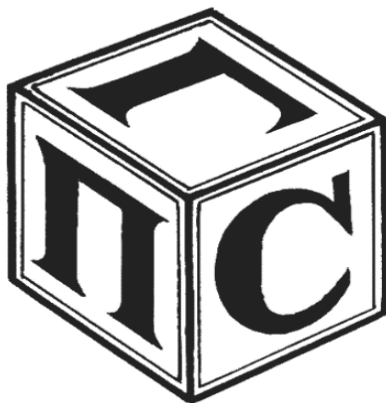


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2024

УДК 624.011.1
ББК 38.5
К65

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
«28» марта 2024 г., протокол № 9

Составитель ст. преподаватель Е. С. Хмельницкий

Рецензент Н. В. Курочкин

В методических рекомендациях к лабораторным работам по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» изложены сведения по подготовке, проведению и оформлению лабораторных работ для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения. Описаны методы проведения статических испытаний деревянных образцов. Даны рекомендации по математической обработке и анализу полученных результатов испытаний.

Учебное издание

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Ответственный за выпуск

С. В. Данилов

Корректор

И. В. Голубцова

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Опытное определение прочностных характеристик древесины и фанеры.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Испытание лобовой врубки с одним зубом	15
3 Лабораторная работа № 3. Испытание двухсрезного соединения на гвоздях	19
4 Лабораторная работа № 4. Испытание клеевого соединения при скалывании вдоль волокон.....	25
5 Лабораторная работа № 5. Определение прочности клеевых соединений из древесины при послойном скалывании.....	28
6 Лабораторная работа № 6. Испытание соединения на вклеенных стальных стержнях.....	31
7 Лабораторная работа № 7. Испытание на поперечный изгиб клееной балки прямоугольного сечения.....	35
8 Лабораторная работа № 8. Испытание композитной арматуры.....	43
Список литературы.....	46

Введение

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», а также для преподавателей, осуществляющих проведение лабораторных работ по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс».

Целью изучения учебной дисциплины является формирование знаний, умений и навыков у студентов, обучающихся по специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», позволяющих принимать оптимальные решения в практической работе с решением задач в области проектирования, изготовления и возведения конструкций зданий и сооружений.

Методические рекомендации к лабораторным работам ставят своей целью закрепление теоретических знаний, полученных в ходе изучения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс», на примере испытания образцов конструкций и исследования их работы под нагрузкой.

При изучении дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» уделяется особое внимание действительной работе конструкций под нагрузкой, чему способствует выполнение испытаний лабораторных образцов, материалов и изделий.

Основная цель проведения лабораторных работ состоит в том, чтобы углубить и закрепить полученные теоретические знания о работе конструкций под нагрузкой, научить ставить опыты с применением необходимых приборов и оборудования, обрабатывать и анализировать полученные данные, делая правильные выводы. Кроме того, выполнение лабораторных работ позволяет привить студентам навыки научно-исследовательской работы.

1 Лабораторная работа № 1. Опытное определение прочностных характеристик древесины и фанеры

Цель работы: усвоить сущность и назначение основных механических характеристик древесины и фанеры; изучить методы определения прочностных и деформативных характеристик древесины и фанеры, правила обработки результатов испытаний, используемое оборудование и приборы; определить нормативные и расчетные характеристики древесины и фанеры, модуль упругости и предел прочности строительной фанеры.

1.1 Теоретические сведения

Применение древесины в качестве конструкционного материала обусловлено способностью сопротивляться действию усилий, т. е. механическими свойствами.

Показатели механических свойств древесины определяют обычно при следующих видах испытаний: растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге. Поскольку древесина – анизотропный материал, т. е. материал с различными свойствами в разных направлениях, указывают направление действия нагрузок: вдоль или поперек волокон (в радиальном или тангенциальном направлении).

Из-за сопротивления древесины внешним нагрузкам в ней возникают внутренние силы. Эти силы, отнесенные к единице площади сечения (1 см^2), называются напряжениями. Максимальное напряжение, предшествующее разрушению тела, называют пределом прочности.

При проверке центрально-сжатых элементов постоянного сплошного сечения должно соблюдаться условие

$$N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}, \quad (1.1)$$

где $N_{c,Ed}$ – расчетное значение сжимающего усилия, действующего в элементе, обусловленного внешними воздействиями;

$N_{c,Rd}$ – расчетное значение сопротивления элемента сжатию вдоль волокон в наиболее нагруженном сечении.

Расчетное значение сопротивления элемента сжатию вдоль волокон для коротких массивных элементов в наиболее нагруженном сечении $N_{c,Rd}$ рассчитывают по формуле

$$N_{c,Rd} = A_{net} f_{c0d}, \quad (1.2)$$

где A_{net} – площадь нетто поперечного сечения элемента;

f_{c0d} – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон; определяют по формуле

$$f_{c0d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c0k}}{\gamma_M}, \quad (1.3)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];
 k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе; определяют в соответствии с п. 5.6.3 СП 5.05.01–2021 [1];

f_{c0k} – характеристическое значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон; определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1] в зависимости от класса прочности;

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1].

При проверке элементов постоянного сплошного поперечного сечения, подверженных изгибу только в одной плоскости, должно соблюдаться условие

$$M_{y,Ed} \leq M_{y,Rd}, \quad (1.4)$$

где $M_{y,Ed}$ – расчетные значения изгибающего момента в сечении элемента, обусловленного внешними воздействиями;

$M_{y,Rd}$ – расчетные значения сопротивления в нормальном сечении элемента.

Расчетные значения сопротивления элемента изгибу относительно осей y и z следует определять по формуле

$$M_{y,Rd} = f_{m,y,d} W_{y,d}, \quad (1.5)$$

где $f_{m,y,d}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе;

$W_{y,d}$ – расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента.

Расчетное значение прочности древесины при изгибе элемента определяют по формуле

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_{hfm,k}}{\gamma_M}, \quad (1.6)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];
 k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе; определяют в соответствии с п. 5.6.3 СП 5.05.01–2021 [1];

k_h, k_b – коэффициенты, определяемые по формулам (5.34) и (5.35) СП 5.05.01–2021 [1] для высоты h сечения элемента, если изгиб элемента происходит относительно оси y , а если относительно оси z , то за высоту сечения принимают ширину b ;

$f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе при изгибе элемента; определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1] для соответствующего материала;

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1].

Предел прочности на скалывание определяют по формуле

$$\tau_{ск} = \frac{P_{разр}}{b \cdot l}, \quad (1.7)$$

где $P_{разр}$ – несущая способность соединения (клеевого шва или древесины);

b, l – длина и ширина площадки скалывания клеевого шва и древесины соответственно.

Среднюю величину $\tau_{ск}$ определяют из испытаний не менее трех одинаковых образцов. После скалывания вычисляют относительную площадь скалывания по древесине. Также определяют расчетное значение прочности древесины при скалывании вдоль волокон:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (1.8)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации (принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1]);

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе (для данного образца $k_{sys} = 0$);

$f_{v,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон или материала на ее основе (определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1]);

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий (принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1]).

Расчетное значение прочности фанеры при изгибе элемента определяют по формуле

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (1.9)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе; определяют в соответствии с п. 5.6.3 СП 5.05.01–2021 [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1].

1.2 Методика проведения испытаний

1.2.1 Методика испытания при сжатии вдоль и поперек волокон

Приборы и оборудование: гидравлический пресс, линейка, штангенциркуль, влагомер.

Предел прочности на сжатие вдоль и поперек волокон определяют на малых, чистых и не имеющих пороках образцах в лабораториях на испытательных машинах. Эти образцы имеют базисное поперечное сечение с размерами 20×20 мм и должны включать не менее четырех-пяти годичных слоев.

Перед испытанием с помощью электровлагомера определяют влажность образца и фиксируют температуру воздуха в лаборатории.

Для испытаний используют специальное приспособление. Образец нагружают со скоростью $(1 \pm 0,2)$ кН/мин. Испытание продолжают до превышения условного предела прочности, что характеризуется резким увеличением деформации. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца (таблица 1.1) перед ее испытанием. Также в эту таблицу вносят результаты испытаний.

Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Влажность	$W =$
2 Температура	$T =$
3 Геометрические размеры, мм:	
площадь поперечного сечения образца	$A_{net} =$
высота образца	$h =$
4 Механические характеристики:	
экспериментальное расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон	$f_{c0d} =$
экспериментальное расчетное значение сопротивления элемента сжатию вдоль волокон	$N_{c,Rd} =$
класс древесины согласно проведенному испытанию	

Аналогичные таблицы составляются для всех образцов, испытываемых на сжатие вдоль и поперек волокон.

Прочность при сжатии определяется на образцах призматической формы. Схема испытания на прочность при сжатии вдоль волокон и размер образца показаны на рисунке 1.1.

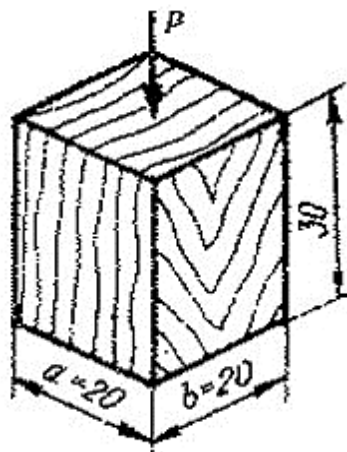


Рисунок 1.1 – Испытание на прочность вдоль волокон

1.2.2 Методика испытания при статическом изгибе

Приборы и оборудование: гидравлический пресс, линейка, штангенциркуль, влагомер.

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму брусом размерами $20 \times 20 \times 300$ мм, так, чтобы годовые кольца на торцах были параллельными паре граней.

Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца (таблица 1.2) перед ее испытанием. Также в эту таблицу вносят результаты испытаний.

Таблица 1.2 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Влажность	$W =$
2 Температура	$T =$
3 Геометрические размеры, мм:	
пролет образца	$l_d =$
высота поперечного сечения образца	$h =$
ширина поперечного сечения образца	$b =$
4 Механические характеристики:	
расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента	$W_{y,d} =$
разрушающая нагрузка	$N_{\max,exp} =$
экспериментальное расчетные значения сопротивления в нормальном сечении элемента	$M_{y,Rd} =$
экспериментальное расчетное значение прочности древесины при изгибе элемента	$f_{m,y,d} =$
класс древесины согласно проведенному испытанию	

При испытаниях образец помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплен траверс с двумя валиками с таким же радиусом, как и опоры. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба устанавливают индикатор часового типа (рисунок 1.2).

Перед испытанием с помощью электровлагомера определяют влажность образца и фиксируют температуру воздуха в лаборатории.

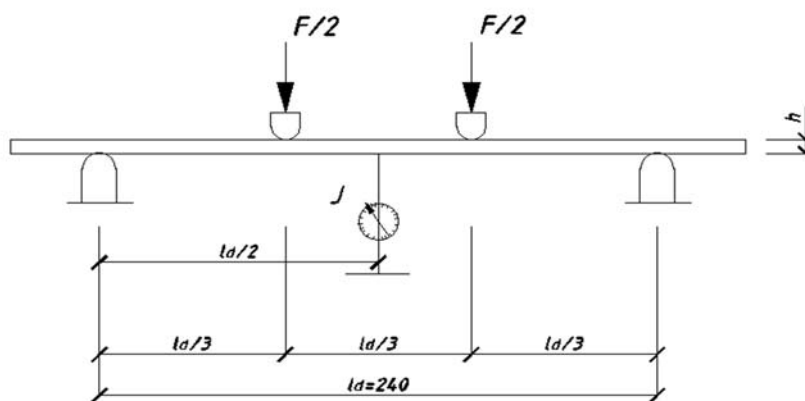


Рисунок 1.2 – Схема испытания образца

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 мин.

Нагрузку прикладывают ступенчато через 200 Н для определения временного сопротивления и построения графика зависимости деформаций от напряжений. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 1.3. Приращение деформаций при ступенчатом нагружении на каждой ступени на каждой ступени нагружения определяют как разность по отношению к показаниям индикатора на нулевой ступени.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 1.3. Также по результатам строится график зависимости деформации от напряжений при статическом изгибе.

Таблица 1.3 – Показания индикатора при статическом изгибе

Номер	Степень нагружения F , Н	Отсчет по индикатору, мм	
		u	Δu
1	2	3	4
0	0		
1	200		
2	400		
3	600		
4	800		
...			
n	$N_{\max,exp}$		

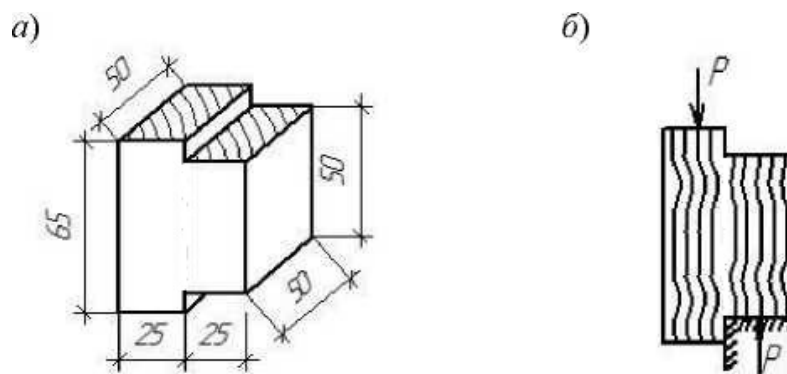
1.2.3 Методика испытания при скалывании

Приборы и оборудование: гидравлический пресс, приспособление для испытаний на скалывание, штангенциркуль, влагомер.

Определение размеров соединения. Изготавливаются образцы формой и размерами согласно рисунку 1.3 так, чтобы скалывание происходило по радиальной плоскости, т. е. плоскость скалывания совпадала с направлением радиуса годичных слоев. Результаты измерений вносят в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Влажность	$W =$
2 Температура	$T =$
3 Геометрические размеры:	
толщина образца	$b =$
длина площадки скалывания	$l =$
4 Механические характеристики:	
несущая способность соединения	$P_{разр} =$
расчетное значение прочности древесины при скалывании вдоль волокон	$f_{v,d} =$
класс древесины согласно проведенному испытанию	

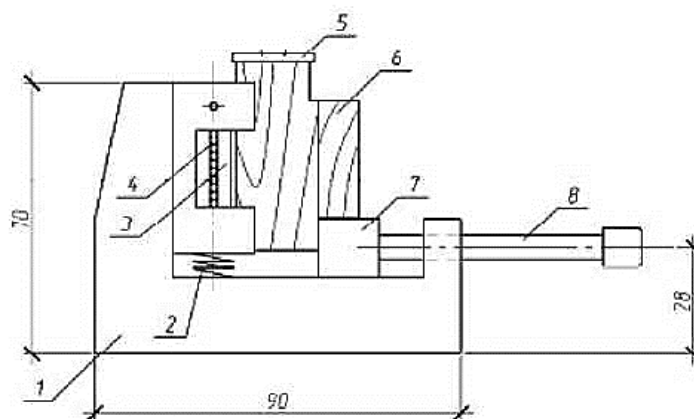


a – размеры образца; *б* – схема механического испытания образца

Рисунок 1.3 – Образец для испытания клеевого соединения на скалывание

В каждом образце измеряют ширину и длину меньшего элемента образца скалывания в крайних точках по ожидаемой плоскости скалывания и вычисляют их средние арифметические b и l .

Экспериментальная часть. Механические испытания образцов проводятся на прессе при помощи специального приспособления. Испытание образца производят на гидравлическом прессе с помощью специального зажима (рисунок 1.4).



1 – корпус; 2 – пружина; 3 – подвижная планка; 4 – ролики; 5 – нажимная призма с шаровой опорой; 6 – образец; 7 – подвижная опора; 8 – устройство для прижима

Рисунок 1.4 – Приспособление для испытаний на скалывание

Образец устанавливают в прибор так, чтобы длинная грань образца плотно прилегала через стальную прокладку толщиной 10 мм к опорной стенке прибора. Нагружение производят с постоянной скоростью (300 ± 60) кгс/мин на образец. Разрушающая нагрузка определяется с точностью до 1 кгс. После испытания определяют влажность.

1.2.4 Методика испытания древесноплитных материалов

Приборы и оборудование: пресс, линейка, штангенциркуль, влагомер. Результаты измерений заносят в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Влажность	$W =$
2 Температура	$T =$
3 Геометрические размеры, мм:	
пролет образца	$l_d =$
толщина образца	$h =$
ширина образца	$b =$
4 Механические характеристики:	
разрушающая нагрузка	$F_{\max} =$
среднее арифметическое значение приращения прогиба в зоне чистого изгиба	$\Delta u_{cp} =$
приращение нагрузки нагружении	$\Delta F =$
экспериментальный модуль упругости	$E_p = \frac{\Delta F \cdot l_d^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{cp}} =$
экспериментальное расчетное значение прочности фанеры при изгибе	$f_{m,d} = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l_d}{2 \cdot b \cdot h^2} =$
класс фанеры согласно проведенному испытанию	

Для испытаний изготавливают образцы из фанеры, которые имеют форму пластины с размерами $100 \times 100 \times h$. Перед испытанием измеряют длину и ширину образцов в двух местах параллельно его кромкам. Толщину образцов измеряют штангенциркулем в четырех разных местах образца. Отклонение по толщине образцов должно быть равно допустимому отклонению по толщине материала, установленному стандартом. Также в таблицу 1.5 вносят результаты испытаний.

При испытании образцы помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплен траверс с одним роликом такого же радиуса, как и опоры. Для измерения прогиба посередине пролета устанавливают индикатор часового типа (рисунок 1.5).

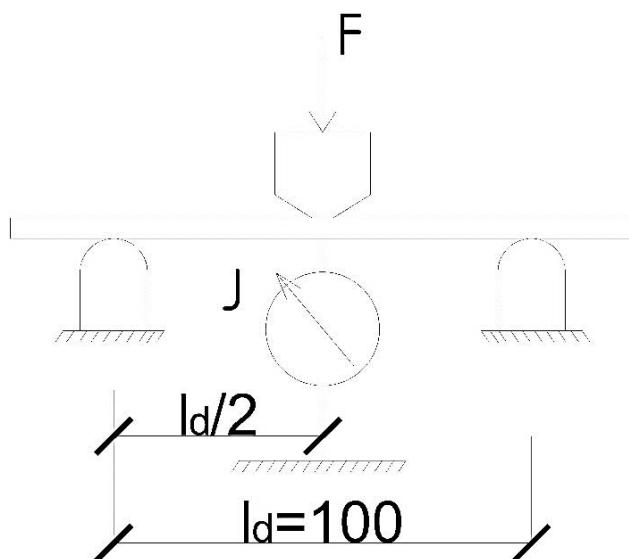


Рисунок 1.5 – Схема испытания образцов фанеры

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

Нагрузку прикладывают ступенчато через 200 Н для определения предела прочности и построения диаграммы зависимости деформации от напряжений. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки и заносят в таблицу 1.6.

По результатам строится график зависимости деформаций от напряжений при статическом изгибе фанеры.

Таблица 1.6 – Показания индикатора при статическом изгибе

Номер ступени	Фанера		
	Нагрузка нагружения F , Н	Отсчет по индикатору, мм	
		u	Δu
1	2	3	4
Ступенчатое нагружение			
0	0		
1	200		
2	400		
3	600		
4	800		
...			
n	$F_{\max}$		

По итогу проведенных испытаний определяются прочностные и деформативные характеристики лабораторных образцов,

Отчет должен содержать: рисунки образцов с указанием действительных размеров; таблицы с геометрическими и экспериментальными характеристиками; расчеты экспериментальных несущих способностей образцов и их сравнение с нормативными показателями.

Контрольные вопросы

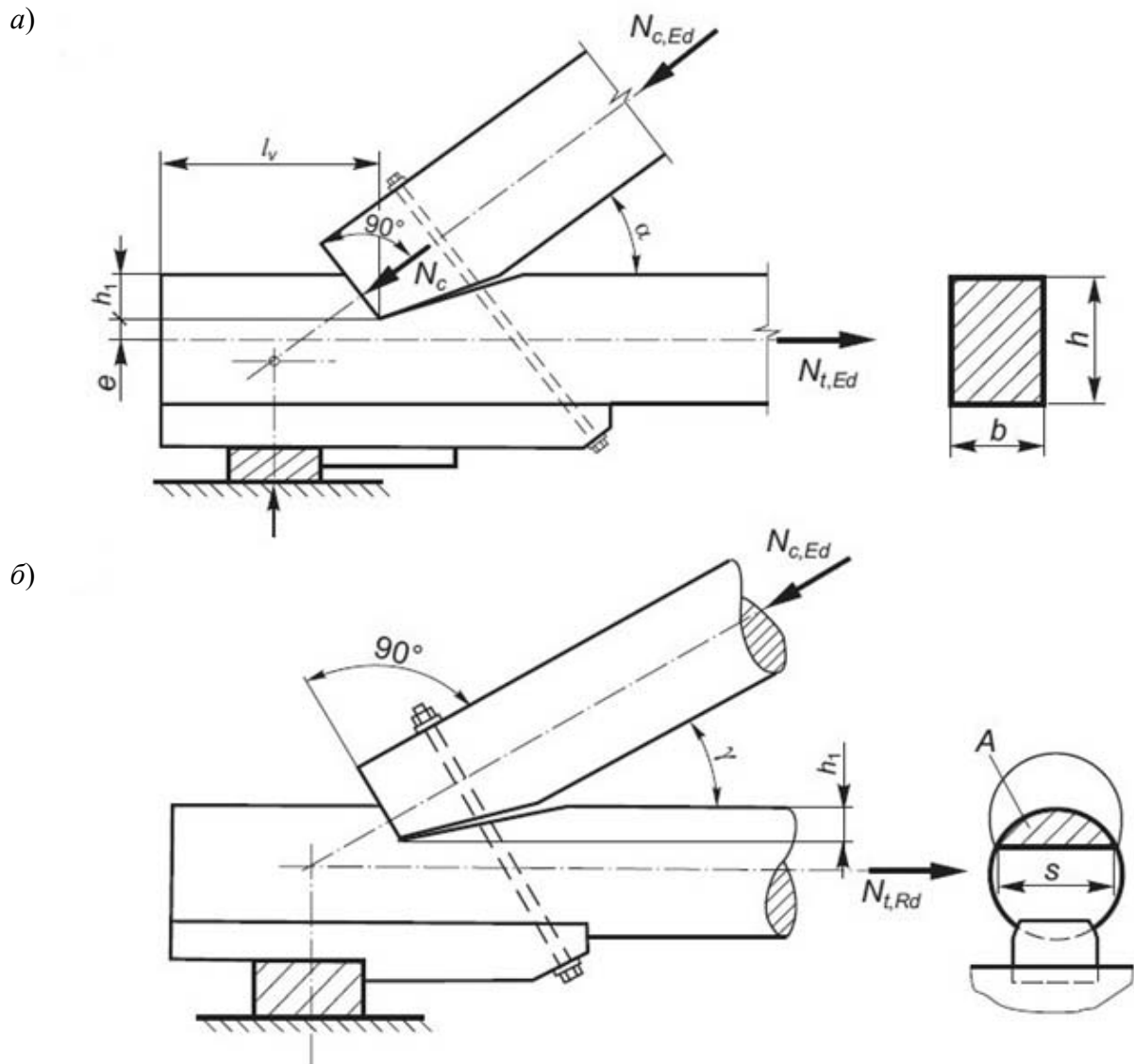
- 1 Какие цели и задачи данной работы?
- 2 Почему предел прочности при местном сжатии выше, чем при сжатии по всей поверхности?
- 3 Приведите примеры работы древесины в конструкциях на местное сжатие и смятие по всей поверхности.
- 4 Что такое модуль упругости? Где он используется при расчете конструкций?
- 5 Что такое нормативное и расчетное сопротивления древесины и как они определяются?
- 6 Какие приборы используют при проведении испытаний? Их назначение.
- 7 Укажите порядок загрузки образцов и снятия отсчетов по приборам.
- 8 Что характеризует коэффициент изменчивости и от чего он зависит?
- 9 Как влияет соотношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон, на величину характеристик прочности и жесткости фанеры?
- 10 Какое строение фанеры следует считать рациональным?
- 11 Какими преимуществами обладает фанера по сравнению с цельной древесиной?
- 12 Почему прочностные и упругие характеристики фанеры выше, чем ДСП?

2 Лабораторная работа № 2. Испытание лобовой врубки с одним зубом

Цель работы: определить расчетную несущую способность соединения и сравнить ее с разрушающей нагрузкой; определить деформации смятия врубки и построить график зависимости деформаций от нагрузки; ознакомиться с характером разрушения образца.

2.1 Теоретические сведения

Врубкой называют соединение (рисунок 2.1), в котором усилие элемента, работающего на сжатие, передается другому элементу непосредственно без вкладышей или других рабочих связей.



а – из брусев; б – из бревен

Рисунок 2.1 – Конструкция лобовой врубки

В соединениях с непосредственным упором контактных поверхностей соединяемых элементов усилия от одного элемента к другому передаются непосредственно через контактирующие поверхности с работой древесины на сжатие (смятие) вдоль, поперек или под углом к направлению волокон. В данном виде соединения элементов могут возникать случаи скалывания древесины элемента вдоль волокон.

За этим видом соединения сохранилось старое название «врубка», хотя в настоящее время резка и гнезда выполняются не топором, а электромотопилой и т. д.

$$N_{c,a,Rd} = \frac{f_{c,a,bh_1}}{\cos \alpha}, \quad (2.1)$$

где f_{c,a,bh_1} – расчетное значение прочности древесины при сжатии (смятии) под углом α к направлению волокон (определяют по формуле 7.54 СП 5.05.01–2021 [1]);

b – ширина поперечного сечения растянутого элемента;

h_1 – глубина врубки.

Если в ослабленном сечении узла лобовой врубки растягивающее усилие $N_{t,Rd}$ приложено по его центру, то значение $N_{t,Rd}$ определяют по формуле

$$N_{t,Rd} = f_{t0d} A_{net}, \quad (2.2)$$

где f_{t0d} – расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон (определяют по формуле (7.3) СП 5.05.01–2021 [1]);

A_{net} – площадь нетто в ослабленном сечении; рассчитывают по формуле

$$A_{net} = b \cdot (h - h_1), \quad (2.3)$$

где b – ширина поперечного сечения элемента;

h – высота поперечного сечения растянутого элемента;

h_1 – глубина врубки.

В случае, когда растягивающее усилие приложено с эксцентриситетом e по отношению к центру ослабленного сечения, расчетное значение несущей способности $N_{t,Rd}$ растянутого элемента определяют, как для случая внецентренно-растянутого элемента, согласно п. 7.4 СП 5.05.01–2021 [1].

Расчетное значение несущей способности соединения V_d при сдвиге в поперечном сечении растянутого элемента узла определяют по формуле

$$V_d = \frac{f_{v,d}}{1 + k_{v1} \left(\frac{l_v}{e} \right)}, \quad (2.4)$$

где $f_{v,d}$ – расчетное значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон (определяют по формуле (7.28) СП 5.05.01–2021 [1]);

k_{v1} – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига по длине площадки скалывания в растянутом элементе; принимают равным 0,25;

l_v – расчетная длина плоскости скалывания;

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

Длину плоскости скалывания l_v лобовых врубок следует принимать не менее $1,5 h$, где h – полная высота сечения скалываемого элемента, и не более $10 h_1$.

Глубину врубки h_1 следует принимать не более $1/3 h$ – в промежуточных узлах сквозных конструкций и не более $1/4 h$ – в остальных случаях, при этом глубина врубок h_1 в брусках должна быть не менее 2 см, а в круглых лесоматериалах – не менее 3 см.

2.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: индикатор часового типа, машина гидравлическая с торсионным силоизмерением MATEST C091-03N, приспособления для испытаний, штангенциркуль, индикаторы часового типа.

Геометрическая схема образца, его размеры показаны на рисунке 2.2.

Подготовленную к испытаниям конструкцию устанавливают в прессовую установку. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры элементов лобовой врубки (таблица 2.1) перед ее испытанием.

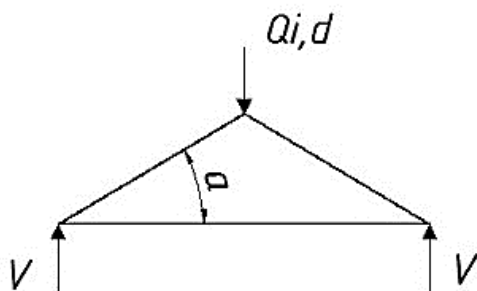


Рисунок 2.2 – Схема испытания образца

Подготовленную к испытаниям конструкцию устанавливают в прессовую установку. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца (таблица 2.1) перед ее испытанием.

Испытания проводятся при кратковременном машинном нагружении ступенями по 1 кН. 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 2.2. После приложения нагрузки 80 % от предполагаемой разрушающей индикаторы снимают, и производится дальнейшее нагружение образца до разрушения.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Класс древесины	
2 Влажность	$W =$
3 Температура	$T =$
4 Геометрические размеры, мм:	
ширина сечения	$b =$
полная высота поперечного сечения, складываемого элемента	$h =$
глубина врубки	$h_1 =$
расчетная длина плоскости скалывания	$l_p =$
угол наклона	$\alpha =$
эксцентриситет	$e =$
5 Механические характеристики:	
расчетное значение прочности древесины при сжатии (смятии) под углом α к направлению волокон	$f_{c,\alpha,bh_1} =$
расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон	$f_{t0d} =$
расчетное значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон	$f_{v,d} =$
расчетное значение несущей способности упорной площадки растянутого элемента; определяют из условия прочности древесины при сжатии под углом α к направлению волокон	$f_{c,\alpha,Rd} =$
расчетное значение несущей способности растянутого элемента соединения в ослабленном врубкой поперечном сечении	$N_{t,Rd} =$
расчетное значение несущей способности элемента соединения	$V_d =$
нагрузка, при которой разрушился образец	$N_{\max,exp} =$

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

Таблица 2.2 – 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					
...					
$N_{\max,exp}$					

По вычисленным средним значениям деформации смятия строится график зависимости этих деформаций от нагрузки. По этому графику определяют полную деформацию смятия врубки, величины рыхлой и упругой деформаций.

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

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Как осуществляется изготовление образца?
- 3 Как определяется расчетная несущая способность соединения на смятие?
- 4 Какие существуют варианты разрушения опытного образца?
- 5 Как определяется расчетная несущая способность соединения из условия скалывания?
- 6 Какие усилия приводят к разрушению образца?
- 7 Как определяется расчетная несущая способность соединения на растяжение в ослабленном сечении?
- 8 Какие приборы и оборудование используются в лабораторной работе?
- 9 На каких образцах определяют прочностные характеристики материалов узла?
- 10 Как определяется расчетное сопротивление древесины, из которой изготавливается образец?
- 11 Опишите порядок проведения испытания.
- 12 Как определяются деформации узла?
- 13 Опишите график зависимости деформаций от нагрузки.

3 Лабораторная работа № 3. Испытание двухсрезного соединения на гвоздях

Цель работы: изучить характер напряженно-деформированного состояния образца; 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; ознакомиться с характером разрушения образца.

3.1 Теоретические сведения

В настоящих строительных правилах при расчете соединений на металлических нагелях принято, что в соединении раньше наступит нелинейное

разрушение (смятие древесины в нагельном гнезде, изгиб нагеля), а затем только хрупкое разрушение (раскалывание древесины нагелем). Последнее исключается путем соблюдения правил расстановки нагелей, приведенных в п. 9.3.15 СП 5.05.01–2021 [1].

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

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

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

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

n_{ef} – расчетное число нагелей в ряду, параллельном направлению волокон.

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

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

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];

$F_{v,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля в соединении; рассчитывают по формулам таблицы 3.1 и принимают равным минимальному значению из всех расчетных величин;

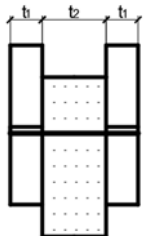
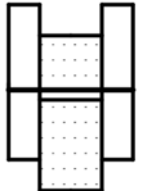
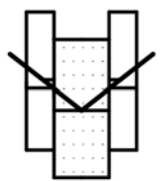
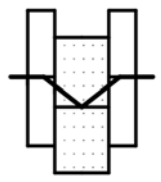
γ_M – частный коэффициент свойств материалов и изделий (принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1]).

Значение коэффициента β , учитывающего отношение характеристического значения сопротивлений материала элемента 1 и элемента 2 при вдавливании в них жесткого нагеля плашмя, определяют по формуле

$$\beta = \frac{f_{h2k}}{f_{h1k}}, \quad (3.3)$$

где f_{h1k}, f_{h2k} – характеристические значения сопротивлений материала элемента 1 и элемента 2 соответственно при вдавливании нагеля плашмя.

Таблица 3.1 – Формулы для определения характеристического значения несущей способности одного среза нагеля в соединениях элементов из цельной и клееной древесины, а также древесных плитных материалов при направлении усилий, передаваемых нагелями вдоль волокон

Наименование характеристики	Схема разрушения	Формула
Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ для соединений с двумя плоскостями сдвига (принимают минимальное значение)	а) 	$F_{v,Rk} = f_{h1k} t_1 d$
	б) 	$F_{v,Rk} = 0,5 f_{h2k} t_2 d$
	в) 	$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1k} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{Fax, Rk}{4}$
	г) 	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h1k} d} + \frac{Fax, Rk}{4}$

Примечание – Обозначения, принятые в таблице:

d – диаметр нагеля;

$M_{y,Rk}$ – характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении нагеля; определяют по формулам таблицы 3.2;

$f_{h,i,k}$ – характеристическое значение сопротивления древесины или материала на ее основе i -го элемента соединения вдавливанию нагеля плашмя по направлению волокон; определяют по формулам таблицы 3.3;

$F_{ax,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности нагеля при выдергивании из элемента соединения, определяемое согласно п. 9.4 СП [1] (при расчете для лабораторного образца можно не учитывать и принять равным 0);

t_1, t_2 – соответственно толщины соединяемых элементов;

β – коэффициент, определяемый по формуле (3.3)

Характеристическое значение момента $M_{y,Rk}$ для различных типов металлических нагелей рассчитывают по формулам, приведенным в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Формулы для расчета характеристического значения $M_{y,Rk}$ нагелей

Тип нагеля	Формула расчета $M_{y,Rk}$, Н·мм
Гвозди: гладкие круглого поперечного сечения квадратного поперечного сечения	$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6}$ $M_{y,Rk} = 0,45 f_u d^{2,6}$
Скобы	$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6}$
Болты	$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$
Дюбели	$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6}$
Винты: с гладкой частью диаметром до 6 мм включ. то же св. 6 мм	Как для дюбелей Как для болтов
<i>Примечание</i> – Обозначения, принятые в таблице: d – диаметр гвоздя, скобы или нагеля, мм; для скоб с прямоугольным поперечным сечением d – квадратный корень произведения размеров сторон поперечного сечения стержня, а для винтов d – расчетный диаметр; f_u – прочность материала проволоки гвоздя при растяжении, Н/мм²; $f_{u,k}$ – характеристическое значение прочности материала болта при его растяжении (или материала винта), Н/мм²	

Характеристическое значение сопротивления $f_{h,k}$ древесины при вдавливании гвоздей диаметром до 8 мм и скоб рассчитывают по формулам, приведенным в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Формулы для расчета характеристического значения $f_{h,k}$ для гвоздей

Условие	Формула расчета $f_{h,k}$, Н/мм ²
Для соединений из древесины и LVL с использованием гвоздей диаметром до 8 мм: без предварительного сверления отверстий с предварительным сверлением отверстий	$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}$ $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$
Для соединений элементов из плитных материалов гвоздями с диаметром шляпки не менее $2d$: клееная фанера ДВП ДСП или ОСП	$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3}$ $f_{h,k} = 30 t^{0,6} d^{-0,3}$ $f_{h,k} = 60 t^{0,1} d^{-0,7}$
<i>Примечание</i> – Обозначения, принятые в таблице: d – диаметр гвоздя, мм; ρ_k – характеристическое значение плотности древесины, кг/м³; t – толщина плиты, мм	

3.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудования: индикаторы часового типа, машина гидравлическая с торсионным силоизмерением ИП-1000, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая.

Для испытания применяются образцы на нагелях в виде стальных стержней или проволоочных гвоздей (рисунок 3.1), изготовленных из сосновых или еловых досок влажностью $W = 10 \% \dots 15 \%$.

Предварительно производят геометрические измерения и необходимые расчеты, результаты которых сводят в таблицу 3.4.

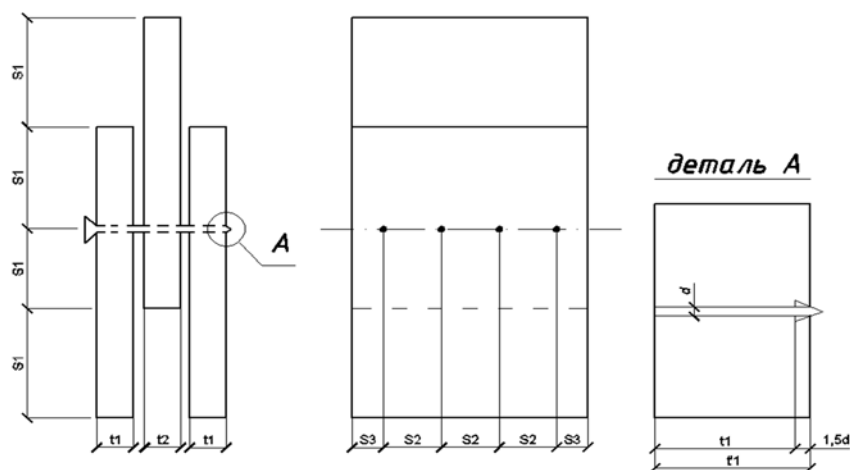
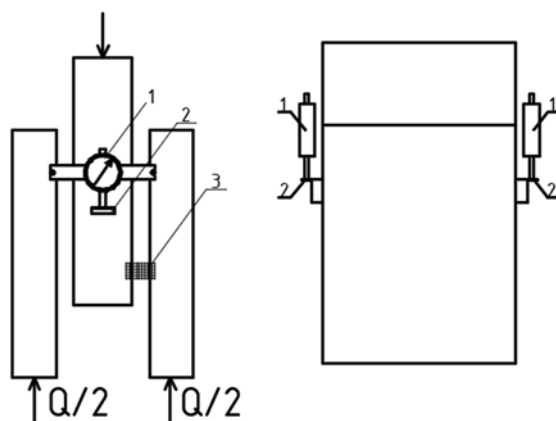


Рисунок 3.1 – Конструкция образца нагельного соединения

Таблица 3.4 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Класс древесины	
2 Влажность	$W =$
3 Температура	$T =$
4 Геометрические размеры, мм:	
диаметр нагеля	$d =$
расчетное число нагелей в ряду	$n_{ef} =$
толщина среднего элемента	$t_2 =$
толщина крайних элементов	$t_1 =$
5 Механические характеристики:	
характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля в соединении	$F_{v,Rk} =$
характеристические значения сопротивлений материала элемента 1	$f_{h1k} =$
характеристические значения сопротивлений материала элемента 2	$f_{h2k} =$
характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении нагеля	$M_{y,Rk} =$
несущая способность соединения	$F_{v,ef,Rd} =$
нагрузка, при которой разрушился образец	$F_{max,exp} =$
полная величина сдвига	$\varepsilon_{v,exp} =$

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 (рисунок 3.2). Ниже индикаторов на швы накладывают полосы 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 $\varepsilon_{v,exp}$.



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

Рисунок 3.2 – 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, снимают отсчеты по индикаторам часового типа.

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.

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 индикаторов строится график зависимости средних значений полной деформации от внешней нагрузки. На графике откладывают несущую

способность соединения $F_{v,ef,Rd}$ и измеряют соответствующую этой нагрузке деформацию сдвига $\varepsilon_{v,d}$.

После этого определяют нагрузку $F_{max,exp}$ при деформации сдвига ε_{max} (деформация при полном использовании расчетной несущей способности соединения).

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

Отчет должен содержать рисунки образца с указанием действительных размеров, таблицы расчетов и испытаний соединения со всеми вычислениями, график зависимости между упругими и остаточными деформациями, график зависимости деформации сдвига нагельного соединения от нагрузки, сравнение экспериментальных данных с теоретическими

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Как определяется расчетная несущая способность соединения на цилиндрических нагелях?
- 3 Как определяется характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля в соединении?
- 4 Опишите материалы, используемые для изготовления образца.
- 5 Как определяют прочностные и деформативные характеристики образца?
- 6 Опишите порядок загрузки и методику испытания образца.
- 7 Как рассчитываются деформации сдвига?
- 8 Какие виды нагелей используются для соединения деревянных элементов?
- 9 Опишите характер разрушения опытного образца.
- 10 Какие приборы используются в лабораторной работе? Их назначение.

4 Лабораторная работа № 4. Испытание клеевого соединения при скалывании вдоль волокон

Цель работы: экспериментально выяснить характер разрушения и определить прочность клеевого соединения; сравнить результаты теоретического расчета с экспериментальными данными.

4.1 Теоретические сведения

Клеевые соединения являются прочными, монолитными и имеют очень малую податливость, которая при расчетах не учитывается. Адгезионные и когезионные связи клеевого соединения и его швов должны быть выше прочности древесины. Клеевые соединения должны разрушаться при нагружении выше предела прочности не по швам и граничным слоям, а по цельной древесине.

Испытания клееных образцов на скалывание вдоль волокон по ГОСТ 15613.1–84 *Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клевого соединения при скалывании вдоль волокон* [2]. Метод предназначен для заводского контроля многослойных изделий или конструкций. При проведении исследовательских работ образцы для испытаний изготавливаются из древесины той же породы и при тех же условиях, как и принятые при изготовлении клееной продукции.

Предел прочности клевого шва определяют по формуле

$$\tau_{\omega} = \frac{P_{разр}}{b \cdot l}, \quad (4.1)$$

где $P_{разр}$ – несущая способность соединения (клевого шва или древесины);

b, l – соответственно длина и ширина площадки скалывания клевого шва и древесины.

Среднюю величину τ_{ω} определяют из испытаний не менее десяти одинаковых образцов. После скалывания вычисляют относительную площадь скалывания по древесине. Также определяют расчетное значение прочности древесины при скалывании вдоль волокон:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (4.2)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации (принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1]);

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе (для данного образца $k_{sys} = 1$);

$f_{v,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон (определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1]);

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий (принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1]).

Клеи должны обеспечивать прочность клеевых соединений при скалывании вдоль волокон древесины по ГОСТ 15613.1–84 через трое суток после склеивания: среднюю – 6,5 МПа, минимальную – 4,5 МПа. При разрушении по древесине экспериментальный предел прочности должен быть не менее расчетного значения прочности древесины при скалывании вдоль волокон.

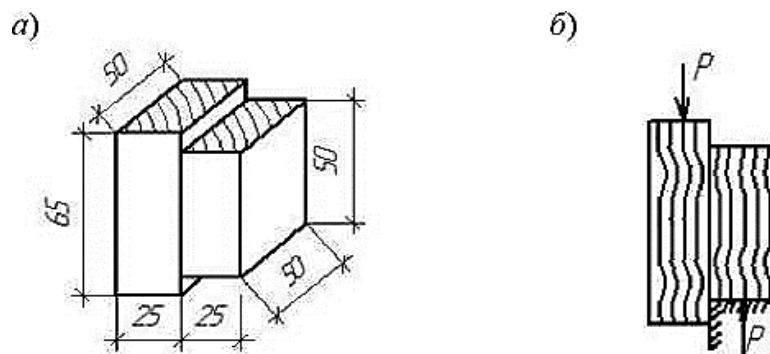
4.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: гидравлический пресс, приспособление для испытаний на скалывание, штангенциркуль, влагомер.

Определение размеров соединения. Изготавливаются образцы формой и размерами согласно рисунку 4.1 так, чтобы скалывание происходило по радиальной плоскости, т. е. плоскость скалывания совпадала с направлением радиуса годовичных слоев. Результаты измерений вносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчетов

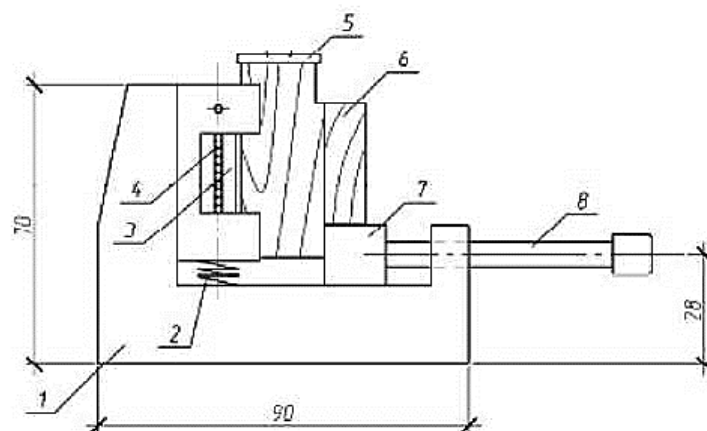
Показатель	Величина
1 Класс древесины	
2 Влажность	$W =$
3 Температура	$T =$
4 Геометрические размеры:	
толщина образца	$b =$
длина площадки скалывания	$l =$
5 Механические характеристики:	
несущая способность соединения	$P_{разр} =$
расчетное значение прочности древесины при скалывании вдоль волокон	$f_{v,d} =$



а – размеры образца; б – схема механического испытания образца

Рисунок 4.1 – Образец для испытания клеевого соединения на скалывание

В каждом образце измеряют ширину и длину меньшего элемента образца скалывания в крайних точках по ожидаемой плоскости скалывания и вычисляют их средние арифметические b и l . Механические испытания образцов проводятся на прессе при помощи специального приспособления (рисунок 4.2).



1 – корпус; 2 – пружина; 3 – подвижная планка; 4 – ролики; 5 – нажимная призма с шаровой опорой; 6 – образец; 7 – подвижная опора; 8 – устройство для прижима

Рисунок 4.2 – Приспособление для испытаний на скалывание

Образец устанавливают в прибор так, чтобы длинная грань образца плотно прилегала через стальную прокладку толщиной 10 мм к опорной стенке прибора. Нагружение производят с постоянной скоростью (300 ± 60) кгс/мин на образец. Разрушающая нагрузка определяется с точностью до 1 кгс. После испытания определяют влажность.

Результаты эксперимента заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Определение прочности клеевого соединения

Марка клея	Площадь склеивания, см ²	Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности, МПа	Характер разрушения	Влажность, %

Определить предел прочности клеевого шва, сравнить с требуемыми прочностными характеристиками.

Отчет должен содержать: рисунки образца с указанием действительных размеров; таблицу с геометрическими и экспериментальными характеристиками; расчеты экспериментальной несущей способности соединения и сравнение с нормативными показателями.

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Какой характер разрушения клеевого соединения при испытании на скалывание и почему?
- 3 Поясните сущность испытаний на прочность клеевых соединений.
- 4 Как определяется предел прочности клеевого соединения?
- 5 Когда и как производится измерение плоскости скалывания?
- 6 Опишите характер разрушения опытного образца.
- 7 Какой клей используется для данного вида соединений?

5 Лабораторная работа № 5. Определение прочности клеевых соединений из древесины при послойном скалывании

Цель работы: проверить на практике качество склеивания заготовок из массивной древесины с целью определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины; изучить требования, предъявляемые к склеиванию древесных материалов и клеевым материалам.

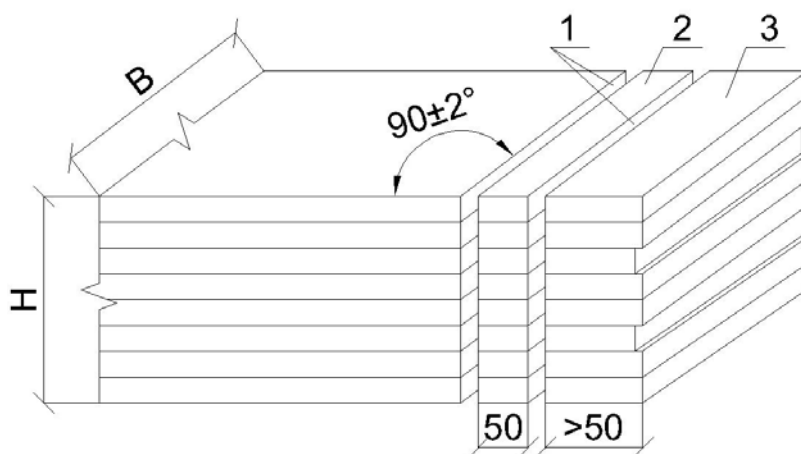
5.1 Теоретические сведения

Оценку прочности клеевых конструкций необходимо производить по результатам контрольных механических испытаний вырезанных из торцов клеевых элементов образцов на послойное скалывание.

Испытания производятся по ГОСТ 9624–2009 *Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании* [3].

Образцы выпиливают из клееных балок до нанесения защитных покрытий по окончании технологической выдержки после распрессовки, совмещая вырезку образцов с торцовкой клееных элементов. Скалыванию подвергают не менее 10 % всех клеевых прослоек образцов, но не менее пяти сечений.

При контроле качества изготовления заготовки для образцов выпиливают из торцевых частей изделий или конструкций при доведении их до проектных размеров (рисунок 5.1). При этом толщина отпада должна быть не менее 50 мм.



1 – пропилы; 2 – заготовка для образцов; 3 – отпад

Рисунок 5.1 – Схема выпиливания заготовки для образцов на послойное скалывание

Заготовки распиливают на образцы в виде прямоугольной призмы сечением $(50 \times 50) \pm 0,5$ мм и высотой H, равной высоте сечения изделия или конструкции. Противоположные плоскости образцов должны быть параллельны между собой, а клеевые прослойки – перпендикулярны плоскости пропила.

Предел прочности при скалывании вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$\tau = \frac{P_{\text{разр}}}{b \cdot l}, \quad (5.1)$$

где $P_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка;

b, l – сечение клеевого соединения.

Показатели прочности при испытании образцов на послойное скалывание (при влажности древесины 8 %...12 %) должны быть для клеевых швов не менее, МПа: средний – 8, минимальный – 6; для древесины не менее: средний – 5, минимальный – 3,2.

В случае разрушения по древесине расчет производить по скалыванию согласно СП 5.05.01–2021 [1].

5.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: гидравлический пресс, приспособление для послойного скалывания, штангенциркуль, влагомер.

Занести в протокол следующие характеристики: класс древесины, наименование и марка клея, толщина и качество слоев древесины в образце.

Усредненные данные о сечении образца по результатам его измерения (соответственно в середине и на концах) с точностью до 0,1 мм также заносятся в протокол. В местах измерений сечения образца определяют его влажность, усредненный показатель которой должен быть отражен в протоколе.

Образцы испытывают на скалывание по клеевым прослойкам или древесины в специальном приспособлении (рисунок 5.2).

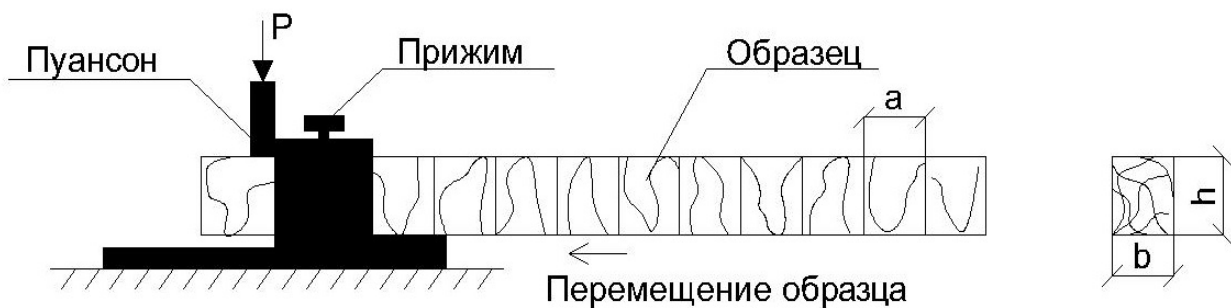


Рисунок 5.2 – Схема испытания образцов на послойное скалывание

Приспособление устанавливают на нижнюю опорную плиту гидравлического пресса. Образец помещают в проем приспособления таким образом, чтобы направление волокон совпадало с направлением приложения нагрузки. Нагрузку на образец передают через пуансон. При помощи прижима образец закрепляют в таком положении, чтобы испытуемое сечение образца было расположено в одной плоскости с задней по ходу подачи образца гранью пуансона. Затем при вертикальном перемещении пуансона образец доводят до разрушения.

Цикл испытаний повторяют для каждого следующего сечения после соответствующего перемещения и закрепления образца.

Испытания проводят при скорости перемещения нагружающей головки 10 мм/мин; величину разрушающей нагрузки $P_{разр}$ и характер разрушения клеевого соединения заносят в протокол (таблица 5.1).

После завершения эксперимента заполняются все графы таблицы 5.1. Производится осмотр поверхностей разрушения, описывается характер разрушения. Рассчитывается предел прочности древесины и клеевого шва при послойном скалывании.

Таблица 5.1 – Результаты испытаний на скалывание

Номер слоя	Разрушающая нагрузка $P_{разр}$, кН		Предел прочности скалывания τ , МПа		Характер разрушения
	Клеевой шов	Древесина	Клеевой шов	Древесина	
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
4					
5					
<i>Примечание</i> – В графы 2 и 4 заносят разрушающую нагрузку и прочность всех сечений, испытываемых для определения прочности клеевых швов, даже при 100-процентном разрушении по древесине					

Отчет должен содержать: рисунки образца с указанием действительных размеров; таблицу с геометрическими и экспериментальными характеристиками; расчеты экспериментальной несущей способности соединения и сравнение с нормативными показателями.

Контрольные вопросы

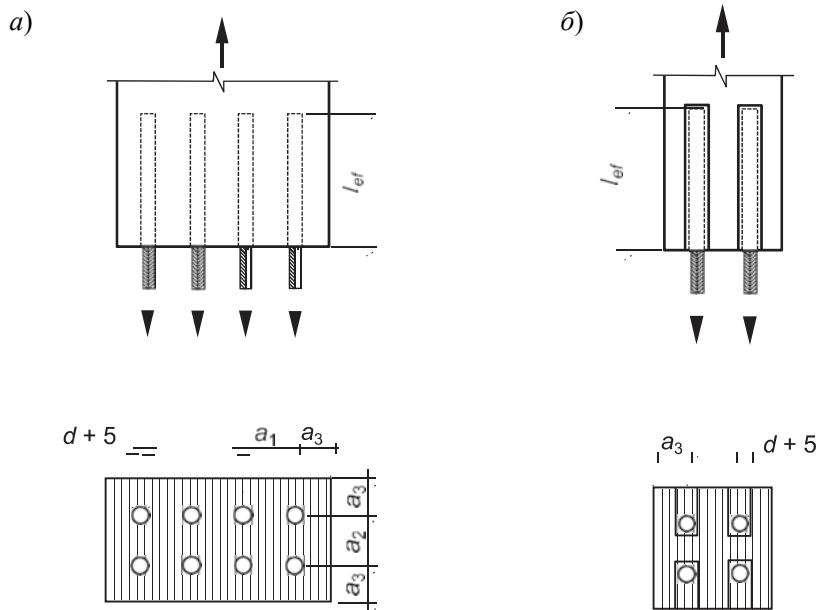
- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Опишите характер разрушения опытного образца.
- 3 Какой клей используется для данного вида соединений?
- 4 Каким образом проводится оценка прочности клеевых образцов?
- 5 От чего зависит количество образцов для испытания на послойное скалывание?
- 6 Каким образом изготавливаются образцы для послойного скалывания?
- 7 Как определяется предел прочности при скалывании?

6 Лабораторная работа № 6. Испытание соединения на клеенных стальных стержнях

Цель работы: определить расчетную несущую способность соединения и сравнить ее с разрушающей нагрузкой; ознакомиться с характером разрушения образца и сравнить его с теоретическим.

6.1 Теоретические сведения

Соединения на стержнях, клеенных вдоль волокон древесины, допускаются только в комбинации с поперечно или наклонно клееными стержнями. Стержни клеиваются в круглые отверстия или прямоугольные пазы на боковых гранях. Диаметр отверстий под стержни должен быть больше на 5 мм диаметра стержня, а глубина паза должна быть равной двум диаметрам стержня d , но не менее чем 25 мм (рисунок 6.1).



a – в цилиндрические отверстия; *б* – в профрезерованные пазы

Рисунок 6.1 – Схемы соединений на стержнях из арматуры периодического профиля, вклеенных вдоль волокон

Диаметр отверстия в древесине должен превышать диаметр вклеиваемого стержня на 5 мм – для арматуры класса S500 и на 2 мм – для арматуры класса S240, круглой стали и стеклопластиковых стержней.

Для вклеивания стержней используют эпоксидные клеи. При температуре окружающего воздуха выше 35 °С или необходимости обеспечения повышенной огнестойкости соединения следует применять эпоксидные клеи специального состава с температурой стеклования 60 °С и выше.

Влажность древесины при вклеивании стержней должна быть в интервале от 8 % до 14 %. Не допускается использовать вклеенные стержни для клееных элементов с компенсационными прорезями, а также в зданиях, относящихся к классу 3 эксплуатации.

Стержни, вклеенные под углом к волокнам менее чем 20°, рассматривают как вклеенные вдоль волокон, под углом 20° и более – как вклеенные под углом к волокнам. Вклеенные поперек волокон стержни являются частным случаем стержней, вклеенных под углом к волокнам.

Характеристическое значение несущей способности вклеенного вдоль волокон стержня в соединении элементов деревянных конструкций, воспринимающего усилия растяжения (выдергивания) или сжатия (продавливания), F_{0Rk} определяют из условия

$$F_{0Rk} = \begin{cases} F_{ax0Rk}; \\ F_{t,Rd}, \end{cases} \quad (6.1)$$

где F_{ax0Rk} – характеристическое значение несущей способности клееного вдоль волокон древесины стержня, воспринимающего в соединении элементов деревянных конструкций усилие растяжения или сжатия, Н; определяют по формуле (6.2);

$F_{t,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности стержня при его осевом растяжении, Н; определяют в соответствии с СП 5.03.01 [4] и СП 5.04.01 [5].

Характеристическое значение несущей способности клееного вдоль волокон древесины стержня в соединении элементов деревянных конструкций при его выдергивании или продавливании F_{ax0Rk} определяют по формуле

$$F_{ax0Rk} = f_{v,ax0k} \cdot d_{ef} \cdot \pi \cdot l_{ef} \cdot k_s, \quad (6.2)$$

где $f_{v,ax0k}$ – характеристическое значение прочности древесины при выдергивании или продавливании стержня в соединении, клееного вдоль волокон, МПа (принимают равным 4,4);

d_{ef} – расчетное значение диаметра клееного стержня, м; принимают равным диаметру отверстия;

l_{ef} – расчетная длина заделываемой части клееного стержня, м; должна быть не менее $10d$ и не более $30d$, здесь d – диаметр клееного стержня;

k_s – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части клееного стержня, определяют по формуле

$$k_s = 1,2 - 0,02 \cdot \frac{l_{ef}}{d}. \quad (6.3)$$

Расчетное значение несущей способности клееного стержня в соединении при его выдергивании или продавливании вдоль волокон древесины F_{ax0Rd} определяют по формуле

$$F_{ax0Rd} = \frac{F_{ax0Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}, \quad (6.4)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 6.1;

γ_M – коэффициент свойств материала или изделий; принимают равным 1,25.

Таблица 6.1 – Значения коэффициента k_{mod} для клеенных стержней

Класс эксплуатации	Класс длительности действия нагрузки				
	Постоянная	Длительная	Среднесрочная	Кратковременная	Мгновенная
1–2	0,53	0,55	0,66	0,78	1,1

Расчетное значение несущей способности соединения на клеенных вдоль волокон стержнях, воспринимающих усилия растяжения или сжатия, F_{0Rd} определяют по формуле

$$F_{0Rd} = F_{ax0Rd} \cdot n_{ef}, \quad (6.5)$$

где n_{ef} – расчетное число клеенных стержней; определяют по формуле

$$n_{ef} = n^{0,9}, \quad (6.6)$$

где n – число стержней, работающих совместно в соединении.

6.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: машина гидравлическая с торсионным силоизмерением МР-500, приспособления для испытаний, штангенциркуль, линейка.

Геометрическая схема образца, его размеры показаны на рисунке 6.2.

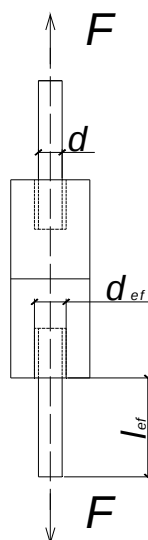


Рисунок 6.2 – Схема испытания образца

Подготовленную к испытаниям конструкцию устанавливают в прессовую установку. Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца (таблица 6.2) перед ее испытанием.

Испытания проводятся при кратковременном машинном нагружении со скоростью не более 0,5 кН/с до разрушения образца.

Отчет должен содержать: рисунки образца с указанием действительных размеров; таблицу с геометрическими и экспериментальными характеристиками; расчеты теоретической несущей способности образца и сравнение с показателем при испытании.

Таблица 6.2 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Геометрические размеры:	
диаметр стержня	$d =$
расчетное значение диаметра клеенного стержня	$d_{ef} =$
расчетная длина заделываемой части клеенного стержня	$l_{ef} =$
количество стержней	$n =$
2 Механические характеристики:	
характеристическое значение несущей способности клеенного вдоль волокон древесины стержня	$F_{ax0Rk} =$
характеристическое значение несущей способности стержня при его осевом растяжении	$F_{t,Rk} =$
характеристическое значение несущей способности клеенного вдоль волокон стержня	$F_{0Rk} =$
расчетное значение несущей способности клеенного стержня в соединении	$F_{ax0Rd} =$
нагрузка, при которой разрушился образец	$F =$

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Арматура какого класса применяется для клеенных стержней?
- 3 Как определяется расчетное значение диаметра клеенного стержня?
- 4 Как определяется расчетная длина заделываемой части клеенного стержня?
- 5 Какие существуют варианты первого предельного состояния для лабораторного образца?
- 6 Для каких классов эксплуатации можно применять соединение на клеенных стержнях?
- 7 Как определяется расчетное число клеенных стержней?
- 8 Для чего нужен коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига?
- 9 Опишите характер разрушения опытного образца.
- 10 Какой клей используется для данного вида соединений?

7 Лабораторная работа № 7. Испытание на поперечный изгиб клееной балки прямоугольного сечения

Цель работы: изучить характер напряженно-деформированного состояния балки; определить модуль упругости древесины; определить расчетную нагрузку балки, сравнить ее с разрушающей; определить величины и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения; определить величины прогибов.

7.1 Теоретические сведения

При проверке элементов постоянного сплошного поперечного сечения (рисунок 7.1), подверженных изгибу только в одной плоскости (изгиб только

относительно оси y или z), и когда приведенная гибкость элемента при изгибе $\lambda_{rel,m} < 0,75$ (исключена потеря устойчивости плоской формы деформирования), должны соблюдаться условия

$$M_{y,Ed} \leq M_{y,Rd}; \quad (7.1)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{z,Rd}; \quad (7.2)$$

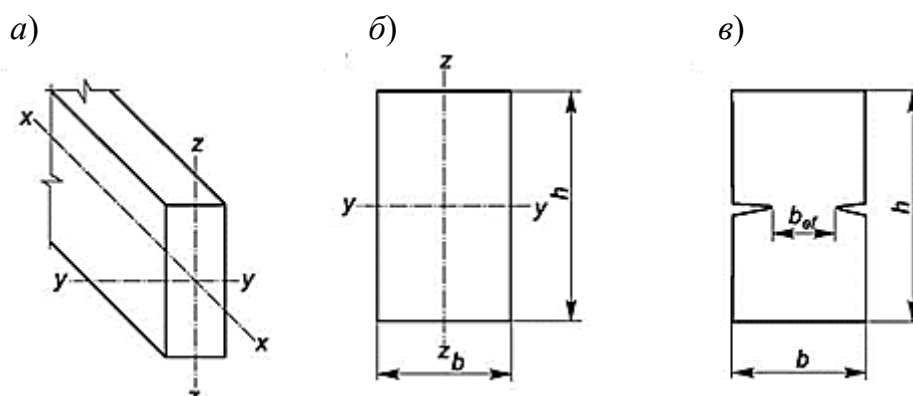
$$M_{Ed} \leq M_{Rd}, \quad (7.3)$$

где $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ – расчетные значения изгибающего момента в сечении элемента, если изгиб происходит только относительно осей y и z соответственно, обусловленного внешними воздействиями;

$M_{y,Rd}$, $M_{z,Rd}$ – расчетные значения сопротивления в нормальном сечении элемента, подверженного изгибу относительно осей y и z соответственно;

V_{Ed} – расчетное значение сдвигающего усилия в сечении изгибаемого элемента, обусловленного внешним воздействием;

V_{Rd} – расчетное значение сопротивления сдвигу в сечении изгибаемого элемента.



a – ориентация системы координат в сечении фрагмента; b – поперечное сечение прямоугольной балки; c – поперечное сечение балки с поверхностной трещиной

Рисунок 7.1 – Сечение и схема фрагмента балки

Расчетные значения сопротивления элемента изгибу относительно осей y и z следует определять по формулам

$$M_{y,Rd} \leq f_{m,y,d} W_{y,d}; \quad (7.4)$$

$$M_{z,Rd} \leq f_{m,z,d} W_{z,d}, \quad (7.5)$$

где $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$ – расчетные значения прочности древесины при изгибе относительно осей y и z соответственно;

$W_{y,d}$, $W_{z,d}$ – расчетные значения моментов сопротивления поперечного сечения элемента относительно осей y и z соответственно.

Расчетные значения прочности древесины при изгибе элемента относительно осей y и z определяют по формулам

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_{hfm,k}}{\gamma_M}; \quad (7.6)$$

$$f_{m,z,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_{bfm,k}}{\gamma_M}, \quad (7.7)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе; определяют в соответствии с 5.6.3 СП 5.05.01–2021 [1];

k_h, k_b – коэффициенты, определяемые по формулам (5.34) и (5.35) СП 5.05.01–2021 [1] для высоты h сечения элемента, если изгиб элемента происходит относительно оси y , а если относительно оси z , то за высоту сечения принимают ширину b ;

$f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе при изгибе элемента; определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1] для соответствующего материала;

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1].

Расчетное значение сопротивления сдвигу в сечении изгибаемого элемента V_{Rd} следует определять по формуле

$$V_{Rd} = \frac{J_{br} b_{ef} f_{v,d}}{S_{br}}, \quad (7.8)$$

где J_{br} – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

b_{ef} – расчетное значение ширины сечения элемента;

$f_{v,d}$ – расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон при изгибе элемента;

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

Расчетное значение ширины поперечного сечения изгибаемого элемента b_{ef} определяют исходя из возможного появления в процессе эксплуатации поверхностных трещин на уровне нейтральной оси (см. рисунок 7.1, в) по формуле

$$b_{ef} = bk_{cr}, \quad (7.9)$$

где b – ширина поперечного сечения изгибаемого элемента (см. рисунок 7.1, в);
 k_{cr} – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления сечения сдвигу из-за возможного образования поверхностных трещин в опорных сечениях, принимают равным 0,67 для балок, прогонов из пиломатериала и клееной древесины.

Расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон в изгибаемых элементах f_{yd} определяют по формуле

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}k_{sys}f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (7.10)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации; принимают по таблице 5.4 СП 5.05.01–2021 [1];
 k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе; определяют согласно 5.6.3 СП 5.05.01–2021 [1];

$f_{v,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон или материала на ее основе; определяют по разделу 6 СП 5.05.01–2021 [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице 5.6 СП 5.05.01–2021 [1].

При проверке прогибов изгибаемых элементов (балки, плиты перекрытий и покрытий), запроектированных из древесины или материалов на ее основе, должно соблюдаться условие

$$U_{Ed} \leq U_{Cd}, \quad (7.11)$$

где U_{Ed} – расчетное значение прогиба элемента в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности, определяемое на основе расчета;

U_{Cd} – предельно допустимое значение прогиба элемента (для лабораторного образца принимается равным 1/200 пролета балки).

При определении прогиба U_{Ed} изгибаемого лабораторного образца от действия нагрузки должны учитываться следующие его составляющие:

– начальный прогиб U_{inst} (прогиб, который возникает непосредственно при приложении расчетной нагрузки);

– прогиб от ползучести материала U_{creep} (прогиб, который возникает с течением времени при действии сочетания нагрузок, приводящих к проявлению эффекта ползучести).

Таким образом, для данного лабораторного образца

$$U_{Ed} = U_{inst} + U_{creep}. \quad (7.12)$$

Начальный прогиб U_{inst} изгибаемого элемента сплошного сечения следует определять с использованием характеристического сочетания нагрузок, среднего значения модуля упругости E_{0mean} и среднего значения модуля сдвига G_{mean} материала. Для элементов из цельной и клееной древесины допускается принимать $G_{mean} = E_{0mean}/16$, а для элементов, изготовленных из материалов на основе древесины, эти значения следует принимать из соответствующих стандартов на эти материалы.

Начальный прогиб U_{inst} для дощатоклееных балок прямоугольного сечения следует определять по формуле

$$U_{inst} = \frac{U_0}{k_{h1}} \cdot (1 + k_v \cdot (\frac{h_{max}}{l})^2 \cdot \frac{E_{0mean}}{G_{0mean}}), \quad (7.13)$$

где k_{h1} – коэффициент, учитывающий переменность высоты поперечного сечения ($k_{h1} = 1$);

k_v – коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы ($k_v = 0,96$);

h_{max} – максимальное значение высоты сечения балки;

l – пролет балки;

E_{0mean} – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон для дощатоклееных балок;

G_{0mean} – среднее значение модуля сдвига древесины для дощатоклееных балок;

U_0 – начальный прогиб балки без учета влияния переменности высоты сечения и деформаций сдвига; определяют в зависимости от типа балки, схемы опирания и закона распределения нагрузки по длине рассчитываемого элемента:

$$U_0 = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_k l^3}{E_{0mean} J_{max}}, \quad (7.14)$$

где F_k – разрушающая нормативная нагрузка;

J_{max} – момент инерции поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

l – пролет балки;

E_{0mean} – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон для дощатоклееных балок.

Для конструкций, содержащих элементы и соединения, обладающие одинаковой ползучестью, начальную деформацию U_{inst} и деформацию ползучести U_{creep} под воздействием постоянной нагрузки в течение всего срока службы здания следует определять по формуле

$$U_{creep} = k_{def} U_{inst}, \quad (7.15)$$

где k_{def} – коэффициент деформации, значение которого зависит от типа материала, подверженного воздействию, и влажности; принимают по таблице 5.5 СП 5.05.01–2021 [1] в зависимости от класса эксплуатации.

7.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: машина гидравлическая с торсионным силоизмерением МАТЕСТ С091-03N, индикаторы, тензорезисторы, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая.

Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца перед его испытанием, а также расчетные параметры в процессе испытания (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Класс древесины	
2 Влажность	$W =$
3 Температура	$T =$
4 Геометрические размеры:	
ширина сечения	$b =$
высота поперечного сечения	$h =$
расчетный пролет	$l =$
толщина слоя	$\delta =$
расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента относительно оси y	$W_{y,d} =$
момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси	$J_{br} =$
статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси	$S_{br} =$
расчетное значение ширины сечения элемента	$b_{ef} =$
5 Механические характеристики:	
расчетное значение прочности древесины при изгибе относительно оси y	$f_{m,y,d} =$
расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон при изгибе элемента	$f_{v,d} =$
расчетное значение прогиба элемента в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности	$U_{Ed} =$
среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон для дощатоклееных балок	$E_{0mean} =$
среднее значение модуля сдвига древесины для дощатоклееных балок	$G_{0mean} =$
начальный прогиб балки без учета влияния переменности высоты сечения и деформаций сдвига	$U_0 =$
начальный прогиб	$U_{inst} =$

Испытание 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 три индикатора (рисунок 7.2): 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

$$u_{i-j} = u_c - \left(\frac{u_r + u_l}{2} \right). \quad (7.16)$$

Балку нагружают равномерно возрастающей нагрузкой со скоростью (6 ± 1) кН/мин. При достижении нагрузки 4,5 кН балку равномерно разгружают до 1 кН. При последующих четырех нагружениях в момент достижения нагрузки $Q_{inf} = 1$ кН (нижняя нагрузка) и $Q_{sup} = 4,5$ кН (верхняя нагрузка) по индикаторам снимают отсчеты и записывают в журнал (таблица 7.2).

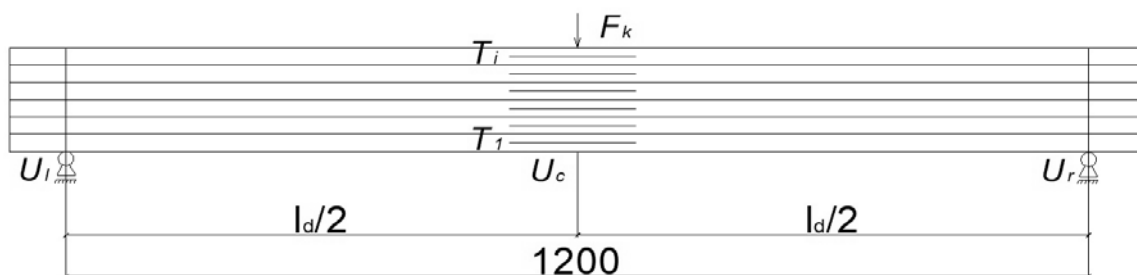


Рисунок 7.2 – Конструкция и схема испытаний

Таблица 7.2 – Определение модуля упругости

Цикл	Степень нагружения	Показание индикатора			$\frac{u_r + u_l}{2}$	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)				$u_{inf,mid}$			—
				$u_{sup,mid}$			—
				$u_{mid} = u_{sup,mid} - u_{inf,mid}$			

Для определения прогибов и нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балку нагружают равномерно возрастающей нагрузкой со скоростью (6 ± 1) кН/мин ступенями 0,5 кН. 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 (таблицы 7.3 и 7.4). 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 7.3.

В координатах Q_i-u_0 строят графики теоретических и экспериментальных прогибов.

Относительные деформации на боковой грани балки определяют по тензорезисторам T_1-T_i (см. рисунок 7.2). Отсчеты по тензорезисторам снимают только при нулевой и расчетной нагрузках.

Таблица 7.3 – Определение прогибов балки

Нагрузка, кН	Отсчет по индикатору			$\frac{u_r + u_l}{2}$	$u_{0,i,exp}$	$u_{0,i,calc}$
	u_c	u_r	u_l			
0						
0,5						
1						
...						
Q_d						

Таблица 7.4 – Определение напряжений в поперечном сечении балки

Показатель	Отсчет			
	№ 1	№ 2	...	№ 9
Нагрузка, кН, $Q_{i,d} =$ $Q_d =$				
Относительная деформация $\xi_i 10^{-4} \%$				
Напряжения $\sigma_{i,exp}$, МПа				
Напряжения $\sigma_{i,calc}$, МПа				

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

По экспериментальным и теоретическим данным строят эпюры нормальных напряжений $\sigma_{i,d}$ и $\sigma_{i,calc}$.

Отчет должен содержать: рисунки образца с указанием действительных размеров; таблицу с геометрическими механическими и деформационными характеристиками; расчёты теоретических механических и деформационных характеристик и их сравнение с экспериментальными показателями; графики

теоретических и экспериментальных прогибов от нагрузки; эпюры нормальных напряжений по высоте сечения $\sigma_{i,d}$ и $\sigma_{i,calc}$.

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Как определяется расчетная нагрузка на балку?
- 3 Как находят скалывающие напряжения?
- 4 Как находят прогиб балки?
- 5 Как определяют прочностные и деформативные характеристики образца?
- 6 Опишите порядок загрузки и методику испытания образца.
- 7 Какие условия должны соблюдаться при изготовлении и испытании образцов?
- 8 Как находят модуль упругости древесины?
- 9 Опишите характер разрушения опытного образца.
- 10 Как определяют относительные деформации балки?
- 11 Изобразите эпюру нормальных напряжений по высоте сечения.
- 12 Какие приборы используются в лабораторной работе? Их назначение.

8 Лабораторная работа № 8. Испытание композитной арматуры

Цель работы: определить экспериментальную несущую способность, модуль упругости и относительное удлинение при разрушающей нагрузке лабораторного образца из композитной арматуры и сравнить их с заводскими показателями для данного материала; ознакомиться с характером разрушения образца.

8.1 Теоретические сведения

Если подвергнуть образец растяжению, последовательно увеличивая нагрузку P , и производить при этом замеры получающихся относительных удлинений ϵ , то можно построить опытную диаграмму растяжения, откладывая удлинение в функции нагрузки. Для удобства сравнения эту диаграмму выражают в напряжениях и относительных удлинениях.

Предел прочности при растяжении (максимальное напряжение для образца) вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad (8.1)$$

где P – разрушающая нагрузка;

A – номинальная площадь поперечного сечения, мм².

Начальный модуль упругости E_f , МПа, вычисляют по формуле

$$E_f = \frac{P_1 - P_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)A}, \quad (8.2)$$

где P_1 – нагрузка, составляющая $(50 \pm 2) \%$ разрушающей нагрузки, Н;

P_2 – нагрузка, составляющая $(20 \pm 2) \%$ разрушающей нагрузки, Н;

ε_1 – относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_1 ;

ε_2 – относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_2 .

Относительные удлинения при ε_1 и ε_2 , вычисляют по формуле

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (8.3)$$

где Δl – удлинение образца, мм;

l_0 – первоначальная длина образца, мм.

Относительное удлинение при разрушающей нагрузке ε_B , вычисляют по формуле

$$\varepsilon_B = \frac{P}{E_f \cdot A}. \quad (8.4)$$

Величина относительного удлинения зависит от длины и поперечного сечения образца.

Вначале зависимость между напряжениями и относительными удлинениями определяется законом прямой линии, т. е. они пропорциональны между собой. Это выражается линейным уравнением (зависимость Гука). Наибольшее напряжение в материале, при котором начинается отклонение от прямолинейной зависимости, называется пределом пропорциональности.

Предельная сопротивляемость материала, которая характеризует его прочность, определяется наибольшим условным напряжением в процессе разрушения (отнесенным к первоначальной площади сечения образца). Это напряжение называется временным сопротивлением (пределом прочности). Полное остаточное удлинение, замеренное после разрушения, является мерой пластичности материала. Поскольку модуль пластических деформаций, то в теоретических исследованиях, при рассмотрении упругопластической работы, его часто приравнивают нулю. Таким образом, важнейшими показателями механических свойств, характеризующими работу материала, являются временное сопротивление и относительное удлинение. Эти показатели, так же как и химический состав, указываются в сертификатах, которые сопровождают каждую партию поставляемой композитной арматуры.

8.2 Методика проведения испытаний

Приборы и оборудование: машина гидравлическая с торсионным силоизмерением МР-500, приспособления для испытаний, штангенциркуль, линейка.

Длину испытываемых образцов следует принимать из условий, чтобы разрыв образца происходил в пределах длины рабочего участка без проскальзывания. За рабочий участок принята часть образца, которая находится между испытательными муфтами, предназначенными для зажима образцов захватами испытательной машины. Полная длина образца определяется суммой длин рабочего участка, которую следует принимать не менее 40 см, и длиной двух испытательных муфт.

При установке образца на испытательную машину следует обеспечивать точность совпадения приложения нагрузки с продольной осью образца.

Деформации следует регистрировать до уровня нагрузок, составляющих не менее 50 % предела прочности при растяжении.

Путем обмера определяют необходимые для расчета фактические геометрические размеры образца перед его испытанием, а также расчетные параметры в процессе испытания (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – Результаты измерений и расчетов

Показатель	Величина
1 Геометрические размеры:	
первоначальная длина образца	$l_0 =$
диаметр образца	$d =$
номинальная площадь поперечного сечения	$A =$
2 Механические характеристики:	
нагрузка, составляющая (50 ± 2) % разрушающей нагрузки	$P_1 =$
нагрузка, составляющая (20 ± 2) % разрушающей нагрузки	$P_2 =$
разрушающая нагрузка	$P =$
начальный модуль упругости	$E_f =$
предел прочности при растяжении	$\sigma =$
3 Деформационные характеристики:	
относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_1	$\varepsilon_1 =$
относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_2	$\varepsilon_2 =$
относительное удлинение при разрушающей нагрузке	$\varepsilon_B =$

Испытания проводятся при кратковременном машинном нагружении со скоростью не более 0,5 кН/с до разрушения образца.

Отчет должен содержать: рисунки образца с указанием действительных размеров; таблицу с геометрическими механическими и деформационными

характеристиками; расчеты механических и деформационных характеристик и их сравнение с заводскими показателями; диаграмму зависимости между напряжениями и деформациями.

Контрольные вопросы

- 1 Какие цели и задачи настоящей работы?
- 2 Что такое зависимость Гука?
- 3 Как рассчитывают напряжения в растянутом образце?
- 4 Что такое относительное удлинение?
- 5 Опишите последовательность проведения испытаний.
- 6 Какие показатели являются основными для композитной арматуры?
- 7 Как определяется расчетное число вклеенных стержней?
- 8 Что из себя представляет диаграмма зависимости между напряжениями и деформациями для композитной арматуры?

Список литературы

- 1 **СП 5.05.01–2021.** – Введ. 01.06.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 115 с.
- 2 **ГОСТ 15613.1–84.** Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон. – Москва: Гос. комитет СССР по стандартам, 1984. – 8 с.
- 3 **ГОСТ 9624–2009.** Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 18 с.
- 4 **СП 5.03.01–2020.** Бетонные и железобетонные конструкции. – Переизд. (март 2022 г.) с изм. № 1 (введ. в действие с 20.05.2022 г. постановлением Минстройархитектуры от 15.03.2022 г., № 33). – Введ. 16.09.2020 (с отменой СНиП 2.03.01–84 и СНБ 5.03.01–02). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 244 с.
- 5 **СП 5.04.01.** Стальные конструкции. – Введ. 01.10.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 153 с.