

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой»



А. И. Гиль, Д. Н. Лазовский

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к проведению лабораторных работ  
по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»  
для студентов дневной и заочной формы обучения специальностей  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений»

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой  
2024

Об издании – 1, 2

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 624.01/(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией  
инженерно-строительного факультета (протокол № 7 от 01.07.2024)

Кафедра строительных конструкций

© Гиль А. И., Лазовский Д. Н., 2024  
© Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой, 2024

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов дневной и заочной формы обучения специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Артур Иванович ГИЛЬ,  
Дмитрий Николаевич ЛАЗОВСКИЙ

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к проведению лабораторных работ  
по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»  
для студентов дневной и заочной формы обучения специальностей  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений»

Редактор *А. А. Прадидова*

---

Подписано к использованию 05.12.2024.  
Объем издания: 1,19 Мб. Заказ 404.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГИБЕ, СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН.....	6
1.1. Общие сведения.....	6
1.2. Методика проведения испытаний и обработка результатов .....	6
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2: ИСПЫТАНИЕ ЛОБОВОЙ ВРУБКИ.....	11
2.1. Общие сведения.....	11
2.2. Методика проведения испытания.....	14
2.3. Обработка результатов лабораторной работы .....	14
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3: ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА НАГЕЛЯХ.....	16
3.1. Общие сведения.....	16
3.2. Методика проведения испытаний.....	18
3.3. Обработка результатов лабораторной работы .....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	23
Приложение 1.....	24
Приложение 2.....	28

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Конструкции из дерева и пластмасс» является профилирующей по специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений». Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов инженерного подхода к пониманию устройства и работы конструктивных систем зданий и сооружений и развитие навыков конструирования и расчета строительных конструкций и систем из древесины и пластмасс.

В результате прохождения курса лабораторных работ студенты должны:

- знать основные типы деревянных конструкций и области их эффективного применения; технологию изготовления деревянных конструкций; сравнительную эффективность деревянных конструкций в ряду других;
- владеть навыками расчета и проектирования основных деревянных конструкций, определения основных механических характеристик древесины.

# 1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГИБЕ, СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

## Цель работы:

- определить плотность древесины;
- определить прочность и модуль упругости древесины при изгибе;
- определить прочность и модуль упругости древесины при сжатии вдоль волокон;
- определить прочность и модуль упругости древесины при растяжении вдоль волокон;
- определить класс прочности древесины по результатам испытаний.

## 1.1. Общие сведения

Все пиломатериалы в соответствии с требованиями СТБ EN 338 в зависимости от значений прочностных и упругих характеристик древесины подразделяются на классы прочности. Установлено 12 классов прочности для древесины мягких пород: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50; шесть классов – для твердых пород: D30, D35, D40, D50, D60, D70.

Плотность, модуль упругости, прочность при изгибе, растяжении и сжатии являются основными характеристиками древесины, применяемой в деревянных конструкциях.

## 1.2. Методика проведения испытаний и обработка результатов

**Приборы и оборудование:** индикатор часового типа, машина испытательная МС-100 (ГОСТ 8902-82), машина разрывная электромеханическая Р-5, прогибомер БПАО, домкрат гидравлический, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, электровлагомер.

**Определение плотности.** Плотность образца определяют на пробе, отобранной из цельного поперечного сечения испытанного образца. Поперечное сечение пробы должно соответствовать поперечному сечению образца, проба не должна иметь свилей и смолистых включений. Измерения производят в соответствии с ISO 3131:1975 по формуле:

$$\rho_k = \frac{m_0}{a_c \cdot b \cdot h}, \quad (1.1)$$

где  $m_0$  – масса образца, кг;  
 $a_c, b, h$  – соответственно длина, ширина и высота образца, м.

Если влажность образца превышает 12%, то плотность уменьшают на 0,5% на каждый процент изменения влажности, а если влажность ниже 12%, то плотность увеличивают на 0,5% на каждый процент изменения влажности. Массу и объем измеряют при влажности древесины непосредственно во время испытаний.

### Определение общего модуля упругости и прочности при изгибе.

Образец для испытаний нагружают симметрично в двух точках пролета, равного 18-кратной высоте поперечного сечения, как показано на рисунке 1.1. Если испытываемый образец и оборудование не позволяют точно достичь данных условий, то расстояние между точками приложения нагрузки и опорами можно заменить значением, не превышающим 1,5 высоты образца, а пролет испытываемого образца можно заменить значением, не превышающим трехкратной высоты испытываемого образца, с сохранением симметрии нагружения. Испытываемый образец должен быть свободно опертым.

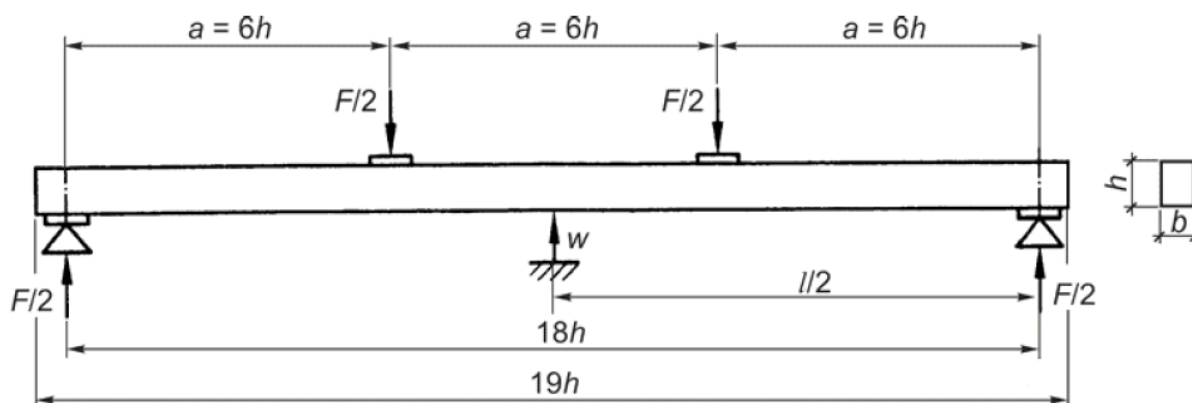


Рисунок 1.1. – Схема установки для определения общего модуля упругости при изгибе

Деформацию  $w$  принимают как среднее значение деформаций, измеренных от нейтральной оси на двух боковых поверхностях образца прогибомером.

Деформацию  $w$  следует определять посередине пролета, на растянутой или сжатой кромке – в плоскости симметрии поперечного сечения образца. В случае выполнения измерений на уровне нейтральной оси, достоверным является среднее значение результатов измерений, проведенных на противоположных сторонах образца.

Общий модуль упругости при изгибе, МПа, определяют по формуле:

$$E_{m,g} = \left( \frac{l^3 \cdot (F_2 - F_1)}{bh^3 \cdot (w_2 - w_1)} \right) \cdot \left[ \left( \frac{3a}{4l} \right) - \left( \frac{a}{l} \right)^3 \right], \quad (1.2)$$

где  $(F_2 - F_1)$  – приращение нагрузки, Н, на участке графика зависимости «нагрузка – деформация» (рисунок 1.2);

$(w_2 - w_1)$  – приращение деформации, мм, соответствующее приращению  $(F_2 - F_1)$  (см. рисунок 1.2). Другие обозначения приведены на рисунке 1.1.

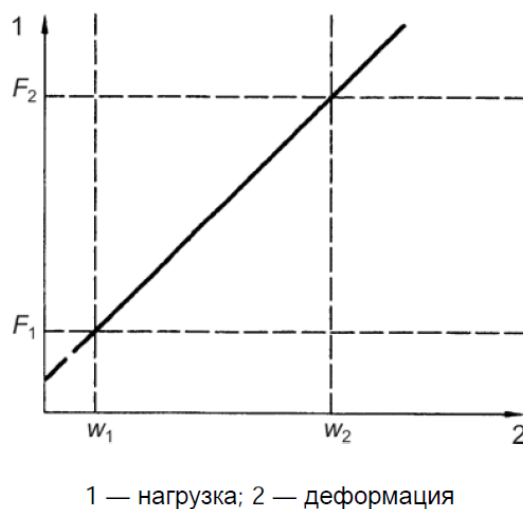
Прочность при изгибе  $f_m$  определяют по формуле:

$$f_m = \frac{aF_{\max}}{2W}, \quad (1.3)$$

где  $F_{\max}$  – разрушающая нагрузка, Н;

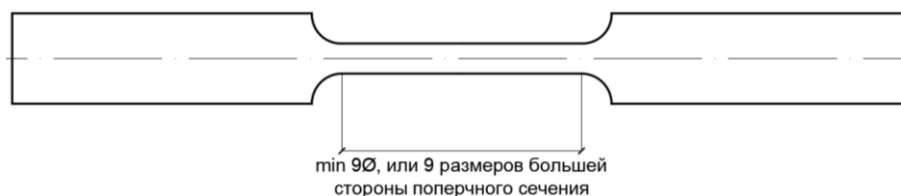
$W$  – момент сопротивления сечения образца, мм<sup>3</sup>, для прямоугольного сечения  $W = (bh^2)/6$ .

Прочность при изгибе вычисляют с точностью до 1%. Регистрируют характер разрушения каждого испытываемого образца. Результаты заносят в журнал испытаний.



**Рисунок 1.2. – График зависимости «нагрузка – деформация» в диапазоне упругих деформаций**

**Определение модуля упругости и прочности древесины при растяжении вдоль волокон.** Образец для испытаний должен иметь целостное поперечное сечение и достаточную длину для того, чтобы длина рабочей зоны, свободная от захватов испытательной установки, составляла не менее девяти размеров большей стороны поперечного сечения (рисунок 1.3).



**Рисунок 1.3. – Общий вид образца древесины во время испытания при растяжении**

На рабочей части образца устанавливается измерительное оборудование для определения значений деформаций при нагружении.

Модуль упругости при растяжении  $E_{t,0}$  определяют по формуле:

$$E_{t,0} = \frac{l_1 \cdot (F_2 - F_1)}{A_t \cdot (w_2 - w_1)}, \quad (1.4)$$

где  $(F_2 - F_1)$  — приращение нагрузки при растяжении, Н, на участке графика зависимости «нагрузка – деформация» (см. рисунок 1.2);

$(w_2 - w_1)$  — приращение деформации при растяжении, мм, соответствующее приращению  $(F_2 - F_1)$  (см. рисунок 1.2);

$A_t$  — площадь поперечного сечения рабочей части образца, мм<sup>2</sup>;

$l_1$  — база установки измерительного оборудования, мм.



Прочность при растяжении  $f_{t,0}$  определяют по формуле:

$$f_{t,0} = \frac{F_{\max}}{A_t}. \quad (1.5)$$

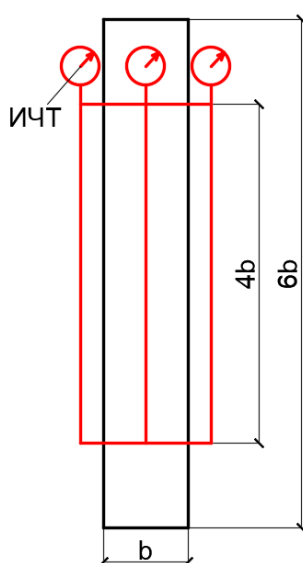
Характер разрушения и сведения о его процессе протекания при каждом испытании заносят в журнал испытаний. Если разрушение образца произошло в захватах испытательной машины, данный факт также заносят в журнал испытаний.

**Определение модуля упругости и прочности древесины при сжатии вдоль волокон.** Образец для испытаний должен иметь целостное поперечное сечение и длину, равную шестикратному меньшему размеру поперечного сечения (рекомендованный размер образца 100×100×600 мм). Торцевые поверхности должны быть тщательно подготовлены таким образом, чтобы они были плоскими и параллельными друг другу, а также перпендикулярными к оси образца.

Образец для испытаний нагружают вдоль оси с использованием шарнирных зажимных головок или других приспособлений, обеспечивающих приложение нагрузки без возникновения изгиба. После приложения предварительной нагрузки должно быть исключено смещение зажимных головок от вертикальной оси. Типы зажимных устройств и способ нагружения заносят в протокол испытаний. Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью.

Деформации следует определять на центрально расположенном участке измерения длиной, равной четырехкратной ширине (или меньшему размеру поперечного сечения) образца. Рекомендуется использовать 4 индикатора часового типа, расположенных на каждой боковой грани образца (рисунок 1.4).

Деформации следует определять с точностью до 1%, а при деформации менее 2 мм – с точностью до 0,02 мм.



**Рисунок 1.4. – Общий вид образца древесины во время испытания при сжатии**

Модуль упругости при сжатии  $E_{c,0}$  определяют по формуле:

$$E_{c,0} = \frac{l_1 \cdot (F_2 - F_1)}{A_c \cdot (w_2 - w_1)}, \quad (1.6)$$

где  $(F_2 - F_1)$  – приращение нагрузки при сжатии, Н, на участке графика зависимости «нагрузка – деформация» (см. рисунок 1.2);

$(w_2 - w_1)$  – приращение деформации при сжатии, мм, соответствующее приращению  $(F_2 - F_1)$  (см. рисунок 1.2);

$A_c$  – площадь поперечного сечения рабочей части образца, мм<sup>2</sup>;

$l_1$  – база установки измерительного оборудования, мм.

Прочность при растяжении  $f_{c,0}$  определяют по формуле:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\max}}{A_c}, \quad (1.7)$$

Прочность при сжатии вычисляют с точностью до 1%. Характер разрушения и сведения о его протекании при каждом испытании заносят в журнал испытаний.

В конце работы следует отнести древесину к классу прочности по результатам определения плотности, прочности при изгибе, сжатии и растяжении.

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2: ИСПЫТАНИЕ ЛОБОВОЙ ВРУБКИ

### Цель работы:

- определить расчетную несущую способность соединения и сравнить ее с разрушающей нагрузкой;
- определить деформации смятия врубки и построить график зависимости деформаций от нагрузки.

### 2.1. Общие сведения

Соединения элементов на врубках (рисунок 2.1) – соединение, в котором усилие элемента, работающего на сжатие, передается другому элементу непосредственно без вкладышей или других рабочих связей. За этим видом соединения сохранилось старое название «врубка», хотя в настоящее время врезка и гнезда выполняются не топором, а электро-, мотопилой и т.д.

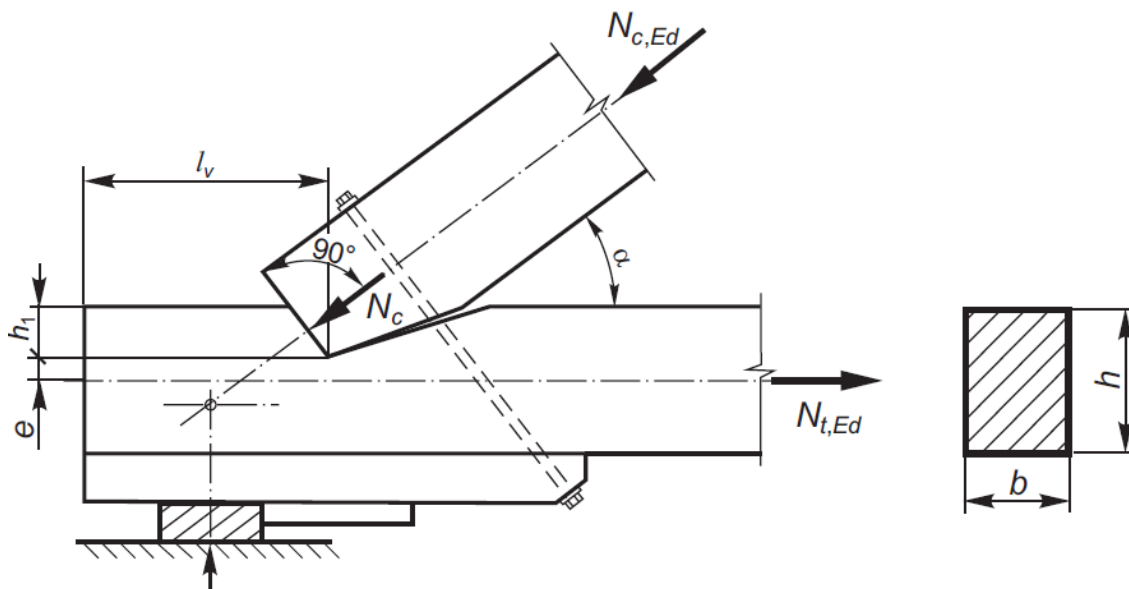


Рисунок 2.1. – Соединения элементов на врубках

При проверке соединений элементов на лобовых врубках должно соблюдаться условие:

$$N_{Ed} \leq N_{min,Rd} \quad (2.1)$$

где  $N_{Ed}$  – расчетное значение усилия, действующего в элементе соединения, Н;  
 $N_{min,Rd}$  – минимальное расчетное значение несущей способности узлового соединения, Н.

$N_{min,Rd}$  принимают равным минимальному значению, определенному из трех условий:

- прочности древесины при сжатии под углом  $\alpha$  к направлению волокон по контактной площадке;

- прочности древесины при растяжении вдоль волокон в поперечном сечении растянутого элемента;
- прочности древесины при сдвиге по направлению волокон в поперечном сечении растянутого элемента.

$$N_{\min,Rd} = \min \begin{cases} N_{c,\alpha,Rd} \\ N_{t,Rd} \\ V_d \end{cases}, \quad (2.2)$$

где  $N_{c,\alpha,Rd}$  – расчетное значение несущей способности упорной площадки растянутого элемента, Н; определяют из условия прочности древесины при сжатии под углом  $\alpha$  к направлению волокон (см. рисунок 2.1) по формуле:

$$N_{c,\alpha,Rd} = \frac{f_{c,\alpha,d} b h_1}{\cos \alpha}, \quad (2.3)$$

где  $b$  – ширина поперечного сечения растянутого элемента, мм;  
 $h_1$  – глубина врубки, мм;  
 $f_{c,\alpha,d}$  – расчетное значение прочности древесины при сжатии (смятии) под углом  $\alpha$  к направлению волокон, МПа; определяют по формуле:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c0d}}{\frac{f_{c0d}}{k_{c90} f_{c90d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (2.4)$$

где  $f_{c0d}$  – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон, МПа; определяют по формуле:

$$f_{c0d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c0k}}{\gamma_M}, \quad (2.5)$$

где  $f_{c0k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон, МПа, принимается по таблице 1 Приложения 1;

$k_{mod}$  – коэффициент модификации; принимают по таблице 2 Приложения 1;

$k_{sys}$  – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе или материале; в условиях лабораторной работы принимается 1;

$\gamma_M$  – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 3 Приложения 1;

$k_{c90}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сжатия в древесине элемента по длине контактной площадки. При сжатии элемента на части высоты поперечного сечения  $k_{c90}=1,67$ ;

$f_{c90d}$  – расчетное значение прочности древесины при сжатии поперек волокон, МПа; определяют по формуле:

$$f_{c90d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c90k}}{\gamma_M}, \quad (2.6)$$

где  $f_{c90k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сжатии поперек волокон, МПа; принимается по таблице 1 Приложения 1;

$N_{t,Rd}$  – расчетное значение несущей способности растянутого элемента соединения в ослабленном врубкой поперечном сечении; определяют из условия прочности древесины при растяжении вдоль волокон по формуле:

$$N_{t,Rd} = f_{t0d} A_{net}, \quad (2.7)$$

где  $f_{t0d}$  – расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон, МПа; определяют по формуле:

$$f_{t0d} = \frac{f_{t0k} k_{mod} k_{sys} k_h}{\gamma_M}, \quad (2.8)$$

где  $f_{t0k}$  – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе при растяжении вдоль волокон, МПа; принимают по таблице 1 Приложения 1 для соответствующего материала;

$k_h$  – коэффициент, учитывающий влияние размеров поперечного сечения элемента. Для деревянных элементов прямоугольного поперечного сечения из пиломатериалов с высотой  $h$  сечения при изгибе или шириной  $b$  при растяжении менее 150 мм коэффициент  $k_h$  определяют по формуле:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}, \quad (2.9)$$

где  $h$  – высота сечения элемента при изгибе (при растяжении вместо  $h$  подставляют ширину  $b$ ), мм; при  $h \geq 150$  мм (или  $b \geq 150$  мм)  $k_h = 1$ .

$A_{net}$  – площадь нетто в ослабленном сечении, мм<sup>2</sup>; рассчитывают по формуле:

$$A_{net} = b \cdot (h - h_1), \quad (2.10)$$

где  $b$  – ширина поперечного сечения элемента, мм;

$h$  – высота поперечного сечения растянутого элемента, мм;

$h_1$  – глубина врубки, мм;

$V_d$  – расчетное значение несущей способности элемента соединения, Н; определяют из условия прочности древесины при скалывании вдоль волокон по формуле:

$$V_d = \frac{f_{v,d}}{1 + k_{v1} \cdot \left( \frac{l_v}{e} \right)} \cdot b l_v, \quad (2.11)$$

где  $f_{v,d}$  – расчетное значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон; определяют по формуле:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (2.12)$$

где  $f_{v,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон или материала на ее основе, МПа; определяют по таблице 1 Приложения 1;

$k_{и}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига по длине площадки скалывания в растянутом элементе; принимают равным 0,25;

$l_v$  – расчетная длина плоскости скалывания, мм;

$e$  – эксцентриситет, мм; принимают равным  $0,5 \cdot (h - h_1)$ .

## 2.2. Методика проведения испытания

**Приборы и оборудование:** машина испытательная МС-100, приспособления для испытаний, штангенциркуль, индикаторы часового типа, электровлагомер.

Геометрическая схема образца, основные определяемые геометрические размеры показаны на рисунке 2.1.

Подготовленную к испытаниям конструкцию устанавливают в прессовую установку. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры элементов лобовой врубки перед ее испытанием. Результаты измерений вносят в журнал испытаний (Приложение 2).

Испытания производятся при кратковременном машинном нагружении ступенями по 1 кН. На каждой ступени нагрузки снимают отсчеты по двум индикаторам часового типа с каждой стороны образца для определения деформаций смятия врубки и записывают в журнал испытания. После приложения нагрузки равной 80% от предполагаемой разрушающей ( $0,8P_{\min,Rd}$ ) индикаторы снимают, и производится дальнейшее нагружение образца до разрушения.

Определение полных деформаций смятия врубки происходит по данным отсчетов индикаторов часового типа с учетом их масштаба, результаты расчета записываются в журнал испытания.

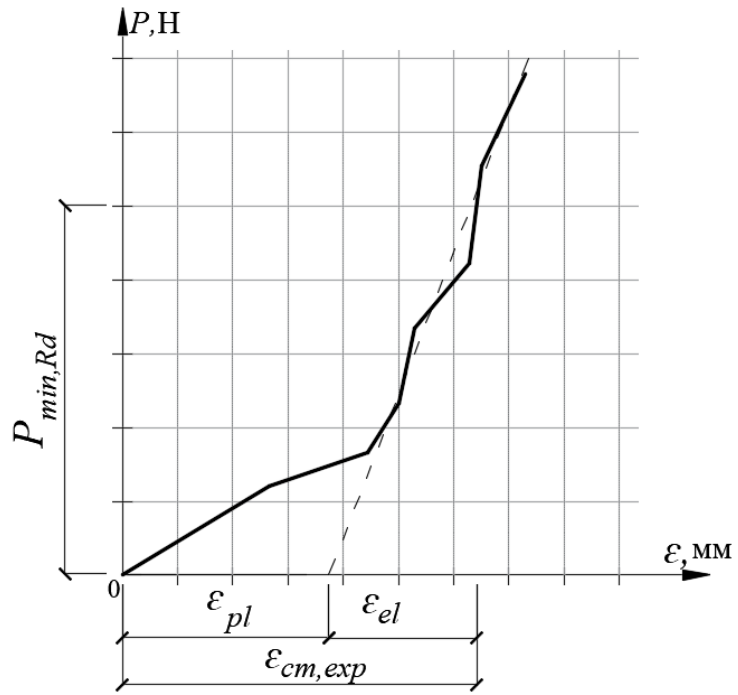
## 2.3. Обработка результатов лабораторной работы

По вычисленным средним значениям деформаций смятия строится график зависимости этих деформаций от нагрузки (рисунок 2.2). По графику определяют полную деформацию смятия ( $\varepsilon_{см,exp}$ ) врубки при расчетной нагрузке  $P_{\min,Rd}$ , величины рыхлой ( $\varepsilon_{рl}$ ) и упругой ( $\varepsilon_{el}$ ) деформаций.

В завершение работы следует произвести сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по выражениям, произвести анализ результатов и сделать вывод о проделанной работе:

$$\frac{P_{\max,exp} - P_{\min,Rd}}{P_{\min,Rd}} \cdot 100\%; \quad (2.13)$$

$$\frac{\varepsilon_{см,exp} - \varepsilon_{см,max}}{\varepsilon_{см,max}} \cdot 100\%, \quad \text{при } \varepsilon_{см,max} = 1,5 \text{ мм}. \quad (2.14)$$



**Рисунок 2.2. – График зависимости деформаций смятия от нагрузки**

### 3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3: ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА НАГЕЛЯХ

#### Цель работы:

- определить разрушающую нагрузку и сравнить ее с расчетной несущей способностью соединения;
- определить нагрузку, при которой резко возрастают остаточные деформации;
- определить деформацию соединения при расчетной несущей способности соединения.

#### 3.1. Общие сведения

К металлическим нагелям относят болты, гвозди, дюбеля, винты, шурупы, шпильки и т.п. в соединениях, работающих на сдвиг (рисунок 3.1)

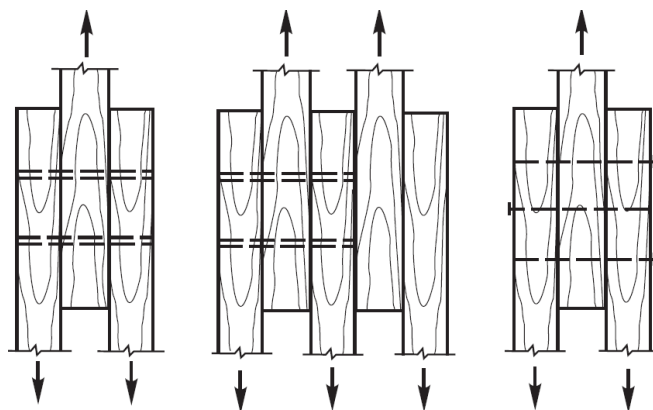


Рисунок 3.1. – Схемы симметричных соединений по конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных элементов

В строительных правилах СП 05.05.01-2021 при расчете соединений на металлических нагелях принято, что в соединении раньше наступит нелинейное разрушение (смятие древесины в нагельном гнезде, изгиб нагеля), а затем только хрупкое разрушение (раскалывание древесины нагелем). Последнее исключается путем соблюдения правил расстановки нагелей.

Для соединений нагельного типа принята жестко-пластическая модель. Согласно этой модели, элементы из древесины или материалов на ее основе, соединенные между собой посредством нагелей, работают как абсолютно жестко-пластичные материалы.

Несущую способность  $F_{v,ef,Rd}$  однорядного соединения с одной плоскостью сдвига и расположением нагелей по направлению волокон определяют по формуле:

$$F_{v,ef,Rd} = F_{v,Rd} n_{ef} n_s, \quad (3.1)$$

где  $F_{v,Rd}$  – расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля в ряду соединения, Н;



$n_{ef}$  – расчетное число нагелей в ряду, параллельном направлению волокон;  
 $n_s$  – количество швов в соединении одного нагеля.

Расчетное значение несущей способности  $F_{v,Rd}$  для одного среза нагеля в соединении определяют по формуле:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M}, \quad (3.2)$$

где  $F_{v,Rk}$  – характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля в соединении, Н; рассчитывают по формулам по двум расчетным схемам разрушения (рисунок 3.2) и принимают равным минимальному значению из всех расчетных величин:

– схема разрушения (рисунок 3.2, а):

$$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1k} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}; \quad (3.3)$$

– схема разрушения (рисунок 3.2, б):

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h1k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \quad (3.4)$$

где  $d$  – диаметр нагеля (гвоздя), мм;

$M_{y,Rk}$  – характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении нагеля, Н·мм; для гвоздя круглого поперечного сечения определяют по формуле:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6}, \quad (3.5)$$

где  $f_u$  – прочность материала проволоки гвоздя при растяжении (или материала винта), МПа (в лабораторной работе допускается принять  $f_u = 235$  МПа);

$f_{h,1,k}$  – характеристическое значение сопротивления древесины или материала на ее основе элемента соединения вдавливанию нагеля плашмя по направлению волокон, МПа; для соединений из древесины и LVL с использованием гвоздей диаметром до 8 мм:

– без предварительного сверления отверстий:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}; \quad (3.6)$$

– с предварительным сверлением отверстий:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k, \quad (3.7)$$

где  $\rho_k$  – характеристическое значение плотности древесины, LVL или материала плиты, кг/м<sup>3</sup>; принимается по таблице 1 Приложения 1;

$F_{ax,Rk}$  – характеристическое значение несущей способности нагеля при выдергивании из элемента соединения, Н; определяют для гладких гвоздей по формуле:

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} dt_{pen} \\ f_{ax,k} dt + f_{head,y} d^2 \end{array} \right. \quad (3.8)$$

где  $f_{ax,k}$  – характеристическое значение сопротивления заземленной части гвоздя выдергиванию из древесины, МПа;  $f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$ ;

$t_{pen}$  – расчетная длина заземленной части гвоздя со стороны острия, мм;

$f_{head,k}$  – характеристическое значение сопротивления древесины сжатию под головкой гвоздя, МПа;  $f_{ax,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$ ;

$t$  – толщина деревянного элемента, непосредственно в который забивают гвоздь, мм;

$t_1$  и  $t_2$  – соответственно толщины соединяемых элементов, мм;

$\beta$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{f_{h2k}}{f_{h1k}}, \quad (3.9)$$

где  $f_{h1k}$  и  $f_{h2k}$  – соответственно характеристические значения сопротивлений материала элемента 1 и элемента 2 при вдавливании нагеля плашмя, МПа; определяются по формулам 3.6 либо 3.7.

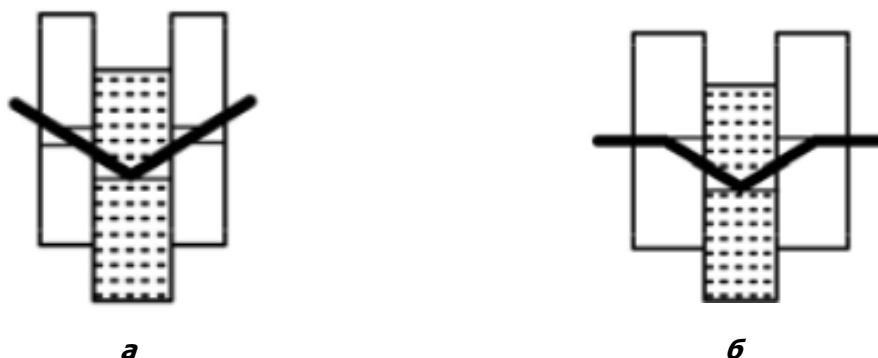
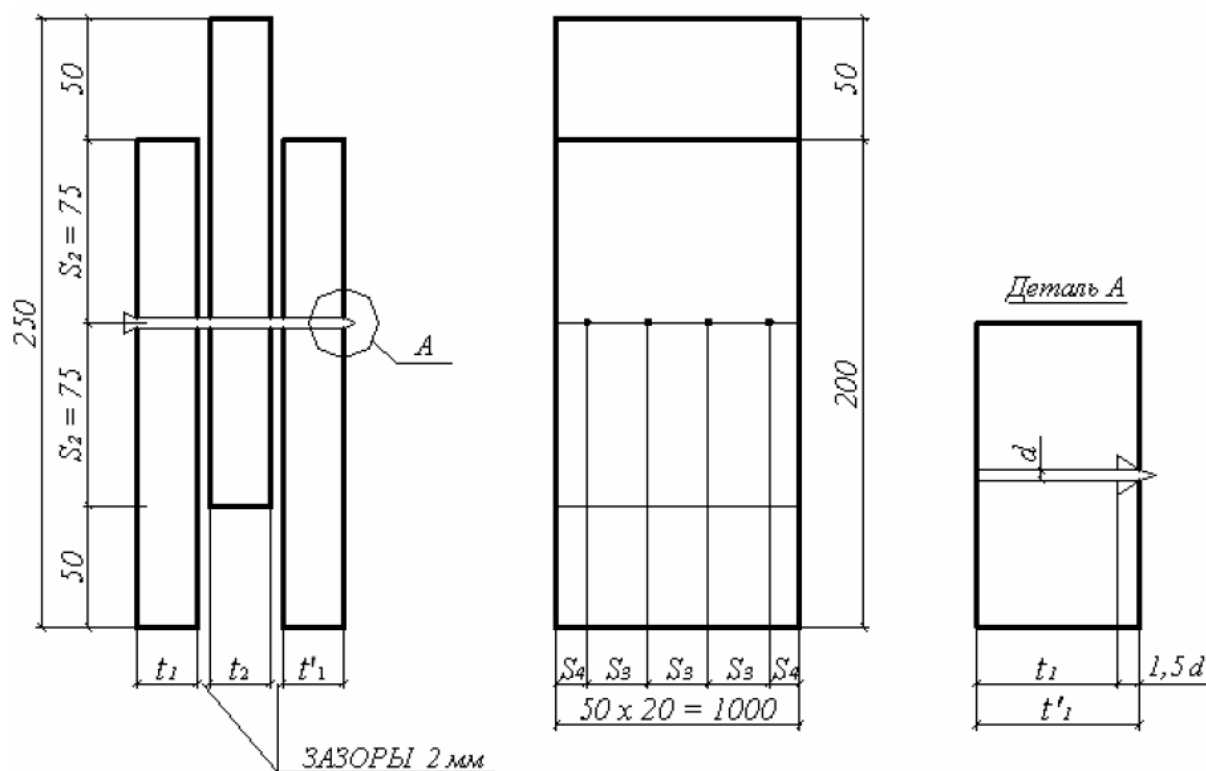


Рисунок 3.2. – Расчетная схема разрушения нагельного соединения

### 3.2. Методика проведения испытаний

**Приборы и оборудование:** индикатор часового типа, машина испытательная МС-100 (ГОСТ 8902-82), штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, электровлагомер.

Для испытания применяют образцы на нагелях в виде стальных стержней или проволочных гвоздей (рисунок 3.3), изготовленных из сосновых или еловых досок  $W = 10 \div 15\%$  (по возможности без пороков).



**Рисунок 3.3. – Примерный вариант конструкции образца нагельного соединения**

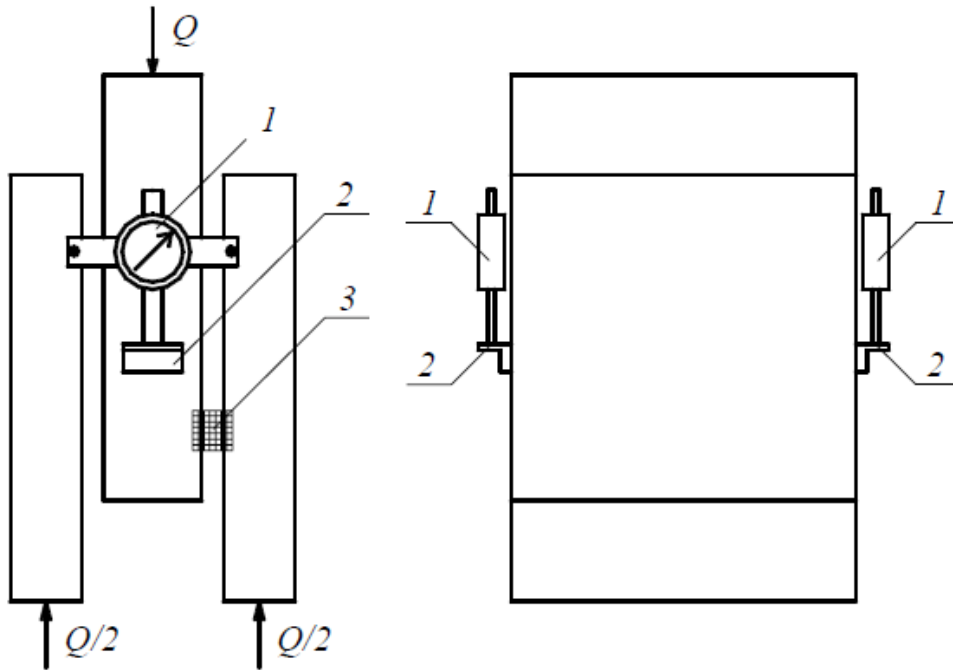
Предварительно производят измерения геометрических параметров образца и необходимые расчеты, результаты которых сводят в журнал испытаний.

При испытании образца определяют деформации сдвига соединения и разрушающую нагрузку.

Для измерения деформаций сдвига в швах на образцах устанавливают два индикатора часового типа, которые закрепляют на крайних элементах образца так, чтобы их рабочие механизмы упирались в металлические уголки, привинченные к среднему элементу (рисунок 3.4). Ниже индикаторов на швы накладывают полоски миллиметровой бумаги, которые после отверждения клея осторожно разрезают по шву лезвием безопасной бритвы. Перед разрушением образца (после того, как индикаторы будут сняты) по этим разрезанным полоскам измеряют полные деформации сдвига  $\epsilon_{v,exp}$ .

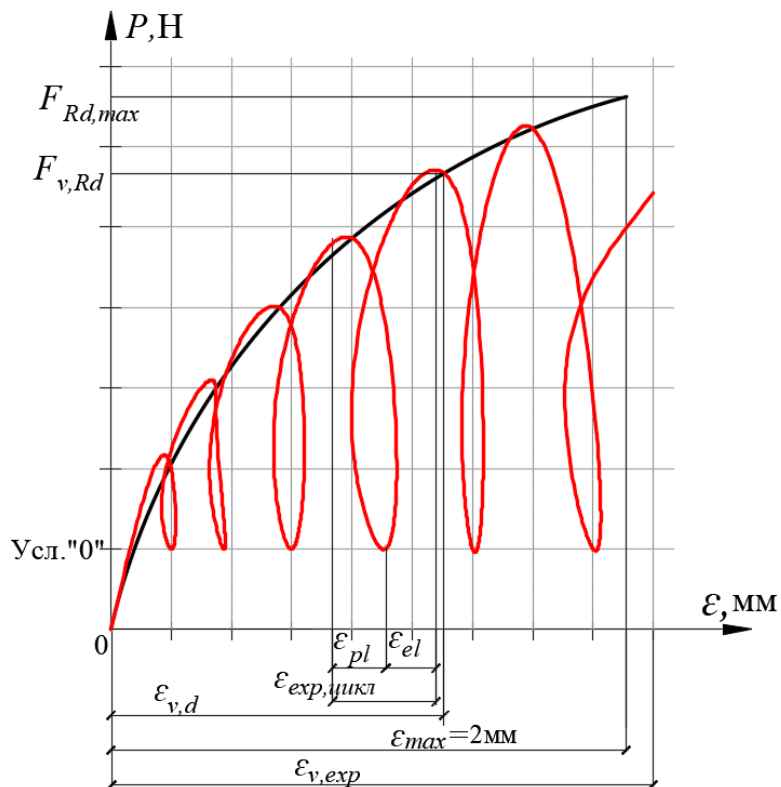
Для ликвидации рыхлых деформаций образец предварительно загружают нагрузкой 1 кН, которая принимается в дальнейшем за условный нуль. Нагружение производится ступенями с равномерной скоростью 0,3 кН/с. При последующих нагружениях на каждой ступени нагрузки, равной 2 кН, с разгрузкой после каждого цикла до условного нуля (рисунок 3.5) снимают отсчеты с индикаторов часового типа и записывают в журнал испытаний.

Величину разрушающей нагрузки определяют по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций нагрузка не увеличивается.



1 – индикаторы; 2 – уголки для упора штифтов; 3 – миллиметровая бумага

Рисунок 3.4. – Схема расстановки индикаторов



$\epsilon_{v,exp}$  – полная деформация от начала испытаний;  $\epsilon_{pl}$  – остаточная деформация за цикл;  $\epsilon_{el}$  – упругая деформация;  $\epsilon_{exp,цикл}$  – полная деформация за цикл

Рисунок 3.5. – График зависимости деформации сдвига нагельного соединения от нагрузки

### 3.3. Обработка результатов лабораторной работы

После испытаний рассчитывают деформации сдвига. Предварительно определяют полные и упругие деформации отдельно за цикл по каждому индикатору часового типа. Для определения полной деформации за данный цикл следует из отсчета при нагрузке вычесть предыдущий отсчет при условном нуле, т.е. 1 кН. Для определения упругой деформации нужно из отсчета при нагрузке вычесть последующий отсчет при условном нуле (1 кН) (см. рисунок 3.5.). Полная деформация образца равна разности между отсчетами при рассматриваемой нагрузке и нагрузке, равной нулю. Средние величины остаточных деформаций определяются разностью между средними величинами полных и упругих деформаций за цикл. Результаты расчетов записываются в журнал испытаний.

По данным расчета деформаций сдвига строится график зависимости средних значений полной деформации от внешней нагрузки. На графике откладывают несущую способность соединения  $F_{v,Rd}$  и измеряют соответствующую этой нагрузке деформацию сдвига  $\varepsilon_{v,d}$ .

После этого определяют нагрузку  $F_{Rd,max}$  при деформации сдвига  $\varepsilon_{max} = 2$  мм (деформация при полном использовании расчетной несущей способности соединения).

По графику зависимости между упругими и остаточными деформациями (рисунок 3.6) находится нагрузка, при которой резко возрастают остаточные деформации. Ей соответствует точка перелома двух прямых.

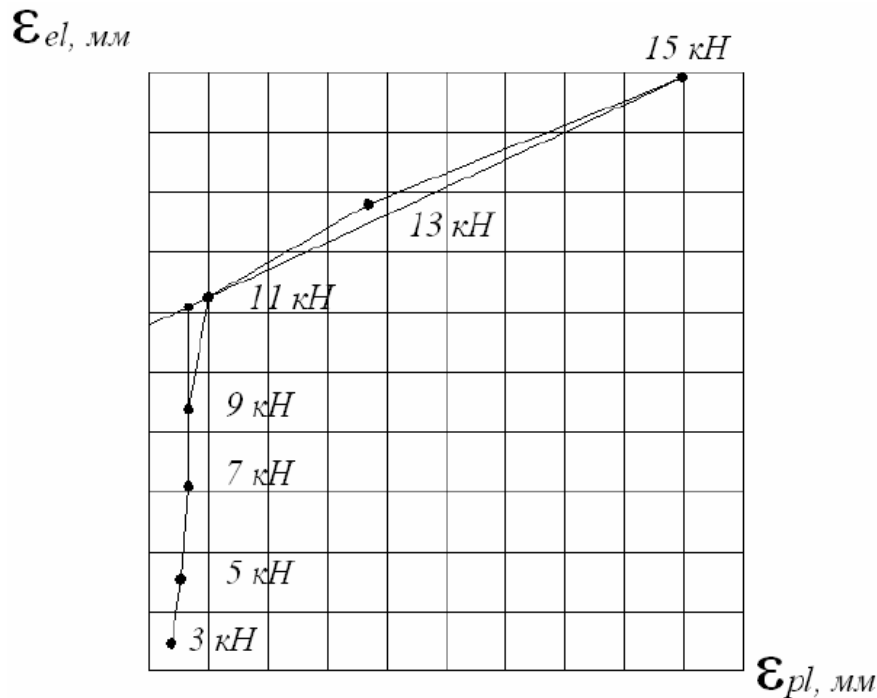


Рисунок 3.6. – Пример графика зависимости между упругими и остаточными деформациями

В завершение исследования следует произвести сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по выражениям, провести анализ результатов и сделать вывод о проделанной работе:

$$\frac{F_{Rd,max} - F_{v,Rd}}{F_{v,Rd}} \cdot 100\%; \quad (3.10)$$

$$\frac{\varepsilon_{v,d} - \varepsilon_{max}}{\varepsilon_{max}} \cdot 100\%, \quad \text{при } \varepsilon_{max} = 2 \text{ мм.} \quad (3.11)$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Деревянные конструкции : СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 134 с.
2. Древесина конструкционная. Классы прочности : СТБ EN 338-2011. – Введ. 01.06.2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 12 с.
3. Конструкции деревянные. Древесина конструкционная цельная и клееная многослойная. Определение некоторых физических и механических свойств : СТБ EN 408-2012. – Введ. 01.01.2013. – Минск : Госстандарт, 2013. – 32 с.
4. Детали крепежные для деревянных изделий. Технические требования к соединительным элементам : СТБ EN 912-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Госстандарт, 2010. – 68 с.
5. Древесина конструкционная. Определение характеристических значений механических свойств и плотности : СТБ EN 384-2011. – Введ. 01.01.2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 16 с.
6. Конструкции из дерева и пластмасс : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / Сост. и общ. ред. А.Р. Волик. – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 300 с.

## Приложение 1

Таблица 1. – Классы прочности пиломатериалов и характеристические значения по СТБ EN 338

Наименование показателя	Значение показателя для																	
	древесины хвойных пород класса												древесины лиственных пород класса					
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Показатели прочности, Н/мм<sup>2</sup></b>																		
Изгиб $f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Растяжение вдоль волокон $f_{t0k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Растяжение поперек волокон $f_{t90k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон $f_{c0k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Сжатие поперек волокон $f_{c90k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сдвиг $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<b>Показатели жесткости, кН/мм<sup>2</sup></b>																		
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон $E_{0mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Среднее значение модуля упругости поперек волокон $E_{90mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Среднее значение модуля сдвига $G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25



Окончание таблицы 1

Наименование показателя	Значение показателя для																	
	древесины хвойных пород класса												древесины лиственных пород класса					
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Показатель плотности, кг/м<sup>3</sup></b>																		
Плотность $\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Среднее значение плотности $\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Указанные выше значения прочности при растяжении, сжатии и сдвиге, 5 %-ный квантиль модуля упругости, среднее значение модуля упругости поперек волокон и среднее значение модуля сдвига рассчитаны с применением формул, указанных в СТБ EN 338 (приложение А).</p> <p>2 Табличные значения распространяются на древесину с влажосодержанием при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 %.</p> <p>3 Характеристические значения модуля сдвига <math>G_{0,05} = 0,8G_{mean}</math>.</p>																		

Таблица 2. – Значения коэффициента  $k_{mod}$ \*

Стандарт	Материал	Класс эксплуатации	Коэффициент $k_{mod}$ для класса длительности нагрузки				
			постоянная	длительная	средне-срочная	кратко-временная	мгновенная
СТБ EN 14081-1	Древесина	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
СТБ EN 14080	Клееная древесина	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
СТБ EN 14374; СТБ EN 14279	LVL	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
СТБ EN 636	Фанера	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
СТБ EN 300	ОСП типа: ОСП/2 ОСП/3, ОСП/4 ОСП/3, ОСП/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
СТБ EN 312	ДСП типа: P4, P5 P5 P6, P7 P7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
СТБ EN 622-2	ДВП плотные типа: НВ.HLA1 или НВ.HLA2 НВ.HLA1 или НВ.HLA2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
СТБ EN 622-3	ДВП средней плотности типа: МВН.LA1 или МВН.LA2 МВН.HLS1 или МВН.HLS2 МВН.HLS1 или МВН.HLS2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80
		2	—	—	—	0,45	0,80
СТБ EN 622-5	ДВП, МДФ типа: MDF.LA MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80

\* Для материалов, выпускаемых по другим стандартам, значения  $k_{mod}$  следует определять отдельно.

Таблица 3. – Значение частного коэффициента свойств материала  $\gamma_M$

Основной материал или соединения	$\gamma_M$
<b>Предельные состояния несущей способности для постоянных или переходных расчетных ситуаций</b>	
Пиломатериалы	1,3
Клееная древесина	1,25
LVL, фанера, ОСП	1,2
ДСП	1,3
ДВП твердые	1,3
ДВП средней плотности	1,3
ДВП, МДФ	1,3
ДВП мягкие	1,3
Соединения	1,3
Крепежные перфорированные металлические пластины	1,25
<b>Предельные состояния несущей способности для особых расчетных ситуаций и предельные состояния эксплуатационной пригодности для любой расчетной ситуации</b>	
Любой материал и соединение	1,0

**Пример оформления журнала испытаний  
при проведении лабораторных работ**

**Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой»**

**Инженерно-строительный факультет**

**Кафедра строительные конструкции**

**Журнал лабораторных работ  
по дисциплине  
«Конструкции из дерева и пластмасс»**

Выполнил: студент *Фамилия И.О.*, группа *00-ХХ-00*

Проверил: *должность, уч. ст., звание Фамилия И.О.*

Новополоцк, 20\_\_ год

## Лабораторная работа 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГИБЕ, СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

**Цель работы:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Общие сведения:**

---

---

---

---

---

---

---

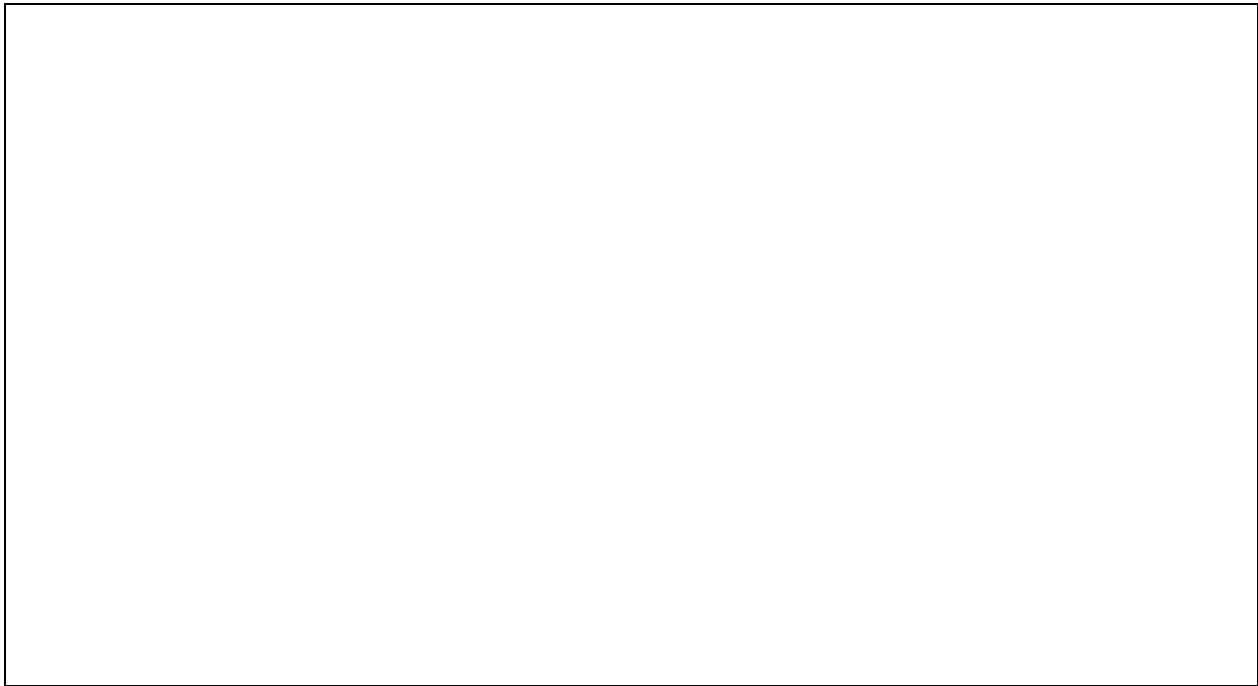
---

**Лабораторные исследования:**

**Таблица 1.** – Определение плотности образца древесины

Параметр	Значение
$a_c$ , м	
$b$ , м	
$h$ , м	
$m_0$ , кг	
$\rho_k = \frac{m_0}{a_c \cdot b \cdot h}$ , кг/м <sup>3</sup>	





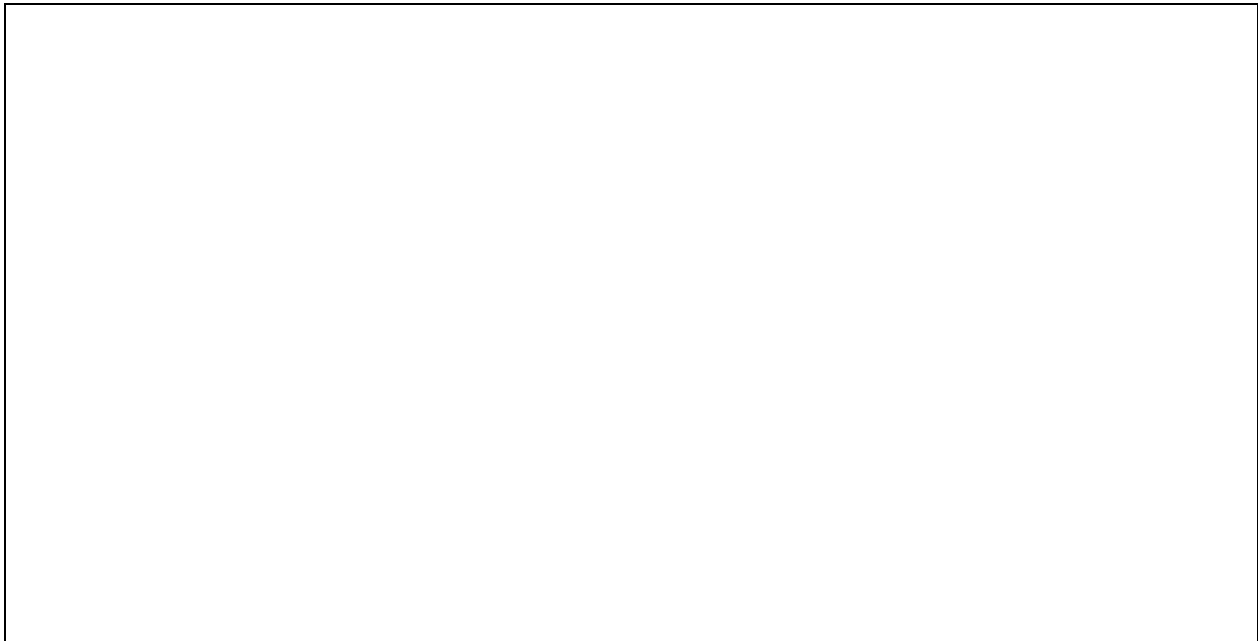
**Рисунок 2.** – График зависимости «нагрузка – деформации» при изгибе

**Таблица 3.** – Определение общего модуля упругости и прочности при испытании образца древесины при изгибе

$E_{m,g} = \left( \frac{l^3 \cdot (F_2 - F_1)}{bh^3 \cdot (w_2 - w_1)} \right) \cdot \left[ \left( \frac{3a}{4l} \right) - \left( \frac{a}{l} \right)^3 \right],$	
$f_m = \frac{aF_{\max}}{2W},$	
Особенности работы и разрушения	
Класс прочности	





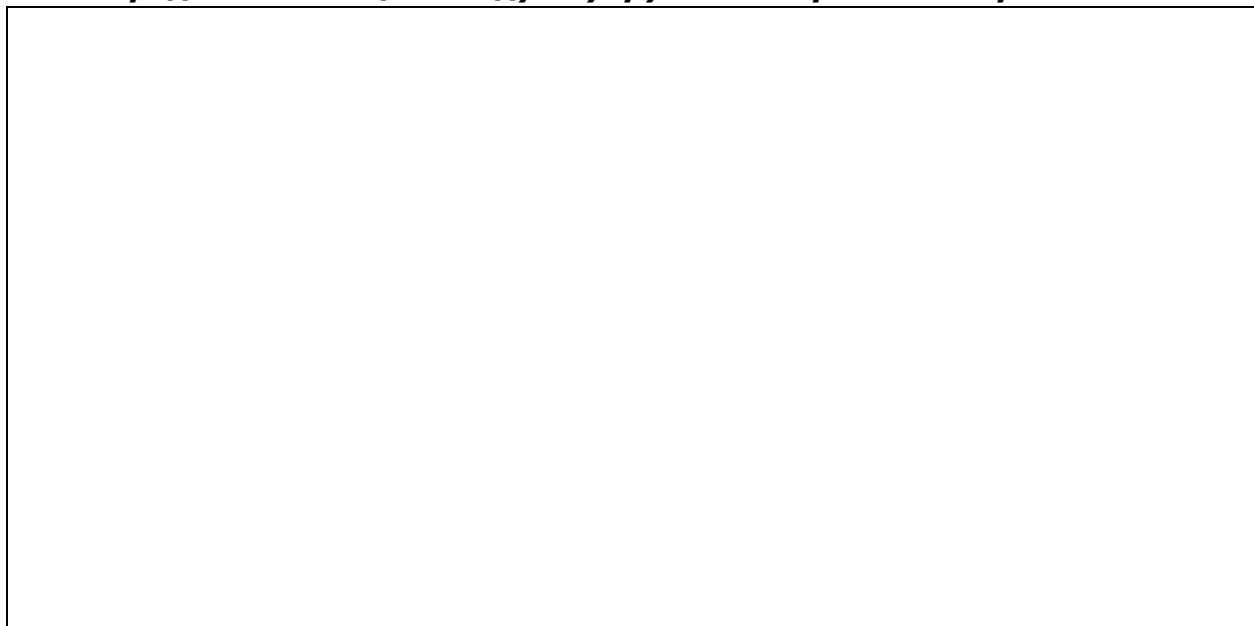


**Рисунок 4.** – График зависимости «нагрузка – деформации» при растяжении

**Таблица 5.** – Определение общего модуля упругости и прочности при испытании образца древесины при растяжении

$E_{t,0} = \frac{l_1 \cdot (F_2 - F_1)}{A_t \cdot (w_2 - w_1)},$	
$f_{t,0} = \frac{F_{\max}}{A_t},$	
Особенности работы и разрушения	
Класс прочности	

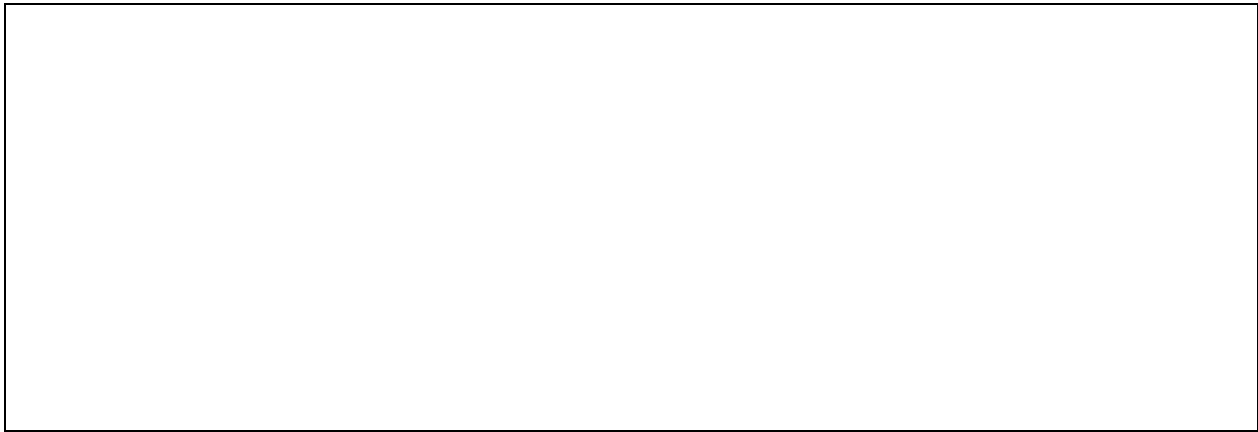
***Определение общего модуля упругости и прочности при сжатии.***



***Рисунок 5. – Схема опытного образца с геометрическими размерами при испытании при сжатии***

***Таблица 6. – Результаты испытания образца древесины при сжатии***

Этап	Нагрузка, F, кН	Деформация, мм



**Рисунок 7.** – График зависимости «нагрузка – деформации» при сжатии

**Таблица 8.** – Определение общего модуля упругости и прочности при испытании образца древесины при сжатии

$E_{c,0} = \frac{l_1 \cdot (F_2 - F_1)}{A_c \cdot (w_2 - w_1)},$	
$f_{c,0} = \frac{F_{\max}}{A_c},$	
Особенности работы и разрушения	
Класс прочности	

**Вывод:**

---



---



---



---



---

**Лабораторная работа 2**  
**ИСПЫТАНИЕ ЛОБОВОЙ ВРУБКИ**

***Цель работы:***

---

---

---

---

---

***Общие сведения:***

---

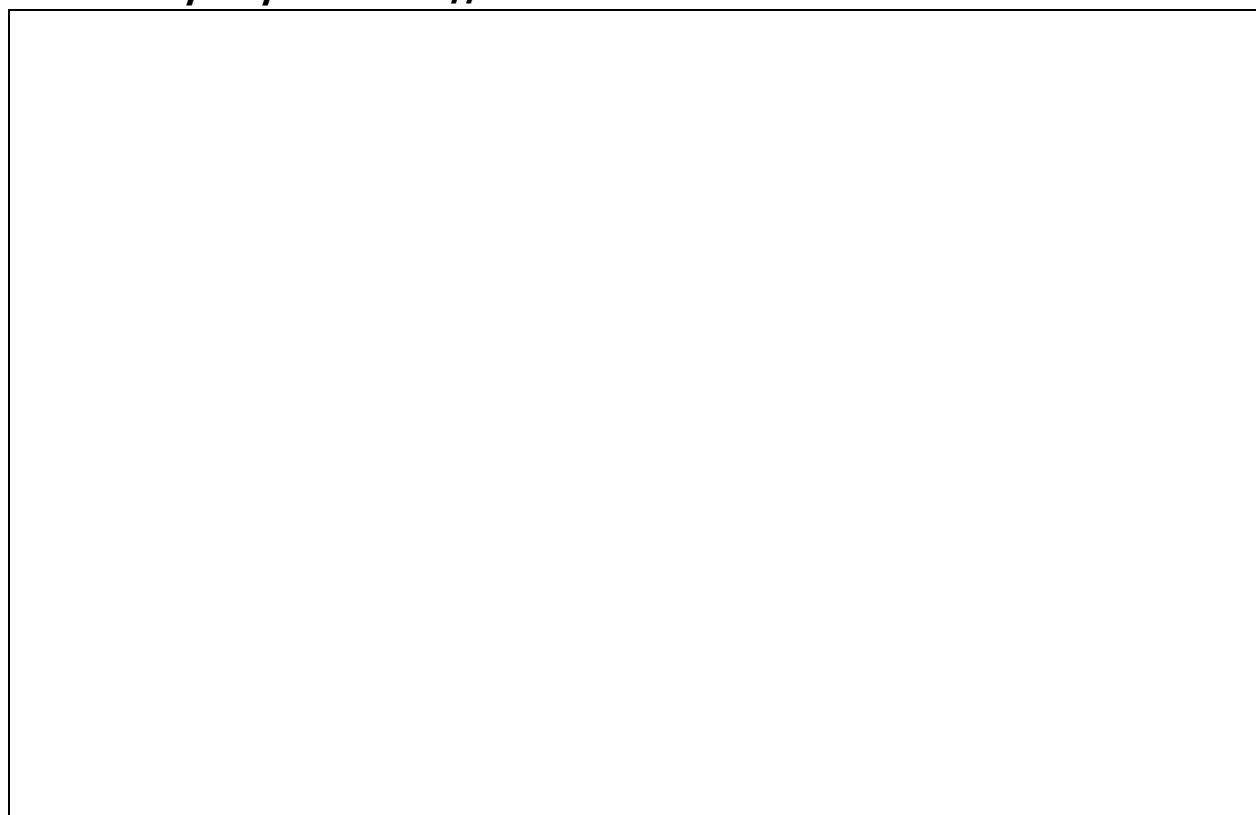
---

---

---

---

***Лабораторные исследования:***



***Рисунок 1. – Схема опытного образца с геометрическими размерами***

**Таблица 1.** – Результаты экспериментально-теоретических лабораторных исследований

<b>1. Класс древесины, порода</b>	
<b>2. Геометрические размеры, мм:</b>	
	<i>Измеренное значение</i>
Ширина сечения, $b$	
Полная высота поперечного сечения скальваемого элемента, $h$	
Глубина врубки, $h_1$	
Эксцентриситет, $e$	
Угол наклона к направлению волокон, $\alpha, ^\circ$	
<b>3. Расчетные прочности древесины, МПа:</b>	
При сжатии (смятии) под углом $\alpha$ к направлению волокон	$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c0d}}{k_{c90} f_{c90d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$
При растяжении вдоль волокон	$f_{t0d} = \frac{f_{t0k} k_{mod} k_{sys} k_h}{\gamma_M}$
При сдвиге вдоль волокон	$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M}$

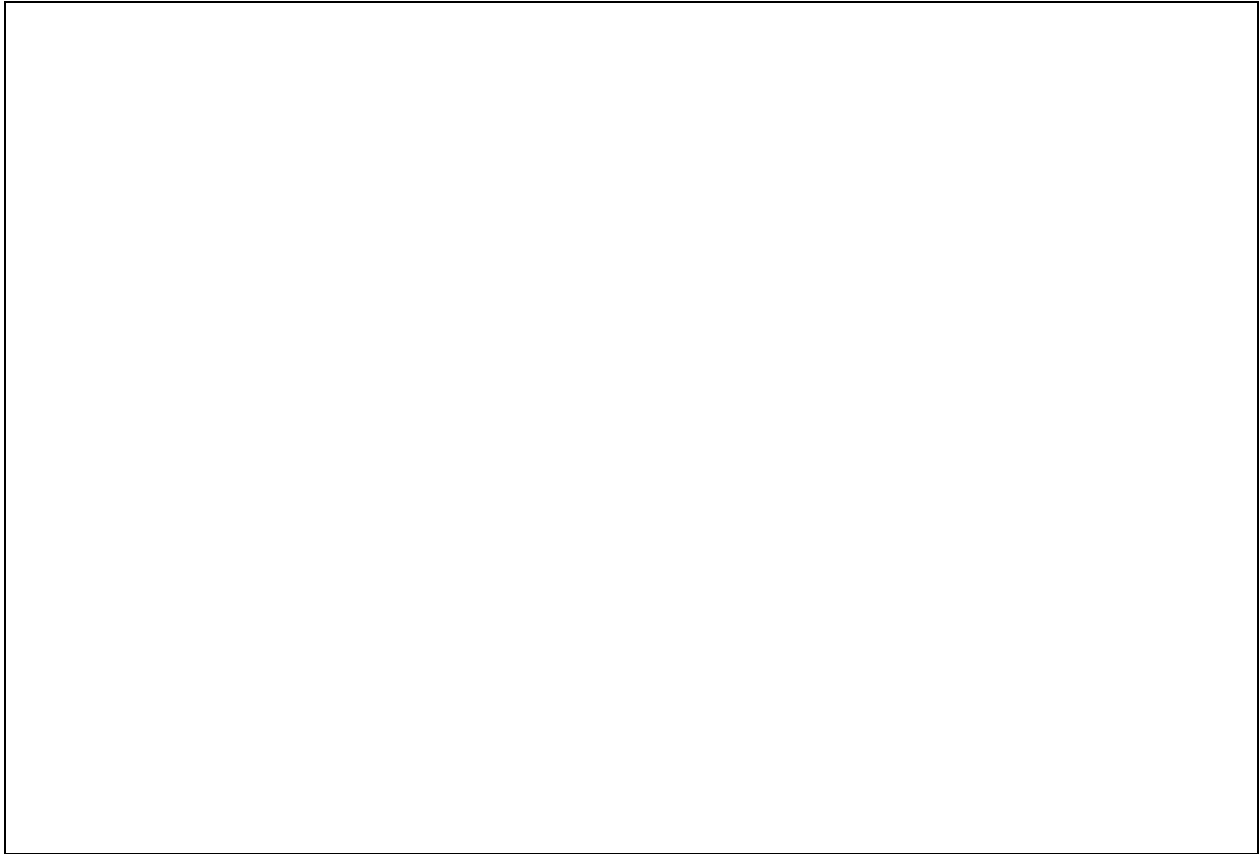
Окончание таблицы 1

<b>4. Расчетное значение несущей способности узлового соединения, Н:</b>	
Расчетное значение несущей способности упорной площадки растянутого элемента	$N_{c,\alpha,Rd} = \frac{f_{c,\alpha,d} b h_1}{\cos \alpha}$
Расчетное значение несущей способности растянутого элемента соединения в ослабленном врубкой поперечном сечении	$N_{t,Rd} = f_{t0d} A_{net}$
Расчетное значение несущей способности элемента соединения	$V_d = \frac{f_{v,d}}{1 + k_{v1} \cdot \left(\frac{l_v}{e}\right)} \cdot b l_v$
<b>Минимальное значение:</b>	
<b>5. Расчетное значение сосредоточенной нагрузки, действующей в элементе соединения, Н:</b>	
В упорной площадке растянутого элемента	$P_{c,\alpha,Rd} = (2 \cdot N_{c,\alpha,Rd}) / \cos \alpha$
В ослабленном врубкой поперечном сечении	$P_{t,Rd} = 2 \cdot N_{t,Rd} \cdot \operatorname{tg} \alpha$
Несущей способности элемента соединения	$P_{Vd} = 2 \cdot V_d \cdot \operatorname{tg} \alpha$
<b>Минимальное расчетное значение сосредоточенной нагрузки, действующей в элементе соединения: <math>P_{\min,Rd}</math></b>	
<b>Максимальное значение нагрузки по результатам эксперимента, действующей в элементе соединения: <math>P_{\max,exp}</math></b>	

**Таблица 2. – Результаты экспериментально-теоретических лабораторных исследований деформаций смятия**

нагрузка	Индикатор 1		Индикатор 2		Средняя деформация смятия, мм	Индикатор 3		Индикатор 4		Средняя деформация смятия, мм
	отсчет по прибору	Деформ. смятия, мм	отсчет по прибору	Деформ. смятия, мм		отсчет по прибору	Деформ. смятия, мм	отсчет по прибору	Деформ. смятия, мм	
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

**Обработка и анализ результатов:**



**Рисунок 2.** – График зависимости деформаций смятия от нагрузки

Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по выражениям:

$\frac{P_{\max,exp} - P_{\min,Rd}}{P_{\min,Rd}} \cdot 100\%,$	
$\frac{\varepsilon_{ст,exp} - \varepsilon_{ст,\max}}{\varepsilon_{ст,\max}} \cdot 100\%, \text{ при } \varepsilon_{ст,\max} = 1,5\text{ мм}$	

**Вывод:**

---

---

---

---

---



## Лабораторная работа 3

### ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА НАГЕЛЯХ

***Цель работы:***

---

---

---

---

---

***Общие сведения:***

---

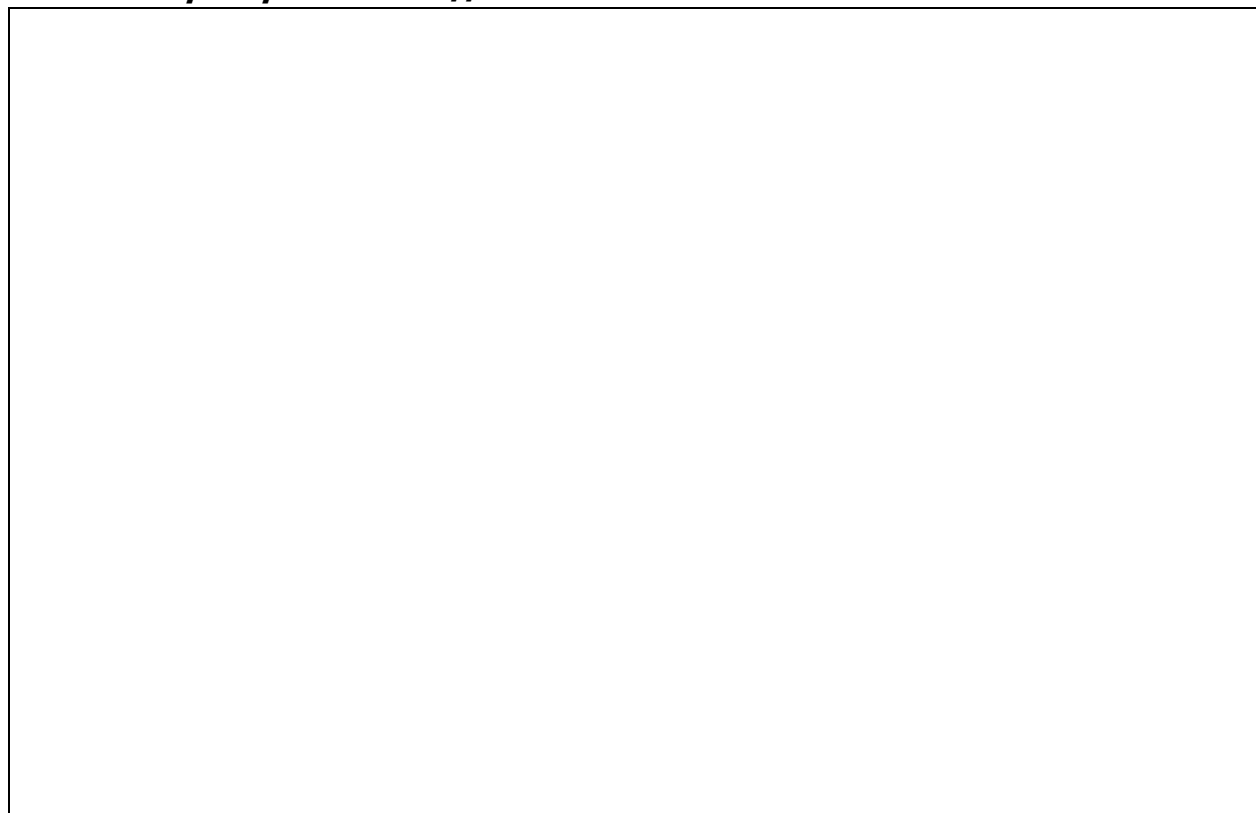
---

---

---

---

***Лабораторные исследования:***



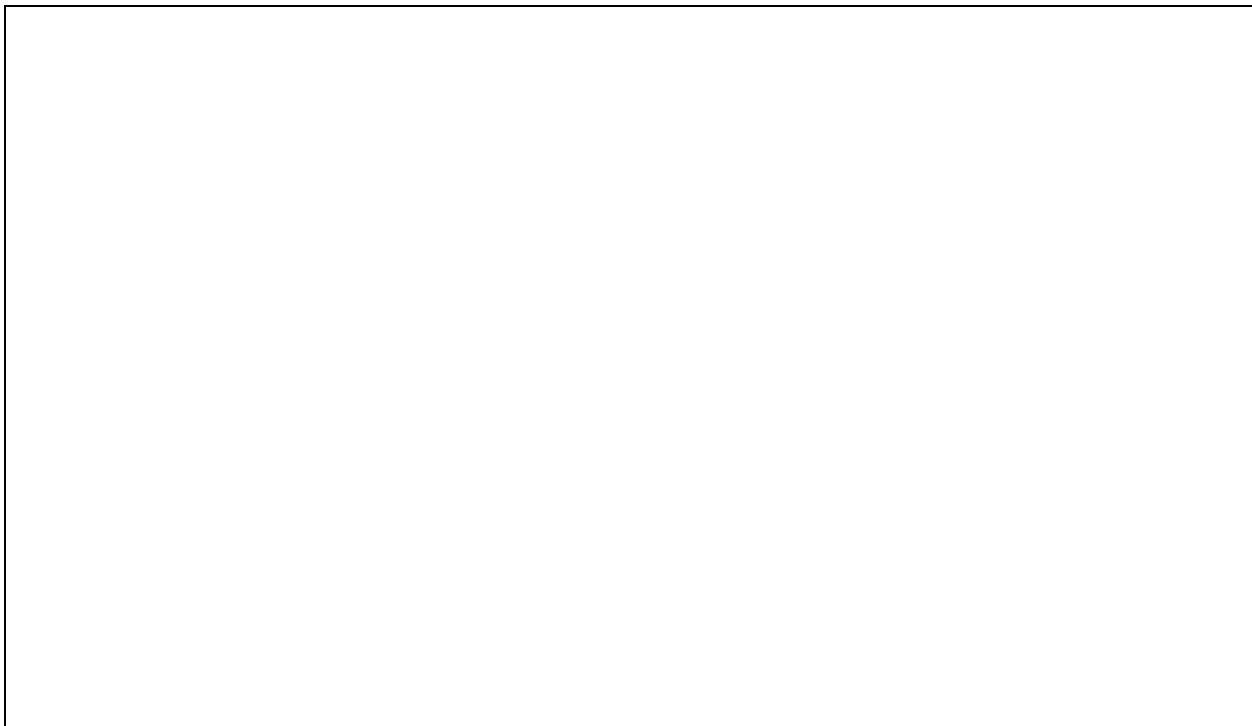
***Рисунок 1. – Схема опытного образца с геометрическими размерами***

**Таблица 1.** – Результаты экспериментально-теоретических лабораторных исследований

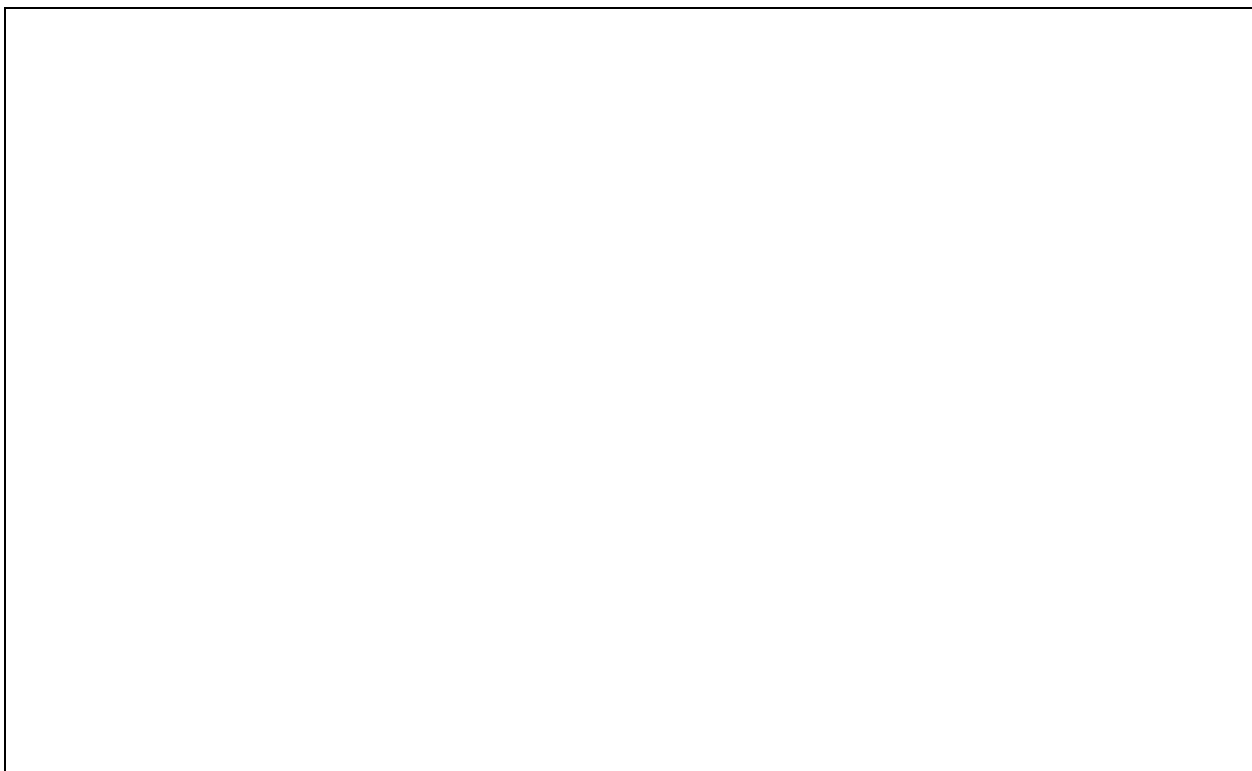
<b>1. Класс древесины, порода</b>	
<b>2. Толщина элементов, мм:</b>	
Крайнего со стороны забивки гвоздя	$t_1 =$
Крайнего со стороны острия гвоздя	$t_1' =$
Среднего	$t_2 =$
<b>3. Диаметр нагеля</b>	$d =$
<b>4. Количество нагелей</b>	$n_{ef} =$
<b>5. Количество швов для одного соединения</b>	$n_s =$
<b>6. Расстояния, мм:</b>	
до торца элемента вдоль волокон	$S_2 =$
между осями поперек волокон	$S_3 =$
<b>7. Характеристическая несущая способность одного среза, кН:</b>	
Из условия изгиба нагеля по схеме разрушения (см. рисунок 3.2, а)	
$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{hk} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{hk} t_1^2 d} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	
Из условия изгиба нагеля по схеме разрушения (см. рисунок 3.2, б)	
$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	
<b>8. Минимальная характеристическая несущая способность одного соединения, Н</b>	$F_{v,Rd}$
<b>9. Расчетная несущая способность соединения, Н</b>	$F_{v,ef,Rd}$
<b>10. Разрушающая нагрузка, Н</b>	
<b>11. Полная величина деформации сдвига, мм</b>	

**Таблица 2. – Результаты экспериментально-теоретических лабораторных исследований деформаций сдвига**

Нагрузка, кН	Индикатор № 1				Индикатор № 2				Средние деформац., мм			
	Отсчеты по прибору, мм	Полная деформация за цикл, мм	Упругая деформация, мм	Полная деформация образца, мм	Отсчеты по прибору, мм	Полная деформация за цикл, мм	Упругая деформация, мм	Полная деформация образца, мм	Полные за цикл, мм	Упругие, мм	Остаточные, мм	Полные, мм
0												
1												
3												
1												
5												
1												
7												
1												
9												
1												
11												
1												
13												
1												
15												
1												



**Рисунок 2.** – График зависимости деформации сдвига нагельного соединения от нагрузки



**Рисунок 3.** – График зависимости между упругими и остаточными деформациями

Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по выражениям:

$\frac{F_{Rd,max} - F_{v,Rd}}{F_{v,Rd}} \cdot 100\%,$	
$\frac{\varepsilon_{v,d} - \varepsilon_{max}}{\varepsilon_{max}} \cdot 100\%, \text{ при } \varepsilon_{max} = 2 \text{ мм}$	

**Вывод:**

---

---

---

---

---