формирования шипов.

Требования, предъявляемые к клеям, марки клеев и режимы указаны в лабораторной работе № 7.

Последовательность операций при склеивании (сращивании) брусковых деталей по длине может быть следующей:

1. Торцовка досок на заданный размер заготовок.
2. Раскрой заготовок по ширине.
3. Стругание заготовок на четырехсторонних продольно-фрезерных станках.
4. Торцовка на заданный размер с вырезкой дефектов в проструганных деталях с получением при этом короткомерных деталей разной длины.
5. Фрезерование зубчатых клинообразных шипов.
6. Нанесение клея на зубчатые шипы короткомерных деталей.
7. Запрессовка соединений и склеивание в полномерную клееную заготовку.
8. Раскрой полномерной клееной заготовки на заданную длину.
9. Выдержка полученных заготовок в стопе.
10. Окончательное строгание в размер по сечению на четырехсторонних продольно-фрезерных станках.

В зависимости от способа фрезерования зубчатые шипы можно выполнять вертикальными, горизонтальными, диагональными (рис. 8.1).

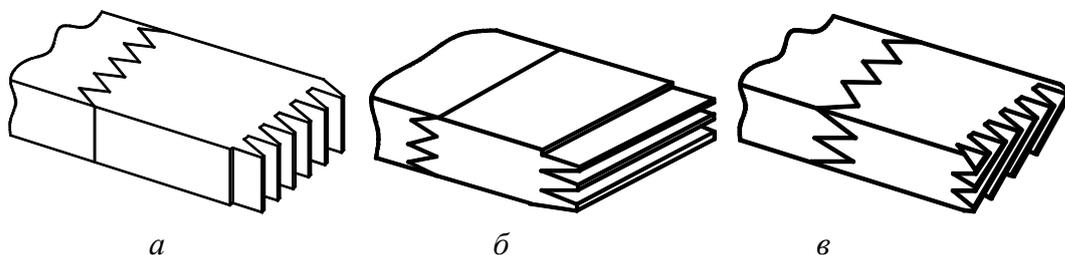


Рис. 8.1. Виды зубчатых клеевых соединений:
а – вертикальное; *б* – горизонтальное; *в* – диагональное

Форма зубчатых клеевых соединений должна соответствовать ГОСТ 19414–1990 [26] (рис. 8.2).

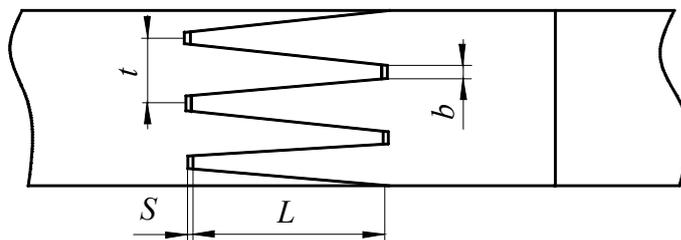


Рис. 8.2. Форма зубчатых клеевых соединений:
 S – зазор в стыках запрессовки; L – длина шипа;
 t – шаг шипа; b – затупление шипа

Геометрические параметры зубчатых клеевых соединений даны в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Геометрические параметры зубчатых клеевых соединений

Длина шипа L , мм	Шаг шипа t , мм	Затупление шипа b , мм	Максимальное удельное торцовое давление q , МПа
50,0	12,0	2,0	4,0
32,0	8,0	1,0	8,0
20,0	6,2	1,0	10,0
10,0	3,8	0,6	12,0
4,0	1,75	0,2	13,0

Основной контролируемый параметр технологического режима склеивания по длине – удельное торцовое давление, рекомендуемые величины которого приведены в табл. 8.1. Удельное торцовое давление прессования устанавливают в зависимости от геометрических параметров зубчатого соединения, размеров поперечного сечения заготовок и породы склеиваемой древесины.

При установлении значения удельного торцового давления необходимо соблюдать следующие условия:

- толщина клеевого слоя должна быть не более 0,1 мм;
- целостность соединений должна сохраняться при технологических перемещениях склеиваемых деталей (элементов).

Прессование зубчатых соединений выполняется на торцовых прессах циклического или непрерывного действия с передачей

усилия прессования на торцы заготовки или через фрикционные устройства.

Важным требованием к режиму изготовления зубчатых соединений является поддержание определенного цикла прессования. Заданное давление прессования должно автоматически поддерживаться в течение не менее чем 2 с. Фактическое время прессования зависит от вязкости применяемого клея и должно уточняться специальными испытаниями. После достижения клеевыми швами технологической прочности изделие может быть извлечено из пресса, но до выполнения операций механической обработки должно пройти не менее 8 ч.

При склеивании твердолиственных пород древесины давление увеличивается на 20%. Продолжительность воздействия полного торцового давления на зубчатые клеевые соединения должно быть не менее 2 с. После запрессовки в зубчатых клеевых соединениях должен оставаться зазор в стыках S со значением не более 5% длины шипа L .

Качество склеивания определяется по внешнему виду и прочности изделия. Прочность склеивания оценивается по результатам испытаний стандартных образцов, подвергнутых механическому разрушению. Нормативно-технической документацией на изделие из древесины устанавливают нормативную прочность склеивания. При качественном склеивании нормативное сопротивление при разрушении образцов должно быть выше или равно нормативному сопротивлению такого же вида нагрузок склеиваемых материалов. Относительная прочность зубчатого клеевого соединения должна иметь не менее 60% удельной прочности древесины. Основным показателем прочности клеевого соединения служит предел прочности – это максимальное напряжение, достигнутое в момент разрушения образца.

В производственных условиях для быстрой оценки качества зубчатых соединений испытывают образцы, вырезанные из склеенных на зубчатый шип заготовок. Образцы должны иметь сечение по толщине и ширине, равное полному сечению испытываемой заготовки. Испытания клеевых соединений на зубчатых шипах производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 19414–1990 [26]. Метод основан на принципе определения показателя относительной прочности клеевого соединения по отношению к древесине, выраженного в процентах.

Цель работы – изучение требований, предъявляемых к склеиваемым заготовкам и клеевым материалам; изучение условий и технологических режимов склеивания заготовок по длине при помощи зубчатых шипов; исследование влияния основных технологических факторов на прочность зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе и определение максимальной разрушающей нагрузки; нахождение величины предела прочности при статическом изгибе, согласно ГОСТ 15613.4–1978.

Приборы и материалы: испытательная машина РМ-0,5 с погрешностью измерения нагрузки не более 1%; приспособление для испытаний образцов на статический изгиб; штангенциркуль; влагомер МГ-4; образец, вырезанный из склеенных на зубчатый шип заготовок в соответствии с ГОСТ 15613.4–1978.

Порядок выполнения работы

Работу проводят по одному из следующих вариантов.

1. Определяют зависимость влияния марки и вида клея на прочность зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе и находят максимальную нагрузку, которая разрушит образец.

2. Изучают влияние геометрических параметров зубчатых клеевых соединений на усилие прессования.

Студентам выдают 4–5 образцов в виде прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм, длиной 300 мм и зубчатым клеевым соединением посередине длины, выпиленных из склеенных на зубчатый шип готовых заготовок согласно ГОСТ 15613.4–1978. Расположение шипов в образце по ширине соединения должно быть симметричным относительно продольной оси образца и одинаковым во всех испытываемых образцах.

Перед испытанием измеряют температуру и влажность в помещении, где проводят лабораторные исследования. Параметры должны соответствовать технологическим режимам, которые указаны в лабораторной работе № 6. Нумеруют каждый образец. Измеряют в каждом образце длину шипа и шаг соединения; посередине длины образца измеряют и ширину b в направлении, перпендикулярном приложению нагрузки, и толщину h в направлении приложения нагрузки с точностью измерения не более 0,1 мм. Полученные данные записывают в табл. 8.2.

**Результаты опытов по определению прочности
зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе**

Номер образца	Размеры образца, мм		Расстояние между центрами опор l , мм	Разрушающая нагрузка P_{\max} , Н	Предел прочности σ , МПа (кгс/см ²)	Характер разру- шения
	ширина b	толщина h				

Испытания проводят по схеме, приведенной на рис. 8.3.

Опоры и нагружающие ножи должны быть высотой не менее двух толщин h образца. Нагружающие ножи должны иметь радиус закругления R , равный $1,5-4,0h$. Опоры должны состоять из плоских стальных площадок толщиной не менее $0,006h$ и шириной $0,85-1,0h$. Длина ножей и опорных площадок должна быть не менее максимальной ширины испытываемых образцов. Расстояние между центрами опор l устанавливают в зависимости от толщины образца $12-16h$. Расстояние между центрами нагружающих ножей должно быть равно $1/3$ расстояния между центрами опор [26].

Подготовленный образец устанавливают на опоры приспособления по схеме, представленной на рис. 8.3, и закрывают ограждающее устройство.

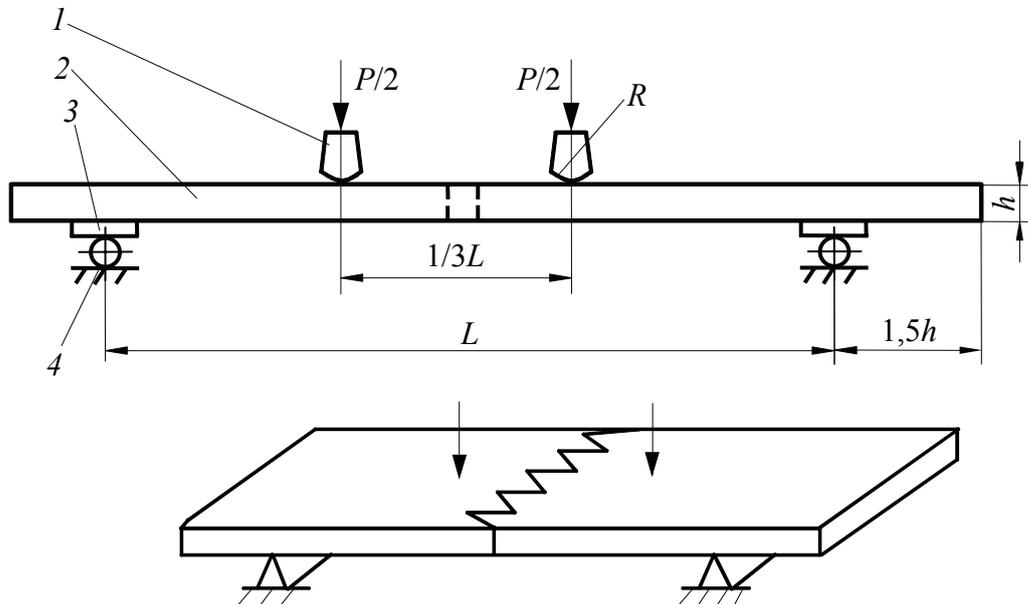


Рис. 8.3. Приспособление для испытания:

1 – нагружающий нож; 2 – образец;
3 – стальная площадка; 4 – ось (каток)

Включают машину и нагружают образец равномерно с постоянной скоростью, равной 8 мм/мин. По шкале машины определяют максимальную разрушающую нагрузку P_{\max} с погрешностью не более 1%.

Обработка результатов и их анализ

Рассчитывают предел прочности зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе σ , МПа (кгс/см²), с округлением до 0,1 МПа по формуле

$$\sigma = \frac{P_{\max} l}{bh^2},$$

где P_{\max} – максимальная разрушающая нагрузка, Н (кгс); l – расстояние между центрами опор, мм (см); b – ширина образца, мм (см); h – толщина образца, мм (см).

За результат опыта принимают среднее арифметическое значение предела прочности всех исследуемых образцов, вырезанных из склеенных на зубчатый шип заготовок. Полученное значение предела прочности зубчатого клеевого соединения должно быть не менее 60% прочности древесины.

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты испытаний анализируют, сравнивают с ГОСТом, обращают внимание, чтобы значения клеевого соединения были не ниже приведенных в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Предел прочности древесины при статическом изгибе

Порода	Предел прочности, кг/см ² , при влажности, %	
	12	30 и более
Лиственница	1115	615
Сосна	860	495
Ель	795	440
Ясень	1230	745
Береза	1095	595
Бук	1085	645

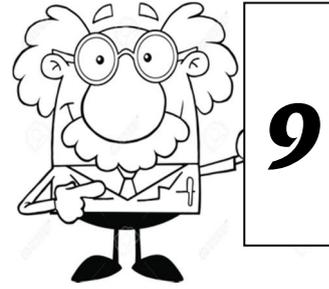
Порода	Предел прочности, кг/см ² , при влажности, %	
	12	30 и более
Дуб	1075	680
Ольха	805	495
Осина	780	455
Тополь	690	405

По результатам испытаний, согласно выбранному варианту, строят графическую зависимость, делают вывод о степени влияния выбранных факторов на прочность склеивания.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к материалам, применяемым при склеивании заготовок на зубчатый шип?
2. Назовите формы зубчатых клеевых соединений.
3. Как определить предел прочности зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе? В чем сущность испытания?
4. Как оценивается качество склеивания заготовок на зубчатый шип?
5. Найдите максимальную разрушающую нагрузку, когда расстояние между центрами опор составляет 200 мм, ширина образца – 50 мм, толщина – 16 мм, предел прочности зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе – 0,8 МПа.
6. Какой геометрический параметр зубчатых клеевых соединений оказывает влияние на выбор усилия прессования?



Лабораторная работа

СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ УДЕРЖИВАТЬ КРЕПЛЕНИЯ

Общие положения

Уникальное свойство древесины и древесных материалов удерживать гвозди, шурупы, скобы, костыли и другие крепления имеет важное практическое значение. При изготовлении изделий из древесины и древесных материалов в качестве закрепительных элементов широко используются шурупы (гвозди). Соединения на шурупах сравнительно простые и в большинстве случаев достаточно крепкие, применяются как способ крепления самостоятельно или вместе со склеиванием. Шурупами в изделии крепят различную фурнитуру (петли, ручки, замки и др.), а также задние стенки корпусной мебели или, например, заглушины при изготовлении мягкой мебели. Шурупы часто используют для дополнительного крепления соединения на клею при установке брусков различного назначения в изделии, накладных декоративных элементов и других деталей.

При забивании гвоздя в древесину или древесные материалы происходит частичное ее разрушение, и возникают упругие деформации примыкающих к гвоздю областей. На боковую поверхность гвоздя со стороны деформированной древесины оказывается давление, которое вызывает трение, удерживающее гвоздь.

Усилие, необходимое для выдергивания шурупов, при прочих равных условиях больше, чем для выдергивания гвоздей, так как в этом случае к трению присоединяется сопротивление волокон

перерезанию и разрыву. Для шурупов одинакового с гвоздями диаметра, но вдвое меньшей длины это усилие оказалось в 2 раза больше [27].

Прочность крепления шурупами (гвоздями) зависит от способности древесины и древесных материалов удерживать их, что обуславливается в первую очередь объемной массой и породой материала. Сила удержания шурупов (гвоздей) определяется влажностью древесины и древесных материалов. Кроме того, сила удержания шурупов (гвоздей) зависит от их диаметра, глубины и, прежде всего, направления закручивания (забивания гвоздей) в торцовую, радиальную или тангенциальную поверхность массивной древесины, в пласть или кромку древесных (древесно-стружечных) плит.

С повышением плотности сопротивление древесины выдергиванию гвоздя (шурупа) увеличивается. Так, забивание и выдергивание гвоздей из древесины граба (плотность 730 кг/м^3) требует усилий примерно в 4 раза больших, чем из древесины сосны (плотность 440 кг/м^3). Способность древесины дуба, бука, ясеня удерживать шурупы при их выдергивании в 1,5–2 раза выше, чем для древесины сосны.

Чем выше влажность древесины, тем меньше усилие для забивания (закручивания) гвоздя (шурупа). Забитый в сырой образец гвоздь вытащить после высыхания древесины легче, чем гвоздь, забитый сразу в сухую древесину. Это объясняется тем, что в первом случае часть упругих деформаций переходит в замороженные, остаточные, и трение, удерживающее гвоздь в древесине, снижается. Во влажной древесине железные гвозди ржавеют, и по мере их коррозии сила, удерживающая их, также ослабевает.

Сопротивление выдергиванию гвоздей, прежде всего, зависит от направления волокон. Так, по данным МЛТИ, усилие, необходимое для выдергивания гвоздя, забитого в торец (вдоль волокон) образцов из древесины дуба, сосны, осины, ольхи и ели, на 10–50% меньше усилия, прилагаемого к гвоздю, забитому поперек волокон; сопротивление выдергиванию гвоздей, забитых в радиальном и тангенциальном направлениях, практически одинаково.

Способность столярных плит удерживать гвозди (шурупы) примерно такая же, как и древесины сосны. Древесно-стружечные плиты при закручивании шурупов в пласть имеют более высокую удерживающую способность, чем при закручивании в кромку плиты.

При конструировании изделий из древесины и древесных материалов, выборе способов крепления их составных элементов между собой необходимо знать и учитывать способность применяемых материалов удерживать гвозди и шурупы. Поэтому проводят испытания по определению удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов, согласно ГОСТ 16483.33–1977 [28] для массивной древесины и ГОСТ 10637–2010 [29] для древесно-стружечных плит.

Определение удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов из массивной древесины по ГОСТ 16483.33–1977 [28] выполняют на образцах, имеющих форму бруска сечением 50×50 мм и длиной 150 мм (рис. 9.1).

Шурупы ввинчивают в предварительно просверленные на глубину (16 ± 1) мм отверстия по схеме разметки образца (рис. 9.1). Диаметр отверстия под шуруп должен быть равен 2 мм для пород с плотностью древесины меньше 600 кг/м^3 , 3 мм – для пород с плотностью от 600 до 700 кг/м^3 и 3,5 мм – для пород с плотностью больше 700 кг/м^3 . Гвозди (шурупы) выдергивают не позднее чем через 2–3 ч после их забивания (закручивания) в древесину.

Определение удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов из древесно-стружечной плиты по ГОСТ 10637–2010 [29] проводят на образцах, имеющих форму квадрата со стороной 50 мм.

При установлении удельного сопротивления выдергиванию гвоздей забивают гвоздь в центре выбранной грани образца в кромку на $\frac{2}{3}$ его длины, а в плась – на толщину плиты. При определении удельного сопротивления выдергиванию шурупов в центре грани образца перпендикулярно ей просверливают отверстие диаметром 2,5 мм, сквозное при закручивании шурупа в плась и на глубину, превышающую длину резьбовой части шурупа, при закручивании в кромку образца.

Согласно ГОСТ 10632–2014 [14], справочные значения физико-механических показателей древесно-стружечных плит представлены в табл. 9.1.

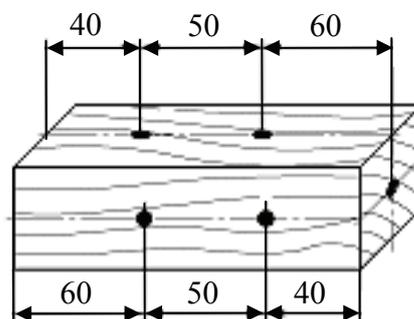


Рис. 9.1. Образец для испытаний

Физико-механические показатели древесно-стружечных плит

Показатель	Значение для плит марки	
	П-А	П-Б
Плотность, кг/м ³	550–820	–
Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм:		
– из пласти	5535	5535
– кромки	4530	4530

Цель работы – изучение стандартных методов [28, 29] определения удельного сопротивления массивной древесины и древесно-стружечных плит выдергиванию шурупов и гвоздей и применение этих методов на практике.

Приборы и материалы: испытательная машина марки Р-0,5 с погрешностью измерения нагрузки не более 1%; приспособление для выдергивания гвоздей и шурупов; штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм; измерительная линейка с погрешностью измерения не более 1 мм; весы с погрешностью взвешивания не более 0,1 г; влагомер МГ-4; образцы из массивной древесины различных пород, имеющие форму бруска сечением 50×50 мм и длиной 150 мм; образцы из древесно-стружечных плит, имеющие форму квадрата со стороной 50 мм; гвозди диаметром 2 мм, длиной 50 и 40 мм; шурупы диаметром 4 мм, длиной 50 и 40 мм.

Порядок выполнения работы

Согласно ГОСТ 16483.33–1977 [28], сопротивление, оказываемое древесиной выдергиванию гвоздей или шурупов, определяют следующим образом.

Исследуемые образцы из древесины (см. рис. 9.1 на с. 111) взвешивают и замеряют их линейные размеры. Рассчитывают объемную массу материала образцов (ρ , кг/м³) и записывают в табл. 9.2.

Для проведения испытания применяют гвозди диаметром 2 мм, длиной 50 мм и шурупы диаметром 4 мм, длиной не более 50 мм. Отобранные гвозди и шурупы обезжиривают, не допускается использование ржавых или искривленных гвоздей и шурупов (каждый гвоздь или шуруп применяют один раз).

Результаты определения удельного сопротивления древесины
и древесных материалов выдергиванию гвоздей (шурупов)

Вид материала (порода)	Влажность образца W , %	Объемная масса ρ , кг/м ³	Направление забивания (ввинчивания) гвоздя (шурупа)	Глубина забивания (ввинчивания) L , мм	Максимальная нагрузка P_{\max} , Н	Удельное сопротивление $P_{\text{уд}}$, Н/мм (МПа)
------------------------	---------------------------	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------	------------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------------------------

В каждый из двух одинаковых образцов из массивной древесины перпендикулярно к его поверхности в радиальном, тангенциальном направлении и вдоль волокон забивают гвозди или закручивают шурупы в количестве 6 штук по схеме, показанной на рис. 9.1.

Глубина забивания гвоздей в древесину (без заострения) составляет (30 ± 1) мм, а закручивания шурупов – (20 ± 1) мм. Образцы с гвоздями (шурупами) размещают в приспособлении для выдергивания гвоздей и шурупов (рис. 9.2), которое соединено с захватами испытательной машины таким образом, чтобы ось гвоздя (шурупа) совпадала с осью приспособления.

Затем выдергивают гвоздь (шуруп) в направлении его оси при работе машины на растяжение и непрерывном перемещении подвижного захвата машины с постоянной скоростью 10 мм/мин или в течение 60–120 с. Максимальную нагрузку сопротивления выдергиванию шурупа оценивают по шкале испытательной машины с погрешностью не более 1% и записывают в табл. 9.2.

После испытания определяют влажность образцов с помощью влагомера МГ-4, результаты измерений заносят в табл. 9.2.

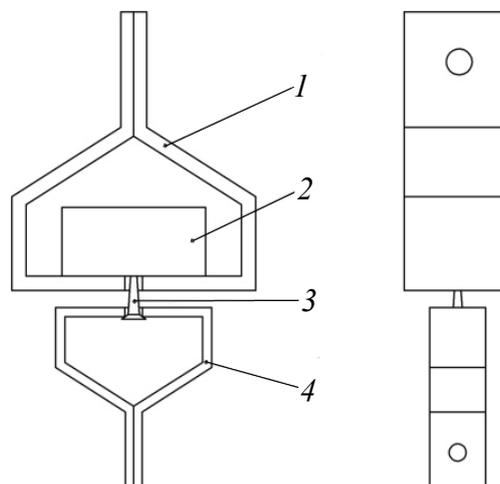


Рис. 9.2. Приспособление для выдергивания гвоздей (шурупов):
1 – хомут для укрепления образцов;
2 – образец; 3 – гвоздь (шуруп);
4 – хомут для захвата гвоздя (шурупа)

В соответствии с ГОСТ 10637–2010 [29] сопротивление, оказываемое древесно-стружечной плитой выдергиванию гвоздей или шурупов, определяют следующим образом.

Исследуемые образцы (не менее двух) из древесно-стружечной плиты (размером 50×50 мм) взвешивают и измеряют их линейные размеры. Рассчитывают объемную массу образцов (ρ , кг/м³) и записывают в табл. 9.2 (см. на с. 113).

Для проведения испытания применяют гвозди диаметром 2 мм, длиной 40 мм и шурупы диаметром 4 мм и длиной при закручивании в кромку не меньше 40 мм, а при ввинчивании в пласт образца длину шурупа выбирают исходя из того, чтобы длина его резьбовой части не менее чем на 4 мм превышала толщину плиты. Отобранные гвозди и шурупы обезжиривают, не допускается использование ржавых или искривленных гвоздей и шурупов (каждый гвоздь или шуруп применяют один раз).

В один образец из древесно-стружечной плиты шуруп закручивают в просверленное отверстие в пласт таким образом, чтобы резьба на (3 ± 1) мм выступала с обратной стороны образца. В другой образец шуруп ввинчивают в просверленное отверстие в кромку на длину резьбовой части шурупа. Гвозди забивают в пласт и кромку образцов из древесно-стружечной плиты, как описано выше.

Образцы с гвоздями (шурупами) закладывают в приспособление (см. рис. 9.2 на с. 113) и проводят испытания при тех же условиях, как и при испытании образцов из массивной древесины. После испытания определяют влажность образцов с помощью влагомера. Результаты записывают в табл. 9.2.

Обработка результатов и их анализ

Рассчитывают объемную массу ρ , кг/м³, материала образцов по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (9.1)$$

где m – масса образца, кг; V – объем образца, м³.

Удельное сопротивление $P_{уд}$, МПа, древесины или древесного материала выдергиванию шурупов при влажности в момент испытания вычисляют по следующей формуле:

$$P_{уд} = \frac{P_{max}}{L}, \quad (9.2)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; L – глубина ввинчивания шурупов, мм.

Удельное сопротивление $P_{уд}$, МПа, древесины или древесного материала выдергиванию гвоздей при влажности в момент испытания находят по формуле

$$P_{уд} = \frac{P_{max}}{\pi d L}, \quad (9.3)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; d – диаметр гвоздя, мм; L – глубина забивания гвоздей, мм.

За относительное сопротивление древесины выдергиванию гвоздей (шурупов) каждого образца принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний.

Полученные значения относительного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов представляют собой сравнительную характеристику древесины разных пород и технологических обработок, но не являются абсолютной величиной сопротивления вырыванию.

Результаты вычисляют с точностью до 0,1 Н/мм (МПа). Полученные данные заносят в табл. 9.2 (см. на с. 113).

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты определений анализируются студентом. Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. С какой целью определяют сопротивление древесины и древесных материалов выдергиванию шурупов и гвоздей?
2. Какую роль выполняет способ крепления при конструировании изделий из древесины?
3. Перечислите, какие свойства массивной древесины оказывают влияние на величину сопротивления выдергиванию гвоздей (шурупов) из нее.

4. Чем объясняется различие в усилиях при выдергивании гвоздей (шурупов) из древесины разной влажности?

5. Какие требования предъявляются к образцам, гвоздям (шурупам) при определении сопротивления древесины выдергиванию гвоздей (шурупов)?

6. Опишите явления, которые происходят в древесине при забивании гвоздя и закручивании шурупа.

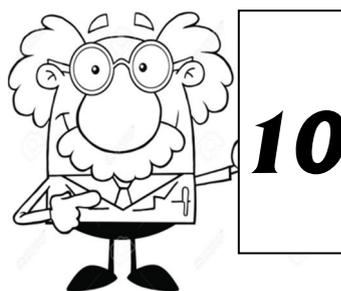
7. Какое оборудование и приспособление необходимо для проведения испытания на способность древесины выдерживать крепление?

8. По какой формуле рассчитывается удельное сопротивление древесины (древесного материала) выдергиванию шурупов при эксплуатационной влажности данного материала?

9. Как определяют объемную массу исследуемого образца?

10. Приведите порядок выполнения работы.

11. Каким образом найти относительное сопротивление древесины выдергиванию гвоздей (шурупов) исследуемых образцов?



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Общие положения

В зависимости от размеров контура неровностей в деревообработке условно принято неровности реальной поверхности разделять на макро- и микронеровности, или шероховатость. К *макронеровностям* относят единичные неровности больших размеров по контуру, вызываемые главным образом короблением и геометрической неточностью оборудования. Макронеровности чаще характеризуют точность формы поверхности. Качество обработки поверхности деталей, изготовленных из древесины или древесных материалов, влияет на качество основы и, как следствие, на качество изделий в целом. Поверхности деталей могут быть сформированы на различном оборудовании, от этого зависит характер и величина неровностей, т. е. шероховатость поверхности. Шероховатость поверхности деталей из древесины или древесных материалов характеризуют неровности, являющиеся прямым следствием применяемого способа, а также режима резания, состояния станков и инструментов и физических явлений в поверхностном слое древесины. Неровности могут быть результатом проявления анатомического и структурного строения материала, разрушения и восстановления в процессе физического воздействия на материал. В связи со специфическим строением древесины на ее поверхности после механической обработки всегда есть неровности, образованные вскрытыми полостями сосудов или клеток. Эти неровности

называются *анатомическими* и не зависят от способа механической обработки поверхности [11].

Структурные неровности характерны также для древесных материалов, изготовленных из измельченной древесины со связующим или без него, обусловлены формой, размерами и расположением этих частиц на поверхности спрессованного материала. Неровности при упругом восстановлении проявляются в результате неоднородности материала из-за различных плотности и твердости, неодинаковой усушки, различного направления волокон и т. д.

Неровности разрушения древесины образуются при силовом воздействии на материал в процессе его обработки резанием, скалыванием, разрывом и т. п. Формы и размеры таких неровностей зависят от свойств материала, специфики и закономерности действия сил, разрушающих материал, в зоне формирования поверхности. Неровности разрушения – это выщерблины пучков волокон в результате напряжений, которые в поверхностном слое превышают прочность материала и вызывают разрушения древесины в направлениях, отклоняющихся от заданного кинематикой процесса резания и формой инструмента.

Разновидностями неровностей разрушения поверхности древесины являются ворсистость и мшистость. Эти характерные для древесины дефекты поверхности обусловлены волокнистым строением древесины и соответствующими условиями ее разрушения. Под *ворсистостью* поверхности древесины понимают такое ее состояние, при котором на ней имеются отделенные одним концом волокна, способные приглаживаться или подниматься. Если на поверхности древесного материала есть участки с пучками коротких волокон, отделенных одним концом, но неспособных приглаживаться, то такой дефект поверхности называют *мшистостью*.

Неровности упругого восстановления образуются в результате сжатия древесины на участках различной плотности под давлением резца и последующего упругого восстановления сжатого слоя (наиболее сильно проявляются по годичным слоям хвойной древесины). **Микронеровности** – одиночные отклонения поверхности от заданной геометрической формы (выпуклость, вогнутость и т. д.). Микронеровности на каждой поверхности являются случайными дефектами.

К *кинематическим неровностям* можно отнести неровности, вызванные кинематикой резания и вибрацией режущего инстру-

мента. *Обработочные риски* – геометрические следы режущего инструмента в виде гребешков и канавок, направление, форма и размеры которых зависят от кинематических процессов резания и геометрической формы режущей кромки резца.

Волнистость – регулярно повторяющиеся, близкие по размерам возвышения и впадины дугообразного профиля. Как и риски, волнистость представляет собой следы режущего инструмента на обработанных поверхностях. Поскольку волнистость имеет определенную закономерность, ее можно считать систематической погрешностью качества обработки поверхности древесины, на которую можно делать определенный акцент с помощью регулирования соотношения скоростей резания и подачи. Для волнистости характерно наличие связи расстояния между смежными волнами, значительными по сравнению с их высотой. Высота волны, полученной при обработке плоской поверхности, рассчитывается по следующей формуле [11]:

$$H \approx \frac{L^2}{8R}, \quad (10.1)$$

где L – длина волны, или расстояние между смежными неровностями, мкм; R – радиус резания, мкм.

Волнистость целиком может характеризоваться длиной волны. Волнистость на поверхности разрешается только в том случае, когда поверхность предназначена для фанерования и склеивания. При этом допускается длина волны в твердолиственных породах до 3 мм, в мягколиственных и хвойных – до 5 мм. Превышение этих границ может снизить качество склеивания. Поверхности, подлежащие отделке лакокрасочными материалами, не должны иметь кинематических неровностей.

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине.

Шероховатость поверхности древесины и древесных материалов характеризуют числовыми значениями параметров неровностей (риски, неровности разрушения, неровности упругого восстановления, волнистость, а также структурные неровности) и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости на обработанных поверхностях.

Шероховатость поверхности древесины регламентируется ГОСТ 7016–2013 [30]. Параметры шероховатости (один или несколько) выбирают из следующей номенклатуры:

– $R_{m \max}$, мкм – среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей на поверхности, вычисляемое по формуле

$$R_{m \max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{i \max}, \quad (10.2)$$

где n – число наибольших неровностей (не менее 5); $H_{i \max}$ – расстояние от высшей до низшей точки i -й наибольшей неровности, мкм (рис. 10.1);

– R_m , мкм – наибольшая высота неровностей профиля, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$R_m = Y_{p \max} + Y_{y \max}, \quad (10.3)$$

где $Y_{p \max}$ – расстояние от средней линии профиля до высшей точки профиля в пределах базовой длины, мкм; $Y_{y \max}$ – расстояние от средней линии профиля до нижней точки профиля в пределах базовой длины, мкм;

– R_z , мкм – высота неровностей профиля по десяти точкам при отсчете от базовой линии, определяемая по формуле

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_1^5 h_{i \max} - \sum_1^5 h_{i \min} \right), \quad (10.4)$$

где $h_{i \max}$ – расстояние от высшей точки i -го наибольшего выступа до базовой линии, мкм; $h_{i \min}$ – расстояние от нижней точки i -й наибольшей впадины до базовой линии, мкм;

– R_a , мкм – среднее арифметическое абсолютных отклонений профиля, вычисляемое по следующей формуле:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_1^n |y_i|, \quad (10.5)$$

где n – количество измерений от базовой длины L , которая выбирается из ряда 0,8; 2,5; 8,0 мкм; y_i – расстояние от точки сечения профиля до средней линии, мкм;

– S_z , мкм – средний шаг неровностей профиля по впадинам, который рассчитывается по формуле

$$S_z = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n S_{xi}, \quad (10.6)$$

где n_1 – число шагов неровностей по впадинам; S_{xi} – шаг i -й неровности по впадинам, мкм.

Параметр S_z является вспомогательным и применяется совместно с одним из параметров R_z или R_a .

Числовые значения параметров шероховатости $R_{m \max}$, R_m , R_z , R_a и S_z (наибольшие, номинальные значения) выбирают по таблицам, приведенным в ГОСТ 7016–2013 [30]. Числовые значения параметров шероховатости R_m , R_z и R_a должны определяться на базовых длинах L , устанавливаемых из соотношения значений параметров и базовой длины, указанных в ГОСТ 7016–2013 [30].

При определении параметра $R_{m \max}$ измерения $H_{i \max}$ выполняют в пределах шага каждой из выбранных наибольших неровностей. Предельные значения параметров шероховатости приведены в табл. 10.1.



Рис. 10.1. Высота $H_{i \max}$

Таблица 10.1

Предельные значения параметра шероховатости $R_{m \max}$

Материал, изделие и способ обработки	$R_{m \max}$, мкм
Пиломатериалы хвойных пород после рамного распила	500–1600
Пиломатериалы лиственных пород после рамного распила	320–1000
Пиломатериалы после пиления дисковыми пилами	40–800
Шпон лущеный	50–320
Шпон строганный	32–500

Определение параметров шероховатости поверхности $R_{m \max}$, R_m , R_z , R_a и S_z древесины и древесных материалов выполняют по ГОСТ 15612–2013 [31], кроме того, по этому стандарту осуществляют контроль шероховатости поверхности изделий по образцам шероховатости.

Измерение неровностей $R_{m \max}$ высотой от 25 до 1600 мкм выполняют с использованием измерительных приборов светового или теневого сечения, а также индикаторным глубиномером. Определение параметров R_m , R_z , S_z осуществляют профилографами, позволяющими измерять неровности от 10 до 1000 мкм (радиус иглы щупа должен быть 1,5 мм). Определение параметра R_a

проводят профилометрами, позволяющими выполнять измерения неровностей от 10 до 1000 мкм.

При производственном контроле шероховатости поверхности изделий (деталей) применяют три метода оценки:

1) визуальный;

2) по образцам шероховатости;

3) по $R_{m\max}$, как результат измерений индикаторным глубиномером или измерительными приборами светового или теневого сечения.

Определение шероховатости поверхности при помощи параметра $R_{m\max}$ удобнее в тех случаях, когда неровности существенно отличаются одна от другой по величине и большие неровности выделяются из основной массы визуально, например, после грубого шлифования, распиливания рамными и ленточными пилами. Этот параметр применим и для измерения шероховатости поверхности из неровностей разрушения (лущеный и строганый шпон). Для определения параметра $R_{m\max}$ используют индикаторный глубиномер и оптические приборы, характеристики которых даны в табл. 10.2.

Таблица 10.2

**Подбор объективов по фокусному расстоянию
в зависимости от предполагаемой шероховатости**

Рекомендуемый прибор	Фокусное расстояние объектива F , мм	Увеличение объектива N	Цена деления барабанчика окулярного микрометра $5/N$, мкм	Высота измеряемых неровностей $H_{i\max}$, мкм	Неровности поверхности, для измерения которых рекомендуется прибор
МИС-11	13,9	10,6	0,047	1,5–19,0	Поперечные неровности после прессования и шлифования
	25,0	5,9	0,085	9–63	Поперечные неровности после пиления, фрезерования, строгания и прессования
ТСП-4	–	4,0	0,131	60–500	Поперечные неровности после лущения, пиления и фрезерования
	–	1,0	0,50	500–1000	Поперечные и продольные неровности после рамного пиления
Индикаторный глубиномер	–	–	–	500–1600	То же

Индикаторный глубиномер (рис. 10.2) представляет собой стандартный малогабаритный индикатор часового типа (ИЧ-02, ИЧ-05), закрепленный винтом 2 в специальной массивной колодке 3, имеющей опорную плоскость с отверстием, которое позволяет видеть мерительный стержень и место его касания с контролируемой поверхностью. Стандартный шарик в индикаторе заменяется наконечником 4 с ощупывающим штифтом диаметром $d = 1,3$ мм, оканчивающимся шаровым сегментом с радиусом $R = 4$ мм.

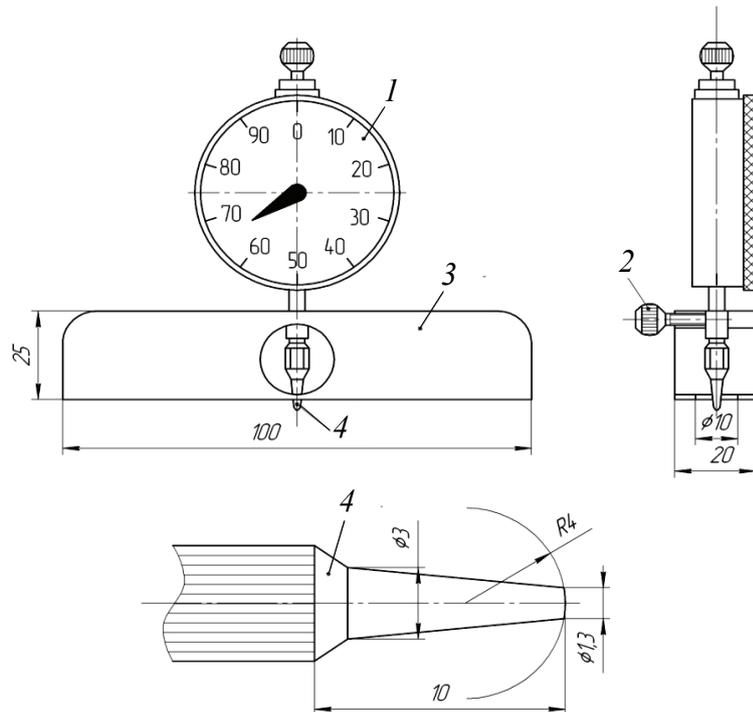


Рис. 10.2. Индикаторный глубиномер:
 1 – шкала индикатора; 2 – стопорный винт;
 3 – колодка; 4 – измерительный
 наконечник

Индикатор должен крепиться в колодке так, чтобы в свободном состоянии кончик стержня выступал над опорной плоскостью колодки на величину хода от 1,6 до 2,0 мм, а при установке опорной площадки на плоскую поверхность стрелка индикатора стояла на нуле шкалы 1.

После этого прибор устанавливают на контролируемую поверхность так, чтобы кончик штифта касался дна измеряемой впадины. Глубину последней определяют простым отсчетом отклонения стрелки от нуля шкалы.

ГОСТ 15612–2013 [31] рекомендует для измерения $R_{m \max}$ пиломатериалов применять индикаторный глубиномер или прибор ТСП-4М. В производственных условиях может быть использован только индикаторный глубиномер марки ИЧ-02 или ИЧ-05.

Приборами ТСП-4 и МИС-11 измеряют наибольшую высоту неровностей $H_{i \max}$ (расстояние от вершины до дна впадины) не менее чем в пяти точках (см. рис. 10.1 на с. 121). Затем по формуле (10.2) высчитывают параметр шероховатости в микрометрах (мкм) как среднее арифметическое значение наибольших измеренных высот неровностей $H_{i \max}$.

Измерение величины $H_{i \max}$ выполняют в произвольно выбранных точках поверхности в местах и направлениях, которые дают наибольшее значение, характерное для этой обработки поверхности. Длина участка, на котором выполняют измерение $H_{i \max}$, должна превышать шаг неровности не менее чем в 2 раза.

При применении оптических приборов ТСП-4 и МИС-11 измерение неровностей осуществляется с помощью оптического микрометра, который имеет винтовое приспособление. Оно позволяет проводить линейные измерения в поле зрения. Измерительное устройство оптического микрометра представляет собой барабанчик с нанесенными на его поверхность ста делениями и шкалой в поле зрения окуляра для отсчета полных миллиметров. Таким образом, полные миллиметры берутся по шкале в поле зрения, а сотые доли миллиметра – по шкале барабанчика.

Прибор ТСП-4 представляет собой совмещение визирного микроскопа с устройством, обеспечивающим резкое разграничение тени в потоке света, направленного к исследуемой поверхности под углом 45° . Работа прибора ТСП-4 основана на принципе получения профиля поверхности методом теневого сечения неровности (тени от ножа) и измерения неровностей по их высоте. Общий вид прибора приведен на рис. 10.3.

Визирный микроскоп 17 с окулярным микрометром 16 и осветитель 4 крепят хомутами 2 и 18 на плате 20, которая может перемещаться в вертикальной плоскости относительно основания 13 с вертикальной стойкой 1 при помощи винта 19. В верхней части осветителя расположена обойма 5 с патроном 4, имеющим продольное перемещение.

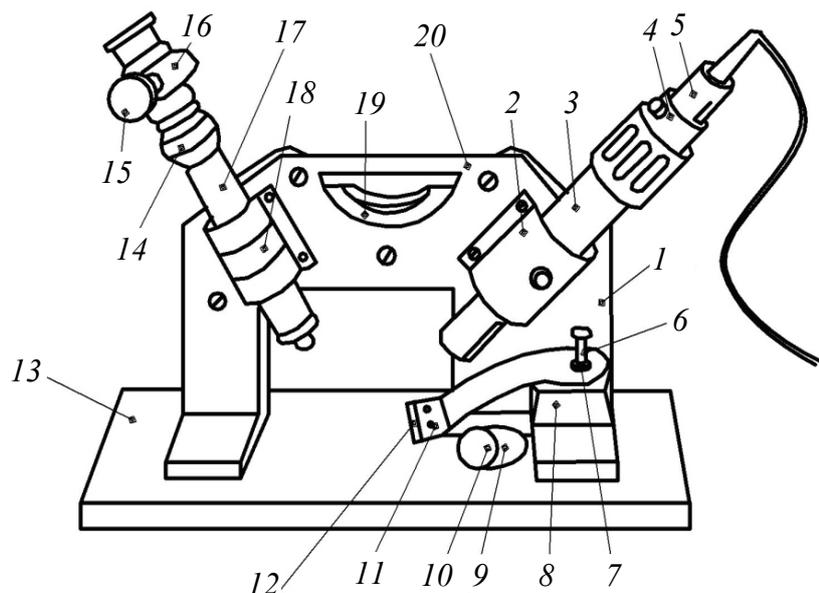


Рис. 10.3. Общий вид прибора ТСП-4:
 1 – вертикальная стойка; 2, 18 – хомуты;
 3 – осветительный тубус; 4 – осветитель; 5 – обойма;
 6 – регулировочный винт; 7 – контргайка;
 8, 9 – колодки; 10 – валик; 11 – планка; 12 – нож;
 13 – основание; 14 – винт; 15 – гайка;
 16 – окулярный микрометр;
 17 – визирный микроскоп; 19 – винт; 20 – плата

Получение резкой тени на контролируемой поверхности возможно благодаря ножу 12 (лезвию безопасной бритвы), закрепленному с помощью наклонной планки 11 в колодке 8. Эксцентриковое устройство с валиком 10 и колодкой 9 обеспечивает настройку тени в поле зрения визирного микроскопа. Резкость тени настраивается регулировочным винтом 6 с контргайкой 7. Фокусировка окуляра осуществляется гайкой 15 и закрепляется винтом 14. Питание осветительного устройства с электролампой (8 В, 20 Вт) обеспечивается от электросети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц посредством понижающего трансформатора.

Прибор ТСП-4 удобен и прост для измерения высот неровностей на поверхности образцов любых размеров, так как его устанавливают непосредственно на контролируемую поверхность.

Двойной микроскоп МИС-11 (рис. 10.4) состоит из двух связанных между собой микроскопов: визуального и осветительного, которые расположены относительно друг друга под прямым углом.

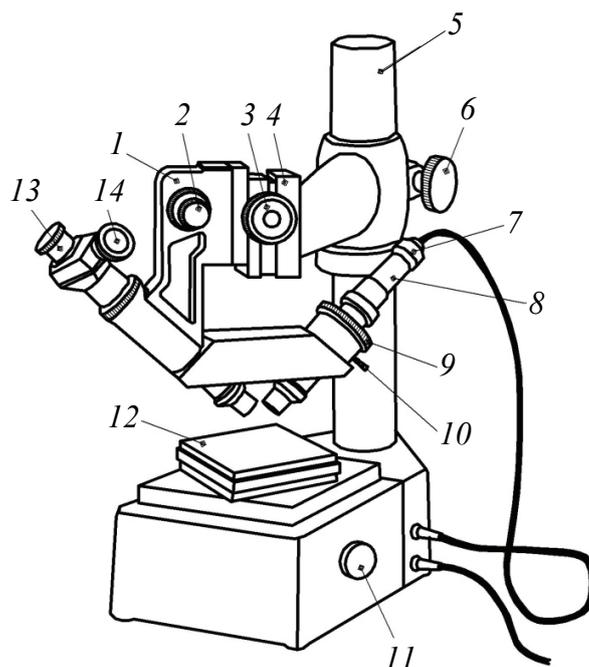


Рис. 10.4. Общий вид микроскопа МИС-11:
 1 – основа; 2 – ручка тонкой наладки;
 3 – ручка грубой наладки; 4 – направляющие;
 5 – винтовая стойка основы; 6 – винт; 7 – гайка;
 8 – обойма; 9 – гайка; 10 – винт; 11 – ручка; 12 – стол;
 13 – окуляр; 14 – окулярный микрометр

К контролируемой поверхности оси микроскопов наклонены под углом 45° . Микроскопы могут подниматься и опускаться относительно стола 12 по винтовой стойке 5 основания поворотом гайки 7 при освобожденном винте 6. Кроме того, салазки визуального микроскопа могут перемещаться в направляющих 4 поворотом рукояток 3 (грубая настройка) и 2 (тонкая настройка) для настройки четкости изображения.

Осветительный микроскоп имеет систему линз с зеленым фильтром и щелевую диафрагму, регулируемую поворотом головки 9 на резкость изображения. В обойме 8 расположен источник света, питаемый через реостат, изменяющий силу тока при повороте рукоятки 11.

Винтом 10 регулируют наклон оси осветительного микроскопа и тем самым положение изображения световой щели в поле зрения окуляра 13 визирного микроскопа. Окулярный микрометр 14 дает возможность измерять предметы, рассматриваемые в микроскоп.

С помощью прибора МИС-11 практически измеряют неровности высотой до 140 мкм. Для этого необходимо в оба тубуса ввинтить одинаковые объективы с соответствующим фокусным расстоянием, которое указано на оправе объектива.

Подбор объективов по фокусному расстоянию в зависимости от предполагаемой шероховатости измеряемой поверхности производят по табл. 10.2 (см. на с. 122).

Согласно ГОСТ 15612–2013 [31], существует метод контроля шероховатости поверхности изделий по образцам шероховатости. Образцы шероховатости выполнены из той же породы, имеют ту же форму и обработаны тем же методом, что и контролируемая деталь.

Размеры поверхности образцов шероховатости – 300×200 мм. Длина образцов шероховатости в виде брусков – 300 мм. Образцы шероховатости снабжены ярлыком, на котором указано: назначение изделия, порода древесины и вид обработки; значение параметра шероховатости; срок действия образца и подпись лица, утверждавшего образец.

Сущность метода заключается в визуальном сравнении шероховатости поверхности обработанной детали с шероховатостью поверхности образца. Для сравнения контролируемую деталь и образец шероховатости располагают так, чтобы их поверхности были равномерно освещены рассеянным светом. Освещенность деталей не должна быть менее 150 лк. Сравнение шероховатости поверхности обеих деталей осуществляют так, чтобы угол между направлением визирования и перпендикуляром к поверхности был менее 60°.

На предприятии должно быть не менее двух комплектов образцов шероховатости. Первый комплект находится на рабочем месте, второй хранится в отделе технического контроля или производственной лаборатории. Поверку образцов шероховатости выполняют не реже одного раза в год.

Цель работы – изучение стандартных методов [30, 31] определения шероховатости поверхности образцов из древесины и древесных материалов и применение этих методов на практике.

Приборы и материалы: индикаторный глубиномер; оптические приспособления ТСП-4 и МИС-11; образцы цельной древесины и древесно-стружечных плит, строганого и лущеного шпона разной шероховатости поверхности.

Порядок выполнения работы

1. Определение параметра $R_{m \max}$ индикаторным глубиномером по ГОСТ 15612–2013 [31]. В качестве образцов для контроля шероховатости используют 2–3 доски (обрезки досок), полученные рамным пилением. В соответствии со стандартом [31] шероховатость поверхности пиломатериалов рекомендуется определять по худшей пласти измерением наиболее глубоких неровностей. В результате визуального осмотра контролируемой поверхности образца выбирают наиболее глубокие неровности для измерения. Количество измерений должно быть не менее пяти.

Индикатор часового типа фиксируют в колодке так, чтобы измерительный наконечник выступал над опорной плоскостью колодки на величину хода от 1,6 до 2,0 мм. Глубиномер устанавливают опорной плоскостью колодки на плоскопараллельное стекло и совмещают стрелку индикатора с нулевым делением.

Настроенный индикаторный глубиномер монтируют на контролируемую поверхность так, чтобы наконечник индикатора касался дна наибольшей впадины. При измерении индикаторный глубиномер должен опираться на контролируемую поверхность только собственной массой (рис. 10.5). Отсчет по шкале индикатора, взятый с учетом вращения стрелки от нуля против часовой стрелки, соответствует расстоянию от высшей до низшей точки i -й неровности ($H_{i \max}$). Цена деления глубиномера составляет 0,01 мм. Полученные значения $H_{i \max}$ записывают в табл. 10.3.

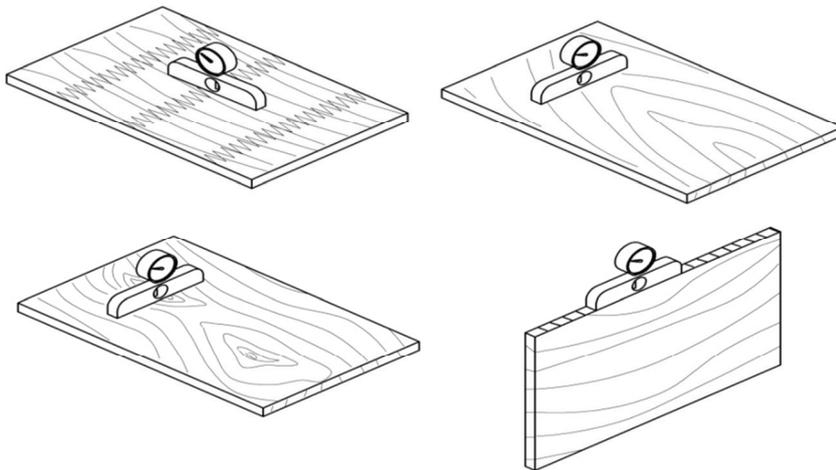


Рис. 10.5. Измерение неровностей на поверхности доски

2. Определение параметра $R_{m \max}$ оптическим прибором ТСП-4 по ГОСТ 15612–2013 [31]. Настройку прибора и измерение высот неровностей производят следующим образом. Выбирают объектив (см. табл. 10.2 на с. 122) в зависимости от предполагаемой шероховатости поверхности применяемых образцов. Фиксируют прибор на поверхности образца так, чтобы кромка лезвия была перпендикулярна волокнам древесины (образцы из строганого и лущеного шпона) и в таких местах, которые дают наибольшие значения величины неровности $H_{i \max}$.

При измерении шероховатости поверхности, обработанной цилиндрическим фрезерованием, а также при измерении более крупных неровностей – от 500 до 1600 мкм (образцы из досок рамного пиления) кромку лезвия ножа устанавливают вдоль волокон древесины, но перпендикулярно направлению рисок от режущего инструмента.

Включают лампу осветителя. Вводят в соприкосновение с поверхностью образца нож-лезвие. Монтируют окулярный микрометр так, чтобы одна из его нитей располагалась параллельно кромке ножа, и закрепляют микрометр в этом положении. Грубым перемещением тубуса наблюдения (вверх-вниз) достигают резкого изображения тени.

Для обеспечения окончательной резкости используют винт 14 и гайку 15 (см. рис. 10.3 на с. 125). Определяют величину неровности путем вращения барабанчика окулярного микрометра до совмещения визирной горизонтальной нити сначала с верхним (вершиной гребня), а затем с нижним (дном впадины) изображением тени (рис. 10.6). При каждом положении нити (верхнем и нижнем) записывают отсчет по шкале в поле зрения и барабанчика оптического микрометра. Когда, например, две параллельные между собой наклоненные под углом 45° черточки находятся между цифрами 4 и 5 шкалы в поле зрения, а на барабанчике отсчет равен 32, то общий отсчет составит 432. Результаты замеров заносят в табл. 10.4 (см. на с. 132).

Нужно учитывать, что в приборе ТСП-4 отображение неровности перевернуто под углом 180° .

3. Определение параметра $R_{m \max}$ оптическим прибором МИС-11 по ГОСТ 15612–2013 [31]. С помощью прибора МИС-11 измеряют неровности высотой до 1000 мкм. Для этого нужно в два тубуса вкрутить одинаковые объективы с соответствующим фокусным расстоянием (см. табл. 10.2 на с. 122).

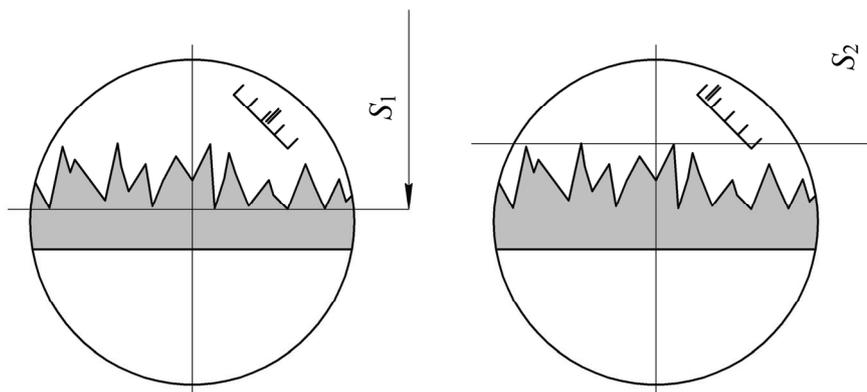


Рис. 10.6. Поле зрения в окулярном микрометре при положении горизонтальной нити:
 S_1 – сверху и S_2 – снизу неровности поверхности

Подлежащий контролю образец, поверхности которого обработаны прессованием, циклованием, шлифованием, пилением и фрезерованием, укладывают на стол микроскопа (см. рис. 10.4 на с. 126). Затем производят грубую настройку винтом 3 до появления в поле зрения световой щели (рис. 10.7). После этого осуществляют тонкую настройку, добиваясь четкой видимости изображения световой щели. Если при этом не удастся получить четкое изображение, то пользуются винтом 10, а если изображение размыто – гайкой 9. Винт 10 и гайку 9 следует поворачивать очень осторожно, наблюдая за положением изображения в объективе и подстраивая периодически микроскоп ручками 2 и 3 таким образом, чтобы изображение щели находилось все время по средней линии поля зрения.

Получив четкое изображение искривленной световой полосы, измеряют окулярным микрометром наибольшую величину выступа или впадины, наблюдаемой в поле зрения микроскопа (рис. 10.7).

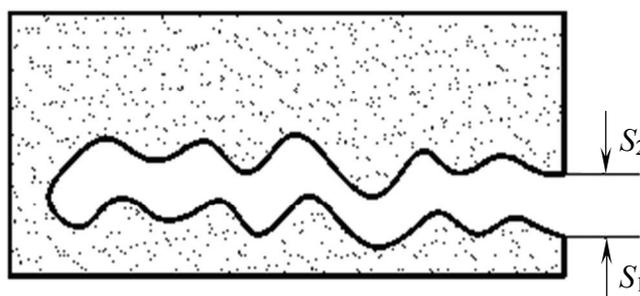


Рис. 10.7. Поле зрения в окуляре МИС-11 при расположении горизонтальной нити:
 S_1 – сверху и S_2 – снизу неровности поверхности

Измерение высоты неровности микроскопом МИС-11 производят с помощью такого же окулярного микрометра, как и в приборе ТСП-4.

Древесина является полупрозрачным и пористым материалом, поэтому границы световой полосы сверху и снизу неодинаковы. Одна из них, расположенная сверху, при наблюдении в окулярном микрометре обычно сильно размыта. Поэтому для отсчета всегда должна применяться нижняя граница световой полосы (рис. 10.7).

Горизонтальную нить окулярного микрометра сначала совмещают с этой нижней границей на выступе неровности и записывают показания окулярного микрометра S_1 , а затем – на впадине и фиксируют показания окулярного микрометра S_2 . Результаты замеров заносят в табл. 10.4 (см. на с. 132).

Нужно иметь в виду, что изображение неровности в микроскопе МИС-11 перевернуто под углом 180° .

Обработка результатов и их анализ

1. Определение значения параметра $R_{m \max}$, замеренного индикаторным глубиномером. Параметр шероховатости $R_{m \max}$, мкм, вычисляют по формуле (10.2). Результаты определений записывают в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Результаты измерений по определению параметра шероховатости $R_{m \max}$ индикаторным глубиномером

Вид и материал изделия, детали, способ и режим обработки поверхности	Марка индикатора	Цена деления индикатора	Номер измерения	Показания индикатора $H_{i \max}$, мкм	Значение параметра $R_{m \max}$, мкм

2. Определение значения параметра $R_{m \max}$, замеренного оптическими приборами ТСП-4 и МИС-11. Расстояние от высшей до низшей точки неровности $H_{i \max}$, мкм, измеренное оптическими приборами, находят по следующей формуле:

$$H_{i \max} = \frac{5}{N}(S_{1i} - S_{2i}), \quad (10.7)$$

где $5/N$ – цена деления шкалы окулярного микрометра, мкм (см. табл. 10.2 на с. 122); N – увеличение объектива; S_{1i}, S_{2i} – показания окулярного микрометра величины выступа или впадины в делениях шкалы прибора.

Параметр шероховатости рассчитывают по формуле

$$R_{m \max i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{i \max}, \quad (10.8)$$

где n – число измерений (не менее пяти); $H_{i \max}$ – расстояние от высшей до низшей точки i -й неровности, мкм.

Результаты вычислений заносят в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Результаты измерений по определению параметра шероховатости $R_{m \max i}$ с помощью оптических приборов ТСП-4 и МИС-11

Номер измерения	Показание окулярного микрометра в делениях шкалы		Разность показаний окулярного микрометра $S = S_{1i} - S_{2i}$ в делениях шкалы	Цена деления барабана окулярного микрометра $5/N$, мкм	Расчетное значение параметра $H_{i \max}$, мкм	Значение параметра $R_{m \max i}$, мкм
	начальное S_{1i}	конечное S_{2i}				

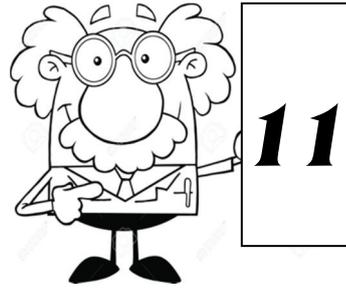
Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Результаты, полученные в ходе выполнения работы, анализируются студентом. Анализ результатов и выводы приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. С какой целью проводят исследование шероховатости поверхности деталей из древесины?
2. Чем характеризуется качество обработки поверхности древесины?
3. Какие виды неровностей обработанной поверхности древесины различают?

4. Перечислите существующие параметры шероховатости.
5. Какие приборы для оценки шероховатости поверхности древесины вы знаете?
6. Назовите параметр, с помощью которого определяют шероховатость поверхности пиломатериалов. Как его вычисляют?
7. Какие методы оценки шероховатости поверхности пиломатериалов применяют в производственных условиях?
8. Что представляет собой индикаторный глубиномер? Приведите порядок измерения шероховатости этим прибором.
9. Какими оптическими приборами можно определить параметры шероховатости $R_{m \max i}$? В чем заключается принцип работы этих приборов?
10. Как производится отсчет показаний с приборов ТСП-4 и МИС-11?



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ СБОРКЕ ШИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Общие положения

Шиповые соединения – наиболее распространенный способ соединения деталей из древесных материалов с целью получения прочных и неразъемных сборочных узлов. Изделия из древесины, склеиваемые шиповым соединением, должны быть обработаны в соответствии с конструкторской документацией, утвержденным технологическим процессом и соблюдением ГОСТ 6449.1–1982 [34].

Влажность склеиваемых деталей должна быть $(8 \pm 2)\%$. Склеиваемые поверхности не должны иметь масляных и лаковых пятен, пыли и других загрязнений. Для склеивания используются карбамидоформальдегидные, поливинилацетатные, а также совмещенные клеи двух предыдущих типов (характеристика, марка, фирма-производитель применяемых клеев рассмотрены в лабораторной работе № 6). Склеивание осуществляется обычно холодным способом или при нагреве в поле ТВЧ. Режимы склеивания карбамидными клеями приведены в табл. 11.1. Режимы склеивания поливинилацетатными и совмещенными на основе поливинилацетата клеями представлены в табл. 11.2 [18].

Для сборки рамок и коробок, а также для склеивания шиповых соединений используют оборудование с рабочими органами, которые приводятся в движение механически, гидравлически или пневматически. Детали фиксируют в определенном положении одна относительно другой и обжимают. Конструкция сборочных станков определяется конструкцией предназначенных для этого сборочных единиц.

Таблица 11.1

**Режимы склеивания шиповых соединений
карбамидными клеями**

Параметр	Нормы для клея			
	КФ-Б	КФ-БЖ	КФ-Б	КФ-МХ
	для склеивания с нагревом в поле ТВЧ		для холодного склеивания	
Вязкость клея при температуре 20°С, с: – по ВЗ-4	60–300	–	60–180	–
– ВЗ-1	–	50–200	–	50–90
Жизнеспособность клея при температуре (20 ± 2)°С, ч	2	8–10	2	3–5
Расход клея с учетом потерь, г/м ³ : – при нанесении вручную на прямой и вставной круглый шип: ДСтП древесина хвойных пород древесина твердолиственных пород	510 445 360			
– при склеивании на ящичный шип древесины хвойных пород в четверть и на рейку: ДСтП древесина твердолиственных пород	450 495 460			
Нанесение клея	Двухстороннее			
Время от момента нанесения клея до установления давления, мин, не более	Не нормировано		20	
Температура отверждения кле- евого слоя, °С	110–130		18–22	
Продолжительность выдержки в зажимных устройствах, ч	Расчет по формулам		1,5–2,0	2–3
Технологическая выдержка в стопе, ч: – после освобождения из за- жимных устройств	–		1	
– после обжима в вайме	2		4	

Таблица 11.2

**Режимы склеивания шиповых соединений
поливинилацетатными и совмещенными клеями**

Параметр	Нормы для клея		
	поливинил-ацетатного	поливинил-ацетатно-карбамидного	карбамидно-латексного
Температура воздуха в помещении, °С, не ниже	18		
Относительная влажность воздуха в помещении, %, не выше	65		
Влажность склеиваемых деталей, %:			
– детали с гнездом	8–10		
– детали с шипом	7–9		
Вязкость клея, с:			
– по ВМС	11–40	Компонент А – 20–60	–
– ВЗ-246, сопло диаметром 6 мм	–	Компонент Б – 3–50	20–50
Жизнеспособность клея при температуре (20 ± 2)°С, ч	Не нормируется	Компонент А не нормируется, компонент Б – 7–9	2
Нанесение клея	Двухстороннее	Компонент А в гнездо, компонент Б на шип	Двухстороннее
Расход клея с учетом потерь (при нанесении вручную) для древесины твердолиственных пород, г/м ³ , не более	400	360	
Продолжительность выдержки склеиваемых поверхностей до их контактирования, мин, не более	4	Компонент А – 3, компонент Б – 60	10
Продолжительность выдержки в зажимных устройствах, с	3–5		5–10
Технологическая выдержка после сборки в вайме, ч, не менее	2		4

Примечание. Компонент А – поливинилацетатная дисперсия, подкисленная 50%-ной ортофосфорной кислотой. Компонент Б – смола КФ-БЖ или КФ-Ж, подкисленная 10%-ной щавелевой кислотой.

На рис. 11.1 показана универсальная переналаживаемая пневматическая вайма – стапель для сборки сборочных узлов изделий из древесины. Внутри сварной рамы 4 расположены регулируемые упоры 2, переставные траверсы 5 с фиксатором и несколько вертикальных гидродинамических ручных насосов 1 (вертикальные прижимные устройства), регулируемых по высоте, фронтальное прижимное устройство 3. С помощью фиксатора и отверстий в балках рамы траверса 5 устанавливается в положение, необходимое для данного изделия.

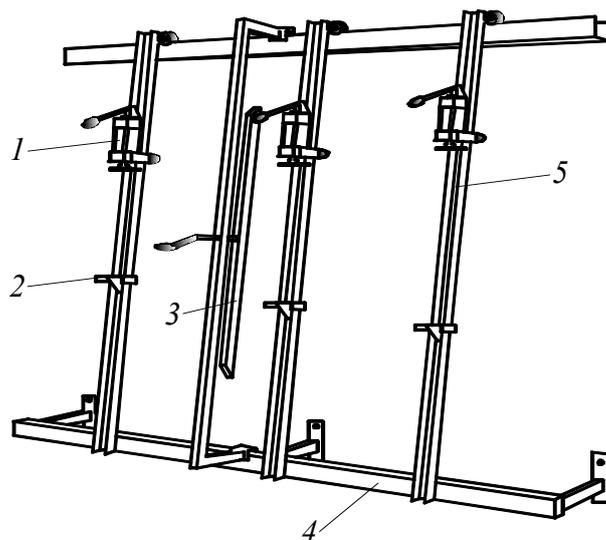


Рис. 11.1. Универсальная переналаживаемая пневматическая вайма:
1 – ручной насос; 2 – упор; 3 – прижимное устройство; 4 – рама; 5 – траверса

Рамочные конструкции сборочных единиц изделий из древесины собирают по одной из нижеперечисленных схем (рис. 11.2). Открытый сквозной шип – сжатием брусков в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 11.2, а), соединением брусков в одном направлении (рис. 11.2, б). Смешанные виды шиповых соединений – последовательным сжатием в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 11.2, в), угловое соединение на ус – сжатием по диагонали (рис. 11.2, г).

Основные условия точной сборки сборочных единиц – высококачественное изготовление (обработка) деталей на станках.

При сборке изделий из древесины на шиповых соединениях необходимо усилие обжима сопрягаемых деталей и узлов, чтобы

обеспечить достаточную плотность соединений и достоверность размеров сборочных единиц (изделий). Усилие обжима зависит от вида и размерных характеристик соединений, от точности изготовления деталей и характера их соединения. Это усилие важно знать для расчета или подбора сборочного оборудования.

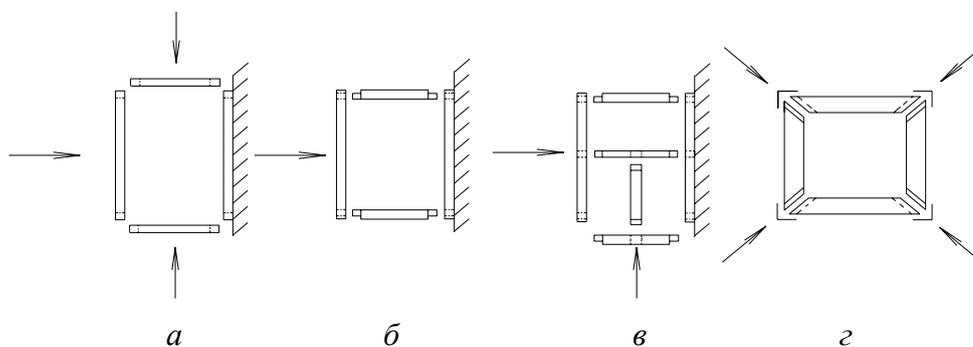


Рис. 11.2. Виды соединений:

a – сжатие брусков в двух взаимно перпендикулярных направлениях; *б* – соединение брусков в одном направлении; *в* – последовательное сжатие в двух взаимно перпендикулярных направлениях; *г* – угловое соединение по диагонали

Усилие обжима определяется размером и характером соединения, плотностью соединения и свойствами материала. Необходимое для сборки усилие имеет две составляющие: усилие для соединения шипа с отверстием; усилие, которое обеспечивает плотность соединения в зоне заплечиков шипа (рис. 11.3) [11].

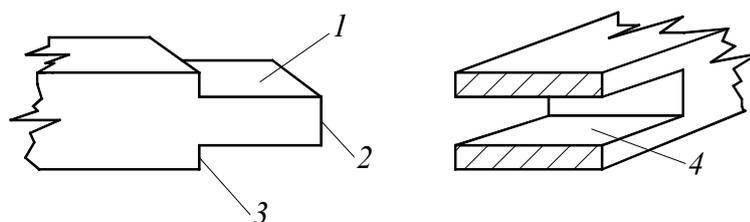


Рис. 11.3. Характеристика шипа:

1 – щечки; *2* – торец; *3* – заплечики;
4 – отверстие (гнездо)

Общее усилие обжима P , кН, при сборке шиповых соединений рассчитывается по следующей формуле:

$$P = P_1 + P_2, \quad (11.1)$$

где P_1 – усилие для преодоления сил сопротивления при продвижении шипа в гнезде и деформации его от натяжения, кН; P_2 – усилие обжима заплечиками, которое обеспечивает плотность соединения заплечиков шипа с поверхностью соединяемой детали, кН.

Усилие сопротивления при движении шипа в гнезде при сборке P_1 , кН, определяется как сила трения граней шипа по формуле

$$P_1 = qfF, \quad (11.2)$$

где q – нормальное давление на грани шипа в зависимости от свойств материала, МПа; f – коэффициент трения; F – площадь поверхности, на которую действует нормальное давление, м²:

– для плоского шипа

$$F = 2bL, \quad (11.3)$$

здесь b – ширина шипа, м; L – длина шипа, м;

– для круглого шипа

$$F = \pi dL, \quad (11.4)$$

где $\pi = 3,14$; d – диаметр круглого шипа, м; L – длина шипа, м.

Величину усилия P_2 , кН, в зависимости от требований к плотности соединения, которая ограничена пределом прочности сжатия древесины поперек волокон $|\sigma_1|$ и площадью заплечиков F_2 , можно вычислить по формуле

$$P_2 = |\sigma_1| F_2. \quad (11.5)$$

Площадь заплечиков F_2 , м², находится из соотношения размеров деталей и шипа по следующей формуле:

$$F_2 = (B - b)(H - h), \quad (11.6)$$

где B , b – ширина детали и шипа соответственно, м; H , h – толщина детали и шипа соответственно, м.

Общее усилие P , кН, необходимое для сборки изделия на шиповых соединениях без учета потерь усилий на сборочном станке, рассчитывается по формуле

$$P = qfF + |\sigma_1| F_2 n, \quad (11.7)$$

где q – нормальное давление на грани шипа в зависимости от свойств материала, МПа; f – коэффициент трения; F – площадь

поверхности, на которую действует нормальное давление, m^2 ; $|\sigma_1|$ – предел прочности сжатия древесины поперек волокон, МПа; F_2 – площадь заплечиков, m^2 ; n – количество деталей с шипами, которые одновременно собираются в узел или изделие, шт.

На рис. 11.4 представлен график изменения усилий при сборке узла на прямой сплошной шип деталей из древесины сосны и дуба. На графике показаны зоны упругой деформации при вхождении шипа в гнездо (*a*), продвижение шипа в гнезде (*b*), соприкосновение заплечиков (*c*), уплотнение древесины заплечиками (*d*).

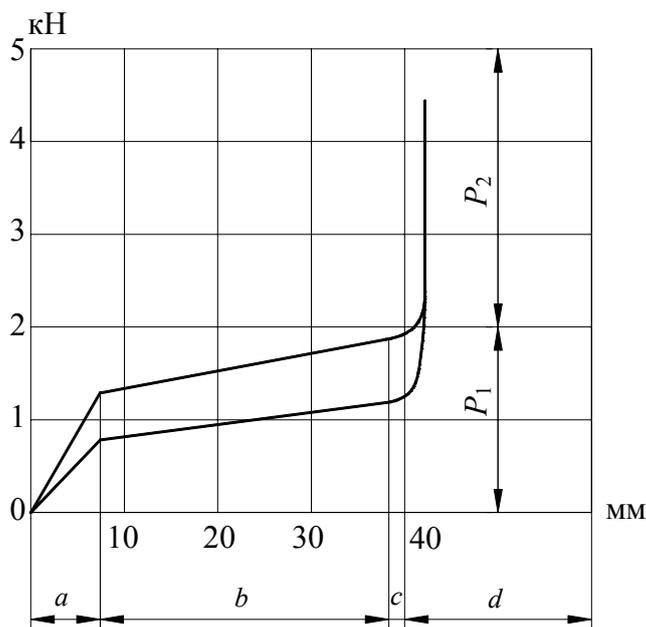


Рис. 11.4. Значения усилия сжатия при сборке шиповых соединений:

P_1 – усилие продвижения шипа;
 P_2 – усилие обжима заплечиками

Значения коэффициентов трения и нормального давления при сборке шиповых соединений с натяжением 0,3 мм приведены в табл. 11.3.

При сборке узлов с использованием клея необходима технологическая выдержка для достижения разборной прочности. Разборной прочностью соединения называют ту, которая гарантирует его целостность при транспортировании сборочной единицы [32].

**Значения коэффициентов трения и нормального давления
при сборке шиповых соединений с натяжением 0,3 мм**

Порода древесины	Нормальное относительное давление на поверхности шипа q , МПа		Коэффициент трения f		Допустимое условное давление сжатия поперек волокон P , МПа
	без клея	с клеем	без клея	с клеем	
Сосна	4,0–4,5	1,3–1,6	0,3–0,4	0,1–0,2	2,9
Бук, береза	5,0–5,5	1,5–1,8			3,9
Дуб, ясень	5,5–6,2	1,7–2,2			4,9

В практике разборная прочность принимается равной приблизительно 50% необходимой конечной прочности.

Цель работы – определение действительной величины усилия обжима, которое возникает при сборке шиповых соединений сборочных единиц, и установление соответствия его расчетной величине.

Приборы и материалы: универсальная переналаживаемая пневматическая вайма; штангенциркуль с отклонением измерения не более 0,1 мм; бруски массивной древесины хвойных и твердолиственных пород с шипами и гнездами; карбамидоформальдегидный или поливинилацетатный клей либо совмещенные клеи двух предыдущих типов; кисть для нанесения клея (клеенаносящие диски, клеенаносящий пистолет).

Порядок выполнения работы

Работу проводят по одному из следующих вариантов.

1. Определяют зависимость влияния марки и вида клея на действительную величину усилия обжима, которое возникает при сборке шиповых соединений, и устанавливают соответствие его расчетной величине.

2. Изучают влияние породы древесины, из которой изготовлено шиповое соединение, на коэффициент трения и давление при сборке шиповых соединений с натяжением 0,3 мм.

Студентам выдают 4–5 образцов шипового соединения, соответствующих ГОСТ 6449.1–1982 [34] и выполненных из разных пород древесины (сосна, бук, береза, дуб, ясень).

Измеряют температуру и влажность в помещении, где проводят лабораторные исследования. Параметры должны соответствовать технологическим режимам, которые рассмотрены в лабораторной работе № 6.

Нумеруют каждый образец. Измеряют в каждом образце длину, ширину шипа или диаметр (для круглого шипа) с точностью измерения не более 0,1 мм. Полученные данные записывают в табл. 11.4.

Изучают теоретические положения расчета усилия обжима при сборке шиповых соединений, указанные в общих положениях лабораторной работы.

Определяют параметры соединения, необходимые для расчета усилия обжима.

Рассчитывают величину натяжения соединения как разность толщины плоского или диаметра круглого шипа и ширины гнезда или диаметра отверстия.

Определяют расчетную величину обжима шипового соединения.

Выбирают и готовят рабочий раствор клея. Клей наносят кистью (если соединение собирается на клею).

Подготовленный образец устанавливают в универсальную переналаживаемую пневматическую вайму – стапель на упоры 2 и переставную траверсу 5 с фиксатором (см. рис. 11.1 на с. 137). При помощи насосной станции и пневмоцилиндров создают необходимое (расчетное) усилие обжима.

Сравнивают величины усилий обжима (с клеем, без клея), полученных расчетным и опытным путями, и дают объяснение при наличии разницы в значениях.

Заполняют журнал результатов испытаний, форма которого показана ниже (табл. 11.4).

Таблица 11.4

Журнал результатов испытаний

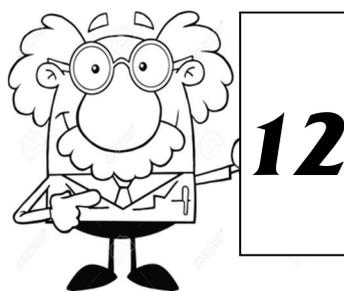
Порода древесины	Вид шипов (плоские, круглые)	Вид и марка клея	Усилие обжима, кН		Величина натяжения, мм
			расчетное	опытное	

Статистическую обработку полученных результатов испытаний на их достоверность выполняют по методике, изложенной в приложении 1 данного лабораторного практикума.

Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите способы, оборудование для соединения деталей из древесных материалов с целью получения прочных и неразъемных сборочных узлов. Что влияет на выбор способа?
2. Какие требования предъявляются к материалам, применяемым в шиповых соединениях?
3. Чем руководствуются при выборе режима склеивания шиповых соединений?
4. Как производится расчет усилия, необходимого для обжима при сборке шиповых соединений?
5. Объясните, как влияет порода древесины на усилие сжатия при сборке шиповых соединений.



Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ

Общие положения

Окна занимают небольшую часть поверхности дома, но даже у двойных стеклопакетов теплозащита в 2–3 раза слабее, чем у стен. Современные энергосберегающие окна по характеристике температурной защиты приближаются к свойствам стен. Наибольшее количество тепла выходит из помещения через стеклопакет, так как он занимает иногда более 80–90% всей оконной конструкции. Поэтому именно выбору стеклопакета для теплоизоляции помещения нужно уделять особое внимание.

Для каждого стеклопакета существуют свои эксплуатационные характеристики. На первом месте среди них стоит приведенное сопротивление теплопередаче, в зависимости от величины которого каждое изделие разделяют по классам. Самый низкий класс Д2 представляют однослойные стеклопакеты с толщиной стекла 4 мм ($R_0' = 0,35–0,39 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}$). Если окно имеет сопротивление теплопередаче стеклопакетов ниже приведенных минимальных значений, то его никак не классифицируют. По мере увеличения температурной защиты энергоэффективные окна снижают светопропускание. Самый высокий класс сопротивления теплопередаче А1 представляют двухкамерные энергосберегающие окна с инертным газом и защитными покрытиями ($R_0' \geq 0,8 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}$). Их теплозащитные свойства выше, чем у некоторых стен из строительных материалов.

Сопротивление теплопередаче стеклопакетов зависит от следующих факторов: соотношения площадей остекления и всего блока; размеров сечений створки и рамы; материала и конструкции оконного блока; характеристики стеклопакета; качества уплотнений между створкой и рамой. Когда рассчитывается сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей, необходимо учитывать влияние краевой зоны, поскольку в месте соединения стеклопакета с профилем окна может выпадать конденсат. Какими бы эффективными ни были стеклопакеты, при свободном прохождении воздуха между рамами и стенами все их преимущества будут потеряны. Выбор окон вместе с балконными дверями для каждого региона производится в соответствии с требуемой величиной сопротивления теплопередаче R_0' и климатическими условиями, определяемыми количеством градусо-суток периода отопления.

Для увеличения теплоизоляции оконных конструкций самую важную роль играет стеклопакет. Стеклопакет – это светопрозрачная конструкция строительного назначения из нескольких стекол, соединенных (склеенных) между собой в следующем порядке: стекло – воздушная камера (газ или воздух) – стекло и т. д.

Оконный профиль в теплоизоляции окна не имеет решающего значения. При установке пятикамерного оконного профиля вместо трехкамерного изоляционные характеристики окна возрастают незначительно, поскольку профиль занимает в конструкции окна очень малую площадь (рис. 12.1).

Конструкция с одинарным стеклопакетом состоит из двух стекол, расстояние между которыми, как правило, составляет 12 или 16 мм. Сегодня их редко устанавливают в жилых помещениях, так как данный тип изделий не соответствует последним стандартам энергосбережения. Конструкция однокамерного стеклопакета идеально подходит для обустройства балконов и лоджий, для оснащения нежилых пространств, веранд и террас.

Конструкция двухкамерного стеклопакета оптимально подходит по показателям теплоэффективности для большинства регионов страны. Для типовых систем расстояние между листами составляет 10 мм. При этом используются стекла разной толщины, чтобы не привести к излишнему утяжелению изделий.

Трехкамерные стеклопакеты обычно заказывают жители регионов со сложными климатическими условиями, в которых температура зимой опускается до -40 или -50°C . Такие системы сегодня

популярны также среди потребителей, которые хотят до минимума сократить расходы на обогрев помещений в холодное время года. При этом следует помнить, что у данных конструкций снижается уровень светопередачи (на 20–30%).

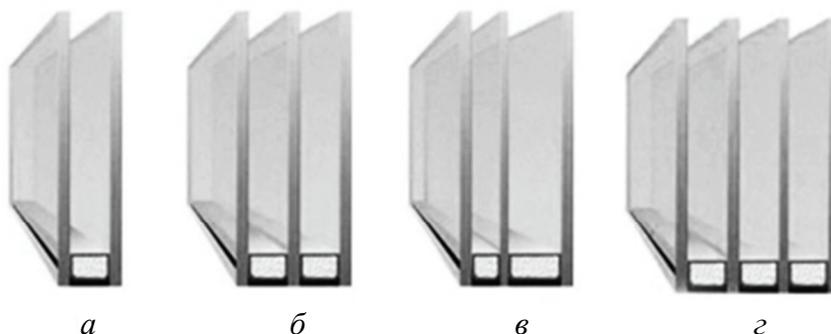


Рис. 12.1. Типы стеклопакетов:
а – однокамерный; б – двухкамерный;
в – шумоизолирующий; г – трехкамерный

Стеклопакеты классифицируют:

– по количеству камер. Между каждым двумя стеклами образуется пространство, называемое камерой, в связи с этим стеклопакеты подразделяют на однокамерные (два стекла), двухкамерные (три стекла) и т. д.;

– в зависимости от ширины. Ширина стеклопакета – это полная ширина блока вместе со стеклянной и воздушной частью. Встречаются стеклопакеты шириной 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 42, 44 мм и др.;

– исходя из типа применяемого стекла: обычное; энергосберегающее – стекла с низкоэмиссионным покрытием (с твердым или мягким покрытием (также известны как К или I типа)); шумоизолирующее – триплекс; солнцезащитное – тонированное стекло в массе или тонированное пленкой; ударопрочное – стекло триплекс с высоким классом защиты.

Формула стеклопакета всегда начинается с внешнего стекла, обращенного на улицу. Формула стеклопакета выглядит следующим образом: толщина стекла и его марка – толщина дистанционной рамки и ее наполнение – толщина стекла и его марка и т. д.

Пример: 8M1–16–4M1–12Ar–4K: 8-миллиметровое стекло марки M1 – 16-миллиметровая воздушная дистанция – 4-миллиметровое стекло марки M1 – 12-миллиметровая дистанция, заполнение аргоном – 4-миллиметровое K-стекло.

С увеличением межстекольного пространства до 16 мм (в каждой камере) теплоизоляционные характеристики стеклопакета растут, но свыше 24 мм начинают ухудшаться, так как увеличивается конвективная теплопередача в межстекольном пространстве. Для двухкамерного стеклопакета из обычного стекла с воздушным наполнением оптимальной формулой является следующая: 4–16–4–16–4 (44 мм).

Например, при толщине стеклопакета от 14 до 60 мм размер стеклопакета по высоте и ширине одновременно не должен превышать 320×300 мм; соотношение сторон стеклопакетов должно составлять не более 5 : 1 (если соотношение больше, к примеру 6 : 1, то применение дистанционной рамки толщиной менее 12 мм не рекомендуется); не рационально изготовление стеклопакетов с размером менее 300×300 мм.

Типовая комплектация современных стеклопакетов состоит из следующих элементов (рис. 12.2): нескольких листов стекла выбранной толщины и марки, дистанционной рамки, герметиков. Стекло – строительный материал, обладающий набором полезных технических характеристик: высокой прозрачностью, долговечностью, твердостью. Дистанционная рамка – это рамка, соединяющая стекла в стеклопакете с внутренней полостью, заполненной влагопоглощающим материалом – молекулярным ситом (осушителем). Данный компонент обеспечивает наличие осушенного воздуха внутри стеклопакета. Для улучшения теплоизоляции межстекольное пространство также может заполняться инертным газом (например, аргоном). Современный стеклопакет имеет два слоя герметизации: внутренний герметик – бутиловый шнур, соединяющий стекло и дистанционную рамку (обеспечивает барьер для влаги и внешних факторов среды), внешний герметик – двухкомпонентный полисульфидный герметик, который наносится по периметру стеклопакета (обеспечивает жесткость и целостность конструкции, а также дополнительный барьер для влаги).

Существуют различные способы улучшения термоизоляционных функций стеклопакетов. Проще всего увеличить количество камер, вместо однокамерного стеклопакета применить двухкамерный. При этом теплоизоляция окна заметно возрастает, но увеличивается вес оконных створок, что повышает нагрузку на фурнитуру окна. Существенно уменьшает потери тепла через окно наполнение стеклопакета инертным газом.

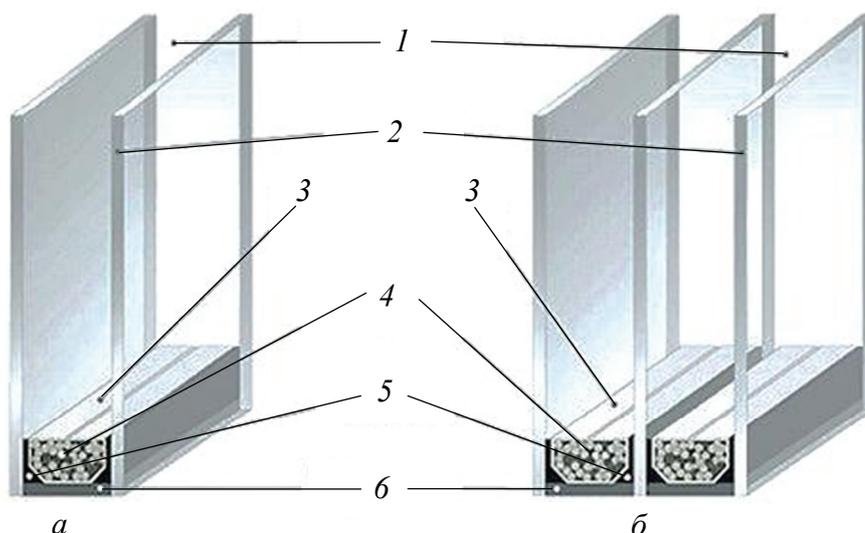


Рис. 12.2. Особенности конструкции стеклопакетов:
a – однокамерного; *б* – двухкамерного:
 1 – воздушная камера; 2 – лист стекла;
 3 – дистанционная рамка (спэйсер); 4 – молекулярное сито;
 5 – бутиловый герметик; 6 – силиконовый герметик

Стеклопакеты с инертными газами (аргон либо криптон, реже гелий и ксенон) позволяют существенно повысить сопротивление теплопередаче между жилищем и улицей. Особенно актуально это для современных стеклопакетов, в которых одно из стекол имеет теплоотражающее покрытие.

Газ криптон меньше используется и стоит дороже. Криптон не горюч, не ядовит, он в микроскопических количествах присутствует в воздухе и обладает теплопроводностью, которая в 1,8 раз меньше, чем у аргона и в 2,6 раз ниже, чем у воздуха.

Аргон – самый распространенный газовый наполнитель. Из-за высокой динамической вязкости молекулы аргона движутся медленно, тем самым замедляя конвекционные процессы внутри стеклопакета. Существенно снижаются потери тепла через диффузию. Аргон имеет более низкую теплоемкость по сравнению с воздухом. Теплопроводность аргона при 0°С – 0,016 Вт/мК, а воздуха – 0,024 Вт/мК. Этот газ не горит, не взрывоопасен, не ядовит, абсолютно безопасен для человека.

Лабораторные методы определения сопротивления теплопередаче оконных блоков заключаются в создании постоянного во времени перепада температур по обеим сторонам испытываемого образца, измерении температур воздуха и поверхностей участков

образца, а также теплового потока (или тепловой мощности на его создание), проходящего через образец при стационарных условиях испытания, и последующем вычислении значений термического сопротивления и сопротивления теплопередаче.

Светопрозрачная ограждающая конструкция – ограждающая конструкция, предназначенная для освещения естественным светом помещений зданий [35].

Теплопередача – перенос теплоты через ограждающую конструкцию от среды с более высокой температурой к среде с более низкой температурой.

Тепловой поток Q , Вт – количество теплоты, проходящее через ограждающую конструкцию в единицу измерения.

Плотность теплового потока q , Вт/м² – количество теплоты, проходящее через ограждающую конструкцию в единицу времени, отнесенное к площади расчетной поверхности размером 1 м².

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции R_k , м² · °С/Вт – отношение разности температур внутренней и наружной поверхностей однородной ограждающей конструкции к плотности теплового потока через конструкцию в условиях стационарной теплопередачи, вычисляемое по формуле [35]:

$$R_k = \frac{t_B^k - t_H^k}{q}, \quad (12.1)$$

где t_B^k , t_H^k – температура соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, °С; q – плотность теплового потока через ограждающую конструкцию, Вт/м².

Сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции R_o , м² · °С/Вт – отношение разности температур окружающей среды по обе стороны однородной ограждающей конструкции к плотности теплового потока через конструкцию в условиях стационарной теплопередачи, определяемое по формуле

$$R_o = \frac{t_B^o - t_H^o}{q}, \quad (12.2)$$

где t_B^o , t_H^o – температура окружающей среды по обе стороны ограждающей конструкции, °С; q – плотность теплового потока через ограждающую конструкцию, Вт/м².

Приведенное термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции $R_{пр.т}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – усредненное по площади расчетной поверхности неоднородной ограждающей конструкции значение термического сопротивления, вычисляемое по следующей формуле:

$$R_{пр.т} = \frac{\sum F_i}{\sum \frac{F_i}{R_{кi}}}, \quad (12.3)$$

где F_i – площадь i -й однородной зоны ограждающей конструкции, м^2 ; $R_{кi}$ – термическое сопротивление i -й однородной зоны ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции $R_{пр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – усредненное по площади расчетной поверхности неоднородной ограждающей конструкции значение сопротивления теплопередаче, определяемое по формуле

$$R_{пр} = \frac{\sum F_i}{\sum \frac{F_i}{R_{oi}}}, \quad (12.4)$$

где F_i – площадь i -й однородной зоны ограждающей конструкции, м^2 ; R_{oi} – сопротивление теплопередаче i -й однородной зоны ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Расчетные зоны светопрозрачной ограждающей конструкции – участки конструкции (коробка, рама, створка, разделительные элементы: импосты, горбыльки, бруски переплета, центральные и краевые зоны остекления), являющиеся или принимаемые за однородные температурные зоны.

Серия изделий, типоразмерный ряд – ряд ограждающих конструкций, характеризующихся единым конструктивным решением и отличающихся габаритными размерами, архитектурным рисунком, а также относительной площадью и вариантами остекления [35].

Цель работы – рассмотрение вопросов, связанных с определением коэффициента термического сопротивления оконных блоков (изучение требований, предъявляемых к конструкциям стеклопакетов и материалам); исследование термического сопро-

тивления однородной ограждающей конструкции, сопротивления теплопередаче оконных блоков.

Приборы и материалы: климатическая камера (ГОСТ 26254–1984), имеющая теплое и холодное отделения, а также перегородку с проемом, в которую устанавливают испытываемый образец; измерители теплового потока – тепломеры (ГОСТ 25380–2014), градуированные в установленном порядке, с диапазоном измерения плотности теплового потока до 250 Вт/м²; стеклянные термометры (ГОСТ 112–1978, ГОСТ 13646–1968) с диапазоном измерения температур от –50 до +50°С; металлические рулетки (ГОСТ 7502–1998).

При проведении испытаний допускается использование других приборов, оборудования и измерительных средств, отвечающих условиям проведения испытаний и поверенных в установленном порядке.

Порядок выполнения работы

Подготовку к испытаниям начинают с рассмотрения технической документации на изделия конкретного вида и составления программы испытаний, в которой учитывают конструктивные особенности изделия и устанавливают требования к температурно-влажностному режиму воздуха в теплом и холодном отделениях климатической камеры, при этом принимают решение о выборе метода измерения тепловых потоков и определяют схему размещения датчиков на поверхностях испытываемого образца.

Образец оконного блока устанавливают при проеме перегородки вертикально, без перекосов и деформаций, монтажные зазоры уплотняют пенополистирольным плитным утеплителем по ГОСТ 15588–2014. Толщина утеплителя должна быть больше или равна толщине рамы оконного блока, но не менее 100 мм. После установки оконного блока стыки между теплоизоляционными плитами и испытываемой конструкцией герметизируют мастикой (ГОСТ 14791–1979) или липкой лентой (ГОСТ 20477–1980).

При размерах образца, меньших, чем размеры проема перегородки, свободную часть проема перед испытанием заполняют плитным утеплителем (ГОСТ 15588–2014) толщиной, обеспечивающей превышение значения термического сопротивления этой

зоны по сравнению с прогнозируемым значением термического сопротивления примыкающей к утеплителю части образца не менее чем в 2 раза.

Термопары на поверхностях образца оконного блока устанавливают по вертикальной и горизонтальной осям в центрах предполагаемых однородных температурных зон светопропускающей и непрозрачной частей, а также в местах теплопроводных включений. Для оценки геометрических границ однородных зон может быть использован метод моделирования процесса теплопередачи через светопрозрачные ограждающие конструкции на компьютере с последующим их уточнением экспериментальным методом.

При испытаниях системы профилей (комбинаций створок, коробок и других деталей) термопары устанавливают в однородных зонах на поверхностях створок и коробок.

При испытаниях стеклопакета термопары размещают в центральной и краевых зонах поверхностей стеклопакета.

Измерения температуры и теплового потока при испытаниях в климатической камере проводят одновременно при помощи дистанционных приборов и аппаратуры. Нахождение людей и не используемой при испытаниях измерительной аппаратуры в климатической камере во время проведения измерений не допускается.

При измерении плотности тепловых потоков с помощью тепломеров режим теплопередачи через испытываемой образец считают стационарным, если результаты повторных, с интервалом не менее 0,5 ч, измерений температуры на поверхностях однородных зон образца со стороны теплового отделения отличаются друг от друга не более чем на $0,3^{\circ}\text{C}$, а значения термического сопротивления, вычисленные по результатам последовательных измерений сигналов термодатчиков, отличаются друг от друга не более чем на 5% при условии, что эти значения не возрастают и не убывают монотонно.

После установления стационарного режима теплопередачи проверяют правильность выбора однородных температурных зон на образце путем измерения плотности тепловых потоков и температуры его внутренней поверхности. В случае существенных отклонений температуры и плотности тепловых потоков в пределах зоны (превышающих 10%) производят корректировку расположения датчиков температур и тепловых потоков.

Измерения температуры и плотности тепловых потоков осуществляют не менее трех раз с интервалом не менее 1 ч.

Результаты измерений заносят в протокол испытаний, форма которого приведена в приложении 1.

Режим теплопередачи через испытываемый образец считают стационарным, если разность значений температур воздуха внутри приставной камеры и теплового отделения климатической камеры не превышает $0,5^{\circ}\text{C}$, а результаты повторных, с интервалом не менее 0,5 ч, измерений тепловой мощности нагревателя отличаются не более чем на 5%.

Результаты измерений записывают в таблицу (см. на с. 155) [35].

Обработка результатов и их анализ

За расчетные значения температуры для каждой однородной зоны принимают среднеарифметические значения измеренных величин.

Термическое сопротивление i -й однородной зоны испытываемого образца R_{ki} , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, при измерении плотности тепловых потоков с помощью тепломеров определяют по формуле

$$R_{ki} = \frac{t_{bi}^k - t_{hi}^k}{q_i}, \quad (12.5)$$

где t_{bi}^k , t_{hi}^k – средняя температура соответственно внутренней и наружной поверхностей i -й зоны за период измерений, $^{\circ}\text{C}$; q_i – средняя плотность теплового потока, проходящего через i -ю зону за период измерений, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Приведенное термическое сопротивление светопропускающей $R_{\text{пр.т}}^{\text{св.ч}}$, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, и непрозрачной $R_{\text{пр.т}}^{\text{н.ч}}$, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, частей оконного блока, а также полотна $R_{\text{пр.т}}^{\text{п}}$, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, и коробки $R_{\text{пр.т}}^{\text{к}}$, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, дверного блока рассчитывают по следующим формулам:

$$R_{\text{пр.т}}^{\text{св.ч}} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^m \frac{A_i}{R_{ki}}}, \quad (12.6)$$

$$R_{\text{пр.т}}^{\text{н.ч}} \left(R_{\text{пр.т}}^{\text{п}}, R_{\text{пр.т}}^{\text{к}} \right) = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{\sum_{j=1}^n \frac{A_j}{R_{\text{к}j}}}, \quad (12.7)$$

где m, n – число однородных зон соответственно светопропускающей и непрозрачной частей оконного блока, а также полотна и коробки дверного блока; A_i – расчетная площадь i -й однородной зоны светопропускающей части оконного блока, м^2 ; $R_{\text{к}i}$ – термическое сопротивление i -й однородной зоны светопропускающей части оконного блока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; A_j – расчетная площадь j -й однородной зоны непрозрачной части оконного блока, а также полотна и коробки дверного блока, м^2 ; $R_{\text{к}j}$ – термическое сопротивление j -й однородной зоны непрозрачной части оконного блока, а также полотна и коробки дверного блока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Приведенное термическое сопротивление испытанного оконного блока $R_{\text{пр.т}}^{\text{о.б}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, вычисляют с помощью формулы

$$R_{\text{пр.т}}^{\text{о.б}} = \frac{A_{\text{св.ч}} + A_{\text{н.ч}}}{\frac{A_{\text{св.ч}}}{R_{\text{пр.т}}^{\text{св.ч}}} + \frac{A_{\text{н.ч}}}{R_{\text{пр.т}}^{\text{н.ч}}}}, \quad (12.8)$$

где $A_{\text{св.ч}}$, $A_{\text{н.ч}}$ – площадь расчетной поверхности соответственно светопропускающей и непрозрачной частей оконного блока, м^2 ; $R_{\text{пр.т}}^{\text{св.ч}}$, $R_{\text{пр.т}}^{\text{н.ч}}$ – приведенное термическое сопротивление соответственно светопропускающей и непрозрачной частей оконного блока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Приведенное термическое сопротивление испытанного дверного блока $R_{\text{пр.т}}^{\text{д.б}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, находят по следующей формуле:

$$R_{\text{пр.т}}^{\text{д.б}} = \frac{A_{\text{п}} + A_{\text{к}}}{\frac{A_{\text{п}}}{R_{\text{пр.т}}^{\text{п}}} + \frac{A_{\text{к}}}{R_{\text{пр.т}}^{\text{к}}}}, \quad (12.9)$$

где $A_{\text{п}}$, $A_{\text{к}}$ – площадь расчетной поверхности соответственно полотна и коробки дверного блока, м^2 ; $R_{\text{пр.т}}^{\text{п}}$, $R_{\text{пр.т}}^{\text{к}}$ – приведенное термическое сопротивление соответственно полотна и коробки дверного блока, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Результаты определения коэффициента термического сопротивления оконных блоков

Номер однородной зоны	Площадь i -й (j -й) зоны $A_{i(j)}$, м ²	Номер датчиков температуры	Температура поверхности				Номер датчиков теплового потока	Плотность теплового потока			Термическое сопротивление i -й (j -й) однородной зоны $R_{k(i)}$, м ² · °С/Вт	Приведенное термическое сопротивление, м ² · °С/Вт		Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{пр}$, м ² · °С/Вт	
			Текущие значения		Средняя по площади $A_{i(j)}$			Текущие значения	Средняя по площади $A_{i(j)}$, Вт/м ²	свето-пропускающей части $R_{пр.ч}^{св.ч}$		непрозрачной части $R_{пр.ч}^{н.ч}$			
			$t_{в i}$	$t_{н i}$	$t_{в}$, °С	$t_{н}$, °С							*		Вт/м ²

Примечание. В графах, отмеченных знаком *, приводятся показания измерительного прибора.

Приведенное сопротивление теплопередаче испытанного оконного $R_{\text{пр}}^{\text{о.б}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, или дверного $R_{\text{пр}}^{\text{д.б}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, блока при измерении плотности тепловых потоков с помощью тепломеров рассчитывают по формулам

$$R_{\text{пр}}^{\text{о.б}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{пр.т}}^{\text{о.б}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (12.10)$$

$$R_{\text{пр}}^{\text{д.б}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{пр.т}}^{\text{д.б}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (12.11)$$

где $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей блока, принимаемый $\alpha_{\text{в}} = 8,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, $\alpha_{\text{н}} = 23,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{пр.т}}^{\text{о.б}}$, $R_{\text{пр.т}}^{\text{д.б}}$ – приведенное термическое сопротивление соответственно испытанного оконного или дверного блока, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Среднее значение плотности теплового потока, проходящего через испытываемый оконный $q_{\text{ср}}^{\text{о.б}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$, или дверной $q_{\text{ср}}^{\text{д.б}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$, блок, при его измерении с помощью приставной калориметрической камеры определяют по нижеприведенным формулам:

$$q_{\text{ср}}^{\text{о.б}} = \frac{(UI + Q_{\text{эл}}) - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(t_{\text{в}i} - t_{\text{н}i})\lambda}{\delta_i} A_{\text{т.м}i}}{A_{\text{о.б}}}, \quad (12.12)$$

$$q_{\text{ср}}^{\text{д.б}} = \frac{(UI + Q_{\text{эл}}) - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(t_{\text{в}i} - t_{\text{н}i})\lambda}{\delta_i} A_{\text{т.м}i}}{A_{\text{д.б}}}, \quad (12.13)$$

где U – напряжение в сети постоянного тока нагревателя приставной калориметрической камеры, В; I – сила тока в сети нагревателя калориметра, А; $Q_{\text{эл}}$ – тепловая мощность, выделяемая электродвигателем вентилятора приставной камеры, Вт; $t_{\text{в}i}$, $t_{\text{н}i}$ – средние за период измерений значения температуры соответственно внутренней и наружной поверхностей i -го участка теплоизоляционного материала, заполняющего проем ограждения вне пределов испытываемого образца, разделяющего теплое и холодное отделения климатической камеры, $^\circ\text{C}$; λ – теплопроводность теплоизоляционного материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; δ_i – толщина слоя i -го участка

теплоизоляционного материала, м; $A_{т.ми}$ – площадь поверхности i -го участка теплоизоляционного материала, м²; $A_{о.б}$, $A_{д.б}$ – площадь расчетной поверхности соответственно испытываемого образца оконного или дверного блока, м².

Приведенное термическое сопротивление испытанного оконного $R_{пр.т}^{о.б}$, м² · °С/Вт, или дверного $R_{пр.т}^{д.б}$, м² · °С/Вт, блока при измерении плотности теплового потока с помощью приставной калориметрической камеры вычисляются по формулам

$$R_{пр.т}^{о.б} = \frac{t_{в} - t_{н}}{q_{ср}^{о.б}}, \quad (12.14)$$

$$R_{пр.т}^{д.б} = \frac{t_{в} - t_{н}}{q_{ср}^{д.б}}, \quad (12.15)$$

где $t_{в}$, $t_{н}$ – средняя температура соответственно внутренней и наружной поверхностей испытываемого образца за период измерений, определяемая по результатам расчета температурного поля, °С; $q_{ср}^{о.б}$, $q_{ср}^{д.б}$ – средняя плотность теплового потока, проходящего через испытываемый образец (оконный или дверной блок), Вт/м².

Приведенное сопротивление теплопередаче испытанного оконного $R_{пр}^{о.б}$, м² · °С/Вт, или дверного $R_{пр}^{д.б}$, м² · °С/Вт, блока при измерении плотности теплового потока с помощью приставной калориметрической камеры определяют по формулам (12.10) и (12.11).

Результаты теплотехнических испытаний оконного блока могут быть распространены на типоразмерный ряд изделий (серию), отличающихся габаритными размерами и относительной площадью остекления. Значения приведенного термического сопротивления оконных блоков $R_{пр.т}^{о.б}$, м² · °С/Вт, типоразмерного ряда находят по следующей формуле:

$$R_{пр.т}^{о.б} = \frac{1}{\frac{\beta}{R_{пр.т}^{св.ч}} + \frac{1-\beta}{R_{пр.т}^{н.ч}}}, \quad (12.16)$$

где β – отношение площади остекления к площади заполнения светового проема рассчитываемого оконного блока типоразмерного ряда; $R_{пр.т}^{св.ч}$ – приведенное термическое сопротивление светопро-

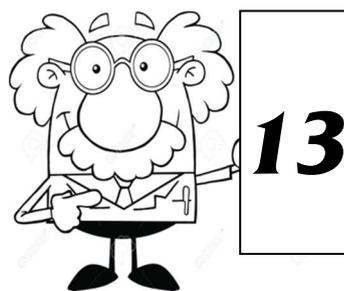
пускающей части испытанного оконного блока, определенное по формуле (12.6), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; $R_{\text{пр.т}}^{\text{н.ч}}$ – приведенное термическое сопротивление непрозрачной части испытанного оконного блока, вычисленное по формуле (12.7), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков типоразмерного ряда находят по формуле (12.10) с учетом значений приведенного термического сопротивления, рассчитанных по формуле (12.16).

Результаты испытаний анализируются студентом. Анализ результатов и вывод приводят в отчете о работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные эксплуатационные характеристики стеклопакета.
2. Назовите типы стеклопакетов и их особенности.
3. Приведите классификацию стеклопакетов.
4. Какова типовая комплектация современных стеклопакетов?
5. Перечислите способы увеличения термоизоляционных функций стеклопакетов.
6. В чем заключается сущность метода определения сопротивления теплопередаче оконных блоков?
7. Что такое и в чем измеряются: тепловой поток, теплопередача, плотность теплового потока, термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции?



Лабораторная работа

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Общие положения

Под *метрологическим обеспечением подготовки производства* понимают комплекс мероприятий по обеспечению достоверности измерений характеристик изготавливаемых изделий, материалов и сырья, параметров технологических процессов, оборудования и инструмента.

Организационной основой метрологического обеспечения является метрологическая служба предприятия. В ее обязанности входит участие в выборе и назначении методов и средств измерения на всех этапах технологического процесса, а также создание условий для постоянной готовности средств измерений, применяемых на предприятии.

Главной целью метрологического обеспечения технологического процесса механической обработки является создание при заданной точности изготовления деталей или изделий. При этом под *точностью* понимают степень соответствия натуральных размеров детали тем размерам, какие заданы конструкторской документацией (чертежом).

Разумеется, что точность обработки поверхностей в известной степени зависит от того, насколько точно мы измеряем отклонения, которые возникают в процессе обработки. К таким отклонениям можно отнести, например, отклонения от правильной цилиндрической формы (бочкообразность, изогнутость, конусность и др.). В свою очередь, обеспечение точности изготовления

отдельных деталей в последующем гарантирует точность сборки узлов и, таким образом, надежность и долговечность изделия.

Под *измерением* понимают опыт, в результате которого получают количественную характеристику свойств объекта, явлений или процессов. Отклонение результата измерения от натурального значения называют *погрешностью измерения*. Результаты измерения признаются точными (достоверными), когда отклонение измерения не превышает установленной величины погрешности измерения. Погрешность измерения является итогом несовершенства метода измерения, средств измерения и неточности отсчета показаний.

Применяемые средства измерения и контроля линейно-угловых размеров функционально подразделяются на три группы:

- 1) меры, воспроизводящие заданные размеры длин и углов;
- 2) калибры, воспроизводящие границы размеров;
- 3) универсальные средства измерения действительных размеров.

Наиболее распространенными в промышленности мерами являются плоскопараллельные концевые меры длины по ГОСТ 9038–1990 [36], которые имеют форму плиток с наименьшей возможной шероховатостью, что предоставляет возможность при помощи соприкосновения плиток одна с одной собирать из них блоки нужных размеров. Номинальные размеры концевых мер длины имеют градацию, которая позволяет складывать блоки номинальными размерами через 0,0005 мм. Концевые меры длины используются для настройки средств измерения приборов, градуировки и тарировки шкал приборов, проверки приборов, а также точной настройки станков на размер.

Калибры применяются, в основном, в массовом и серийном производстве и предназначены для контроля наибольшего и наименьшего предельных размеров детали, поэтому их называют предельными. Калибры, используемые для контроля валов, называются скобами (рис. 13.1, *а*), а гладких отверстий – пробками (рис. 13.1, *б*, *в*), согласно ГОСТ 2216–1984 [37], ГОСТ 2534–1977 [38]. С помощью калибров нельзя определить цифровое значение проверяемой величины, можно только выявить достоинство детали, т. е. соответствие натуральных значений параметров данным. Проходная сторона калибра должна соприкоснуться с контролируемой поверхностью, и она обозначается буквами ПР. Вторая сторона предельных калибров, которая не должна граничить с поверхностью проверяемой детали, называется непроходной и обозначается буквами НЕ.

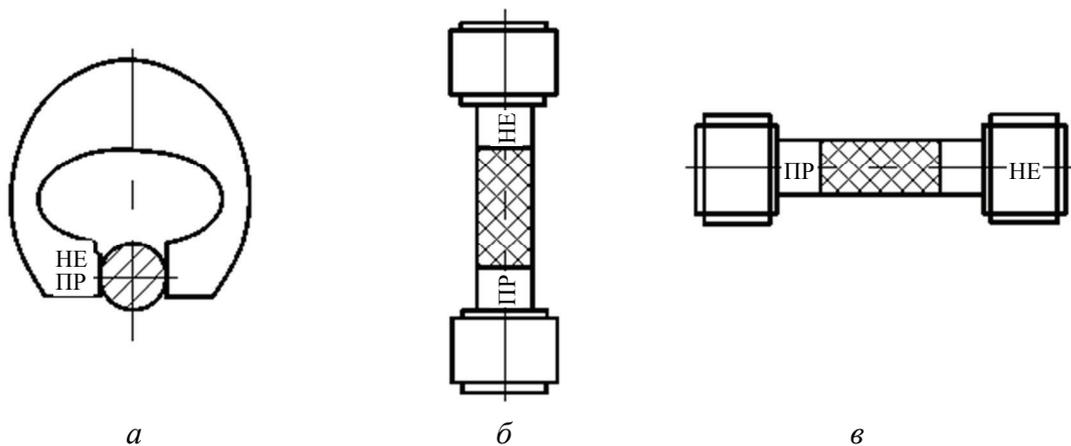


Рис. 13.1. Калибры для контроля валов, гладких отверстий:
а – скоба; *б* – пробка; *в* – резьбовая пробка

Калибры-скобы чаще всего изготавливают односторонними двухпредельными, т. е. с проходной и непроходной губками, расположенными с одной стороны калибра (рис. 13.1, *б*). Такая конструкция позволяет сократить время, которое затрачивается на контроль. Калибры-пробки состоят из ручек и вставок (или насадок), которые являются их рабочими элементами. Непроходная вставка значительно короче проходной. Ручки изготавливают отдельно от рабочих элементов, что позволяет их использовать многократно после износа вставок (насадок).

В условиях серийного и массового производства иногда употребляют регулируемые скобы. Такую скобу можно настраивать с помощью концевых мер на нужный размер в случае перехода от контроля одного изделия к другому или для компенсаций износа. Настройка вставок на размер регулируется с помощью установочных винтов.

В массовом и серийном производстве для контроля длин, высот выпуклых и вогнутых поверхностей и поверхностей со сложным профилем используют шаблоны. Для определения профиля и шага резьбы применяют резьбовые шаблоны, комплектуемые в наборы.

Для контроля резьбовых поверхностей предназначены соответствующие им калибры. Внутренние резьбы контролируются с помощью резьбовых пробок (рис. 13.1, *в*), а наружные – резьбовых колец.

В качестве материала калибров используют инструментальную углеродистую или легированную сталь.

В роли универсальных измерительных средств натуральных размеров наибольшее распространение получили механические приборы и инструменты.

В зависимости от устройства элементов измерительной цепи механические приборы и инструменты имеют разновидности:

- простейшие инструменты;
- штангенинструменты и нониусные угломеры;
- микрометрические инструменты.

Основной принцип выбора средств измерения размеров заключается в том, что точность измерительного средства должна быть достаточно высокой в сравнении с заданной точностью выполнения измерительного параметра детали, а трудоемкость и стоимость измерений должны быть как можно более низкими, что обеспечивает наиболее высокую производительность труда и экономичность.

Универсальные измерительные средства применяются чаще всего при единичном и мелкосерийном производстве.

При выборе универсальных измерительных средств пользуются сведениями о предельной погрешности замеров этими средствами в зависимости от условий измерения. Такие сведения приведены в таблице.

Граничные погрешности измерения линейных размеров универсальными измерительными средствами

Границы размеров, мм	Граничные погрешности измерений, мм			
	микрометром гладким	нутромером индикаторным	штангенциркулем	
			с отсчетом по нониусу 0,1 мм	с отсчетом по нониусу 0,05 мм
До 50	0,010	0,005	$\frac{0,15}{0,20}$	$\frac{0,10}{0,15}$
50–120	0,015	0,010	$\frac{0,20}{0,25}$	$\frac{0,10}{0,20}$
120–250	0,025	0,010	$\frac{0,20}{0,30}$	$\frac{0,10}{0,30}$
250–400	0,040	0,020	$\frac{0,25}{0,30}$	–
400–500	0,050	0,030	$\frac{0,25}{0,30}$	–
500–1000	0,070	–	$\frac{0,30}{0,35}$	–
1000–2000	0,080	–	$\frac{0,40}{0,45}$	–

Примечание. В столбцах 4–5 в числителе показана граничная погрешность измерения внешних линейных размеров, а в знаменателе – внутренних.

Предельные отклонения измерения размеров посредством металлической линейки и рулетки составляют: 0,50 мм – для размеров до 1000 мм; 0,75 мм – для размеров от 1000 до 2000 мм.

При выборе измерительного средства необходимо учитывать:

1) вид измеряемого линейного размера детали – внутренний или внешний;

2) диапазон измерения измерительного средства;

3) предельное отклонение измерения, указанное в таблице.

В данной работе необходимо ознакомиться с устройством и работой некоторых наиболее распространенных универсальных измерительных средств и предельных калибров.

К штангенприспособлениям относятся: штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмус, штангензубомер, нониусный угломер.

Штангенциркуль в соответствии с ГОСТ 166–1989 [39] предназначен для измерения внешних и внутренних диаметров, глубин отверстий, для разметки (рис. 13.2).

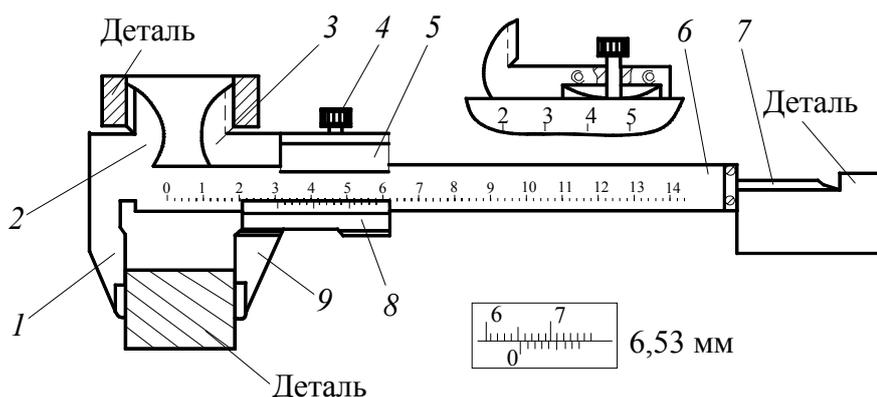


Рис. 13.2. Штангенциркуль и пример отсчета по нониусу:

1, 2 – неподвижные губки; 3, 9 – подвижные губки;

4 – стопорный винт; 5 – рамка; 6 – штанга;

7 – глубиномер; 8 – нониус

Штангенциркуль состоит из штанги 6 прямоугольного сечения с неподвижными губками 1 и 2. Рамка 5 с губками 3 и 9 перемещается по штанге. Выдвижная ножка 7 (глубиномер) соединена с рамкой стопорным винтом 4 и плоской пружиной, которая размещена между роликом и гранью штанги и обеспечивает плотный прижим рамки к штанге. На штанге нанесена шкала с миллиметровыми делениями, а на скосе рамки – дополнительная шкала 8 (нониус), предназначенная для отсчета долей миллиметра. Простейший

нониус имеет 10 делений. Наименьший размер, который может быть отсчитан с помощью нониуса, называется величиной отсчета по нониусу и является основной характеристикой штангенинструментов. Обычно величина отсчета показывается на рамке штангенциркуля. Штангенциркули выпускаются с величиной отсчета по нониусу 0,1; 0,05; 0,02 мм и с допустимыми погрешностями показателей соответственно $\pm 0,1$; $\pm 0,05$; $\pm 0,02$. Пределы измерений штангенциркулей следующие: 0–125; 0–150; 0–200; до 3000 мм.

В настоящее время выпускаются цифровые штангенциркули, один (Digital caliper) из которых имеет многовариантное исполнение. Внешне штангенциркуль Digital caliper не отличается от обычного, за исключением того, что он имеет цифровой индикатор, на котором высвечивается значение измеряемого размера в момент его измерения. Также на корпусе индикатора расположены кнопки: On/Off; Zero; Inch/mm. Точность измерения штангенциркулем Digital caliper составляет 0,01 мм, скорость измерения приблизительно равна 1,5 м/с, измерения можно проводить при температуре от 0 до 40°C. Условия хранения штангенциркуля Digital caliper: температура воздуха от –10 до +60°C; влажность воздуха не более 80%.

Штангенглубиномер (рис. 13.3) служит для измерения глубины отверстий в деталях, высоты деталей, расстояний до бортиков или выступов. Он состоит из штанги 7 со шкалой, рамки 4, основания (траверсы) 1, нониуса 2, стопорного винта 3 и микрометрической подачи (движка 6, гайки 9, винта 8 и стопора 5).

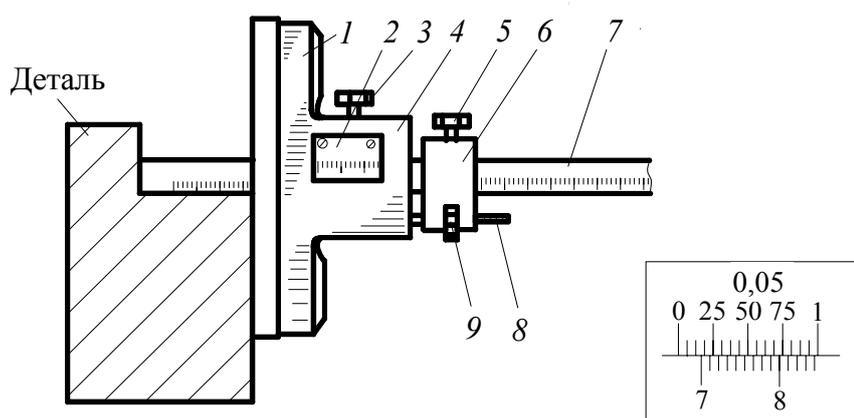


Рис. 13.3. Штангенглубиномер и пример отсчета по нониусу:

- 1 – основа (траверса); 2 – нониус; 3 – стопорный винт;
4 – рамка; 5 – стопор; 6 – движок; 7 – штанга со шкалой;
8 – винт; 9 – гайка

Измерительными поверхностями являются торцовая поверхность штанги и плоскость основания.

Штангенрейсмус (рис. 13.4) предназначен для разметки и измерения высоты изделий. Он состоит из основания со штангой 1, рамки 4, нониуса 5, стопорного винта 3, микрометрической подачи 2, сменных ножек 8 с острием для разметки и ножки 7 для измерения высоты.

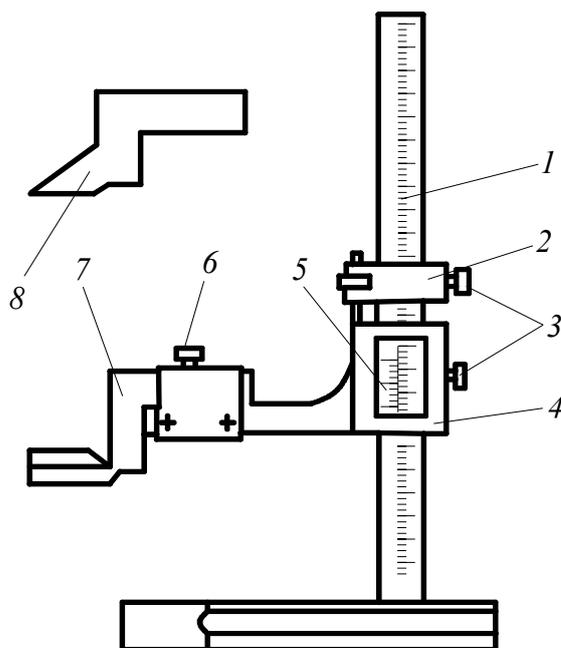


Рис. 13.4. Штангенрейсмус:
1 – штанга; 2 – микрометрическая подача;
3 – стопорный винт; 4 – рамка; 5 – нониус;
6 – винт; 7 – ножка для измерения высоты;
8 – переменные ножки

Отсчет по шкале дает значение расстояния от нижней плоскости ножки до нижней плоскости основания штангенрейсмуса.

К микрометрическим инструментам, которые основаны на винтовой паре «микрометрический винт – микрогайка», относятся: гладкий микрометр, листовой и трубный микрометры, резьбовой микрометр, зубомерный микрометр, микрометрический нутромер и микрометрический глубиномер.

Наиболее широко используемым инструментом является гладкий микрометр в соответствии с ГОСТ 6507–1990 [40], ГОСТ 4380–1993 [41] (рис. 13.5).

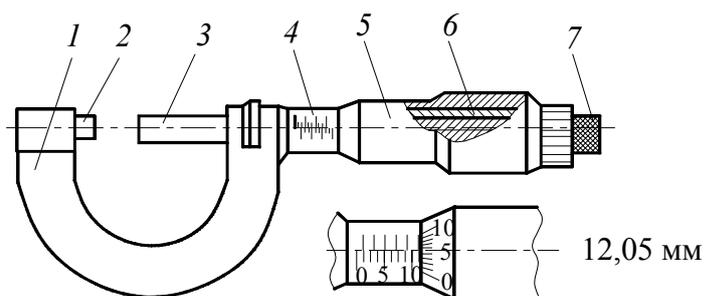


Рис. 13.5. Гладкий микрометр:
 1 – скоба; 2 – винт; 3 – микрометрический винт;
 4 – втулка; 5 – гильза; 6 – микрометрическая гайка;
 7 – трещотка

Микрометр предназначен для измерения диаметров и толщины изделий с точностью до 0,01 мм. Микрометры выпускают с границей измерений 0–25, 25–50, 50–75 мм и т. д. Установку микрометра в исходное положение с верхней границей измерений свыше 25 мм выполняют при помощи установочной меры, которая прилагается к микрометру. Для этой цели используют также концевые меры длины.

Микрометр состоит из скобы 1, во втулке которой вращается однозаходный микрометрический винт 3. Микрометрическая гайка 6 имеет шаг резьбы 0,5 мм, поэтому за один ее оборот винт перемещается на 0,5 мм. На поверхности втулки 4 нанесены деления с шагом 0,5 мм. Окружность гильзы 5, соединенная с винтом, разделена на 50 частей, поэтому поворот ее на одно деление соответствует осевому перемещению винта на 0,01 мм.

К зубчатым и рычажно-зубчатым приборам и микрометрическим инструментам относятся: индикаторы часового типа, индикаторные скобы, индикаторные нутромеры и др. Эти приборы предназначены для относительных измерений наружных размеров, отклонений формы и расположения поверхности.

В карте технического контроля описывается последовательность выполнения контрольных операций с указанием приемов их выполнения, которые обеспечивают точность и производительность контроля. Средства оснащения процесса технологического контроля обработанных деталей выбирают с учетом типа производства, вида деталей, программы выпуска, характера процесса обработки, точности измерения, трудоемкости и затрат на контроль.

При выборе средств контроля используют конструкторскую документацию на изделие, каталоги средств контроля, стандарты и др. К применению допускаются средства контроля, признанные годными по результатам метрологического надзора.

Цель работы – приобретение навыков в правильности выбора и использовании универсальными средствами измерения, в том числе предельными калибрами для выполнения технологического контроля обработанных деталей; выбор измерительного инструмента для одной из операций разрабатываемого технологического процесса.

Приборы и материалы: индикаторные приборы; микрометры; толщиномеры; штангенциркуль; плоскопараллельные концевые меры длины; предельные калибры-пробки и калибры-скобы; детали для выполнения измерений.

Порядок выполнения работы

Студенты знакомятся с плоскопараллельными концевыми мерами длины и по заданию преподавателя собирают блоки разных размеров.

Изучают конструкцию предельных калибров и некоторые примеры их применения (по заданию преподавателя).

Исследуют конструкцию штангенинструментов и определяют с их помощью основные размеры детали (по заданию преподавателя).

Знакомятся с конструкцией микрометра и проводят его настройку на нулевую отметку посредством концевой меры длины или установочной меры, которая имеется в комплекте прибора. Измеряют с помощью микрометра цилиндрическую деталь (по заданию преподавателя) и определяют погрешность ее формы. Чертят схему измерения этой детали.

Выбирают измерительный инструмент для операций технологического процесса механической обработки, отмечают его тип и характерные размеры и заполняют соответствующие графы операционной карты.

В отчет включают цель и задание работы, общие сведения о метрологическом обеспечении технологического процесса, краткую характеристику групп измерений.

Обосновывают выбор средств измерений для исполняемой операции механической обработки детали.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под качеством продукции деревообрабатывающей промышленности? Какие факторы ее обуславливают?
2. Приведите общие сведения о точности в деревообработке и причинах, которые влекут за собой возникновение погрешностей.
3. Что понимают под размерами, отклонениями, допусками, посадками?
4. Назовите средства измерений и контроля линейно-угловых размеров, дайте их краткую характеристику и опишите назначение.
5. Посредством микрометра определите погрешность толщины лущеного и строганого шпона.
6. С помощью штангенциркуля измерьте основные размеры заготовки из цельной древесины.
7. Посредством калибра определите проходной размер по ширине вертикальной стенки шкафа.



Приложение 1

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Общие требования к отбору образцов из древесины и древесных материалов, проведению физико-механических испытаний свойств древесины на образцах и статистическому анализу полученных результатов испытаний приведены в ГОСТ 16483.0–1989 [42].

1.1. Отбор образцов

Отбор образцов генеральной совокупности производят в одну или более стадий (одностадийный или многостадийный отбор) с использованием методов случайного или систематического отбора.

Одностадийный отбор применяют в тех случаях, когда можно пренебречь изменчивостью свойств древесины внутри единицы отбора, например, деревьев из насаждения, при этом из каждого дерева изготавливают по одной заготовке для образца.

Многостадийный отбор (двухстадийный и трехстадийный) используют, когда суммарные затраты всех его стадий меньше, чем при одностадийном отборе. Он включает следующие стадии:

1) двухстадийный отбор: первая стадия – отбор, например, деревьев из насаждения; вторая стадия – отбор кряжей из каждого отобранного дерева и изготовление из каждого кряжа по одной заготовке для образца;

2) трехстадийный отбор: первая стадия – отбор, например, деревьев из насаждения; вторая стадия – отбор кряжей из каждого

отобранного дерева; третья стадия – отбор из каждого кряжа по несколько заготовок для образцов.

Отбор на каждой стадии может быть случайным или систематическим. Метод случайного отбора, например, с применением таблиц случайных чисел используют при отсутствии необходимости ограничения числа отбираемых единиц, что дает возможность с наибольшей точностью определить изменчивость исследуемого свойства.

Метод систематического отбора, применяемый при необходимости ограничения числа отбираемых единиц, заключается в упорядочении совокупности по одному из параметров (например, по диаметру деревьев), разделении ее на одинаковые группы, число которых равно количеству отбираемых единиц, и в отборе из каждой группы единицы, средней по порядковому номеру. Использование этого метода позволяет с наибольшей точностью определить среднее арифметическое исследуемого свойства.

Минимальное количество испытываемых образцов при одностадийном (случайном и систематическом) отборе вычисляют по формуле

$$n_{\min} = \frac{V^2 t_{\gamma}^2}{P_{\gamma}^2},$$

где V – коэффициент вариации одного из свойств древесины, %; t_{γ} – квантиль распределения Стьюдента; P_{γ} – относительная точность определения выборочного среднего.

При неизвестном коэффициенте вариации V можно пользоваться ориентировочными значениями коэффициента вариации (табл. П1.1).

Таблица П1.1

Значение коэффициента вариации

Свойства древесины	Коэффициент вариации, %
Число годичных слоев в 1 см	37
Процент поздней древесины	28
Плотность	10
Нормализованная влажность	5
Усушка:	
– линейная	28
– объемная	16
Предел прочности при сжатии вдоль волокон	13
Предел прочности при статическом изгибе	15

Свойства древесины	Коэффициент вариации, %
Предел прочности при скалывании вдоль волокон	20
Модуль упругости при статическом изгибе	20
Условный предел прочности (предел пропорциональности при сжатии поперек волокон)	20
Предел прочности при растяжении вдоль и поперек волокон	20
Ударная вязкость при изгибе	32
Твердость	17

Относительную точность определения выборочного среднего принимают 5% при доверительной вероятности 0,95. Если коэффициент вариации превышает 20%, то допускается определять выборочное среднее с относительной точностью 10%. Для ориентировочных испытаний доверительную вероятность полагают равной 0,68.

В расчетах квантиль распределения Стьюдента (t_γ) принимают с учетом предполагаемого количества единиц отбора, согласно табл. П1.2. При отличии расчетной величины n от предполагаемой вычисление повторяют до тех пор, пока различие между ними будет не более 1.

Таблица П1.2

Значения квантилей распределения Стьюдента

Объем выборки	Значение t_γ при доверительной вероятности для двухсторонних интервалов				
	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
2	1,963	3,078	6,314	12,706	63,657
3	1,336	1,886	2,920	4,303	9,925
4	1,250	1,638	2,353	3,182	5,841
5	1,190	1,533	2,132	2,776	4,604
6	1,156	1,476	2,015	2,571	4,032
7	1,134	1,440	1,943	2,447	3,707
8	1,119	1,415	1,895	2,365	3,499
9	1,108	1,397	1,860	2,306	3,355
10	1,100	1,383	1,833	2,262	3,250
11	1,093	1,372	1,812	2,228	3,169
12	1,088	1,363	1,796	2,201	3,106
13	1,083	1,356	1,782	2,179	3,055

Объем выборки	Значение t_γ при доверительной вероятности для двухсторонних интервалов				
	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
14	1,079	1,350	1,771	2,160	3,012
15	1,076	1,345	1,761	2,145	2,977
16	1,074	1,341	1,753	2,131	2,947
17	1,071	1,337	1,746	2,120	2,921
18	1,069	1,333	1,740	2,110	2,898
19	1,067	1,330	1,734	2,103	2,878
20	1,066	1,328	1,729	2,093	2,861
21	1,064	1,325	1,725	2,086	2,845
22	1,063	1,323	1,721	2,080	2,831
23	1,061	1,321	1,717	2,074	2,819
24	1,060	1,319	1,714	2,069	2,807
25	1,059	1,318	1,711	2,064	2,797
26	1,058	1,316	1,708	2,060	2,787
27	1,058	1,315	1,706	2,056	2,779
28	1,057	1,314	1,703	2,052	2,771
29	1,056	1,313	1,701	2,048	2,763
30	1,055	1,311	1,699	2,045	2,756
31	1,055	1,310	1,697	2,042	2,750
>31	1,036	1,282	1,645	1,960	2,576

Минимальное количество испытуемых образцов для многостадийного отбора с учетом вариации свойств древесины внутри и между единицами отбора равно произведению количества единиц отбора, вычисленных для каждой из стадий по следующей методике.

При двухстадийном отборе количество единиц второй стадии отбора, отбираемых из каждой единицы первой стадии отбора, рассчитывают по следующей формуле:

$$n_{22} = \frac{V_{22}}{V_{21}} \sqrt{\frac{C_{21}}{C_{22}}},$$

где V_{22} – коэффициент вариации единиц второй стадии отбора; V_{21} – коэффициент вариации единиц первой стадии отбора; C_{21} – затраты на одну единицу первой стадии отбора; C_{22} – затраты на одну единицу второй стадии отбора.

Количество единиц первой стадии отбора находят с помощью формулы

$$n_{21} = \frac{t_{\gamma}^2 \left(V_{21}^2 + \frac{V_{22}^2}{n_{22}} \right)}{P_{\gamma}^2}.$$

При трехстадийном отборе количество единиц третьей стадии отбора, отбираемых из каждой единицы второй стадии отбора, вычисляют по следующей формуле:

$$n_{33} = \frac{V_{33}}{V_{32}} \sqrt{\frac{C_{32}}{C_{33}}},$$

где V_{33} – коэффициент вариации единиц третьей стадии отбора; V_{32} – коэффициент вариации единиц второй стадии отбора; C_{32} – затраты на одну единицу второй стадии отбора; C_{33} – затраты на одну единицу третьей стадии отбора.

Количество единиц второй стадии отбора, отбираемых из каждой единицы первой стадии отбора, определяют по формуле

$$n_{32} = \frac{V_{32}}{V_{31}} \sqrt{\frac{C_{31}}{C_{32}}},$$

где V_{31} – коэффициент вариации единиц первой стадии отбора; C_{31} – затраты на одну единицу первой стадии отбора.

Количество единиц первой стадии отбора рассчитывают по следующей формуле:

$$n_{31} = \frac{t_{\gamma}^2 \left[V_{31}^2 + \frac{1}{n_{32}} \left(V_{32}^2 + \frac{V_{33}^2}{n_{33}} \right) \right]}{P_{\gamma}^2}.$$

Для определения неизвестных коэффициентов вариации проводят предварительные испытания на произвольно взятом количестве образцов. Результаты округляют с точностью до целого числа.

1.2. Подготовка заготовок и образцов

Подготовка заготовок и образцов включает два этапа:

- изготовление и кондиционирование заготовок для образцов;
- изготовление и кондиционирование образцов.

Изготовление и кондиционирование заготовок для образцов производят следующим образом. Из отобранных единиц вырезают заготовки, размеры которых позволяют изготовить образцы нужной формы. Если заготовка окажется непригодной для изготовления образца, выбирают другую заготовку. На случай частичной замены образцов количество заготовок должно быть на 20% больше расчетного количества.

При применении метода систематического отбора заготовку из кряжа выпиливают в виде сердцевинной доски толщиной не менее 60 мм, которая должна включать геометрический центр поперечного сечения кряжа.

Допускается выпиливать заготовки из кряжа диаметром не более 180 мм в виде сердцевинных досок толщиной не менее 40 мм по направлению двух взаимно перпендикулярных диаметров. В этом случае при необходимости изготовления образцов с размерами поперечного сечения более 40 мм от кряжей перед выпилкой сердцевинной доски должны быть отпилены отрезки длиной не менее 100 мм.

Если единица отбора – пиломатериал, заготовку выпиливают параллельно сбегу. Толщина заготовки должна быть не менее 35 мм. Заготовки, содержащие сердцевину, отбраковывают.

Пиломатериалы, не содержащие сердцевины, разделяют на заготовки так, чтобы не менее чем одна грань заготовки была радиальной или тангенциальной.

В случае необходимости от пиломатериалов толщиной 60 мм и более перед распиловкой на заготовки отпиливают по отрезку длиной вдоль волокон 100 мм для изготовления образцов с поперечными размерами более 30 мм.

Для испытания образцов с нормализованной влажностью заготовки должны быть высушены при температуре ниже 60°C до влажности, близкой к нормализованной. Торцы заготовок покрывают влагозащитным составом.

Для испытания образцов с влажностью, равной или больше предела насыщения клеточных стенок древесины, заготовки выдерживают в условиях, исключающих высыхание древесины.

После кондиционирования из каждой заготовки вырезают образцы по одному для каждого вида испытания. Форму и размеры образцов принимают по стандартам на соответствующие методы испытаний.

Одна из осей образца должна располагаться вдоль волокон древесины. Годичные слои на торцовых поверхностях образцов должны быть параллельны одной паре противоположных граней и перпендикулярны другой. Между смежными гранями образцов должны быть прямые углы.

Предельные отклонения от номинальных размеров рабочей части образцов не должны превышать $\pm 0,5$ мм. Любой размер в этих пределах должен быть выдержан по всему образцу с отклонением не более $\pm 0,1$ мм. Предельные отклонения от номинальных размеров, не входящих в расчетные формулы (например, длины образцов для испытания на статический изгиб), не должны превышать $\pm 0,1$ мм. Параметр шероховатости рабочих поверхностей образцов $R_{m \max}$ должен быть не более 100 мкм по ГОСТ 7016–2013 [30].

На каждый образец должна быть нанесена маркировка, отражающая стадийность отбора.

Образцы, которые изготовлены из заготовок, высушенных при температуре ниже 60°C , кондиционируют при температуре $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65 \pm 5)\%$ до приобретения древесиной нормализованной влажности.

Образцы, которые изготовлены из заготовок, выдержанных в условиях, исключающих высыхание древесины, должны иметь влажность, равную или превышающую предел насыщения клеточных стенок древесины. Если образцы изготовлены из материала с влажностью ниже предела насыщения клеточных стенок древесины, перед испытанием они должны быть вымочены до прекращения изменения размеров.

Образцы для испытаний после кондиционирования хранят в герметичной упаковке так, чтобы их влажность не изменялась.

1.3. Проведение испытаний

В помещении, где проводят испытания, должна поддерживаться температура $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ и влажность воздуха $(65 \pm 5)\%$. Допускается осуществлять испытания в помещении с другой температурой и влажностью воздуха при условии их проведения сразу после кондиционирования или извлечения образцов из герметичной упаковки.

Испытания проводят согласно стандартам на соответствующие методы испытаний.

После испытаний определяют влажность и в случае необходимости плотность образцов. Рекомендуется измерять влажность на пробах, вырезанных из испытанных образцов. Минимальное количество образцов для определения их средней влажности должно быть не менее трех и вычисляться по формуле

$$n_W = n_{\min} \frac{V^2}{V_W^2},$$

где n_{\min} – количество испытанных образцов для определения свойств древесины с коэффициентом вариации V ; V_W – коэффициент вариации влажности образцов (если нет других данных, допускается принимать равным 5%).

1.4. Обработка результатов испытаний

Показатели свойств древесины рассчитывают по формулам, приведенным в стандартах на соответствующие методы испытаний.

Предварительно определяют согласие опытного распределения с теоретическим (нормальным) и оценивают достоверность результатов наблюдений.

По результатам испытаний вычисляют следующие статистические характеристики: выборочное среднее арифметическое значение \bar{X} ; выборочную величину среднего квадратического отклонения S ; величину средней ошибки выборочного среднего арифметического S_r ; выборочный коэффициент вариации V ; относительную точность определения выборочного среднего арифметического P_γ .

Одностадийный отбор. Выборочное среднее арифметическое определяют по следующей формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где X_i – значение испытываемого свойства; n – количество образцов.

Выборочное среднее квадратическое отклонение находят по формуле

$$S = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

Среднюю ошибку выборочного среднего арифметического рассчитывают по следующей формуле:

$$S_r = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Выборочный коэффициент вариации вычисляют по формуле

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100\%.$$

Относительную точность определения выборочного среднего арифметического находят по следующей формуле:

$$P_\gamma = \frac{S_r t_\gamma}{\bar{X}} 100\%,$$

где t_γ – значение квантилей распределения Стьюдента (см. табл. П1.2 на с. 171–172).

Двухстадийный отбор. Выборочное среднее арифметическое для единиц первой стадии отбора определяют по формуле

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{22}} X_{ij}}{n_{22}},$$

где X_{ij} – значение испытываемого свойства для j -го образца из i -й единицы первой стадии отбора.

Общее выборочное среднее арифметическое рассчитывают по следующей формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{21}} \bar{X}_i}{n_{21}}.$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение между единицами первой стадии отбора вычисляют по формуле

$$S_{21} = +\sqrt{\frac{n_{21}}{n_{21}-1} \sum_{i=1}^{n=21} (\bar{X}_i - \bar{X})^2}.$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение внутри единиц первой стадии отбора находят по следующей формуле:

$$S_{22} = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{21}} \sum_{j=1}^{n_{22}} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n_{21}(n_{22}-1)}}.$$

Среднюю ошибку выборочного среднего арифметического определяют по формуле

$$S_r = \frac{S_{21}}{\sqrt{n_{22}n_{21}}}.$$

Выборочный коэффициент вариации между единицами первой стадии отбора рассчитывают по следующей формуле:

$$V_{21} = \frac{S_{21}}{\bar{X}} 100\%.$$

Выборочный коэффициент вариации внутри единиц первой стадии отбора вычисляют по формуле

$$V_{22} = \frac{S_{22}}{\bar{X}} 100\%.$$

Относительную точность определения выборочного среднего арифметического находят по следующей формуле:

$$P_\gamma = \frac{S_r t_\gamma}{\bar{X}} 100\%.$$

Трехстадийный отбор. Выборочное среднее арифметическое для единиц второй стадии отбора определяют по формуле

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\sum_{v=1}^{n_{33}} X_{ijv}}{n_{33}},$$

где X_{ijv} – значение испытываемого свойства для v -го образца из j -й единицы второй стадии отбора, взятой из i -й единицы первой стадии отбора.

Выборочное среднее арифметическое для единиц первой стадии отбора рассчитывают по следующей формуле:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{32}} \bar{X}_{ij}}{n_{32}}.$$

Общее выборочное среднее арифметическое вычисляют с помощью формулы

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{31}} \bar{X}_i}{n_{31}}.$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение между единицами первой стадии отбора находят по следующей формуле:

$$S_{31} = +\sqrt{\frac{n_{33}n_{32} \sum_{i=1}^{n_{31}} (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{n_{31} - 1}}.$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение между единицами второй стадии отбора определяют по формуле

$$S_{32} = +\sqrt{\frac{n_{33} \sum_{i=1}^{n_{31}} \sum_{j=1}^{n_{32}} (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n_{31}(n_{32} - 1)}}.$$

Выборочное среднее квадратическое отклонение внутри единиц второй стадии отбора рассчитывают по следующей формуле:

$$S_{33} = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{31}} \sum_{j=1}^{n_{32}} \sum_{v=1}^{n_{33}} (X_{ijv} - \bar{X}_{ij})^2}{n_{31}n_{32}(n_{33} - 1)}}.$$

Среднюю ошибку выборочного среднего арифметического вычисляют по формуле

$$S_r = \frac{S_{31}}{\sqrt{n_{33}n_{32}n_{31}}}.$$

Выборочный коэффициент вариации между единицами первой стадии отбора находят по следующей формуле:

$$V_{31} = \frac{S_{31}}{\bar{X}} 100\%.$$

Выборочный коэффициент вариации между единицами второй стадии отбора определяют по формуле

$$V_{32} = \frac{S_{32}}{\bar{X}} 100\%.$$

Выборочный коэффициент вариации внутри единиц второй стадии отбора рассчитывают по следующей формуле:

$$V_{33} = \frac{S_{33}}{\bar{X}} 100\%.$$

Относительную точность определения выборочного среднего арифметического вычисляют по формуле

$$P_{\gamma} = \frac{S_{r,t_{\gamma}}}{\bar{X}} 100\%.$$

1.5. Протокол испытаний

Результаты испытаний и расчетов заносят в специально разработанную таблицу.

В таблице также указывают вид испытания, направление приложения нагрузки, температуру и влажность воздуха в лаборатории, породу древесины и сведения об отборе образцов.

Статистическую обработку данных, полученных в ходе проведения испытаний материалов (изделий), и расчет погрешности измерений древесных материалов можно проводить по нижеприведенной методике [42].

Ряд числовых значений, полученных при проведении испытаний (измерений), называют *рядом измерений*, или *статистической совокупностью*.

Среднее арифметическое значение – статистическая характеристика, описывающая одним числом результаты некоторого ряда измерений. Среднее арифметическое значение определяют по формуле

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n},$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – результаты отдельных измерений; n – число измерений.

Среднее арифметическое дает представление о среднем значении измеряемой величины, но ее изменчивости, т. е. пределов колебания (варьирования) этой величины, не выражает.

Среднее квадратическое отклонение служит характеристикой средней изменчивости изучаемой величины. Его выражают в тех же единицах, что и среднее арифметическое значение, и вычисляют по формуле

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}},$$

где $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ – сумма квадратов отклонений всех измерений от среднего арифметического; n – число измерений.

Знак «+» или «-» в формуле показывает, что отклонение может быть как в одну, так и в другую сторону от среднего арифметического.

Квадрат среднего квадратического отклонения S^2 называют *выборочной*, или *эмпирической*, *дисперсией*.

Как правило, число проводимых измерений обычно ограничено и среднее арифметическое значение \bar{X} отличается от истинного значения X_i i -го определения. В этом случае оценивают величину расхождения $\Delta X = X - \bar{X}$, которая называется *величиной абсолютной погрешности*.

При нормальном распределении случайной величины X погрешность изменяется в пределах: $\bar{X} - \Delta X \leq X \leq \bar{X} + \Delta X$. Интервал от $X - \Delta X$ до $X + \Delta X$ называют *доверительным интервалом*. Истинное значение измеряемой величины X попадает в доверительный интервал с некоторой доверительной вероятностью (надежностью) P , выраженной в долях единицы. Так, если $P = 0,95$, то это означает, что 95% измерений значения \bar{X} будут отличаться от истинного значения X не более чем на ΔX , и лишь для остальных 5% они будут выходить за данный интервал. Соответственно,

чем больше доверительная вероятность, тем более широким будет доверительный интервал.

Определение доверительного интервала для измеренного значения X при заданной доверительной вероятности P и числе измерений n проводят по формуле

$$\Delta X = S_n t_\gamma,$$

где S_n – среднее квадратическое отклонение серии измерений; t_γ – коэффициент Стьюдента для значений P и n (квантиль распределения Стьюдента), представленный в табл. П1.2 (см. на с. 171–172).

Для характеристики разброса измерений часто используют понятие *размах* (варьирование), который представляет собой разность между максимальным и минимальным значениями в ряду измерений:

$$R = X_{\max} - X_{\min}.$$

Размах применяют главным образом при анализе результатов небольшого числа измерений (до 10), чтобы облегчить вычисление среднего квадратического отклонения:

$$S = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{d},$$

где d – коэффициент, зависящий от числа измерений (табл. П1.3).

Таблица П1.3

Значение коэффициента d

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08

Среднее квадратическое отклонение – одна из наиболее важных статистических характеристик. Однако ее абсолютное значение не позволяет сравнить степень изменчивости изучаемого свойства у нескольких групп материалов. Показатель относительной изменчивости называют *коэффициентом вариации* и рассчитывают по формуле

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100\%.$$

При обработке экспериментальных данных в некоторых случаях отдельные результаты измерений имеют значительно боль-

шее отклонение от среднего, чем остальные. В подобных случаях, прежде всего, проверяют, не допущена ли ошибка в процессе экспериментального определения. Если удастся точно установить причину такого отклонения, то результат необходимо исключить из расчетов.

Однако бывают случаи, когда не получается выявить причину значительного отклонения числа, а подозрения в его ошибочности остаются. В таком случае проверяют принадлежность подозреваемого числа к исследуемому статистическому ряду. В стандартах эта операция называется *проверкой аномальности*. Результаты испытаний принимают аномальными и не учитывают в дальнейших расчетах, если величина T_k , определяемая по формуле $T_k = (X - \bar{X}) / S$, не превышает допустимых значений, указанных в табл. П1.4.

Таблица П1.4

Допустимое значение величины T_k

Число результатов испытаний	3	4	5	6	7	8	9	10
T_k	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,11	2,18

При наличии в ряду измерений двух подозреваемых в грубой ошибочности чисел первоначально проверку делают для более резко отклоняющегося значения и уже после исключения его – для второго.



Приложение 2

ТАБЛИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЕВ

Таблица П2.1

Критерии распределения Кохрена σ_{1-q} для $q = 0,05$

n	Число степеней свободы f													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	9985	9750	9392	9057	8772	8534	8332	8159	8010	7880	7341	6602	5813	5000
3	9669	8709	7977	7454	7071	6771	6530	6333	6167	6225	5466	4748	4031	3333
4	9065	7679	6841	6287	5895	5598	5365	5175	5017	4884	5366	3720	3093	2500
5	8412	6838	5981	5441	5065	4783	4564	4387	4241	4118	3645	3066	2513	2000
6	7808	6161	5321	4803	4447	4184	3980	3814	3682	3568	3135	2612	2119	1667
7	7271	5612	4800	4307	3974	3726	3535	3384	3259	3154	2756	2278	1833	1429
8	6798	5157	4377	3910	3595	3362	3185	3043	2969	2829	2462	2022	1616	1250
9	6385	4745	4027	3584	3286	3067	2901	2768	2658	2568	2226	1820	1446	1111
10	6020	4450	3733	3311	3029	2823	2666	2541	2439	2353	2032	1655	1308	1000
12	5410	3924	3264	2880	2624	2439	2299	2187	2098	2020	1737	1403	1100	833
15	4709	3346	2758	2419	2195	2034	1911	1815	1736	1671	1429	1144	889	667
20	3894	2705	2205	1921	1735	1602	1501	1422	1357	1303	1108	879	675	500
24	3434	2354	1907	1656	1493	1374	1286	1216	1160	1113	942	743	567	417
30	2929	1980	1593	1377	1237	1137	1061	1002	0958	921	771	604	457	333
40	2370	1576	1259	1082	0968	887	827	780	745	713	595	462	347	250
60	1737	1131	895	765	682	623	583	552	520	497	411	316	234	167
120	998	632	495	419	371	337	312	292	279	266	218	165	120	83
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Критерии распределения Стьюдента

Число степеней свободы f	Уровень значимости q						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	636,62
2	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93	14,09	31,60
3	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
4	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	5,60	8,61
5	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03	4,77	6,86
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
7	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50	4,03	5,41
8	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,44
12	1,36	1,79	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
14	1,34	1,76	2,15	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
16	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,97
18	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
19	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,33	1,73	2,09	2,53	2,85	3,15	3,85
21	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,14	3,82
22	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,12	3,79
23	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81	3,10	3,77
24	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,75
25	1,32	1,71	2,06	2,48	2,79	3,08	3,73
26	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
27	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,06	3,69
28	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76	3,05	3,67
29	1,31	1,70	2,04	2,46	2,76	3,04	3,66
30	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37
∞	1,28	1,64	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29

Критерии распределения Фишера F_{1-q} для $q = 0,05$

Число степеней свободы меньшей дисперсии f_2	Число степеней свободы большей дисперсии f_1								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,2	2,0	1,8
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
26	4,2	3,4	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
28	4,2	3,3	2,9	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,6
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
40	4,1	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
∞	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0



ЛИТЕРАТУРА

1. Глебов, И. Т. Проверка точности работы рейсмусового станка: метод. указания к лабораторной работе / И. Т. Глебов. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2013. – 11 с.

2. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки (с Изменением № 1): ГОСТ 6449.19–1982. – Введ. 01.01.1984. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1984. – 28 с.

3. Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия: ГОСТ 14231–1988. – Введ. 01.07.1989. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 18 с.

4. Кондратьев, В. П. Синтетические клеи для древесных материалов / В. П. Кондратьев, В. И. Кондращенко. – М.: Научный мир, 2004. – 518 с.

5. Фломина, Е. Е. Материалы на основе полимеров в производстве мебели: учебник для инженерно-технических работников мебельной промышленности / Е. Е. Фломина. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 189 с.

6. Дисперсия поливинилацетатная гомополимерная грубодисперсная. Технические условия: ГОСТ 18992–1980. – Введ. 01.01.1982. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1980. – 23 с.

7. Анназарова, С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии: учебник для вузов / С. Л. Анназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высш. шк., 1978. – 318 с.

8. Аммоний хлористый технический. Технические условия: ГОСТ 2210–1973. – Введ. 01.01.75. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1973. – 24 с.

9. Басин, В. Е. Адгезионная прочность / В. Е. Басин. – М.: Химия, 1981. – 208 с.
10. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий: ГОСТ 27325–1987. – Введ. 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 7 с.
11. Гончаров, Н. А. Технология изделий из древесины: учебник для вузов / Н. А. Гончаров, В. Ю. Башинский, Б. М. Буглай. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 528 с.
12. Целлюлоза, бумага, картон. Метод определения величины рН водной вытяжки: ГОСТ 12523–1977. – Введ. 01.01.1978. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
13. Плиты столярные. Технические условия: ГОСТ 13715–1978. – Введ. 01.01.1980. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 12 с.
14. Плиты древесно-стружечные. Технические условия: ГОСТ 10632–2014. – Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
15. Плиты древесноволокнистые. Технические условия: ГОСТ 4598–1986. – Введ. 31.01.1986. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 12 с.
16. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.1–1996. – Введ. 01.01.1998. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 36 с.
17. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.2–1996. – Введ. 01.01.1998. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Изд-во стандартов, 1997. – 36 с.
18. Справочник мебельщика / Б. И. Артамонов [и др.]; под ред. В. П. Бухтиярова. – 3-е изд., перераб. – М.: МГУЛ, 2005. – 594 с.
19. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов: ГОСТ 15867–1979. – Введ. 01.07.1980. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
20. Левкина, Л. Н. Клеи-расплавы в производстве мебели / Л. Н. Левкина // Мебель. – Вып. 11. – М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1986. – 41 с. – (Обзорная информация / Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т экономики, организации управления производством и информации по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообраб. пром-сти).
21. Облицовывание кромок щитов с использованием ПВА-клеев и клеев-расплавов // Мебель. – Вып. 6. – М.: ВНИИПИЭИлеспром,

1984. – 21 с. – (Экспресс-информация по зарубежным источникам / Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т экономики, организации управления производством и информации по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообраб. пром-сти).

22. Левкина, Л. Н. Дисперсионные клеи и их заменители / Л. Н. Левкина // Мебель, плиты, фанера. – Вып. 7. – М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1992. – 25 с. – (Экспресс-информация / Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т экономики, организации управления производством и информации по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообраб. пром-сти).

23. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон: ГОСТ 15613.1–1984. – Введ. 01.07.1986. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.

24. Конструкции деревянные клееные. Метод определения водостойкости клеевых соединений: ГОСТ 17005–1982. – Введ. 01.01.1983. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.

25. Пиломатериалы и заготовки. Правила приемки, методы контроля, маркировка и транспортирование: ГОСТ 6564–1984. – Введ. 01.01.1986. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.

26. Древесина клееная массивная. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям: ГОСТ 19414–1990. – Введ. 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

27. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов / Б. Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 302 с.

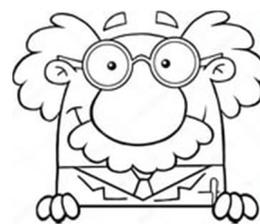
28. Древесина. Метод определения удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов: ГОСТ 16483.33–1977. – Введ. 01.01.1978. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.

29. Плиты древесно-стружечные. Метод определения удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов: ГОСТ 10637–2010. – Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2012. – 4 с.

30. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности: ГОСТ 7016–2013. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартиформ, 2014. – 12 с.

31. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности: ГОСТ 15612–2013. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартиформ, 2014. – 20 с.

32. Пиломатериалы и заготовки. Правила приемки, методы контроля, маркировка и транспортирование: ГОСТ 6564–1984. – Введ. 01.01.1986. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.
33. Амалицкий, В. В. Деревообрабатывающие станки и инструменты: учебник для вузов / В. В. Амалицкий. – М.: Академия, 2002. – 145 с.
34. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки: ГОСТ 6449.1–1982. – Введ. 01.01.1984. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1984. – 32 с.
35. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче: ГОСТ 26602.1–1999. – Введ. 01.01.2000. – М.: МНТКС, 2000. – 29 с.
36. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия: ГОСТ 9038–1990. – Введ. 01.07.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с.
37. Калибры-скобы гладкие регулируемые. Технические условия: ГОСТ 2216–1984. – Введ. 01.01.1985. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
38. Калибры предельные для глубин и высот уступов. Допуски: ГОСТ 2534–1977. – Введ. 01.07.1978. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.
39. Штангенциркули. Технические условия: ГОСТ 166–1989. – Введ. 01.01.1991. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
40. Микрометры. Технические условия: ГОСТ 6507–1990. – Введ. 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.
41. Микрометры со вставками. Технические условия: ГОСТ 4380–1993. – Введ. 01.01.1995. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Изд-во стандартов, 1995. – 14 с.
42. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям: ГОСТ 16483.0–1989. – Введ. 01.07.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
43. Пижурин, А. А. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности / А. А. Пижурин. – М.: МЛТИ, 1972. – 280 с.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Техника безопасности при выполнении работ в лаборатории	5
Лабораторная работа № 1. Исследование технологической точности работы станка (линии).....	8
Лабораторная работа № 2. Изучение свойств комбинированных клеев.....	19
Лабораторная работа № 3. Определение краевого угла смачивания поверхности древесины клеевыми материалами.....	32
Лабораторная работа № 4. Определение химически активных групп и их концентраций в поверхностном слое древесины	43
Лабораторная работа № 5. Определение прочности склеивания при облицовывании пластей щитовых деталей	51
Лабораторная работа № 6. Определение прочности склеивания при облицовывании кромок щитовых деталей	66
Лабораторная работа № 7. Определение прочности склеивания заготовок из массивной древесины	83
Лабораторная работа № 8. Определение границы прочности зубчатых клеевых соединений при испытании на статический изгиб	100
Лабораторная работа № 9. Способность древесины и древесных материалов удерживать крепления	109
Лабораторная работа № 10. Определение шероховатости поверхности древесины и древесных материалов.....	117

Лабораторная работа № 11. Определение усилий при сборке шиповых соединений.....	134
Лабораторная работа № 12. Определение коэффициента термического сопротивления оконных блоков.....	144
Лабораторная работа № 13. Метрологическое обеспечение технологического процесса.....	159
Приложение 1. Статистический анализ результатов испытаний	169
Приложение 2. Табличные значения критериев	184
Литература	187

Учебное издание

Шетько Сергей Васильевич
Игнатович Людмила Владимировна
Скороцкий Алексей Игоревич

**ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА МЕБЕЛИ
И СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. С. Ватеичкина*
Компьютерная верстка *Е. С. Ватеичкина*
Дизайн обложки *П. П. Падалец*
Корректор *Е. С. Ватеичкина*

Подписано в печать 20.01.2020. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 11,2. Уч.-изд. л. 11,6.
Тираж 200 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.