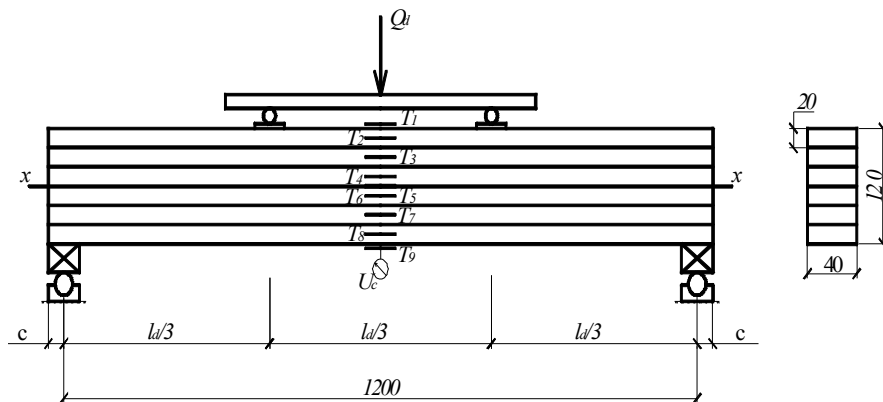


А. Р. ВОЛИК, М. Н. ГАВРИЛЬЧИК

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические рекомендации
для выполнения лабораторных работ
для студентов специальности 70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной форм обучения



Гродно
ГрГУ им. Я. Купалы

УДК 693.94
ББК 38.5
В67

Рекомендовано Советом инженерно-строительного факультета
ГрГУ им. Я. Купалы.

Рецензенты:

Хотько А. А., кандидат технических наук, доцент
(Учреждение образования
«Белорусский национальный технический университет»);

Черкас Л. А., кандидат технических наук, доцент
(Учреждение образования
«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»).

Волик, А. Р.

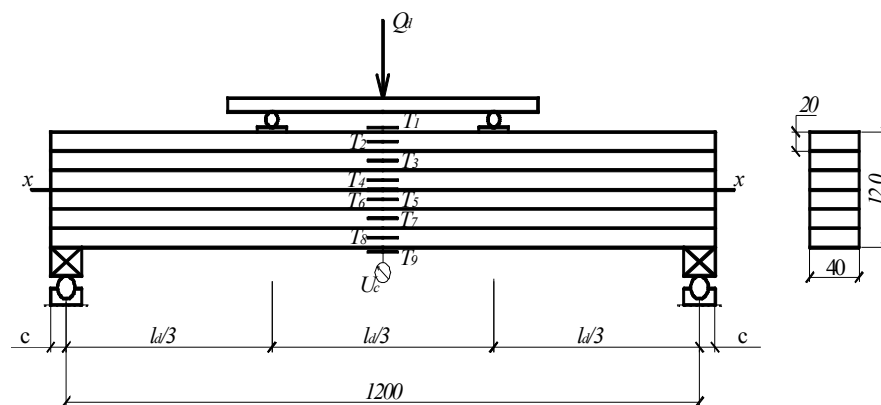
В67 Конструкции из дерева и пластмасс : метод. рек. / А. Р. Волик,
М. Н. Гаврильчик. – Гродно : ГрГУ, 2014. – 38 с.
ISBN 978-985-515-737-4

Содержатся методика выполнения экспериментальных исследований соединений и конструкций из древесины, оценка прочности и деформативности конструкций. Имеются справочные данные для определения теоретических и нормативных значений. Адресовано студентам специальности «Промышленное и гражданское строительство».

УДК 693.94
ББК 38.5

ISBN 978-985-515-737-4

© Волик А. Р., Гаврильчик М. Н., 2014
© Учреждение образования
«Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы», 2014



ВВЕДЕНИЕ

Выполнение лабораторных работ позволяет ознакомиться с основными механическими характеристиками древесины и древесно-плитных материалов при наиболее распространенных видах напряженного состояния, способствует более глубокому пониманию работы соединений и конструкций из древесины, позволяет самостоятельно дать оценку прочности и деформативности конструкций, а также формирует у студентов навыки проведения экспериментальных исследований.

Перед началом каждой лабораторной работы студент должен изучить методику ее выполнения. При этом должен быть подготовлен журнал испытаний, в котором указывается порядковый номер работы и ее название, приводятся схемы испытаний и эскизы образцов, таблицы с показаниями приборов и результаты испытаний.

Фактические размеры образцов определяются до начала испытаний при помощи штангенциркуля с точностью до миллиметров. Определение теоретической несущей способности конструкций и соединений, их деформативности и т. д. производится до начала испытаний.

Для измерения фактических деформаций используются тензодатчики и индикаторы, установленные в соответствии с приведенной в лабораторной работе схемой. Показания приборов заносятся в соответствующие графы таблиц.

После окончания лабораторной работы полученные данные обрабатываются. Составляется заключение о результатах испытаний, в котором дается сравнение величин, полученных опытным путем, с нормативными значениями и со значениями, полученными теоретически. Анализируются причины отклонений между этими величинами, выясняется характер разрушения материалов, соединений и конструкций.

Лабораторные работы оформляются в тетрадях с соблюдением соответствующих требований, построение графиков по данным испытаний выполняется на миллиметровой бумаге.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

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.

1. Теоретические сведения

Врубкой называют соединение (рис. 1.1), 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.

Лобовая врубка может утратить несущую способность при достижении одного из трех предельных состояний:

- смятие площадки упора;
- скалывание площадки;
- разрыв ослабленного врубкой нижнего пояса.

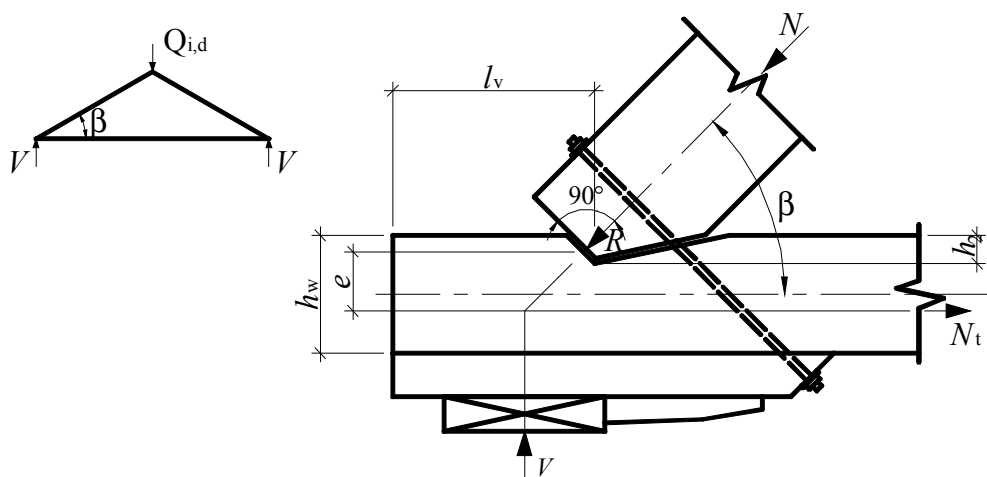


Рисунок 1.1 – Конструкция лобовой врубки

Расчетная несущая способность соединения на смятие определяется по формуле

$$R_{cm.d} = f_{cm.a.d} \cdot A_{cm} , \quad (1.1)$$

где A_{cm} – рабочая площадь смятия, определяемая по формуле $A_{cm} = \frac{b \cdot h_1}{\cos \alpha}$, где b – ширина сминаемого участка; h_1 – глубина врубки; $f_{cm.a.d}$ – расчетное сопротивление смятию древесины под углом к волокнам, определяемое по формуле

$$f_{cm.a.d} = \frac{f_{cm.0.d}}{1 + \left(\frac{f_{cm.0.d}}{f_{cm.90.d}} - 1\right) \cdot \sin^3 \alpha}, \quad (1.2)$$

где $f_{cm.0.d}$, $f_{cm.90.d}$ – расчетные сопротивления смятию вдоль волокон и поперек, определенные по приложению 2.

Расчетная несущая способность соединения из условия скалывания определяется по формуле

$$R_{v.d} = f_{v.mod.d} \cdot A_v, \quad (1.3)$$

где $f_{v.mod.d}$ – расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, определяемое по формуле

$$f_{v.mod.d} = \frac{f_{v.0.d}}{1 + k_{v1} \cdot \left(\frac{l_v}{e}\right)}, \quad (1.4)$$

где $f_{v.0.d}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, определенное по приложению 2; k_{v1} – коэффициент, равный 0,25 (при обеспечении обжатия площадки скалывания $k_{v1} = 0,125$); e – плечо сил скалывания, принимаемое $0,5h_w$ – при расчете элементов с несимметричной врезкой в соединениях без зазора между элементами и $0,25h_w$ – при расчете симметрично нагруженных элементов с симметричной врезкой; h_w – полная высота поперечного сечения скалываемого элемента; l_v – расчетная длина плоскости скалывания, принимаемая не более 10 глубин врезки в элемент; A_v – расчетная площадь скалывания, определяемая по формуле $A_o > b - l_o$, где b – ширина скалываемого участка.

Расчетная несущая способность соединения на растяжение в ослабленном сечении определяется по формуле

$$R_{t.o.d} = f_{t.o.d} \cdot k_o \cdot A_{inf}, \quad (1.5)$$

где $f_{t.o.d}$ – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон, определенное по приложению 2; k_o – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в деревянных элементах при наличии ослаблений ($k_o = 0,8$ по прил. 2); A_{inf} – площадь поперечного сечения элемента нетто, т. е. с учетом ослаблений.

2. Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: машина гидравлическая с торсионным силоизмерением ИП 6084-100-0, приспособления для испытаний, штангенциркуль, индикаторы часового типа.

Геометрическая схема образца, его размеры показаны на рисунке 1.1.

Подготовленную к испытаниям конструкцию устанавливают в прессовую установку. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры элементов лобовой врубки (табл. 1.1) перед ее испытанием.

Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатели	Величины
1. Порода	
2. Геометрические размеры, мм	
÷ ширина сечения	$b =$
÷ полная высота поперечного сечения скалываемого элемента	$h_w =$
÷ глубина врубки	$h_1 =$
÷ расчетная длина плоскости скалывания	$l_v =$
÷ плечо сил скалывания	$e =$
÷ угол наклона, °	$\alpha = 30^0$
÷ рабочая площадь смятия, мм ²	$A_{cm} > \frac{b-h_1}{\cos\beta} =$
÷ расчетная площадь скалывания, мм ²	$A_o > b - h_o =$
÷ площадь поперечного сечения элемента нетто, т.е. с учетом ослаблений, мм ²	$A_{inf} > (h_w \cdot h_1) - b$
3. Расчетные сопротивления древесины, МПа:	
÷ смятию вдоль волокон (с учетом k_{mod}, k_x по прил. 2)	$f_{cm.0.d} =$
÷ смятию поперек волокон (с учетом k_{mod}, k_x по прил. 2)	$f_{cm.90.d} =$
÷ расчетное сопротивление смятию древесины под углом к волокнам	$f_{cm.\beta.d} > \frac{f_{cm.0.d}}{1, (\frac{f_{cm.0.d}}{f_{cm.90.d}} \cdot 1) - \sin^3 \beta} =$
÷ расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (с учетом k_{mod}, k_x по прил. 2)	$f_{v.0.d} =$
÷ расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон	$f_{v.mod.d} > \frac{f_{v.0.d}}{1, k_{v1} \left(\frac{l_v}{e}\right)} =$
÷ расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон (с учетом k_{mod}, k_x по прил. 2)	$f_{t.0.d} =$
4. Расчетная несущая способность соединения, кН:	
÷ на смятие	$R_{cm.d} > f_{cm.\beta.d} \cdot A_c =$
÷ на скалывание	$R_{v.d} > f_{v.mod.d} \cdot A_v >$
÷ на растяжение в ослабленном сечении	$R_{t.o.d} > f_{t.o.d} \cdot k_o \cdot A_{inf} >$
5. Расчетная нагрузка, кН:	
÷ на смятие	$Q_{cm.d} > \frac{2 \cdot R_{cm.d}}{\cos\beta} >$
÷ на скалывание	$Q_{v.d} > 2 \cdot R_{v.d} \cdot \operatorname{tg}\beta >$
÷ на растяжение в ослабленном сечении	$Q_{t.o.d} > 2 \cdot R_{t.o.d} \cdot \operatorname{tg}\beta >$
6. Минимальная расчетная нагрузка, кН	$Q_d >$

Испытания проводятся при кратковременном машинном нагружении ступенями по 1кН. На каждой ступени нагрузки снимают отсчеты по двум индикаторам для определения деформаций смятия врубки и записывают в журнал испытания лобовой врубки, форма которого приведена в таблице 1.2. После приложения нагрузки $0,8 \cdot Q_d$ индикаторы снимают, и производится дальнейшее нагружение образца до разрушения.

Определение полных деформаций смятия врубки производится по данным отсчетов индикаторов с учетом их масштаба. Для этого из отсчета при нагрузке, соответствующей ступени нагружения, нужно вычесть отсчет при нулевой нагрузке. А затем определить среднее значение полной деформации по двум индикаторам.

Таблица 1.2 – Испытание соединения

Нагрузка, кН	Индикатор № 1		Индикатор № 2		Средняя полная деформация, мм
	Отсчет по прибору	Полная деформация, мм	Отсчет по прибору	Полная деформация, мм	
0					
1					
2					
...					
$Q_{max, exp}$					

По вычисленным средним значениям деформации смятия строится график зависимости этих деформаций от нагрузки (рис. 1.2). По этому графику определяют полную деформацию смятия врубки при расчетной нагрузке $Q_{cm.d}$, величины рыхлой и упругой деформаций.

В завершение работы следует произвести сопоставление экспериментальных данных с теоретическими по выражениям:

• опытное значение разрушающей нагрузки $Q_{max.exp}$ составляет от теоретического значения разрушающей нагрузки Q_d :

$$\frac{Q_{max.exp} - Q_d}{Q_d} \cdot 100\% =$$

• опытное значение деформации смятия врубки $\phi_{cm.max}$ при расчетной нагрузке $Q_{cm.d}$ составляет от величины деформации соединения $\phi_{cm.max} = 1,5$ мм, определенной с учетом ТКП 45-5.05-146-2009 [1, табл. 8.1]:

$$\frac{\varepsilon_{cm.exp} - \varepsilon_{cm.max}}{\varepsilon_{cm.max}} \cdot 100\% =$$

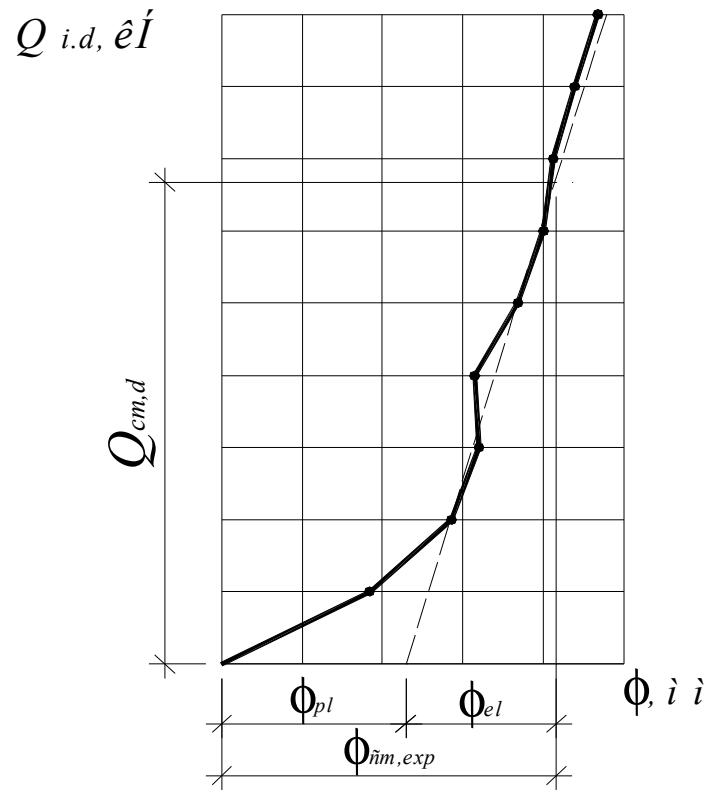


Рисунок 1.2 – График зависимости деформаций смятия от нагрузки

Отчет должен содержать рисунки образца с указанием действительных размеров, таблиц расчетов и испытаний соединения со всеми вычислениями, график зависимости деформаций смятия от нагрузки и анализ результатов испытания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

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.

1. Теоретические указания

Расчетную несущую способность соединения на цилиндрических нагелях из одного материала (сосны или ели) и одинакового диаметра следует определять по формуле

$$R_d = R_{ld.min} n_n n_s, \quad (2.1)$$

где $R_{ld.min}$ – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении; n_n – количество нагелей в соединении; n_s – количество швов в соединении для одного нагеля.

Расчетную несущую способность одного среза в односрезных и симметричных двухсрезных соединениях следует принимать как наименьшее значение из найденных по приведенным ниже формулам

$$R_{1d} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h.1.d} \cdot t_1 \cdot d \cdot k_a \\ f_{h.2.d} \cdot t_2 \cdot d \cdot k_a \\ f_{n.d} \cdot d^2 \cdot (1 + \beta_n^2) \cdot \sqrt{k_a} \end{array} \right., \quad (2.2)$$

где $f_{h.1.d}$ и $f_{h.2.d}$ – расчетные сопротивления древесины смятию в глухом нагельном гнезде соответственно для симметричных и несимметричных соединений (табл. П8, П9 приложения 4); $f_{n.d}$ – расчетное сопротивление изгибу нагеля (табл. П10 приложения 4). Расчетные сопротивления древесины приведены для сосны и ели для нормальных условий эксплуатации. Для соединения элементов из древесины других пород или для других условий эксплуатации следует учитывать соответствующие коэффициенты (k_{mod} , k_x , k_t) приложения 2. t_1 , t_2 – толщина крайних элементов и средних элементов в симметричных соединениях (рис. 2.1); d – диаметр нагеля; χ_n – коэффициент, зависящий от отношения толщины более тонкого элемента к диаметру нагеля, определяется по формуле

$$\chi_n > k_n \frac{t_1}{d}, \quad (2.3)$$

где k_n – коэффициент, зависящий от типа нагеля (табл. П10 приложения 4). Значение коэффициента χ_n , определенного по формуле (2.3), не должно превышать $\chi_{n.max}$, приведенного в таблице П10 приложения 4.

k_β – коэффициент, учитывающий угол β между силой и направлением волокон, принимается по таблице 11 приложения 4. Угол β следует принимать равным большому из углов смятия нагелем элементов, прилегающих к рассматриваемому шву.

2. Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: индикатор часового типа, машина гидравлическая с торсионным силоизмерением ИП 6084-100-0, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая.

Для испытания применяют образцы на нагелях в виде стальных стержней или проволочных гвоздей (рис. 2.1), изготовленных из сосновых или еловых досок $W = 10-15\%$.

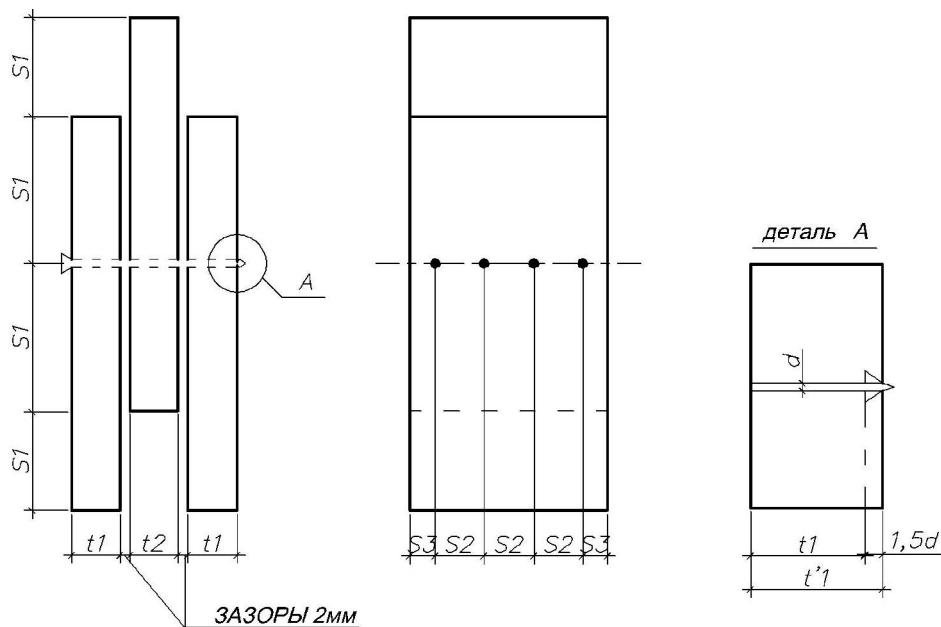


Рисунок 2.1 – Конструкция образца нагельного соединения

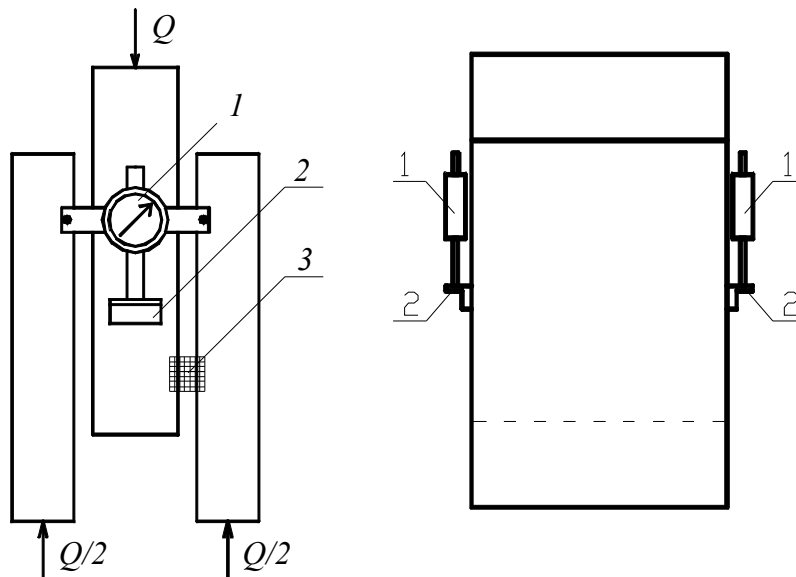
Предварительно производят геометрические измерения и необходимые расчеты, результаты которых сводят в таблицу 2.1.

При испытании образца определяют деформации сдвига соединения и разрушающую нагрузку. Для измерения деформаций сдвига в швах на образцах устанавливают два индикатора, которые закрепляют на крайних досках так, чтобы их штрихи упирались в уголки, привинченные к средней доске (рис. 2.2). 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 деформации сдвига $\phi_{v.exp}$.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатели	Обозначение
1	2
1. Порода древесины	
2. Толщина элементов, мм:	
крайних	$t_1^{забивк} =$
÷ со стороны забивки гвоздя	
÷ со стороны острия гвоздя	$t_1^{осмп} =$
среднего	$t_2 =$
Расчетная длина крайнего элемента	
÷ со стороны забивки гвоздя	$t_1 = t_1^{забивк}$
÷ со стороны острия гвоздя	$t_1 = t_1^{осмп} - 1,5 \cdot d$
3. Диаметр нагеля	$d =$
4. Количество нагелей	$n_n =$
5. Количество швов для одного соединения	$n_s =$
6. Расстояния, мм	
÷ до торца элемента вдоль волокон	$S_1 =$
÷ между осями вдоль волокон, до торца элемента	$S_1 =$
÷ между осями поперек волокон	$S_2 =$
÷ до кромки элемента поперек волокон	$S_3 =$
7. Минимальные расстояния по нормам (табл. П12, П13 прил. 4), мм:	
÷ между осями вдоль волокон, до торца элемента	$S_{1.min} =$
÷ между осями поперек волокон	$S_{2.min} =$
÷ до кромки элемента поперек волокон	$S_{3.min} =$
8. Расчетная несущая способность одного среза, кН:	
<i>из условия смятия крайнего элемента</i>	
÷ со стороны забивки гвоздя	$R_{1d}^1 > f_{h.1.d} \cdot t_1 \cdot d \cdot k_\beta >$
÷ со стороны острия гвоздя	$R_{1d}^2 > f_{h.1.d} \cdot t_1 \cdot d \cdot k_\beta >$
<i>из условия смятия среднего элемента</i>	$R_{1d}^3 > f_{h.2.d} \cdot t_2 \cdot d \cdot k_\beta >$
<i>из условия изгиба нагеля</i>	
÷ со стороны забивки гвоздя	$R_{1d}^4 > f_{n.d} \cdot d^2 \cdot (1, \chi_n^2) \cdot \sqrt{k_\beta}$ $\chi_n > k_n \frac{t_1}{d} / \chi_{n,max}$
÷ со стороны острия гвоздя	$R_{1d}^5 > f_{n.d} \cdot d^2 \cdot (1, \chi_n^2) \cdot \sqrt{k_\beta}$ $\chi_n > k_n \frac{t_1}{d} / \chi_{n,max}$

1	2
9. Минимальная несущая способность одного соединения, кН	$R_{1d.min} >$
10. Расчетная несущая способность соединения, кН	$R_d > R_{1d.min} \cdot n_n \cdot n_s$
11. Разрушающая нагрузка, кН	$Q_{max.exp} >$
12. Полная величина деформации сдвига, мм	$\phi_{v.exp} =$



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

Рисунок 2.2 – Схема расстановки индикаторов

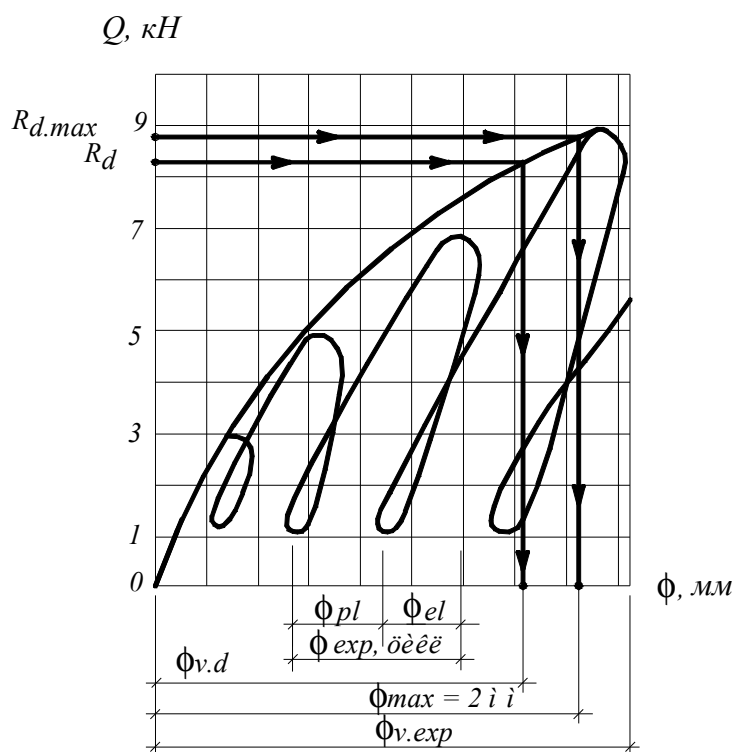
Для ликвидации рыхлых деформаций образец предварительно загружают нагрузкой 1 кН, которая принимается в дальнейшем за условный нуль. Нагружение производится ступенями с равномерной скоростью 0,3 кН/с.

При последующих нагружениях на каждой ступени нагрузки, равной 1–2 кН, с разгрузкой после каждого цикла до условного нуля (рис. 2.3), снимают отсчеты и записывают в таблицу 2.2.

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

После испытаний рассчитывают деформации сдвига. Предварительно определяют полные и упругие деформации за цикл отдельно по каждому индикатору.

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. рис. 2.3).



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

Рисунок 2.3 – График зависимости деформации сдвига нагельного соединения от нагрузки

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.

По данным таблицы 2.2 строится график зависимости средних значений полной деформации от внешней нагрузки. На графике откладывают несущую способность соединения R_d и измеряют соответствующую этой нагрузке деформацию сдвига $\phi_{v,d}$.

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

По графику зависимости между упругими и остаточными деформациями (рис. 2.4) находится нагрузка, при которой резко возрастают остаточные деформации. Ей соответствует точка перелома двух прямых.

В заключение выполняют сравнение экспериментальных данных с теоретическими:

$$\frac{R_{d,max} - R_d}{R_d} \cdot 100 \% = \dots \%, \quad \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{v,d}}{\varepsilon_{max}} \cdot 100 \% = \dots \%,$$

где $\varepsilon_{max} = 2$, табл. 8.1 [1].

Таблица 2.2 – Результаты измерений деформаций

Нагрузка, кН	Индикатор № 1				Индикатор № 2				Средние деформации, 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												
...												
15												
1												
$Q_{max.exp}$												

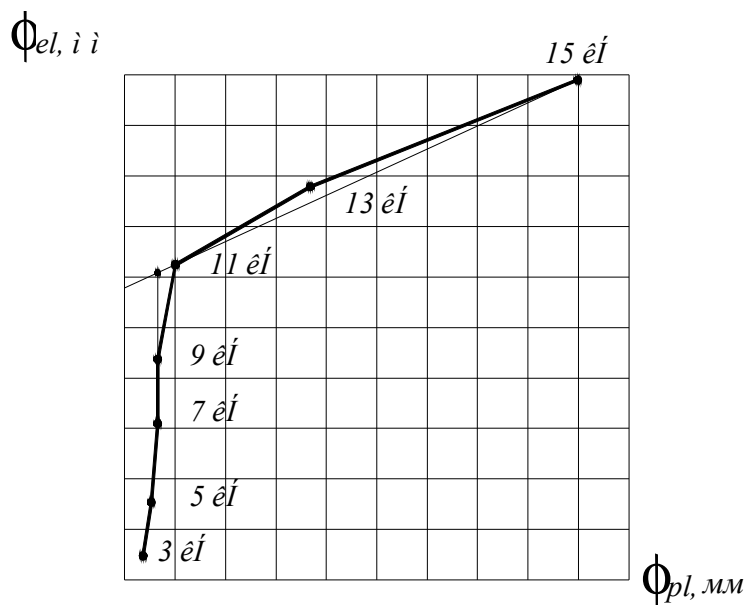


Рисунок 2.4 – График зависимости между упругими и остаточными деформациями

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
**ИСПЫТАНИЕ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ФРАГМЕНТА
 КЛЕЕФАНЕРНОЙ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ**

Цель работы:

- определить величины и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения плиты (экспериментально и теоретически);
- построить график прогиба элемента от испытательной нагрузки и сопоставить с теоретическими значениями.

1. Теоретические сведения

Клеефанерные плиты состоят из продольных ребер и фанерных обшивок, соединенных на клею в одно целое и образующих коробчатое или тавровое сечение.

Расчет клеефанерных элементов производится в предположении жесткого соединения фанерных обшивок с деревянными ребрами (без учета податливости клеевого шва). Поскольку материалы ребер (древесина хвойных пород) и обшивок (обычно березовая фанера) отличаются по своим физико-механическим характеристикам, то расчет выполняется по приведенным геометрическим характеристикам (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатели	Расчеты, измерения
1	2
1. Материал:	
÷ обшивка	фанера марки ФСФ березовая
÷ ребра	сосна II сорт
2. Размеры, мм:	
➤ <i>плиты</i>	
÷ высота	$h =$
÷ пролет	$l_d =$
÷ расстояние между осями продольных ребер	$a_b =$
÷ расстояние между продольными ребрами в свету	$a_1 =$
➤ <i>ребер</i>	
÷ ширина	$b_w =$
÷ высота	$h_w =$
➤ <i>обшивки</i>	
÷ ширина	$b =$
÷ толщина	$h_{t.sup} =$
÷ расчетная ширина фанерной обшивки (учитывая концентрацию напряжений в обшивке в зоне соединения ее с ребрами) (рис. 3.1)	$b_d = 0,9b$ при $l_d \times 6a_b$ $b_d = \frac{0,15 \cdot l_d \cdot b}{a_b}$, при $l_d < 6 a_b$

1	2
3. Геометрические характеристики расчетного поперечного сечения	
÷ <i>приведенные к фанере:</i>	
÷ коэффициент приведения сечения к фанере (модули упругости определяются по прил. 2, 3)	$n_{ef} > \frac{E_0}{E_p}$
÷ площадь приведенного сечения	$A_{ef} > A_{t,sup} \cdot n_{ef}$
÷ статистический момент сечения относительно верхней грани обшивки	$S_{ef} > A_{t,sup} \cdot \frac{h_{t,sup}}{2}, A_w \left[h_{t,sup}, \frac{h_w}{2} \right] \cdot n_{ef}$
÷ положение нейтральной оси	$z_{ef} > \frac{S_{ef}}{A_{ef}}$
÷ момент инерции относительно нейтральной оси	$J_{ef} > \frac{b_d \cdot h_{t,sup}^3}{12}, A_{t,sup} \left[z_{ef} \cdot \frac{h_{t,sup}}{2} \right]^2,$ $, n_{ef} \left[\frac{b_w \cdot h_w^3}{12}, A_w \left[\frac{h_w}{2}, h_{t,sup} \cdot z_{ef} \right]^2 \right]$
÷ момент сопротивления в крайних сжатых волокнах обшивки (сечение IV-IV)	$W_{ef} > \frac{J_{ef}}{z_{ef}}$
÷ <i>приведенные к древесине:</i>	
÷ коэффициент приведения сечения к древесине:	$n_{0,ef} > \frac{E_p}{E_0}$
÷ площадь приведенного сечения	$A_{0,ef} > A_{t,sup} \cdot n_{0,ef}, A_w >$
÷ статистический момент сечения относительно нижней грани ребра	$S_{0,ef} > A_w \cdot \frac{h_w}{2}, A_{t,sup} \left[h_w, \frac{h_{t,sup}}{2} \right] \cdot n_{0,ef}$
÷ положение нейтральной оси	$z_0 > \frac{S_{i,ef}}{A_{i,ef}}$
÷ момент инерции относительно нейтральной оси	$J_{0,ef} > \frac{b_w \cdot h_w^3}{12}, A_w \left[z_0 \cdot \frac{h_w}{2} \right]^2, n_{0,ef} \infty$ $\infty \left[\frac{b_d \cdot h_{t,sup}^3}{12}, A_{t,sup} \left[h_w, \frac{h_{t,sup}}{2} \cdot z_0 \right]^2 \right]$
момент сопротивления	
÷ в сечении I-I: $y_1 > z_0$	$W_{0,ef} > \frac{J_{0,ef}}{y_1}$

1	2
÷ в сечении II-II: $y_2 > z_0 \cdot 22$	$W_{0.ef} > \frac{J_{0.ef}}{y_2}$
÷ в сечении III-III: $y_3 > h_w \cdot z_0$	$W_{0.ef} > \frac{J_{0.ef}}{y_3}$

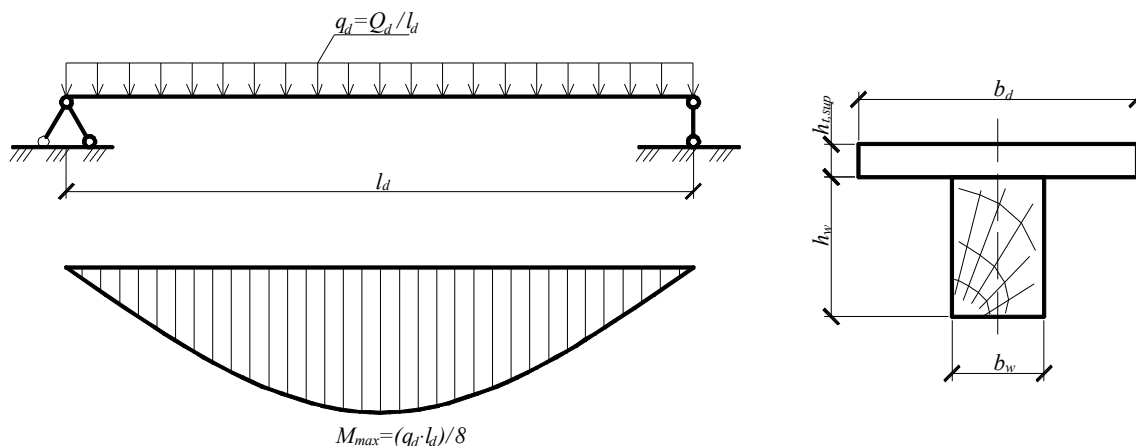


Рисунок 3.1 – Расчетная схема плиты, расчетное поперечное сечение

2. Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: пресс с приспособлением для испытания плиты, индикаторы, тензорезисторы, измерительно-управляющее устройство УИУ 2002, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая.

В работе проводится испытание клефанерного элемента, который является фрагментом клефанерной плиты и состоит из двух продольных ребер и приклеенной к ним фанерной обшивки.

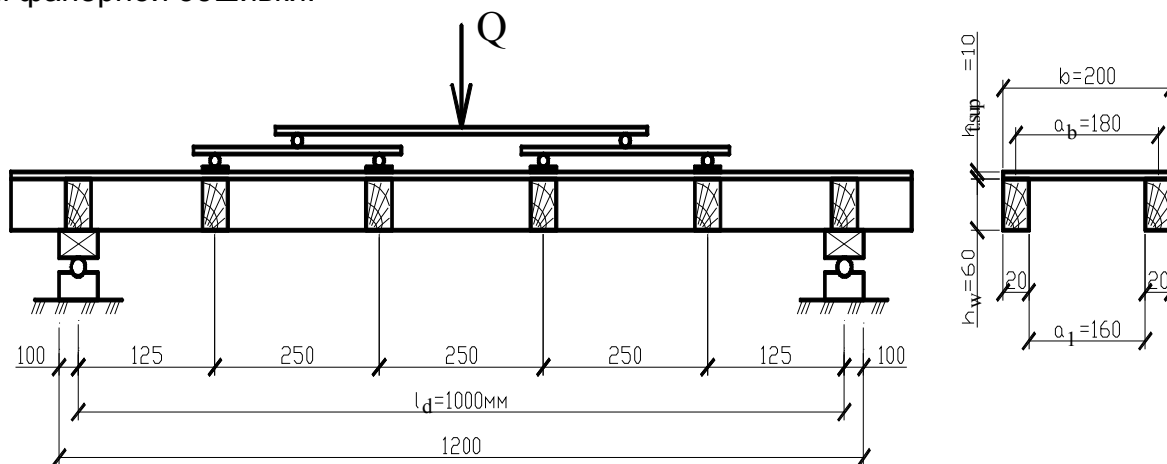


Рисунок 3.2 – Конструкция и схема испытания на статический изгиб фрагмента ребристой панели

Нагружение элемента осуществляется четырьмя сосредоточенными силами, что эквивалентно равномерно распределенной нагрузке. Нагружение элемента осуществляется ступенями по 0,4 кН и доводится до максимальной нагрузки 2,4 кН, что соответствует упругой области работы элемента.

Величины и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения плиты

Относительные деформации по сечению элемента в средней части определяются при помощи тензорезисторов Т1-Т9 (рис. 3.3) и измерительно-управляющего устройства УИУ 202. На нулевой и последней ступени нагружения снимаются показания тензорезисторов и заносятся в таблицу 3.2.

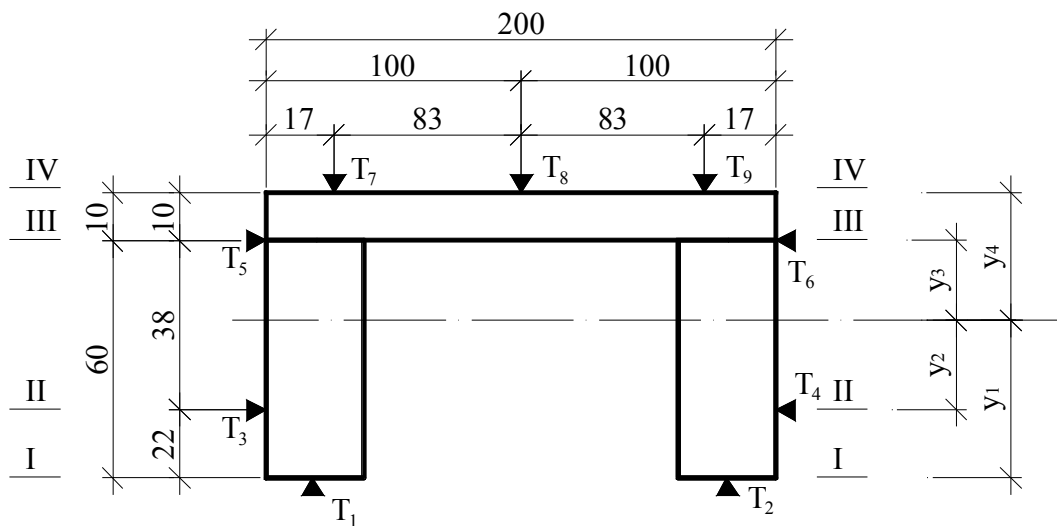


Рисунок 3.3 – Схема расстановки тензорезисторов

Относительные деформации (столбец 4) определяются как приращение показателей тензорезисторов по отношению к нулевой ступени нагружения со своими знаками. Относительные деформации в каждом сечении (сечения на рис. 3.3 обозначены римскими цифрами) определяются как среднее арифметическое ϕ_{ϕ} тех тензорезисторов, которые находятся в соответствующем сечении.

Экспериментальные значения напряжений в элементе определяют, пользуясь законом Гука, по формуле

$$\tau_{i.exp} > E_i - \phi_i, \quad (3.1)$$

где E_i – модуль упругости, принимаемый для древесины $E_o = 6500$ МПа, для фанеры $E_p = 6000$ МПа. В зависимости от условий эксплуатации модули упругости древесины и фанеры следует определять умножением E_p и E_o на коэффициент k_{mod} .

Теоретические значения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения определяют по формуле

$$\sigma_{i.calc} = \frac{M_{i.d}}{W_{d.ef}} = \frac{Q_d \cdot l_d}{8 \cdot W_{d.ef}}, \quad (3.2)$$

где $M_{i.d} = \frac{q_d \cdot l_d^2}{8} = \frac{Q_d \cdot l_d^2}{8 \cdot l_d} = \frac{Q_d \cdot l_d}{8}$ – расчетный изгибающий момент; $W_{d.ef} = W_{ef}$ или $W_{0.ef}$ –

приведенные к соответствующему материалу моменты инерции, определенные в таблице 3.1.

Таблица 3.2 – Определение напряжений в поперечном сечении плиты

№ тензорезисторов	Отсчеты		Относительная деформация $\phi \cdot 10^{-4}, \%$	Относительная деформация в сечении $\phi \cdot 10^{-4}, \%$	$\tau_{i.calc}, \text{МПа}$ (по ф-ле 3.2)	$\tau_{i.exp}, \text{МПа}$ (по ф-ле 3.1)
	при $Q_{i.d} = 0 \text{ кН}$	при $Q_{i.d} = 2,4 \text{ кН}$				
1				В сечении I-I		
2						
3				В сечении II-II		
4						
5				В сечении III-III		
6						
7				В сечении IV-IV		
8						
9						
Среднее значение нормальных напряжений в обшивке $\tau_{exp.mid}, \text{МПа}$						
Максимальное значение нормальных напряжений в обшивке $\tau_{exp.max}, \text{МПа}$						
Коэффициент неравномерности напряжений по ширине обшивки $k_1 = \tau_{exp.mid} / \tau_{exp.max}$						

После этого строят эпюры нормальных напряжений $\tau_{i.d}$ по теоретическим и экспериментальным значениям.

По индикаторам, установленным на плите, определяют ее прогибы при нагружении. Отсчеты снимают по индикаторам при каждой ступени нагружения и заносят в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Определение прогибов плиты

Нагрузка, кН	Отсчеты по индикаторам (с учетом знака)			Экспериментальное значение прогиба $U_{o.i.exp}$ (по ф-ле 3.3)	Теоретическая величина прогиба $U_{o.i.calc}$ (по ф-ле 3.4)
	u_1	u_2	u_c		
0					
0,4					
0,8					
...					
2,4					

Действительный экспериментальный прогиб плиты $u_{o.i.exp}$ вычисляют по формуле

$$u_{o.i.exp} = u_c - \left(\frac{u_1 + u_2}{2} \right)_{o.i.exp} \quad (3.3)$$

Теоретическую величину прогиба определяют для каждого этапа нагружения по формуле

$$u_{o.i.calc} = \frac{5 \cdot q_k \cdot l_d^4}{384 \cdot 0,7 \cdot E_o \cdot J_{o.ef}} = \frac{Q_d \cdot l_d^3}{44,8 \cdot E_o \cdot J_{o.ef}}, \quad (3.4)$$

где $E_o = 8500$ МПа. В зависимости от условий эксплуатации модуль упругости древесины следует определять с учетом коэффициента k_{mod} . $q_k = \frac{1,2 \cdot Q_d}{l_d}$ – ступени нагру-

жения, кН; $J_{o.ef}$ – момент инерции сечения, приведенного к древесине, мм⁴;

Затем в координатах $Q_i - u_o$ строят графики теоретических и экспериментальных прогибов, полученных в таблице 3.3.

Отчет должен содержать рисунки образца и схему испытаний, журналы испытаний со всеми вычислениями, эпюру нормальных напряжений и графики прогибов, а также анализ результатов испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
**ИСПЫТАНИЕ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ КЛЕЕНОЙ БАЛКИ
ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

Цель работы:

- определить расчетную нагрузку балки, сравнить ее с разрушающей;
- определить модуль упругости древесины;
- определить величины и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения;
- определить величины прогибов.

1. Теоретические указания

Расчетную нагрузку Q_d определяют:

1) по прочности поперечного сечения от действия *нормальных напряжений*, используя формулу

$$\sigma_{m.d} = \frac{M_d}{W_d} \leq f_{m.d}, \quad (4.1)$$

где $M_d = \frac{Q_d \cdot l_d}{6}$ – расчетный изгибающий момент (рис. 4.1); $W_d = \frac{b \cdot h^2}{6}$ – расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента;

$$\sigma_{m.d} = \frac{M_d}{W_d} = \frac{Q_d \cdot l_d}{6} \cdot \frac{6}{b \cdot h^2} = \frac{Q_d \cdot l_d}{b \cdot h^2}; \quad \frac{Q_d \cdot l_d}{b \cdot h^2} = f_{m.d}$$

$$Q_d = \frac{f_{m.d} \cdot b \cdot h^2}{l_d} \quad (4.2)$$

2) при изгибе в сечениях элемента возникают *скалывающие напряжения* $\tau_{v.o.d}$, возникающие от действия парных сдвиговых сил. Расчетную нагрузку определяют из условия

$$\tau_{v.o.d} = \frac{V_d \cdot S_{sup}}{J_{sup} \cdot b_d} \leq f_{v.o.d}, \quad (4.3)$$

где $V_d > \frac{Q_d}{2}$ – расчетная поперечная сила (см. рис. 4.1); $S_{sup} > \frac{b \cdot h^2}{8}$ – статический момент сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$J_{sup} = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – момент инерции брутто; b_d – расчетная ширина сечения элемента.

После подстановки получаем
$$\frac{\frac{Q_d \cdot b \cdot h^2}{2 \cdot \frac{8}{12}}}{\frac{b \cdot h^3}{12} \cdot b} = \frac{3 \cdot Q_d}{4 \cdot h \cdot b} = f_{v.o.d},$$

$$Q_d = \frac{4 \cdot h \cdot b \cdot f_{v.o.d}}{3} = 1,33 \cdot b \cdot h \cdot f_{v.o.d} \quad (4.4)$$

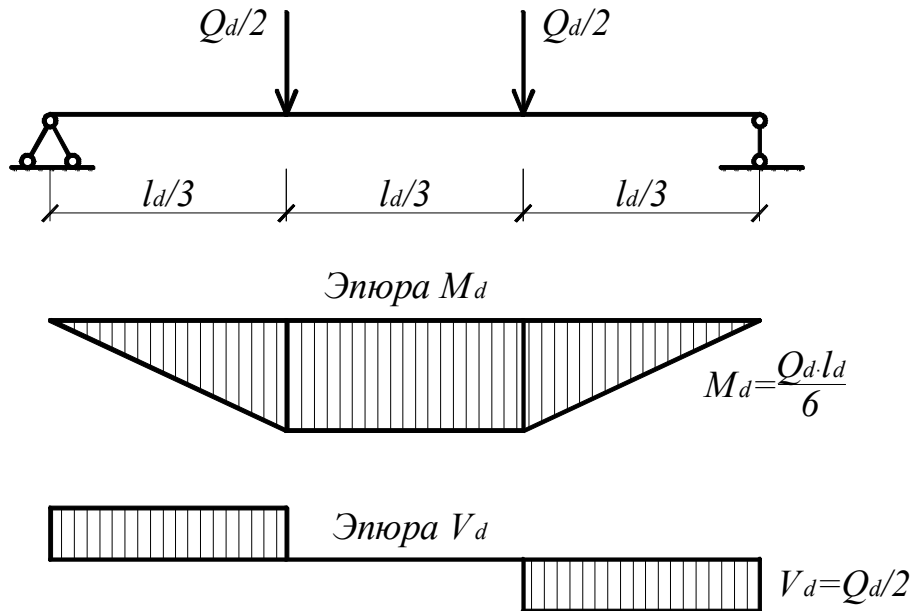


Рисунок 4.1 – Расчетная схема балки

3) по предельному прогибу расчетную нагрузку определяют в следующей последовательности:

– прогиб балки без учета деформаций сдвига определяют по формуле

$$u_o = \frac{23 \cdot Q_k \cdot l_d^3}{648 \cdot E_o \cdot J_{sup}} \quad (4.5)$$

где $Q_k = \frac{Q_d}{2-\eta_Q} > \frac{Q_d}{2-1,2} > \frac{Q_d}{2,4}$ – величина нормативной нагрузки; $E_o = 8500 \text{ МПа} \cdot k_{mod}$ –

модуль упругости древесины; $J_{sup} > \frac{b \cdot h^3}{12}$ – момент инерции брутто;

$$u_o = \frac{23 \cdot Q_k \cdot l_d^3 \cdot 12}{648 \cdot E_o \cdot 2,4 \cdot 8500 \cdot k_{mod}} = 2,08 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q_d \cdot l_d^3}{b \cdot h^3 \cdot k_{mod}}$$

– наибольший прогиб с учетом деформаций сдвига определяют по формуле

$$u = \frac{u_0}{k_{h1} \cdot \left[1 + k_v \cdot \left(\frac{h}{l_d} \right)^2 \right]}, \quad (4.6)$$

где h – наибольшая высота сечения; k_{h1} – коэффициент, учитывающий влияние переменной высоты сечения, принимаемый равным 1 для балок постоянного сечения; k_v – коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы, определяется по табл. 8.2 [1]

$$k_v > 45 \cdot 24\beta)l \cdot \chi^*, 3\chi \frac{l}{3 \cdot 4\beta^2}. \quad (4.7)$$

При $\beta > \frac{l}{3}$ и $\chi > 1$ $k_v = [45 + 3] \cdot \frac{1}{3 - 4 \cdot \frac{1}{9}} = 18,87$.

После подстановки получаем $\frac{u}{l_d} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot Q_d \cdot l_d^2}{b \cdot h^3 \cdot \left[1 + k_v \cdot \left(\frac{h}{l_d} \right)^2 \right]} \leq \left[\frac{u_{lim}}{l_d} \right], \left[\frac{u_{lim}}{l_d} \right] = \frac{1}{150}$ – предель-

ный прогиб по СНиП 2.01.07-85 (раздел 10, табл. 19).

Таким образом, после преобразований $\frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot Q_d \cdot l_d^2}{b \cdot h^3 \cdot \left[1 + k_v \cdot \left(\frac{h}{l_d} \right)^2 \right]} \leq \frac{1}{150}$,

$$Q_d = \frac{b \cdot h^3 \cdot \left(1 + 18,87 \cdot \frac{h^2}{l_d^2} \right) \cdot k_{mod}}{0,0003 \cdot l_d}. \quad (4.8)$$

До начала испытаний определяют фактические размеры образца и рассчитывают теоретическую несущую способность балки (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатели	Величины
1	2
1. Порода	
2. Геометрические размеры, мм	
÷ ширина сечения	$b =$
÷ высота поперечного сечения	$h =$
÷ толщина слоя	$\varepsilon =$
÷ расчетный пролет	$l_d =$
Статический момент брутто, мм ³	$S_{sup} > \frac{b \cdot h^2}{8} =$

1	2
Момент инерции брутто, мм ⁴	$J_{sup} > \frac{b-h^3}{12} =$
Расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента, мм ³	$W_d > \frac{b-h^2}{6} =$
3. Расчетные сопротивления древесины, МПа:	
÷ изгибу (с учетом k_{mod}, k_x, k_e)	$f_{m.d} =$
÷ скалыванию вдоль волокон при изгибе клееных элементов (с учетом k_{mod}, k_x, k_e)	$f_{v.0.d} =$
4. Расчетная нагрузка, кН:	
÷ от действия нормальных напряжений при изгибе	$Q_d > \frac{f_{m.d} \cdot b \cdot h^2}{l_d} >$
÷ от действия напряжений сдвига	$Q_d > 1,33 \cdot b \cdot h \cdot f_{v.0.d} =$
÷ по предельному прогибу	$Q_d > \frac{b \cdot h^3 \cdot \left 1, 18,87 \cdot \frac{h^2}{l_d^2} \right \cdot k_{mod}}{0,0003 \cdot h_d} >$
5. Минимальная расчетная нагрузка, кН	$Q_d =$

2. Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: пресс с приспособлением для испытания балки, индикаторы, тензорезисторы, устройство измерительно-управляющее УИУ 2002, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая.

Испытания балки проводят в следующей последовательности:

- определение модуля упругости древесины балки;
- определение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения;
- определение прогибов балки.

При *определении модуля упругости* для измерений деформаций на балку устанавливают 3 индикатора (рис. 4.2): средний и два крайних. Средний индикатор устанавливают под образцом, а крайние – над ним по осям опор. По среднему индикатору определяют перемещение балки посередине пролета u_c , а по крайним – глубину смятия деревянных прокладок u_r, u_l .

Действительный экспериментальный прогиб балки $u_{i,j}$ вычисляют по формуле

$$u_{i,j} = u_c - \left(\frac{u_r + u_l}{2} \right) \cdot \quad (4.9)$$

Балку нагружают равномерно возрастающей нагрузкой со скоростью 6 " 1 кН/мин. При достижении нагрузки 4,5 кН балку равномерно разгружают до 1 кН. При последую-

щих четырех нагружениях в момент достижения нагрузки $Q_{inf} = 1 \text{ кН}$ (нижняя нагрузка) и $Q_{sup} = 4,5 \text{ кН}$ (верхняя нагрузка) по индикаторам снимают отсчеты и записывают в журнал (табл. 4.2).

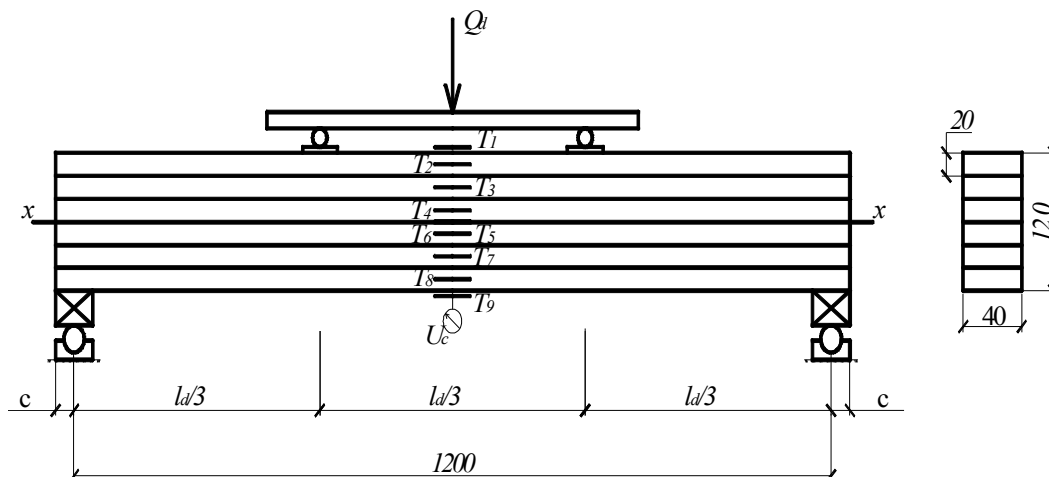


Рисунок 4.2 – Конструкция и схема испытания

Модуль упругости древесины балки при статическом изгибе $E_{o,exp}$ вычисляют с округлением 100 МПа по формуле

$$E_{o,exp} = \frac{23 \cdot Q_d \cdot l_d^3 \cdot 12}{648 \cdot 2 \cdot b \cdot h^3 \cdot u_{mid}}, \quad (4.10)$$

где Q_d – нагрузка, равная разности верхнего и нижнего пределов нагружения ($Q_d = Q_{sup} - Q_{inf} = 3,5 \text{ кН}$); $u_{mid} = u_{sup,mid} - u_{inf,mid}$ – прогиб образца, равный разности между средними арифметическими измерений прогиба при верхнем и нижнем пределах нагружения, мм.

Таблица 4.2 – Определение модуля упругости

Циклы	Степени нагружения	Показания индикаторов			$\frac{u_r, u_l}{2}$	U_{inf}	U_{sup}			
		среднего u_c	правого u_r	левого u_l						
1	$Q_{inf} = 1 \text{ кН}$ $Q_{sup} = 4,5 \text{ кН}$									
2	$Q_{inf} = 1 \text{ кН}$ $Q_{sup} = 4,5 \text{ кН}$									
3	$Q_{inf} = 1 \text{ кН}$ $Q_{sup} = 4,5 \text{ кН}$									
4	$Q_{inf} = 1 \text{ кН}$ $Q_{sup} = 4,5 \text{ кН}$									
Примечание: подстрочные индексы c – центральный (center) r – правый (right) l – левый (left) mid – средний (middle)				$U_{inf,mid} =$				-		
				$U_{sup,mid} =$				-		
				$U_{mid} = U_{sup,mid} - U_{inf,mid} =$						
				$E_{o,exp} > \frac{23 \cdot Q_d \cdot l_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot u_{mid}} >$						

Для определения прогибов и нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балку нагружают равномерно возрастающей нагрузкой со скоростью 6″ 1 кН/мин ступенями 0,5кН. После установки и проверки работы приборов пробной нагрузкой, равной $Q_{i,d}=1$ кН, балку разгружают, снимают отсчеты по приборам при нагрузке $Q_{o,d} = 0$ кН и записывают в журналы (табл. 4.3, 4.4). По индикаторам, установленным на балке, определяют ее прогибы при нагружении. Отсчеты снимают по индикаторам при каждой ступени нагружения, а также при расчетной нагрузке Q_d и заносят в таблицу 4.3.

Теоретическую величину прогиба определяют для каждого этапа нагружения по формуле

$$u_{oi,calc} = \frac{23 \cdot Q_d \cdot l_d^3}{648 \cdot 2 \cdot E_0 \cdot J_{sup}}, \quad (4.11)$$

где $E_0 = 8500$ МПа. В зависимости от условий эксплуатации модуль упругости следует определять с учетом коэффициента k_{mod} ; Q_i – ступени нагружения, кН; $J_{sup} = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – момент инерции поперечного сечения балки, мм⁴.

Таблица 4.3 – Определение прогибов балки

Нагрузка, кН	Отсчеты по индикаторам			$\frac{u_r, u_l}{2}$	$u_{o.i.exp}$ (по ф-ле 4.9)	$u_{o.i.calc}$ (по ф-ле 4.11)
	u_c	u_r	u_l			
0						
0,5						
1						
...						
$Q_d =$						

Таблица 4.4 – Определение напряжений в поперечном сечении балки

Показатели		Отсчеты			
		№ 1	№ 2	...	№ 9
Нагрузка, кН	$Q_{i,d} = 0$ $Q_d =$				
Относительная деформация $\phi \cdot 10^{-4}$, %					
Напряжения $\tau_{i.exp}$, МПа (по ф-ле 4.12)					
Напряжения $\tau_{i.calc}$, МПа (по ф-ле 4.13)					

В координатах $Q_i - u_o$ (рис. 4.3) строят графики теоретических и экспериментальных прогибов, полученных в таблице 4.3.

Относительные деформации на боковой грани балки определяют по тензорезисторам Т1-Т9 (см. рис. 4.2) с устройством измерительно-управляющим УИУ 2002. Отсчеты по тензорезисторам снимают только при нулевой и расчетной нагрузках (см. табл. 4.4).

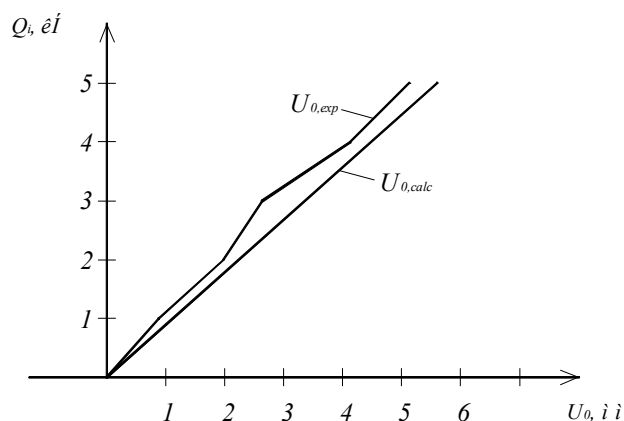


Рисунок 4.3 – График зависимости прогибов балки от нагрузки

Относительные деформации определяют приращение показателей тензорезисторов по отношению к нулевой ступени нагружения. Экспериментальные значения напряжений в элементе определяют, пользуясь законом Гука, по формуле

$$\tau_{i.exp} > E_{0.exp} \cdot \phi_i, \tag{4.12}$$

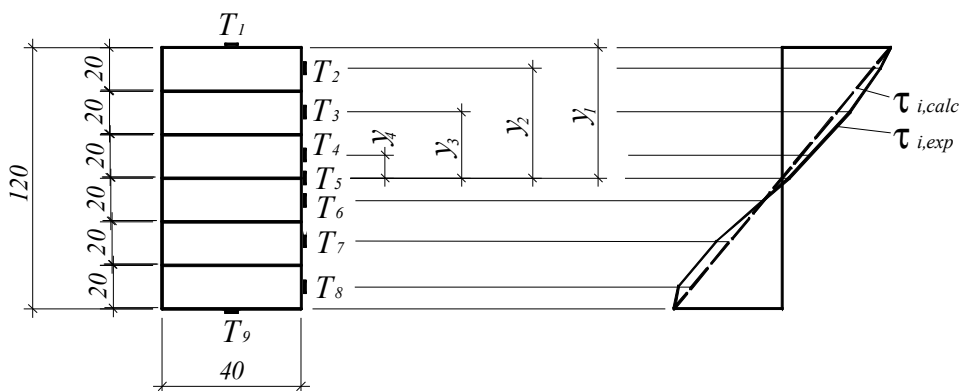
где $E_{0.exp}$ – модуль упругости, полученный из эксперимента по формуле (4.10).

Теоретические значения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения определяют по формуле

$$\tau_{i.calc} > \frac{M_{i.d} \cdot y_i}{I_{sup}}, \tag{4.13}$$

где $M_{i.d} = \frac{Q_d \cdot l_d}{6}$ – изгибающий момент при минимальной расчетной нагрузке, кНм; y_i – расстояние от нейтрального слоя балки до места установки тензорезистора.

По экспериментальным и теоретическим данным строят эпюры нормальных напряжений $\tau_{i.d}$ и $\tau_{i.calc}$ (рис. 4.4).



а – поперечное сечение с привязкой мест установки тензорезисторов;

б – эпюры теоретических и экспериментальных напряжений

Рисунок 4.4 – Эпюры нормальных напряжений по высоте сечения

Отчет должен содержать рисунки образца и схему испытаний, журналы испытаний со всеми вычислениями, эпюру нормальных напряжений и графики прогибов, а также анализ результатов испытаний.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1 – Класс условий эксплуатации конструкций

Класс условий эксплуатации	Характеристика условий эксплуатации конструкций	Максимальная влажность конструкций	
		из клееной древесины	из неклееной древесины
1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 °С, относительной влажности воздуха, %: до 60 включ.	9	20
2	св.60–75 %	12	20
3	75 – 95 %	15	20
2	Внутри неотапливаемых помещений при относительной влажности воздуха, %: до 75 включ.	12	20
3	св.75	15	25
4	На открытом воздухе	12	25
4	В частях зданий и сооружений, соприкасающихся с грунтом	-	25
5	Постоянно увлажняемых	-	Не ограничивается
5	Находящихся в воде	-	Не ограничивается
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. Применение клееных деревянных конструкций в условиях эксплуатации класса 1 при относительной влажности воздуха ниже 45 % не допускается.</p> <p>2. В неклееных конструкциях, эксплуатируемых в условиях класса 4, когда усушка древесины не вызывает расстройств или увеличения податливости соединений, допускается применять древесину с влажностью до 40 % при условии ее защиты от гниения.</p>			

Расчетные сопротивления и модуль упругости древесины

Расчетные сопротивления древесины сосны, ели, лиственницы европейской приведены в табл. П.2. Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливаются путем умножения величин, приведенных в таблице П.2, на переходные коэффициенты (k_x), указанные в таблице П.3.

Таблица П. 2 – Расчетные сопротивления древесины

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа, древесины сортов		
		1	2	3
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в перечислениях б), в)) высотой до 0,5 м	$f_{m.d}$, $f_{c.0.d}$, $f_{cm.0.d}$	14,0	13,0	8,5
б) элементы прямоугольного сечения шириной от 0,11 до 0,13 м при высоте сечения от 0,11 до 0,5 м	$f_{m.d}$, $f_{c.0.d}$, $f_{cm.0.d}$	15,0	14,0	10,0
в) элементы прямоугольного сечения шириной св. 0,13 м при высоте сечения от 0,13 до 0,5 м	$f_{m.d}$, $f_{c.0.d}$, $f_{cm.0.d}$	16,0	15,0	11,0
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$f_{m.d}$, $f_{c.0.d}$, $f_{c.d}$	-	16,0	10,0
2. Растяжение вдоль волокон: а) неклееные элементы	$f_{t.0.d}$	10,0	7,0	-
б) клееные элементы	$f_{t.0.d}$	12,0	9,0	-
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$f_{c.90.d}$, $f_{cm.90.d}$	1,8	1,8	1,8
4. Смятие поперек волокон местное: а) в опорных частях конструкции, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$f_{cm.90.d}$	3,0	3,0	3,0
б) под шайбами при углах смятия от 90^0 до 60^0	$f_{cm.90.d}$	4,0	4,0	4,0
5. Скалывание вдоль волокон: а) при изгибе неклееных элементов	$f_{v.0.d}$	1,8	1,6	1,6
б) при изгибе клееных элементов	$f_{v.0.d}$	1,6	1,5	1,5
в) в лобовых врубках для максимального напряжения	$f_{v.0.d}$	2,4	2,1	2,1
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$f_{v.0.d}$	2,1	2,1	2,1
6. Скалывание поперек волокон: а) в соединениях неклееных элементов	$f_{v.90.d}$	1,0	0,8	0,6
б) в соединениях клееных элементов	$f_{v.90.d}$	0,7	0,7	0,6
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	$f_{t.90.d}$	0,15	0,1	0,08
8. Срез под углом к волокнам 45^0	$f_{vs.45.d}$	7	5	4
То же 90^0	$f_{vs.90.d}$	12	9	8

Таблица П. 3 – Коэффициент, учитывающий изменение расчетных сопротивлений при изменении породы древесины

Породы древесины	Коэффициент (k_x) для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $f_{t,0,d}$, $f_{m,d}$, $f_{c,0,d}$, $f_{cm,0,d}$	сжатию и смятию поперёк волокон $f_{c,90,d}$, $f_{cm,90,d}$	скалыванию, растяжению $f_{v,0,d}$, $f_{t,90,d}$
Хвойные			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1,0
2. Кедр сибирский, кроме Красноярского края	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярского края, сосна веймутова	0,65	0,65	0,65
4. Пихта	0,8	0,8	0,8
Твёрдые лиственные			
5. Дуб	1,3	2,0	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2,0	1,6
7. Акация	1,5	2,2	1,8
8. Берёза, бук	1,1	1,6	1,3
9. Вяз, ильм	1,0	1,6	1,0
Мягкие лиственные			
10. Ольха, липа, тополь, осина	0,8	1,0	0,8

Для конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха до +35 °С, коэффициент $k_t = 1$, при температуре +50 °С – коэффициент $k_t = 0,8$. Для промежуточных значений температуры коэффициент (k_t) принимается по интерполяции.

Таблица П. 4 – Значения (k_{mod}) для древесины и фанеры

Вид нагрузки		Условия эксплуатации по табл. П.1 прил.1				
		1	2	3	4	5
Постоянная		0,80	0,80	0,75	0,70	0,65
Длительная		0,95	0,95	0,85	0,80	0,70
Кратковременная	снеговая с полным значением	1,05	1,05	0,95	0,90	0,80
	ветровая, монтажная	1,20	1,20	1,05	1,00	0,85
Особая		1,45	1,45	1,30	1,25	1,15
Примечание: Если сочетание состоит из воздействий, принадлежащих разным классам длительности, то следует принимать коэффициент (k_{mod}), соответствующий нагрузке с более короткой длительностью.						

Для изгибаемых, внецентренно-сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов в зависимости от толщины слоев значения расчетных сопротивлений изгибу ($f_{m,d}$), скалыванию ($f_{v,0,d}$) и сжатию ($f_{c,0,d}$) вдоль волокон умножаются на коэффициенты (k_e), указанные в таблице П.5.

Таблица П.5 – Коэффициент, учитывающий изменение расчетных сопротивлений в зависимости от толщины слоев в клееных элементах

Толщина слоя, мм	10 и менее	16	19	26	33	42
Значения коэффициента k_ϵ	1,30	1,20	1,10	1,05	1,0	0,95

Для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых элементов из круглых лесоматериалов с подрезкой в расчетном сечении используется коэффициент $k_0 = 0,8$.

Модуль упругости и сдвига древесины

Модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям второй группы следует принимать равным: вдоль волокон $E_0 = 8500$ МПа; поперек волокон $E_{90} = 400$ МПа. Модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, следует принимать равным $E_v = 500$ МПа.

При расчете деревянных элементов по предельным состояниям I группы (расчет на устойчивость и прочность по деформированной схеме) модуль упругости необходимо принимать равным $E_{0,ном} = 6500$ МПа, модуль сдвига $E_{v,ном} = 325$ МПа.

Модули упругости и сдвига древесины в зависимости от условий эксплуатации и классов нагружения необходимо умножать на значения коэффициента k_{mod} (табл. П.4), а для конструкций, подвергающихся воздействию повышенной температуры, – на значения коэффициента k_t .

Таблица П.6 – Расчетные сопротивления фанеры

Вид фанеры	Расчетные сопротивления, МПа				
	растяжению в плоскости листа $f_{pt,0,d}$	сжатию в плоскости Листа $f_{pc,0,d}$	изгибу из плоскости Листа $f_{pm,90,d}$	скалыванию в плоскости листа $f_{pv,0,d}$	срезу перпендикулярно плоскости листа $f_{pv,90,d}$
1	2	3	4	5	6
1. Фанера клееная ФСФ сортов не ниже III/IV:					
а) семислойная толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	14,0	12,0	16,0	0,8	6,0
поперек волокон наружных слоев	9,0	8,5	6,5	0,8	6,0
под углом 45° к волокнам	4,5	7,0	-	0,8	9,0
б) пятислойная толщиной 5-7 мм:					
вдоль волокон наружных слоев	14,0	13,0	18,0	0,8	5,0
поперек волокон наружных слоев	6,0	7,0	3,0	0,8	6,0
под углом 45° к волокнам	4,0	6,0	-	0,8	9,0
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ сортов не ниже III/IV семислойная толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	9,0	17,0	18,0	0,6	5,0
поперек волокон наружных слоев	7,5	13,0	11,0	0,5	5,0
под углом 45° к волокнам	3,0	5,0	-	0,7	7,5
3. Фанера бакелизированная марки ФБС толщиной 7 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	32,0	28,0	33,0	1,8	11,0
поперек волокон наружных слоев	24,0	23,0	25,0	1,8	12,0
под углом 45° к волокнам	16,5	21	-	1,8	16,0

В зависимости от условий эксплуатации значения расчетных сопротивлений строительной фанеры следует умножать на значения коэффициента k_{mod} (табл. П.4), а также на k_t и k_s .

Таблица П.7 – Модули упругости и сдвига фанеры

Виды фанеры	Модуль упругости (E_p), МПа	Модуль сдвига (E_{pv}), МПа	Коэффициент Пуассона (ν_n)
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ сортов не ниже III/IV семислойная и пятислойная: вдоль волокон наружных слоев	9000	750	0,085
поперек волокон наружных слоев	6000	750	0,065
под углом 45° к волокнам	2500	3000	0,600
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ сортов не ниже III/IV семислойная: вдоль волокон наружных слоев	7000	800	0,07
поперек волокон наружных слоев	5500	800	0,06
под углом 45° к волокнам	2000	2200	0,60
3. Фанера бакелизированная марки ФБС: вдоль волокон наружных слоев	12000	1000	0,085
поперек волокон наружных слоев	8500	1000	0,065
под углом 45° к волокнам	3500	4000	0,700

В зависимости от условий эксплуатации модули упругости и модули сдвига фанеры следует определять умножением приведенных в таблице П.7 величин (E_p) и (E_{pv}) на коэффициент k_{mod} (табл. П.4), а также на k_t .

Таблица П.8 – Расчетные сопротивления древесины смятию в нагельных соединениях $f_{h.1.d}$

Вид соединения	Расчетное сопротивление древесины смятию в нагельных соединениях $f_{h.1.d}$, МПа	
	для гвоздей, стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей	для дубовых цилиндрических нагелей
Симметричные соединения	8,0	2,0
Несимметричные соединения: а) при $t_1 / 0.35t_2$	8,0	5,0
б) при $t_1 \geq 0.35t_2$ в зависимости от отношения t_1 / t_2		
0,35	8,0	5,0
0,5	5,8	5,0
0,6	4,8	4,4
0,7	4,3	3,8
0,8	3,9	3,2
0,9	3,7	2,6
1,0	3,5	2,0

Таблица П.9 – Расчетные сопротивления древесины смятию для нагельных соединений $f_{h.2.d}$

Вид соединения	Для гвоздей стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей ($f_{h.2.d}$)	Для дубовых цилиндрических нагелей ($f_{h.2.d}$)
Симметричные соединения	5,0	3,0
Несимметричные соединения: при $t_1 / 0,5t_2$	2,5	1,4
при $t_1 = t_2$	3,5	2,0

Таблица П.10 – Расчетное сопротивление изгибу нагеля $f_{n.d}$, коэффициенты k_n , $\chi_{n.max}$

Вид нагелей	Расчетное сопротивление нагелей изгибу $f_{n.d}$, МПа	Значения коэффициентов	
		k_n	$\chi_{n.max}$
Гвозди из стальной проволоки	25,0	0,063	0,077
Стальные нагели (болты и штыри) диаметром 8–24 мм	18,0	0,105	0,624
Алюминиевые нагели диаметром 8–24 мм	16,0	0,112	0,612
Нагели из стеклопластика АГ-4С диаметром 8–24 мм	14,5	0,117	0,491
Дубовые нагели	4,5	0,211	0,667

Таблица П.11 – Коэффициент, учитывающий угол β между силой и направлением волокон k_β

Угол, град.	Значения коэффициента k_β					
	Для гвоздей стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм					Для дубовых нагелей
	до 8	12	16	20	24	
30	1,0	0,95	0,90	0,90	0,90	1,0
60	1,0	0,75	0,70	0,65	0,60	0,8
90	1,0	0,70	0,60	0,55	0,50	0,7

Примечание. Промежуточные значения определяются интерполяцией. Для гвоздевых соединений при действии усилия под любым углом к волокнам древесины $k_\beta = 1$.

Таблица П. 1 2 – Минимальные расстояния между гвоздями

Направление	Расстояние
Между осями гвоздей вдоль волокон S_1 для пробиваемых насквозь элементов: при толщине пробиваемого элемента не менее $10d$ при толщине пробиваемого элемента $4d$ для промежуточных значений – по интерполяции для непробиваемых насквозь элементов	$15d$
	$25d$
	$15d$
До торца элемента вдоль волокон	$15d$
Между осями гвоздей поперёк волокон S_2 : при прямой расстановке при расстановке в шахматном порядке или косыми рядами под углом 45°	$4d$
	$3d$
До кромки элемента поперек волокон S_3	$4d$

Таблица П. 1 3 – Минимальные расстояния между нагелями

Направление	Расстояния между нагелями		
	стальными	алюминиевыми и стеклопластиковыми	дубовыми
При общей толщине пакета меньше $10d$: вдоль волокон между осями нагелей и до торца элемента S_1 поперек волокон между осями нагелей S_2 поперек волокон до кромки элемента S_3	$6d$	$6d$	$4d$
	$3d$	$3d$	$2,5d$
	$2,5d$	$2,5d$	$2,5d$
При общей толщине пакета, равной или более $10d$: вдоль волокон между осями нагелей и до торца элемента S_1 поперек волокон между осями нагелей S_2 поперек волокон до кромки S_3			
	$7d$	$6d$	$5d$
	$3,5d$	$3,5d$	$3d$
	$3d$	$3d$	$2,5d$

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА*

1. **ТКП 45-5.05-146-2009.** Деревянные конструкции. – Взамен СНБ 5.05.01-2000; введ. 17.07.2009. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2009. – 71 с.
2. Рекомендации по контролю качества клеевых соединений деревянных клеенных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1981. – 63 с.
3. **ГОСТ 16483.0-73.** Древесина. Метод отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 28 с.
4. **ГОСТ 16483.3-84.** Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 12 с.
5. **ГОСТ 16483.7-71.** Древесина. Методы определения влажности. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 30 с.
6. **ГОСТ 16483.9-73.** Древесина. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 18 с.
7. **ГОСТ 16483.10-73.** Древесина. Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. – Минск: Госстандарт Беларуси, 1997. – 28 с.
8. **СТБ 1591-2005.** Конструкции деревянные и металлодеревянные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности и жесткости. – Введ. 14.12.2005. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2006. – 12 с.

* Литература из данного списка была использована при подготовке издания.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
ИСПЫТАНИЕ ЛОБОВОЙ ВРУБКИ.....	4
1. Теоретические сведения.....	4
2. Методика проведения испытаний.....	5
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ НА НАГЕЛЯХ.....	9
1. Теоретические сведения.....	9
2. Методика проведения испытаний.....	10
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
ИСПЫТАНИЕ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ФРАГМЕНТА КЛЕЕФАНЕРНОЙ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ	15
1. Теоретические сведения.....	15
2. Методика проведения испытаний.....	17
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
ИСПЫТАНИЕ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ КЛЕЕНОЙ БАЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ	21
1. Теоретические сведения.....	21
2. Методика проведения испытаний.....	24
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	28
Приложение 1.....	28
Приложение 2.....	29
Приложение 3.....	32
Приложение 4.....	34
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	37

Для заметок

Учебное издание

ВОЛИК Алла Ричардовна
ГАВРИЛЬЧИК Максим Николаевич

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические рекомендации

~~Евдоким~~ **М. В. Вахмянина**
Компьютерная вёрстка: *М. И. Верстак*
Дизайн обложки: *О. В. Канчуга*

Подписано в печать 14.03.2014. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Ризография. Гарнитура ArieL.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 110 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования «Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы».
ЛИ № 02330/0549484 от 14.05.2009.
ЛП № 02330/0494172 от 03.04.2009.
Пер. Телеграфный, 15а, 230023, Гродно.

ISBN 978-985-515-737-4

