

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

И

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Конструкции из дерева и пластмасс»
для студентов специальности 70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной формы обучения



Брест 2022

УДК 624.011.1(07)
М54

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных занятий по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов специальности 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» высшего образования I ступени дневной формы обучения. Тематика лабораторных работ соответствует учебной программе дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс».

Составители: И.Ф. Захаркевич, к.т.н., доцент
В.В. Жук, к.т.н., доцент

Рецензент: директор филиала РУП «Институт БелНИИС»
научно-технический центр В.Н. Деркач, д.т.н.

Общие указания

Выполнение лабораторных работ позволяет ознакомиться с основными механическими характеристиками древесины при наиболее распространенных видах напряженного состояния, способствует более глубокому пониманию действительной работы соединений и конструкций из древесины, облегчает оценку прочности и деформативности конструкций, а также прививает студентам навыки в проведении экспериментальных исследований.

Перед началом каждой лабораторной работы студент должен ознакомиться с методикой ее выполнения.

До начала испытаний на основании замеров устанавливаются фактические размеры образцов. Показания приборов заносятся в соответствующие графы таблиц журнала испытаний.

Определение теоретической несущей способности соединений и конструкций, их деформативность и т.д., проводится до начала испытаний.

В процессе испытания проводятся наблюдения за различными изменениями в образцах (появление треска, трещин, перекоса и т.п.), фиксируемые в журнале испытаний с отметкой времени.

Составляется заключение о результатах испытаний, в котором дается сравнение величин, полученных опытным путем, с нормативными значениями, со значениями, полученными теоретически. Анализируются причины отклонений между этими величинами.

Все вычисления производятся после подстановки в формулы исходных данных.

При защите лабораторных работ студент должен ответить на вопросы, связанные с понятием определяемых величин, методикой проведения испытаний и т.д.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

I. Цель работы:

1. *Определить модуль упругости древесины.*
2. *Определить прочность древесины.*
3. *Ознакомиться с методикой определения механических характеристик древесины и с приборами, используемыми при испытаниях.*

II. Методика проведения испытания

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму брусков размерами 20x20x300 мм, так, чтобы годовые кольца на торцах были параллельными паре граней. Перед испытанием на середине длины образца измеряют штангенциркулем по ГОСТ 166-80 с точностью до 0,1 мм его ширину и высоту.

При испытаниях образец помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплена траверса с двумя валиками с таким же радиусом, как и опоры. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба устанавливают индикатор часового типа (рисунок 1.1).

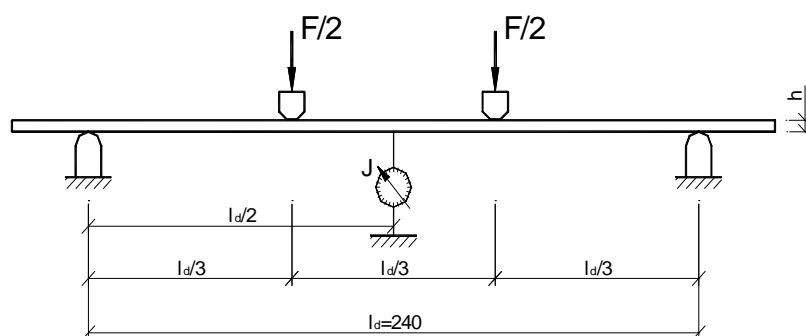


Рисунок 1.1 – Схема испытания образца

Нагрузку на образец прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образца до максимального значения нагрузки составляла не менее 2 и не более 5 минут.

Когда нагрузка достигнет 800 Н, плавно разгружают образец до 200 Н, после чего образец вновь нагружают до 800 Н и разгружают до 200 Н. При последующих трех нагружениях, в момент достижения нагрузки 300 и 800 Н измеряют прогиб с точностью до 0,01 мм. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 1.1. По результатам полученных данных определяют модуль упругости.

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200 Н для определения прочности при изгибе и построения графика зависимости деформаций от напряжений $f_m^{w,T} - \Delta u$. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки.

После испытания с помощью электровлагомера определяют влажность образца и фиксируют температуру воздуха в лаборатории.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 1.2.

Таблица 1.1 – Показания индикатора

| № п/п | Ступени нагружения F, Н | Отсчеты по индикатору, мм | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| | | и | Δи |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Циклическое нагружение | | | |
| 1 | F ₁ = 300 | | |
| | F ₂ = 800 | | |
| 2 | F ₁ = 300 | | |
| | F ₂ = 800 | | |
| 3 | F ₁ = 300 | | |
| | F ₂ = 800 | | |
| | | | Δи _{ср} = |
| Ступенчатое нагружение | | | |
| 0 | 0 | | |
| 1 | 200 | | |
| 2 | 400 | | |
| 3 | 600 | | |
| 4 | 800 | | |
| 5 | 1000 | | |
| 6 | 1200 | | |
| 7 | 1400 | | |
| 8 | 1600 | | |
| 9 | 1800 | | |
| 10 | 2000 | | |
| 11 | 2200 | | |
| 12 | 2400 | | |
| 13 | 2600 | | |
| 14 | 2800 | | |
| 15 | 3000 | | |

Таблица 1.2 – Результаты испытаний

| Показатели | Расчеты |
|--|---|
| 1 | 2 |
| Порода древесины | |
| Размеры, мм | b= h= |
| Температура воздуха, °С | T= |
| Влажность древесины, % | W= |
| Модуль упругости, МПа | $E_{m.g} = \frac{23 \cdot \Delta F \cdot l_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{cp}} =$ |
| Разрушающая нагрузка, кН | F _{max} = |
| Прочность древесины, МПа | $f_m^{W,T} = \frac{F_{max} \cdot l_d}{b \cdot h^2} =$ |
| Прочность древесины при температуре 20 °С, МПа | $f_m^W = f_m^{W,T} + \beta(T - 20^0) =$ |
| Прочность при влажности древесины 12%, МПа | $f_{m.12} = f_m^W [1 + \alpha(W - 12)] =$ |
| Характеристическое значение прочности, МПа | $f_{m.k} = f_{m.12} (1 - 1.65 \cdot C_v) =$ |
| Класс прочности древесины по СП 5.05.01-2021 | |

где ΔF – приращение нагрузки при циклическом нагружении, кН;
 l_d – расстояние между центрами опор, см;
 b - ширина образца, см;

h – высота образца, см;

$\Delta u_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое значение приращения прогиба в зоне чистого изгиба, см;

C_v – коэффициент изменчивости, равный 0,175;

α – поправочный коэффициент, равный 0,04;

β – поправочное число на температуру, равное 4,5 МПа.

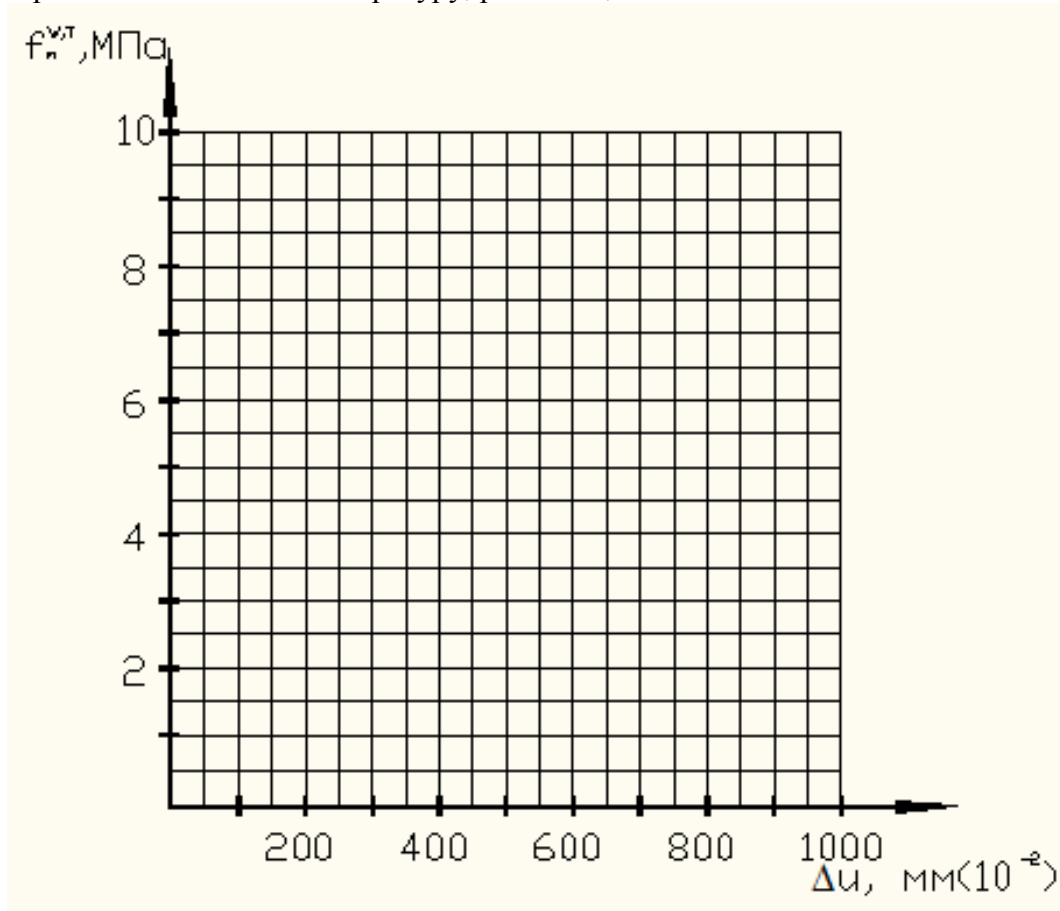


Рисунок 1.2 – Зависимость деформаций от напряжений $f_m^{w,T} - \Delta u$ при статическом изгибе

Рисунок 1.3 – Характер разрушения образца

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое модуль упругости?
2. Что такое характеристическое значение прочности древесины и как оно определяется?
3. Что характеризует коэффициент изменчивости и от чего он зависит?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИСПЫТАНИЕ ДРЕВЕСНОПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К группе древесноплитных материалов относятся крупноформатные искусственные композитные материалы многофункционального назначения, состоящие из древесины или других растительных материалов в виде шпона, стружки или волокна. Отдельные древесные частицы соединены между собой механическими, физическими или химическим связями с использованием специально введенных или полученных непосредственно при изготовлении связующих.

В зависимости от исходного сырья, способа его подготовки и переработки, а также от характера связей, возникающих в процессе изготовления, древесноплитные материалы можно разделить на следующие основные виды: фанеру, древесно-волокнистые плиты (ДВП), древесно-стружечные плиты (ДСП) и комбинированные древесноплитные материалы.

Строительная фанера представляет собой слоеный листовый материал, состоящий, как правило, из нечетного числа слоев, называемых шпонами. Смежные шпоны имеют взаимно перпендикулярное расположение волокон и склеиваются между собой горячим или холодным прессованием.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) получают путем горячего прессования специальной стружки, пропитанной синтетическими смолами.

I. Цель работы – определение модуля упругости и прочности строительной фанеры и древесно-стружечной плиты при статическом изгибе.

II. Методика проведения испытания

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму пластины с размерами $150 \times 50 \times h$ мм и $300 \times 50 \times h$ мм соответственно для фанеры и ДСП. Перед испытанием измеряют длину и ширину образцов в двух местах параллельно его кромкам с помощью металлической линейки по ГОСТ 427-79. Толщину образцов измеряют штангенциркулем по ГОСТ 166-80 в четырех разных местах образца. Отклонение по толщине образцов должно быть равно допустимому отклонению по толщине материала, установленному стандартом.

При испытании образцы помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплен траверса с одним роликом такого же радиуса, как и опоры. Для измерения прогиба по середине пролета устанавливают индикатор часового типа (рисунок 2.1).

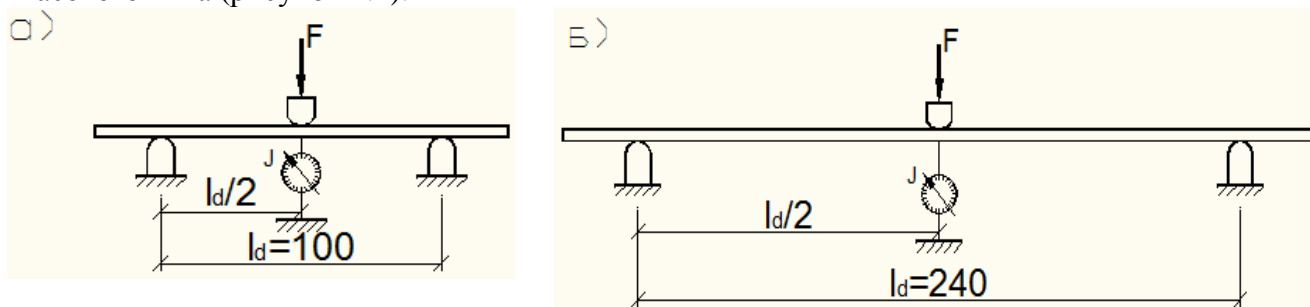


Рисунок 2.1 – Схема испытания образцов фанеры (а) и ДСП (б)

Нагрузку на образцы прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образцов до максимального значения нагрузки составляла не менее 30 и не более 90 секунд.

Для определения модуля упругости образцы подвергают трехкратной равномерной нагрузке в пределах 2-25 % от величины разрушающей нагрузки. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 2.1. По результатам полученных данных определяют модуль упругости материалов.

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200Н и 50Н соответственно для фанеры и ДСП, для определения прочности и построения диаграмм в осях f_t - ΔU . В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки и заносят в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 – Показания индикатора

| № п/п | Фанера | | | ДСП | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| | Ступени нагружения F, Н | Отсчеты по индикатору, мм | | Ступени нагружения F, Н | Отсчеты по индикатору, мм | |
| | | U | ΔU | | U | ΔU |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Циклическое нагружение | | | | | | |
| 1 | F ₁ = 300 | | | F ₁ = 50 | | |
| | F ₂ = 800 | | | F ₂ = 200 | | |
| 2 | F ₁ = 300 | | | F ₁ = 50 | | |
| | F ₂ = 800 | | | F ₂ = 200 | | |
| 3 | F ₁ = 300 | | | F ₁ = 50 | | |
| | F ₂ = 800 | | | F ₂ = 200 | | |
| | | | ΔU _{ср} = | | | ΔU _{ср} = |
| Ступенчатое нагружение | | | | | | |
| 0 | 0 | | | 0 | | |
| 1 | 200 | | | 50 | | |
| 2 | 400 | | | 100 | | |
| 3 | 600 | | | 150 | | |
| 4 | 800 | | | 200 | | |
| 5 | 1000 | | | 250 | | |
| 6 | 1200 | | | 300 | | |
| 7 | 1400 | | | 350 | | |
| 8 | 1600 | | | 400 | | |
| 9 | 1800 | | | 450 | | |
| 10 | 2000 | | | 500 | | |

Таблица 2.2 – Результаты испытаний

| Показатели | Фанера | ДСП |
|--|--|--|
| Порода древесины | | - |
| Отношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон | | - |
| Размеры, мм | b= h= l _d = | b= h= l _d = |
| Модуль упругости, МПа | $E_0 = \frac{\Delta F \cdot l_d^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{cp}} =$ | $E_0 = \frac{\Delta F \cdot l_d^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{cp}} =$ |
| Разрушающая нагрузка, кН | F _{max} = | F _{max} = |
| Прочность, МПа | $f_i = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_d}{2 \cdot b \cdot h^2} =$ | $f_i = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_d}{2 \cdot b \cdot h^2} =$ |
| Характеристическое значение прочности, МПа | $f_{i.k} = f_i (1 - 1.65 C_v) =$ | $f_{i.k} = f_i (1 - 1.65 C_v) =$ |
| Тип фанеры | | |
| Тип плиты ДСП | | |

где ΔF – приращение нагрузки при циклическом нагружении, кН;

l_d – расстояние между центрами опор, см;

C_v – коэффициент изменчивости, равный 0,15 – для фанеры и 0,16 – для ДСП.

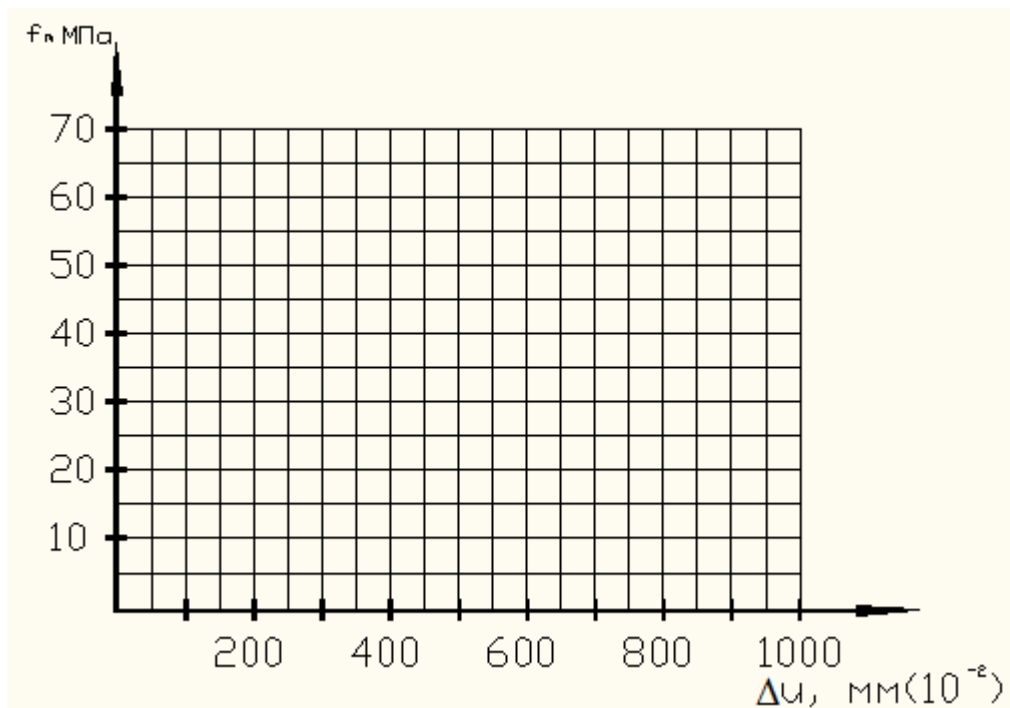


Рисунок 2.2 – Зависимость деформаций от напряжений при статическом изгибе фанеры (а) и ДСП (б)

Рисунок 2.3 – Характер разрушения образцов фанеры (а) и ДСП (б)

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Как влияет соотношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон, на величину характеристик прочности и жесткости фанеры?
2. Какое строение фанеры следует считать рациональным?
3. Какими преимуществами обладает фанера по сравнению с цельной древесиной?
4. Почему прочностные и упругие характеристики фанеры выше, чем у ДСП?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ

I. Общие сведения

Соединения элементов представляют собой важнейшую часть несущих деревянных конструкций, от прочности которых непосредственно зависит надежная служба конструкций. Одним из видов соединения элементов деревянных конструкций являются соединения на механических связях, к которым относятся болты, шпильки, гвозди, шурупы, глухари, шайбы шпуночного типа, нагельные и металлические зубчатые пластины.

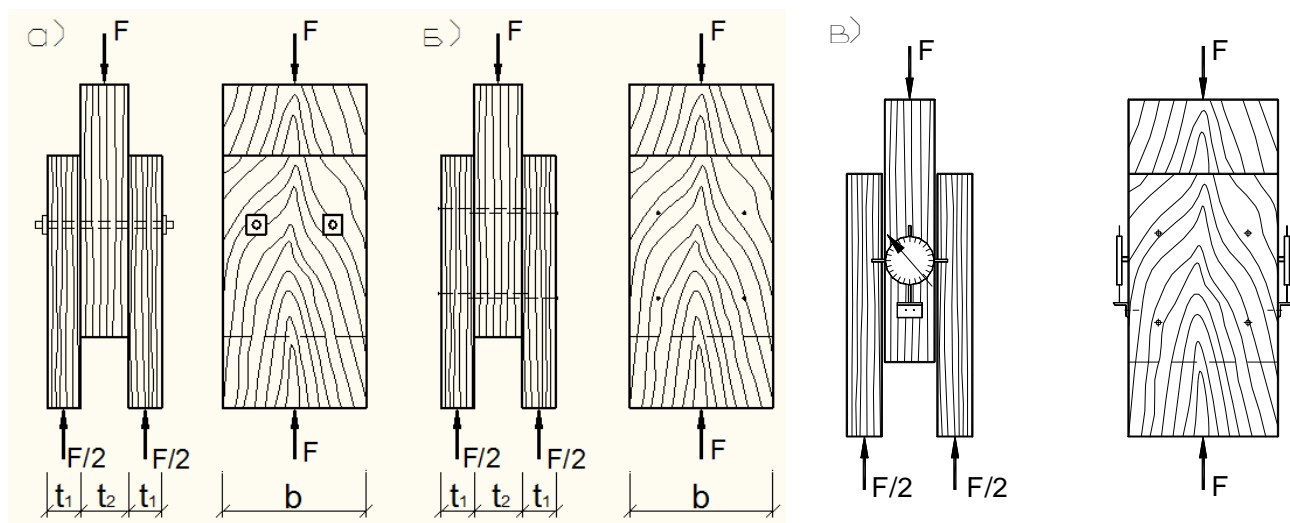
Испытание образцов соединений деревянных конструкций необходимо для выяснения основных характеристик его работы под нагрузкой.

II. Цель работы:

1. *Определить максимальную несущую способность соединения и характер деформации разрушения.*
2. *Определить величину деформаций соединения.*
3. *Построить график зависимости деформаций сдвига от нагрузки.*

III. Методика проведения испытаний

Для испытаний изготавливают образцы соединений на стальных стержнях (шпильках) и обычных гвоздях из стальной проволоки. Форма и размеры образцов приведены на рисунке 3.1 «а», «б». Испытание образцов проводится на разрывной машине Р-10.



а) соединение на шпильках; б) соединение на гвоздях; в) схема установки индикаторов

Рисунок 3.1 – Схема испытания и эскизы образцов

Испытание ведется непрерывно с постоянной скоростью, равной примерно 300 Н/сек. Отсчеты по индикатору фиксируют в тот момент, когда нагрузка достигает соответствующей ступени, и заносятся в таблицу 3.1. Установка индикаторов часового типа показана на рисунке 3.1 «в». Величину разрушающей нагрузки устанавливают по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций нагрузка не увеличивается.

Результаты испытаний элементов деревянных конструкций на шпильках и гвоздях сводятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.1– Показания индикаторов при испытаниях соединений

| № п/п | На шпильках | | | На гвоздях | | |
|-------|--------------------------|-----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|--------|
| | Ступени нагружения F, кН | Отсчеты по индикатору | | Ступени нагружения F, кН | Отсчеты по индикатору | |
| | | U, мм | ΔU, мм | | U, мм | ΔU, мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0 | 0 | | | 0 | | |
| 1 | 2 | | | 1 | | |
| 2 | 4 | | | 2 | | |
| 3 | 6 | | | 3 | | |
| 4 | 8 | | | 4 | | |
| 5 | 10 | | | 5 | | |
| 6 | 12 | | | 6 | | |
| 7 | 14 | | | 7 | | |
| 8 | 16 | | | 8 | | |
| 9 | 18 | | | 9 | | |
| 10 | 20 | | | 10 | | |

Таблица 3.2 – Результаты испытаний соединений

| Показатели | на шпильках | на гвоздях |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Порода древесины | | |
| Класс прочности древесины | | |
| Толщина соединяемых элементов, мм: | $t_1 =$ | $t_1 =$ |
| - крайних | | $t_2 =$ |
| - среднего | $t_2 =$ | |
| Диаметр нагеля, мм | | |
| Характеристическое значение плотности древесины пиломатериала для класса прочности С27, таблица 6.2[1] | $\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$ | $\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$ |
| Характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании плашмя: – шпильки, таблица 9.6[1] – гвоздя для соединений из древесины без предварительного сверления отверстий, таблица 9.5[1] | $f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082(1-0.01d) \cdot \rho_k =$ | $f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} =$ |
| Прочность материала нагеля на растяжение | $f_{u.k} = 360 \text{ Н/мм}^2$ | $f_u = 600 \text{ Н/мм}^2$ |
| Характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении: – шпильки, формула 9.35 таблицы 9.4 [1] – гвоздя, формула 9.32 таблицы 9.4 [1] | $M_{y,Rk} = 0,3 f_{u.k} \cdot d^{2.6} =$ | $M_{y,Rk} = 0,3 f_k \cdot d^{2.6} =$ |

| 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|
| Характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н: | $F_{V.Rk} = f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d}$ $=$ | $F_{V.Rk} = f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d}$ $=$ |
| Минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н | $F_{V.Rk.min} =$ | $F_{V.Rk.min} =$ |
| Минимальное расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля, Н | $F_{V.Rd.min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V.Rk.min}}{\gamma_M} =$ | $F_{V.Rd.min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V.Rk.min}}{\gamma_M} =$ |
| Расчетное значение несущей способности соединения, Н | $F_{V.Rd} = F_{V.Rd.min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$ | $F_{V.Rd} = F_{V.Rd.min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$ |
| Разрушающая нагрузка, Н | | |
| Нагрузка при деформации сдвига $\delta = 2$ мм, Н | $F =$ | $F =$ |

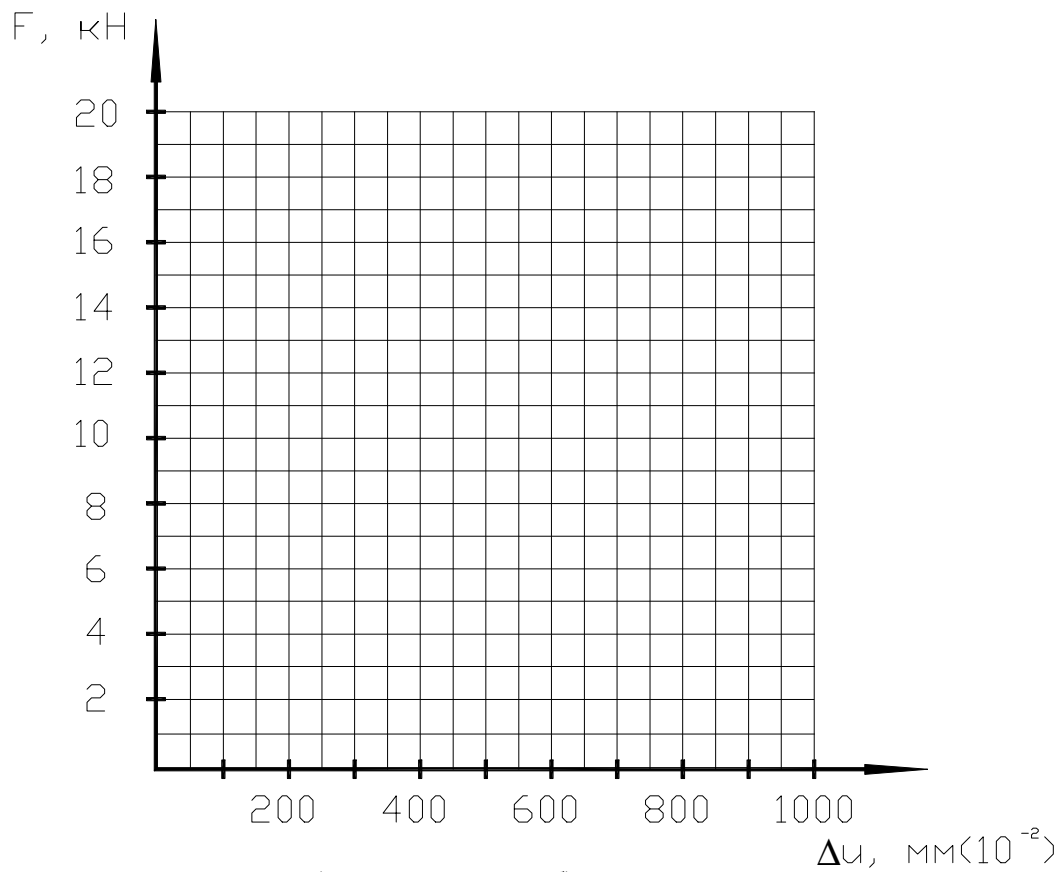
где: $\beta = \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} =$;

$k_{mod} = 0.6$ – коэффициент модификации, таблица 5.4 [1];

$\gamma_M = 1,3$ – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [1];

n_{ef} – число нагелей;

n_s – число плоскостей сдвига.



а) - на шпильках; б) – на гвоздях
 Рисунок 3.2 – **Зависимость деформаций от нагрузки**

а) – на шпильках; б) – на гвоздях
 Рисунок 3.3 – **Характер разрушения образцов**

Выводы:

Вопросы для самопроверки

1. Как определяется расчетная несущая способность нагеля на один шов сплачивания в соединениях деревянных элементов?
2. Как располагаются нагели в соединениях деревянных элементов на гвоздях и шпильках?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИСПЫТАНИЕ СОСТАВНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ПОДАТЛИВЫХ СВЯЗЯХ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

I. Общие сведения

Из-за ограниченности сортамента пиломатериалов в деревянных конструкциях применяют составные сечения из досок или брусьев, соединенных между собой различными связями: гвоздями, болтами, шпонками и т.п. Такие связи воспринимают сдвигающие усилия и препятствуют взаимному сдвигу отдельных ветвей составного сечения, обеспечивая их совместную работу.

Так как все виды механических соединений обладают податливостью, то в составных элементах под нагрузкой также происходит частичное смещение отдельных ветвей вдоль рабочих швов. Вследствие этого составные элементы имеют меньшую несущую способность, чем такие же по площади элементы цельного сечения. Особенность расчета составных элементов на податливых связях заключается в учете их податливости. Расчет производится по формулам для элементов цельного сечения с учетом поправочных коэффициентов к геометрическим характеристикам сечения. Для изгибаемого составного элемента на податливых связях геометрические характеристики будут равны:

$$W_{ef} = k_w \cdot W_d;$$

$$I_{ef} = k_i \cdot I_{br},$$

где W_d , I_{br} – расчетный момент сопротивления и момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси соответственно, определяемые как для цельного сечения;

k_w – коэффициент, учитывающий изменение момента сопротивления для составных балок на податливых соединениях;

k_i – коэффициент, учитывающий изменение момента инерции для составных балок на податливых соединениях.

Число связей на половине пролета определяется по формуле:

$$n_n = \frac{T_{v,d}^{1/2}}{F_{v,Rd,min}},$$

где $T_{v,d}^{1/2}$ – полное сдвигающее усилие на участке от опоры до сечения с наибольшим моментом

$$T_v^{1/2} d = \frac{S_{br}}{I_{br}} \int_0^{l/2} V \cdot dx = M_{max} \frac{S_{br}}{I_{br}};$$

$F_{v,Rd,min}$ – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;

M_{max} – максимальный изгибающий момент;

S_{br} – статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

I_{br} – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси.

II. Цель работы:

1. *Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения цельного и составного элементов.*

2. *Построить графики прогибов цельного и составного элементов и сделать их сопоставительный анализ. Построить график деформаций сдвига для составного элемента и определить требуемое количество связей.*

3. *Для составного элемента определить экспериментальные значения коэффициентов k_w , k_i .*

III. Методика проведения испытаний

В работе проводится испытание на статический изгиб одновременно двух элементов – Б1 и Б2. Элемент Б1 имеет цельное сечение, а элемент Б2 представляет собой составное сечение из двух брусков, соединенных по высоте с помощью гвоздей (рисунок 4.1).

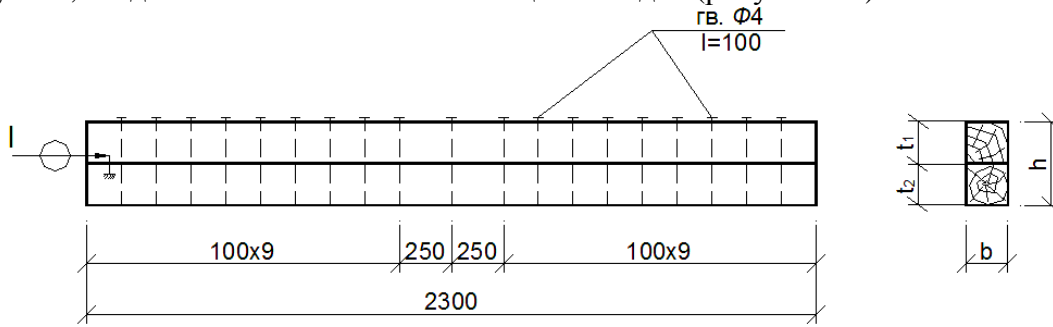


Рисунок 4.1 – Схема расстановки связей в элементе Б2

Оба элемента имеют одинаковые размеры и испытываются одинаковой нагрузкой. Нагружение осуществляется двумя сосредоточенными силами в третях пролета при помощи испытательных грузов (рисунок 4.2). Прогибы элементов посередине пролета определяются при помощи прогибомеров П1 и П2.

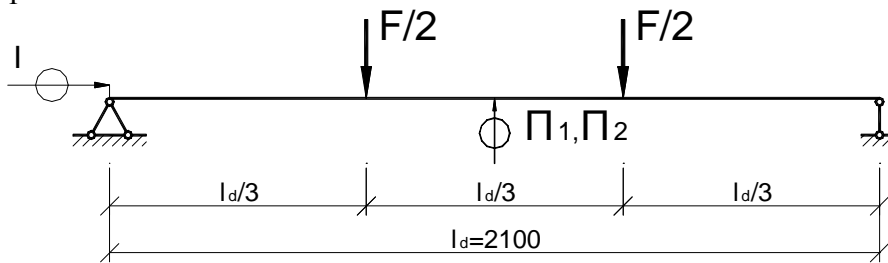
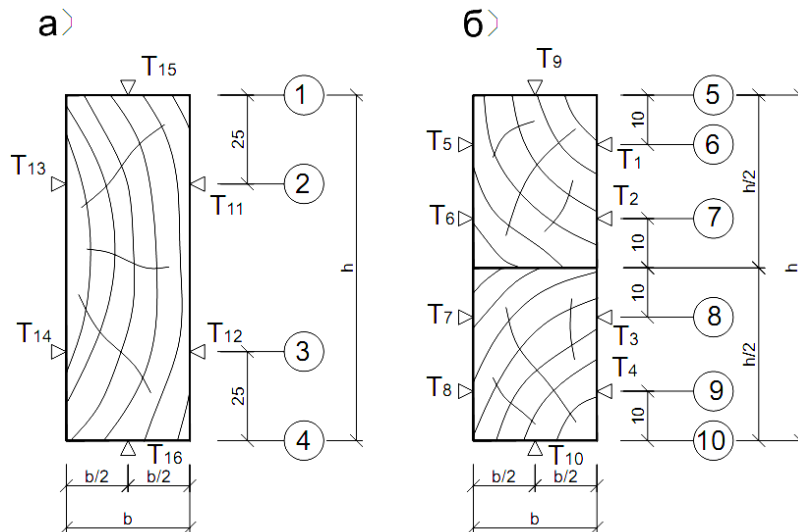


Рисунок 4.2 – Схема испытания элементов Б1 и Б2

Для определения относительных деформаций по сечениям элементов в средней части наклеены тензорезисторы (рисунок 4.3). Отчеты по тензорезисторам осуществляются в автоматическом режиме при помощи специального тензометрического комплекса ТИССА. На опорном участке элемента Б2 установлен индикатор I для измерения деформаций сдвига брусков в месте их соединения. Нагружение каждого элемента осуществляется ступенями $\Delta F = 0,2$ кН и доводится до максимальной нагрузки $F = 1$ кН, что соответствует упругой области работы обоих элементов. Приращение показателей тензорезисторов заносятся в таблицу 4.1. Отсчеты по прогибомерам и индикатору снимаются на каждой ступени нагружения и заносятся в таблицу 4.2.



а) элемент цельного сечения Б1; б) составной элемент Б2

Рисунок 4.3 – Схема расстановки тензорезисторов

Таблица 4.1 – Результаты экспериментальных исследований

| №№ тензорезисторов | T, x 10 ⁻⁵ | Сечения элементов | Относительные деформации ε, x10 ⁻⁵ | Нормальные напряжения σ _i =ε·E ₀ , МПа |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| T ₁ | | 1 | | |
| T ₂ | | 2 | | |
| T ₃ | | 3 | | |
| T ₄ | | 4 | | |
| T ₅ | | 5 | | |
| T ₆ | | 6 | | |
| T ₇ | | 7 | | |
| T ₈ | | 8 | | |
| T ₉ | | 9 | | |
| T ₁₀ | | 10 | | |
| T ₁₁ | | | | |
| T ₁₂ | | | | |
| T ₁₃ | | | | |
| T ₁₄ | | | | |
| T ₁₅ | | | | |
| T ₁₆ | | | | |

Таблица 4.2 – Показания приборов при нагружении элементов

| Ступени нагруж. F, кН | Элемент Б1 | | | Элемент Б2 | | | |
|-----------------------------|---------------|--------|-----------------|---------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | Прогибомер П1 | | Прогиб U, мм | Прогибомер П2 | | Индикатор I, мм | Деформации сдвига V, мм |
| | U, мм | ΔU, мм | | U, мм | Прогиб U _{ef} , мм | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | | | | | | | |
| 0,2 | | | | | | | |
| 0,4 | | | | | | | |
| 0,6 | | | | | | | |
| 0,8 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |

IV. Обработка результатов испытания

В каждом сечении элементов (сечения на рисунке 4.3 обозначены цифрами в кружочках) определяются относительные деформации как среднее арифметическое ΔT тех тензорезисторов, которые находятся в данном сечении. Нормальные напряжения в указанных сечениях вычисляются после определения модуля упругости древесины по формуле таблицы 4.3 с использованием данных таблицы 4.2 (графа 3).

В таблице 4.2 значения ΔU (графа 3) определяются как разница между смежными показаниями, соответствующими ΔF = 0,2 кН. Значения прогибов и деформаций сдвига (графы 4,6,8) определяются как приращения по отношению к нулевой степени нагружения.

По значениям нормальных напряжений (экспериментальные – таблица 4.1, теоретические – таблица 4.3) строятся эпюры для элементов Б1 и Б2, а по значениям деформаций (таблица 1.2) графики прогибов и сдвига при увеличении нагрузки F = 0 – 1 кН.

В таблице 4.3:

$W_d = b \cdot h^2 / 6 =$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения цельного элемента;

$W_{d.c.} = b \cdot h^2 / 12 =$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения составного элемента при отсутствии связей.

Таблица 4.3 – Результаты испытаний

| Показатели | Расчеты |
|--|---|
| 1 | 2 |
| Класс прочности древесины | C27 |
| Расчетный пролет | $I_d =$ |
| Размеры, мм | |
| - элемента, Б1 | $b = \quad h =$ |
| - элемента, Б2 | $b = \quad h = t_1 + t_2 =$ |
| Модуль упругости древесины, МПа | $E_0 = \frac{23 \cdot \Delta F \cdot I_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta U_{ep}} =$ |
| Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в цельном элементе Б1, МПа | $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_d} =$ |
| Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в составном элементе Б2 (при отсутствии связей), МПа | $\sigma_{0,max} = \frac{M_{max}}{W_{d.c.}} =$ |
| Поправочные коэффициенты для составного элемента Б2: - к моменту сопротивления - к моменту инерции | $k_w = \frac{\sigma_{ef}}{\sigma} =$ $k_i = \frac{U}{U_{ef}} =$ |
| Требуемое количество связей на половине пролета составного элемента Б2 | $n_n = \frac{M_{max} \cdot S_{br}}{I_{br} \cdot F_{V,Rd,min}} =$ |
| Фактическое количество связей на половине пролета | $n_n =$ |

Используя эпюры экспериментальных значений (рисунки 4.4 и 4.5) определяют средние значения нормальных напряжений:

– для сечения цельного элемента Б1:

$$\sigma = \frac{|\sigma_c| + |\sigma_t|}{2} = \quad , \text{ где } \sigma_c \text{ и } \sigma_t \text{ – значение нормальных напряжений}$$

в сечении 1 и 4 соответственно (см. рисунок 4.3а);

– для сечения составного элемента Б2:

$$\sigma_{ef} = \frac{|\sigma_1| + |\sigma_2| + |\sigma_3| + |\sigma_4|}{4} = \quad , \text{ где } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \text{ и } \sigma_4 \text{ – значение}$$

нормальных напряжений в сечении 5, 10 и по плоскости соединения элементов балки (см. рисунок 4.3б и 4.5).

Определяют характеристические значения несущей способности гвоздя в соединении $F_{V,Rk}$ по ниже приведенным формулам:

$$1) F_{V,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d =$$

$$2) F_{V,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d =$$

$$3) F_{V,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$4) F_{V,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) \cdot \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$5) F_{V,Rk} = \frac{1,05 \cdot f_{h1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$6) F_{V,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

где $f_{h1,k} = f_{h2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} =$

характеристическое значение сопротивления древесины вдавливанию гвоздя плашмя для элемента t_1 , таблица 9.5[1];

$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$ – характеристическое значение плотности древесины пиломатериала для класса прочности C27, таблица 6.2[1];

t_1 – толщина элемента в который забивается гвоздь;

t_2 – величина забитой части гвоздя с острием;

d – диаметр гвоздя;

$$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} =$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,Rk} \cdot t_{pen} \cdot d =$$

характеристическое значение несущей способности гвоздя при его выдергивании из элемента соединения, формула (9.72)[1];

$$f_{ax,Rk} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 =$$

характеристическое значение сопротивления гвоздя выдергиванию из древесины;

$t_{pen} = t_2$ – расчетная длина защемленной части гвоздя со стороны острия;

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u \cdot d^{2,6} =$$

характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя, формула 9.32 таблицы 9.4[1];

$f_u = 600 \text{ Н/мм}^2$ – прочность материала гвоздя на растяжение.

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя равно:

$$F_{V,Rk \min} =$$

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя определяется по формуле:

$$F_{V,Rd,\min} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{V,Rk,\min}}{\gamma_M} =$$

где $k_{\text{mod}} = 0,6$ – коэффициент модификации, таблица 5.4 [1];

$\gamma_M = 1,3$ – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [1].

Вычисленное значение $F_{V,Rd,\min}$ подставляется в формулу таблицы 4.3 для определения требуемого количества гвоздей в соединении.

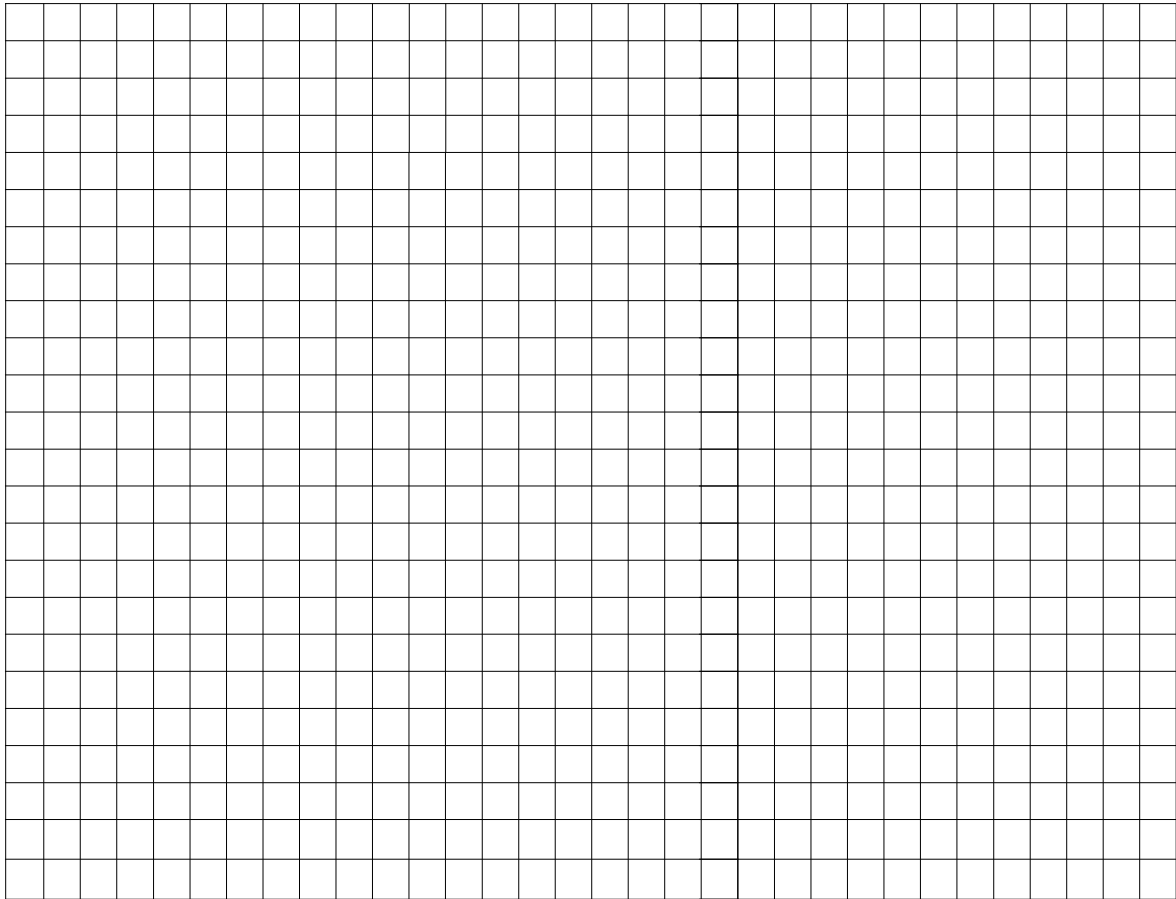


Рисунок 4.4 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б1

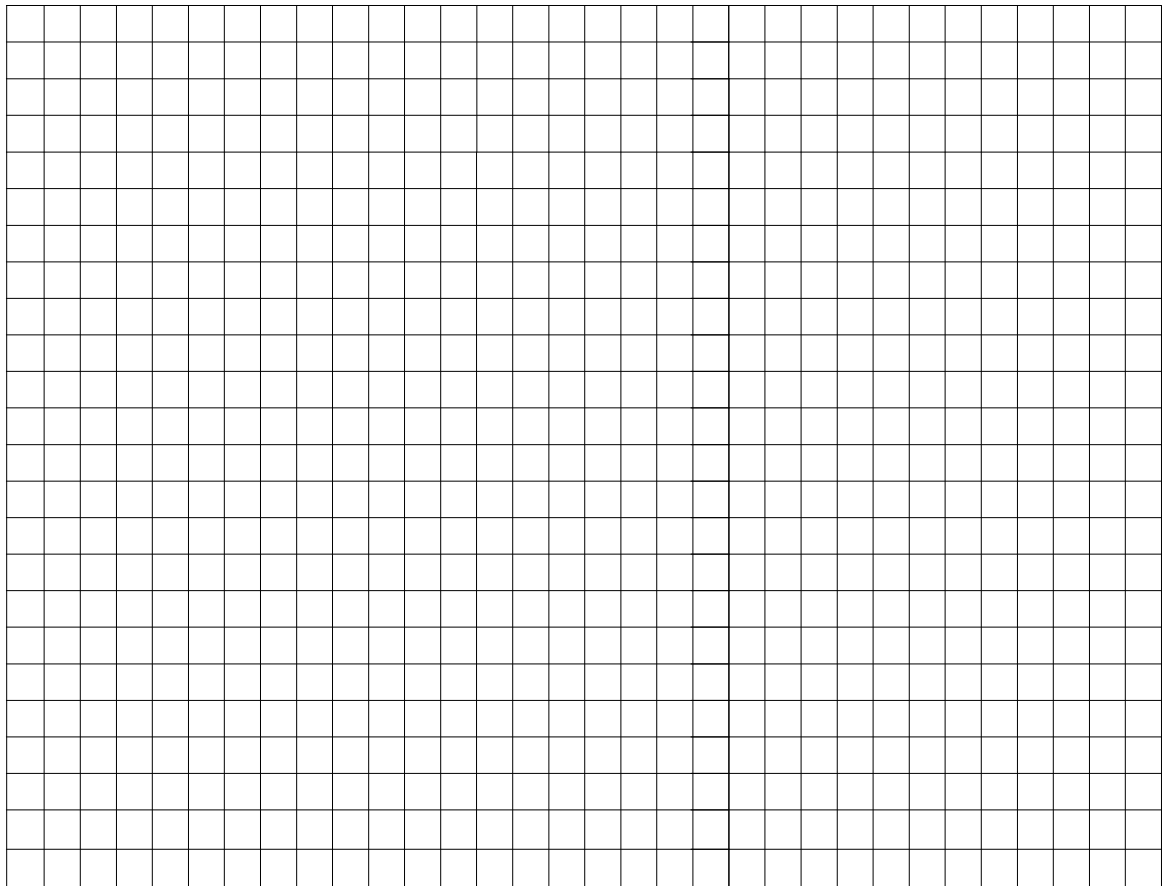
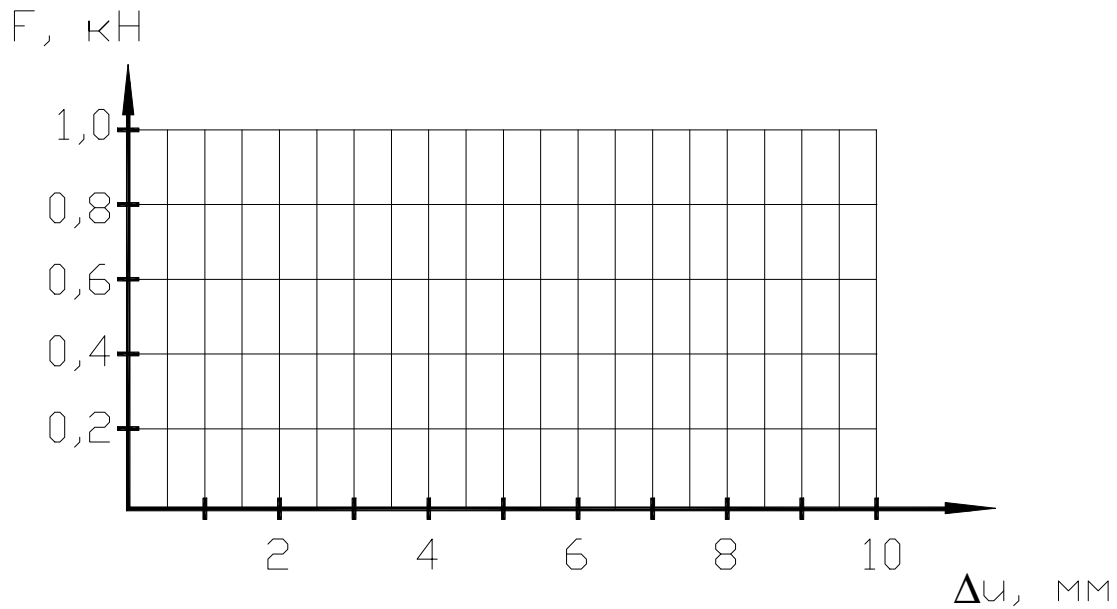


Рисунок 4.5 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б2



а) – для балки цельного сечения; б) – для балки составного сечения

Рисунок 4.6 – Зависимость деформаций от нагрузки

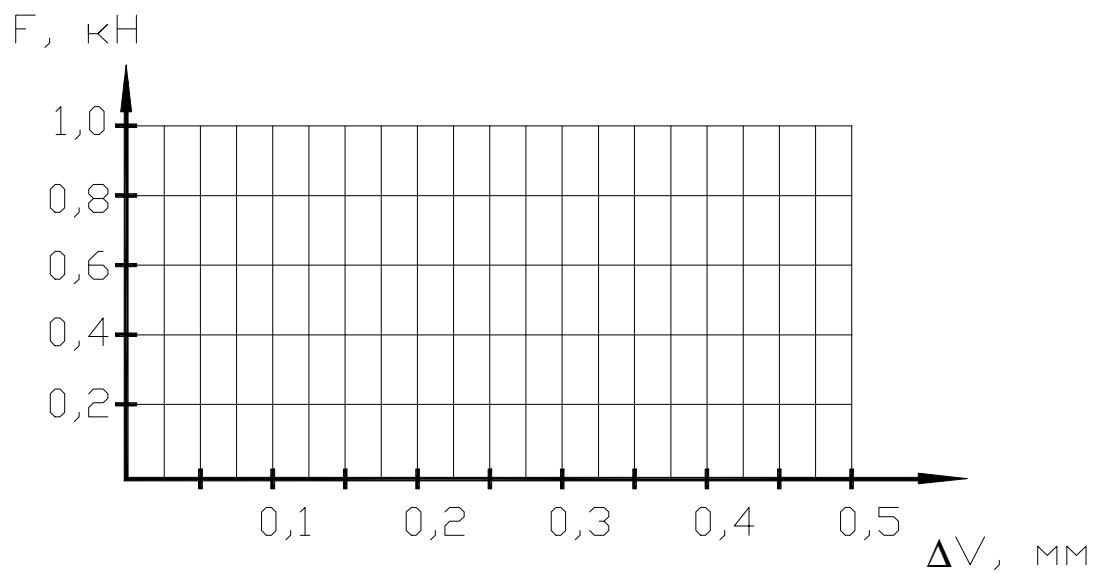


Рисунок 4.7 – Зависимость деформаций сдвига от нагрузки

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Почему прогиб балки составного сечения больше, чем балки цельного сечения?
2. В чем заключается особенность расчета балки составного сечения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕФАНЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

I. Общие сведения

Клееные конструкции, состоящие из деревянных элементов и фанеры, называются дощатофанерными. Такие конструкции могут быть несущими (балки, арки, рамы) и ограждающими (плиты, щиты).

Дощатофанерные плиты и щиты состоят из продольных ребер и фанерных обшивок, соединенных на клею в одно целое и образующих коробчатое или тавровое сечение. Дощатофанерные плиты применяются в отапливаемых зданиях и состоят из двух обшивок (верхней и нижней), пространство между которыми заполняется утеплителем. Дощатофанерные щиты применяются в неотапливаемых зданиях и состоят только из одной (верхней) обшивки, на которую наклеивается рулонная кровля (рисунок 5.1).

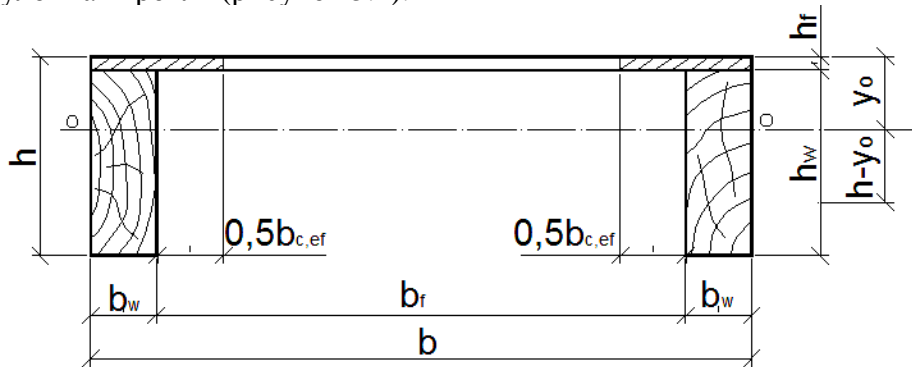


Рисунок 5.1 – Дощатофанерный элемент

Расчет дощатофанерных конструкций 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. Все характеристики приводятся к материалу сжатой обшивки, как наиболее напряженного элемента.

В соответствии с правилами, п.10.4.3[1] расчетную ширину поперечного сечения сжатой обшивки дощатофанерного элемента принимают с учетом неравномерного распределения нормальных напряжений по ширине обшивки и обеспечения её устойчивости:

$$b_{f,c} = 2(b_w + 0,5 \cdot b_{c,ef}) =$$

где $b_{c,ef}$ – максимальное значение, принимаемое по таблице 10.3[1];

$$b_{c,ef} = 20 \cdot h_f =$$

Положение нейтральной оси сечения относительно верхней грани определяют из выражения:

$$y_0 = S_{ef} / A_{ef} =$$

где S_{ef} – приведенный статический момент элемента относительно верхней грани определяемый из выражения:

$$S_{ef} = S_p + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot S_w = b_{f,c} \cdot \frac{h_f^2}{2} + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot \left[b_w \cdot h_w \cdot \left(\frac{h_w}{2} + h_f \right) \right] =$$

=

A_{ef} – приведенная площадь сечения элемента, определяемая из выражения:

$$A_{ef} = A_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot A_w = b_{c,ef} \cdot h_{ef} + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot b_w \cdot h_w =$$

Приведенный момент инерции сечения элемента относительно нейтральной оси определяют из выражения:

$$I_{ef} = I_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot I_w = \frac{b_{f,c} \cdot h_f^3}{12} + b_{f,c} \cdot h_f \cdot y_0^2 + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot \left[\frac{b_w \cdot h_w^3}{12} + b_w \cdot h_w \cdot \left(h - y_0 - \frac{h_w}{2} \right)^2 \right] =$$

$$=$$

Приведенные моменты сопротивления сечения будут равны:

– относительно верхней грани элемента:

$$W_{f,ef} = \frac{I_{ef}}{y_0} =$$

– относительно нижней грани элемента:

$$W_{w,ef} = \frac{I_{ef}}{h - y_0} =$$

II. Цель работы:

1. *Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте и ширине поперечного сечения элемента (экспериментально и теоретически).*
2. *Построить график прогиба элемента от испытательной нагрузки и сопоставить с теоретическим значением прогиба.*

III. Методика проведения испытаний

В работе проводится испытание дощатофанерного элемента, который является фрагментом дощатофанерного щита и состоит из двух продольных ребер и приклеенной к ним фанерной обшивки. Нагружение элемента осуществляется четырьмя сосредоточенными силами (рисунок 5.2), что эквивалентно равномерно распределенной нагрузке. Прогиб элемента посередине пролета определяется при помощи прогибомеров П1 и П2. Относительные деформации по сечению элемента в средней части определяются при помощи тензорезисторов. Схема расстановки тензорезисторов приведена на рисунке 5.3. Нагружение элемента осуществляется ступенями $\Delta F=0,4$ кН и доводится до максимальной нагрузки $F=1,2$ кН, что соответствует упругой области работы элемента. На нулевой и последней ступени нагружения снимаются показания тензорезисторов и заносятся в таблицу 5.1. Отсчеты по прогибомерам снимаются на каждой ступени нагружения и заносятся в таблицу 5.2.

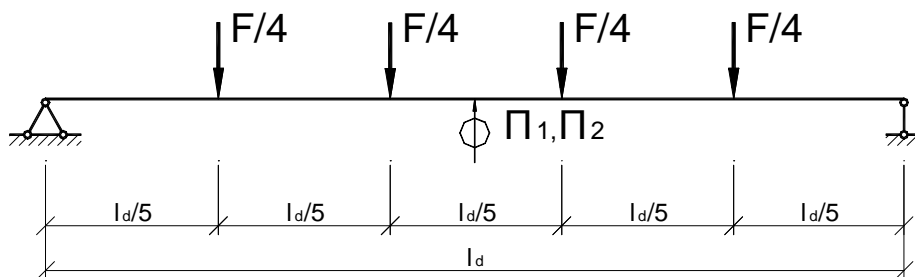


Рисунок 5.2 – Схема испытания дощатофанерного элемента

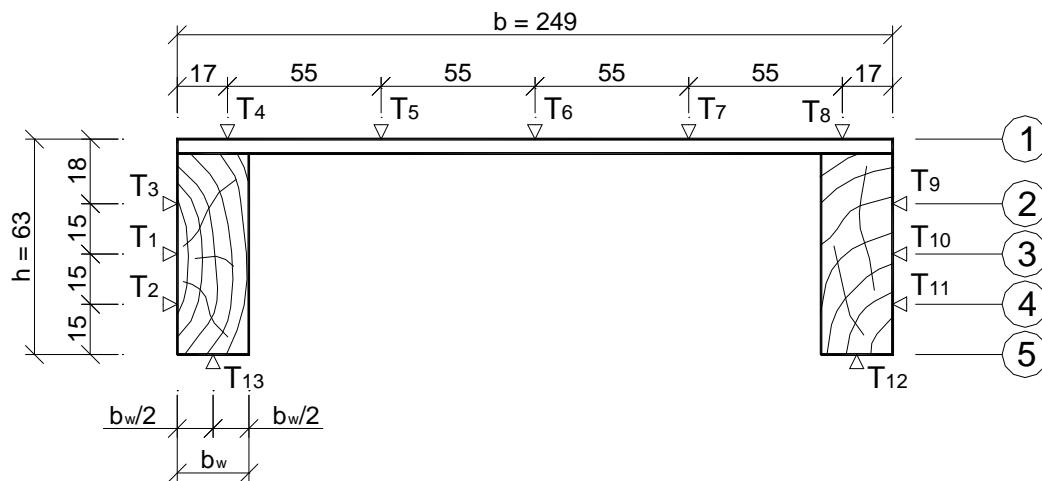


Рисунок 5.3 – Схема расстановки тензорезисторов

IV. Обработка результатов испытаний

Для определения нормальных напряжений принимаются среднее значение модуля упругости вдоль волокон для древесины $E_{w,mean} = 11000 \text{ Н/мм}^2$ (МПа) и модуль упругости вдоль волокон для фанеры $E_{f,mean} = 9000 \text{ Н/мм}^2$ (МПа).

В таблице 5.2 значение Δu_1 и Δu_2 определяются как приращения по отношению к нулевой ступени нагружения. По значениям нормальных напряжений (экспериментальные – таблица 5.1, теоретические – таблица 5.3) строятся эпюры распределения нормальных напряжений по высоте и ширине сечения дощатофанерного элемента, а по значениям деформаций графики прогибов (таблица 5.2, графа 6 и таблица 5.3).

Таблица 5.1 – Показания тензорезисторов

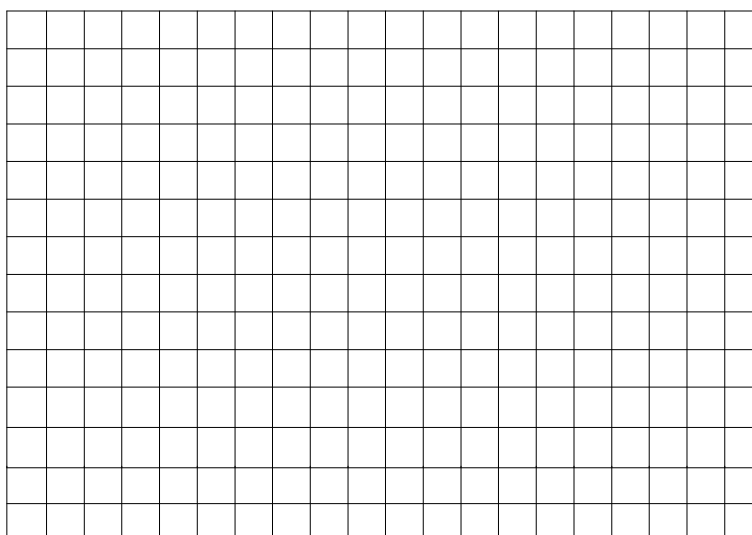
| №№ тензорезисторов | T, $\times 10^{-5}$ | | | Сечения элементов | Относительные деформации $\epsilon, \times 10^{-5}$ | Нормальные напряжения $\sigma_i = \epsilon \cdot E_{mean}$, МПа |
|--------------------|---------------------|----------------|------------|-------------------|---|--|
| | при F = 0 | при F = 1,2 кН | ΔT | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| T ₁ | | | | 1 | | |
| T ₂ | | | | 2 | | |
| T ₃ | | | | 3 | | |
| T ₄ | | | | 4 | | |
| T ₅ | | | | 5 | | |
| T ₆ | | | | | | |
| T ₇ | | | | | | |
| T ₈ | | | | | | |
| T ₉ | | | | | | |
| T ₁₀ | | | | | | |
| T ₁₁ | | | | | | |
| T ₁₂ | | | | | | |
| T ₁₃ | | | | | | |

Таблица 5.2 – Показания прогибомеров

| Ступени нагружения F, кН | u_1 , мм | Δu_1 , мм | u_2 , мм | Δu_2 , мм | $\Delta u = (\Delta u_1 + \Delta u_2) / 2$ |
|--------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | | | | | |
| 0,4 | | | | | |
| 0,8 | | | | | |
| 1,2 | | | | | |

Таблица 5.3 – Результаты испытаний

| Показатели | Расчеты |
|---|---|
| 1 | 2 |
| - класс прочности древесины ребер | C27 |
| - тип фанеры обшивки | F60/10, E90/10 |
| Размеры, мм | $h_w =$ $h =$ $b =$ |
| | $b_w =$ $h_f =$ $l_d =$ |
| Максимальная эквивалентная равномерно распределенная нагрузка, кН/см | $q = F/l_d =$ |
| Максимальные теоретические напряжения, МПа: - в обшивке - в ребре | $\sigma_f = \frac{M_{Ed}}{W_{f,ef}} =$ |
| | $\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{w,ef}} =$ |
| Максимальный теоретический прогиб при $F = 1,2$ кН, см | $U = \frac{5ql_d^4}{384E_p \cdot I_{ef} \cdot 0,7} =$ |
| Среднее значение нормальных напряжений в обшивке (сечение 1), МПа | $\sigma_{mod} =$ |
| Максимальное значение нормальных напряжений в обшивке, МПа | $\sigma_{max} =$ |
| Коэффициент неравномерности нормальных напряжений по ширине обшивки | $k = \sigma_{mod} / \sigma_{max} =$ |



а) – экспериментальные; б) – теоретические
Рисунок 5.4 – Распределение нормальных напряжений по высоте сечения дощатофанерного элемента

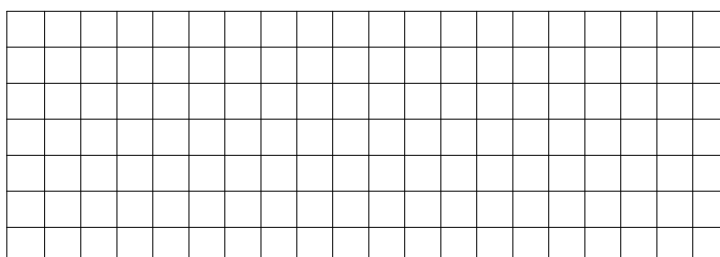
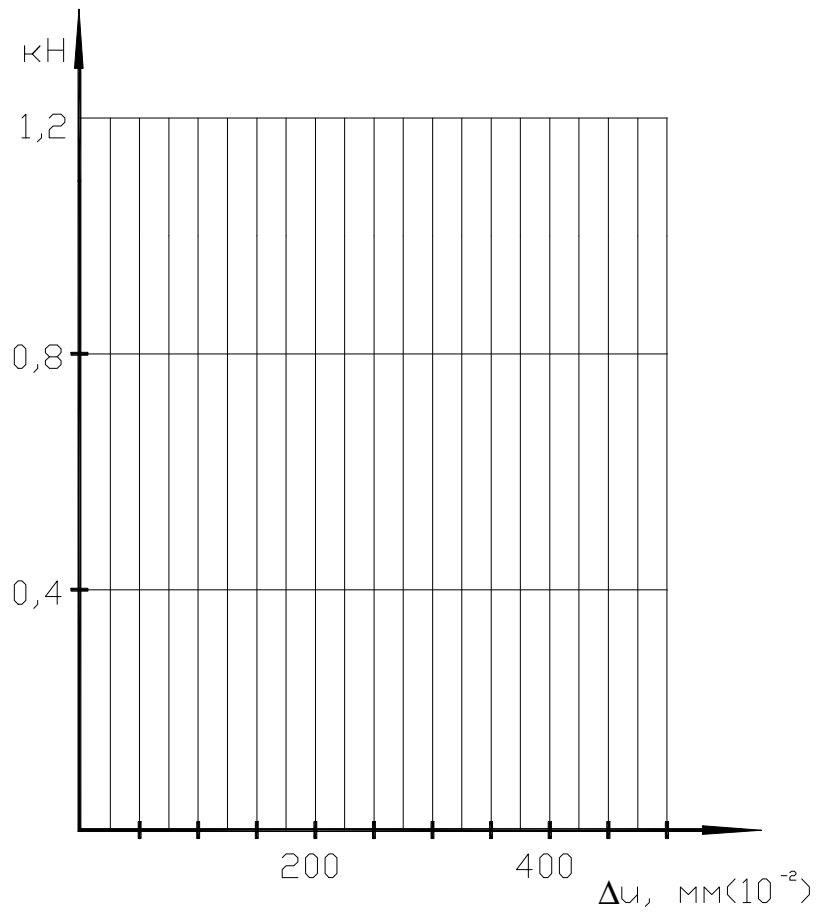


Рисунок 5.5 – Распределение нормальных напряжений по ширине сечения дощатофанерного элемента



а) экспериментальные; б) теоретические
Рисунок 5.6 – Зависимость деформаций от нагрузки

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. В чем заключаются особенности расчета дощатофанерных конструкций?
2. Почему нормальные напряжения по ширине обшивки распределяются неравномерно?

Литература

1. Деревянные конструкции. Строительные правила Республики Беларусь. СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 115с.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю.В.Слицкоухов [и др.]; под ред. Г.Г.Карлсена и Ю.В.Слицкоухова.-5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.– 543 с.
3. Стандарт университета. Оформление материалов курсовых и дипломных проектов (работ), отчетов по практике. Общие требования и правила оформления: СТ БГТУ 01-2008. Брест, 2008. – 46 с.
4. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
5. Михайличенко, А.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / А.Л Михайличенко, Ф.П. Садовничий. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 224 с.
6. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
7. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 49 с.

Учебное издание

Составители:

Захаркевич Иван Филиппович

Жук Василий Васильевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

И

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине

«Конструкции из дерева и пластмасс»

для студентов специальности 70 02 01

«Промышленное и гражданское строительство»

дневной формы обучения

*Текст печатается в авторской редакции,
орфографии и пунктуации*

Ответственный за выпуск: Жук В. В.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная вёрстка: Жук В. В.

Подписано в печать 11.03.2022 г. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 3,26. Уч. изд. л. 3,50. Заказ № 182. Тираж 19 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.