Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
Армавирский механико-технологический институт

Кафедра машиностроения

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов всех форм обучения направления 08.03.01 Строительство
(профиль «Промышленное и гражданское строительство»)

Армавир
2021

Составитель: Е.С. Гейценредер

Конструкции из дерева и пластмасс: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения направления 08.03.01 Строительство (профиль «Промышленное и гражданское строительство») / Сост.: Е.С. Гейценредер; Арм. мех.-технол. ин-т. Кафедра машиностроения. – Армавир, 2021. – 58 с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» предназначены для студентов направлений бакалавриата. Включают описание семи лабораторных работ. Каждой лабораторной работе предшествует краткая теоретическая часть. Рассмотрено механические испытания древесины, испытания лобовой врубки, двухсрезного стыка на цилиндрических нагелях, клееной и клеефанерной балок, составной балки на металлических зубчатых пластинах и двутавровой балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты.

Рецензенты: канд. техн. наук, проф. кафедры СК КубГТУ В.П. Починок;
канд. техн. наук, доц. кафедры МС АМТИ О.А. Сумская;
главный специалист ООО «ДСУ №4» В.В. Нечаев

© АМТИ, 2021

Содержание

Правила техники безопасности …….. 4
Лабораторная работа №1. Механические испытания древесины ……... 5
Лабораторная работа №2. Испытания лобовой врубки …..……. 20
Лабораторная работа №3. Испытание двухсрезного стыка на цилиндрических нагелях (на гвоздях) ……..…….. 28
Лабораторная работа №4. Испытание клееной балки ……..… 32
Лабораторная работа №5. Испытание клеефанерной балки …..…….. 39
Лабораторная работа №6. Испытание составной балки на металлических зубчатых пластинах …….. 45
Лабораторная работа №7. Испытание двутавровой балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты ……..……. 52
Список рекомендуемой литературы 57

Правила техники безопасности

1. Проведение цикла работ разрешается только после проведения со студентами инструктажа по технике безопасности. К лабораторным работам допускаются студенты, показавшие, по результатам собеседования, достаточную теоретическую подготовку и имеющие соответствующее методическое обеспечение.

2. Помещение лаборатории должно быть оборудовано вентиляцией и соответствовать требованиям санитарных норм и правил.

4. При выполнении лабораторных работ по испытанию материалов в соединении следует иметь в виду, что работы проводятся на мощном гидравлическом прессе, и в процессе работы образцы разрушаются. В связи с этим при испытаниях следует быть особенно осторожным и внимательным. К работе на прессе студенты допускаются только по назначению, под ответственность и под наблюдением преподавателя, ведущего занятие. Ступени приложения нагрузки задаются и контролируются преподавателем. Индикаторы устанавливаются только снизу для избежания их повреждения при резком разрушении и таким образом, чтобы снимать показания с них можно было с безопасного расстояния. При работе пресса в рабочей зоне находится только необходимое число студентов и обязательно преподаватель, ведущий занятие, который следит за поведением образца и предупреждает работающих о возможном характере разрушения и его характерных признаках (потрескивание, образование площадки смятия, изгиб, чрезмерные деформации). При нетипичном характере разрушения (перекос, растрескивание, ползучие деформации) испытания прекращаются, и образец заменяется.

Подготовку образцов проводит преподаватель или лаборант.

Подготовкой соединений занимаются сами студенты во время занятий в специально отведенном месте, под руководством преподавателя с соблюдением мер безопасности при пользовании ацетоном, клеем, молотком, дрелью.

5. Электрооборудование, аппаратура, электропроводка и заземляющие устройства в лаборатории должны быть в исправном состоянии. Все приборы, работающие под напряжением, должны быть заземлены.

6. Лаборатория должна быть обеспечена аптечкой для оказания первой помощи при порезах, ожогах, отравлениях. Медикаменты необходимо постоянно обновлять в установленные сроки.

7. Разрушенные образцы сдаются в конце занятия преподавателю. Мусор должен регулярно удаляться в контейнеры с плотно закрывающимися крышками и установленными на специальных площадках не ближе 30 метров от производственных и жилых зданий.

8. При возникновении пожара необходимо закрыть окна, отключить вентиляцию, приступить к тушению пожара и вызвать пожарную охрану,

позвонив по городскому телефону по номерам "01", «101», «112» или с мобильного телефона (для всех операторов) по номерам «101», «112» (номер «112» – единый номер экстренных служб).

9. Запрещается применять воду для тушения горящих веществ, не смешивающихся с водой (бензол, бензин, скипидар, масло и др.). Для тушения этих веществ применяется песок, можно использовать кошму или лист асбеста, которыми накрывают пламя.

10. Перед началом работы каждый студент обязан:

1) подготовить рабочее место, освободив его от ненужных предметов;

2) ознакомиться со свойствами веществ, с которыми нужно проводить работы;

3) подготовить средства индивидуальной защиты, необходимые для выполнения работ;

4) проверить наличие защитных заграждений на оборудовании и приборах.

11. Рабочее место должно иметь достаточную освещенность, проходы должны быть свободными.

12. При работе с электрооборудованием лаборатории запрещается:

1) ремонтировать электрооборудование, вскрывать электрораспределительные коробки. В случае обнаружения неисправности электрооборудования необходимо обратиться к преподавателю;

2) прикасаться к электрораспределительным щитам, арматуре общего освещения, электропроводам;

3) производить какие-либо работы, связанные с разбрызгиванием жидкости вблизи работающего электрооборудования;

4) запрещается включать приборы в сеть с напряжением, не соответствующим указанному на приборе.

13. После окончания работ в лаборатории необходимо выполнять следующие требования:

1) убрать свое рабочее место, навести порядок и чистоту;

2) средства индивидуальной защиты поместить в специально отведенный шкаф;

3) тщательно вымыть руки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Цель работы: исследования прочностных характеристик древесины при механических испытаниях.

Задачи работы: Ознакомление с методами:

– определения предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон,

– определения предела прочности древесины при сжатии поперек волокон,

– определения предела прочности древесины при растяжении вдоль волокон,

– определения предела прочности при скалывании вдоль волокон;

– определения предела прочности древесины при статическом изгибе.

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудование: линейка, штангенциркуль, испытательная машина Р-5, электронный влагомер ЭВ-2М, весы с точностью измерения не менее 0,01 г, сушильный шкаф, образцы древесины. Грани образцов должны быть гладко выстроганы или опилены (рисунок 1.1). Годовые слои на торцовых поверхностях должны быть параллельны одной паре противоположных граней и перпен-дикулярны другой. Смежные грани должны быть выполнены под прямым углом. Отклонения от номинальных размеров образца допускаются не более ±0,5мм.

Образцы не должны иметь видимых пороков и дефектов.

Заготовки для образцов получают путем выкалывания (а не выпиливания), чтобы не допустить перерезания волокон. Рабочая часть должна захватывать как можно больше годичных слоев, поэтому ее широкая грань совпадает с радиальным направлением. Допускается изготовлять образцы с наклеенными головками.

Для уменьшения смятия головок в зажимах машины используют стальные цилиндрические пробки следующих размеров, мм: диаметр 9,9; длина 18.

Общий теоретический материал

Основным механическим свойством древесины является прочность, которая зависит от направления действующей нагрузки, породы дерева, плотности, наличия пороков.

Древесина вследствие волокнистого строения отличается высокой прочностью при растяжении и сжатии вдоль волокон и значительно меньшей — поперек волокон. У хвойных пород предел прочности при сжатии вдоль волокон в 10-12 раз больше, чем поперек, а у лиственных — в 5-8 раз. Механическая прочность древесины в значительной степени зависит от объемной массы; с увеличением объемной массы древесины повышается прочность.

Прочность зависит от влажности — с повышением влажности она уменьшается. На прочность древесины оказывает влияние лишь изменение количества гигроскопической влаги. При повышении влажности выше точки насыщения волокон прочность древесины практически не уменьшается.

Прочность древесины характеризуется пределом прочности, т.е. напряжением, равным отношению наибольшей нагрузки, предшествовавшей разрушению образца, к первоначальной площади его сечения. Деформация древесины может быть различной не только в зависимости от величины действующих сил, но и от продолжительности их воздействия. Так, при кратковременном воздействии определенной силы деформация может быть упругой, а при длительном воздействии той же силы — остаточной и тем большей, чем длительнее воздействие.

Во многих деревянных конструкциях древесина работает на сжатие, смятие, скалывание, изгиб и реже на растяжение как вдоль, так и поперек волокон. В связи с этим древесину испытывают, главным образом, на сжатие вдоль и поперек волокон, на скалывание и изгиб.

Факторы, влияющие на механические свойства древесины

Общая тенденция состоит в том, что чем плотнее древесина, тем большую прочность она имеет. Плотность и прочность древесины возрастают, если лес растет на возвышенных местах и песчаных почвах.

Повышение влажности до предела гигроскопичности (до 30%) понижает механические свойства древесины. Высушивание же древесины на 1% (в пределах изменения влажности от 20 до 8%) повышает ее сопротивление сжатию и изгибу на 4%, растяжению — на 1%.

Пороки древесины понижают ее прочность.

Пороками называют недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможности использования.

Дефектами называют пороки механического происхождения, возникающие в древесине в процессе заготовки, транспортировки, сортировки, штабелевки и обработки.

Ввиду наличия пороков прочность бруса или доски не может быть оценена по результатам испытания малых чистых образцов. Поэтому в отличие от других материалов сорта лесоматериалов устанавливают не по прочности образцов, а на основании оценки характера, размеров и количества пороков.

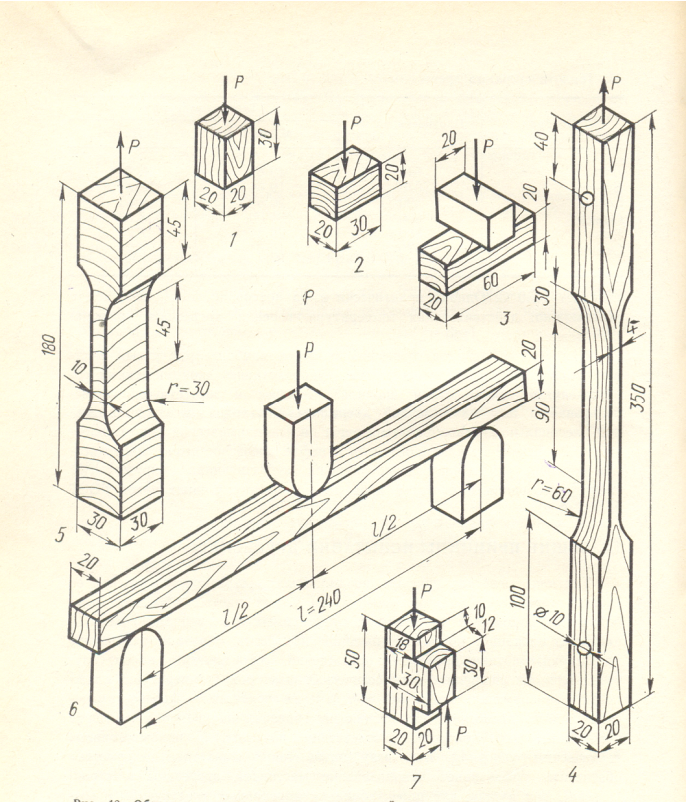
Задание 1. Определение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон.

Теоретический материал

В конструкциях и изделиях древесина часто работает на сжатие вдоль волокон, что объясняется ее высокой прочностью при этом виде действия усилий и удобством их приложения.

Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон сильно зависит от влажности. Прочность комнатно-сухой древесины в 2…2,5 раза выше, чем свежесрубленной. В среднем для всех изученных пород при влажности древесины 12 % предел прочности на сжатие вдоль волокон составляет около 50 МПа.

Для определения предела прочности применяют самые простые образцы (рисунок 1.1.1).



1 – сжатие вдоль волокон; 2 – сжатие поперек волокон; 3 – место не смятие поперек волокон; 4 – растяжение вдоль волокон; 5 – растяжение поперек волокон (радиальное); 6 – статический изгиб; 7 – скалывание вдоль волокон (тангенциальное)

Рис. 1.1.1 Образцы и схемы основных испытаний древесины на прочность

У образцов легко деформируемой древесины, а также с высокой влажностью наблюдается смятие торцов. У образцов древесины повышенной жесткости при разрушении появляется косая складка, обычно расположенная под углом 60…70° на тангенциальной поверхности образца. Довольно часто у разрушенного образца можно обнаружить две встречные косые складки, образующие клиновидный участок, под которым видна трещина от продольного раскола. Иногда наблюдается расслоение образца и другие виды разрушения. Все это свидетельствует о существовании влияния особенностей строения и анизотропии механических свойств древесины на показатели прочности при сжатии вдоль волокон.

Предел прочности при влажности W σ_W, МПа, с точность до 0,5 МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma_W = \frac{P_{\max}}{(ab)}, \qquad (1.1.1)$$

где P_{max} – разрушающая нагрузка, Н;

а и b – размеры поперечного сечения образца, мм.

Предел прочности при нормализованной влажности σ_{12}, МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1+\alpha(W - 12)], \qquad (1.1.2)$$

где α – поправочный коэффициент на влажность, (для всех пород α = 0,04);

W – влажность образца в момент испытания, %.

В таблице 1.1.1 приведены пределы прочности древесины.

Таблица 1.1.1 Прочность древесины при сжатии вдоль волокон при влажности 12% (Центральные районы Европейской части России)

Порода	Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа
Сосна	116
Ель	109
Дуб	105
Береза	110
Осина	133
Вяз	–
Ясень	–

Порядок проведения работы

Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон выполняют на образцах в виде прямоугольной призмы сечением 20 х 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм (рис. 1.1.2).

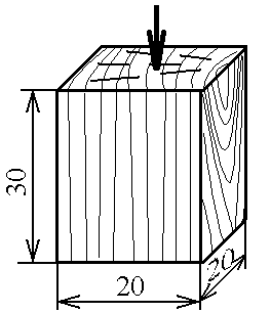


Рис. 1.1.2 Образец для испытания на сжатие вдоль волокон

Перед испытанием определяют с помощью электронного влагомера ЭВ-2М влажность образца (можно воспользоваться результатом определения влажности древесины, который был получен на аналогичном образце, хранившемся в одинаковых условиях) и измеряют размеры сечения образца (в середине его длины) штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. При испытании образца скорость подачи, нагрузки должна быть равномерной 25000±5000 Н/мин в течение всего времени испытания. Нижняя опорная плита ма-шины должна иметь шаровую опору. В случае отсутствия таковой необходимо применять переносное приспособление, имеющее шаровую опору. Испытание ведут до разрушения образца.

Предел прочности при сжатии σ_W вдоль волокон при данной влажности древесины вычисляют по формуле (1.1.1).

Подготавливают журнал наблюдения (табл. 1.1.2).

Таблица 1.1.2 Протокол испытаний на сжатие вдоль волокон

Маркировка Образца	Порода	Скорость нагружения, мм/м	Размеры поперечного сечения		Макс. нагрузка, P_{max}, Н	Влажность, %, W	Предел прочности, МПа		Характер деформаций образца
			a	b			σ_w	σ_{12}	

Производят маркировку образца: нумеруют полученный образец двумя большими буквами, характеризующими фамилии студентов, выполняющих совместно эту работу;

– определяют породу древесины, используя определитель пород;

– измеряют штангенциркулем на средине образца размеры поперечного сечения;

– устанавливают скорость нагружения машины – 4 мм/мин;

– устанавливают на штанге маятника сменные грузы А…Г;

– устанавливают образец в специальном приспособлении между опорными плоскостями машины;

– включают машину и доводят нагружение до разрушения образца;

– снимают показания по шкале «Г» нагрузку P_{max} с точностью до цены деления шкалы;

– определяют характер деформации;

– определяют влажность образца весовым методом.

Обработка результатов

– определяют по формуле 1.1.1 предел прочности;

– определяют по формуле 1.1.2 предел прочности при нормализованной влажности;

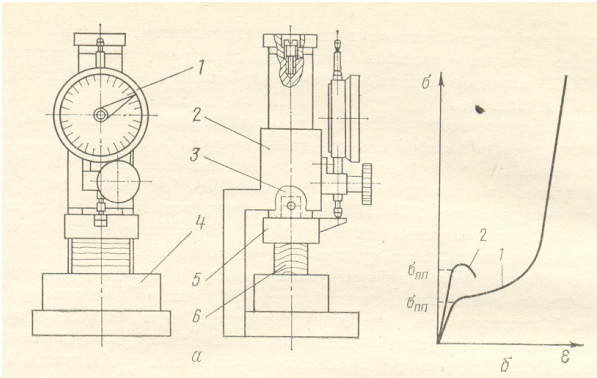
– формулируют выводы.

Задание №2. Определение предела прочности древесины при сжатии поперек волокон.

Теоретический материал

В конструкциях и изделиях древесина также часто работает на сжатие поперек волокон, что объясняется не столько ее прочностью (она для всех пород в среднем примерно в 10 раз меньше предела прочности при сжатии вдоль волокон), сколько необходимостью ее использования (шпалы, балки мостов и т.д).

В зависимости от особенностей микроскопического строения древесина по-разному сопротивляется действию усилий, приложенных в радиальном и тангенциальном направлениях поперек волокон (рисунок 1.2.1).



а – приспособление для испытания; 1 – индикатор; 2 – корпус; 3 – шток; 4 – подставка; 5 – съемный пуансон; 6 – образец; б – диаграмма сжатия древесины поперек волокон; 1 – трехфазная; 2 – однофазная

Рисунок 1.2.1 Испытания древесины на сжатие поперек волокон

Трехфазная диаграмма наиболее четко выражена при сжатии древесины хвойных пород в радиальном направлении. Начальный, почти прямолинейный участок (первая фаза) этой диаграммы отражает сопротивление слабой ранней древесины годичных слоев. После потери устойчивости элементов происходит процесс их смятия, не требующего больших дополнительных усилий, и на диаграмме появляется второй, слегка наклонный к оси абсцисс участок (вторая фаза). Постепенно начинают оказывать сопротивление более прочные и жесткие анатомические элементы поздних зон, что отражено участком, расположенным под большим углом к оси абсцисс (третья фаза). Последняя фаза деформирования, несмотря на большие нагрузки, приводит лишь к уплотнению древесины и не завершается разрушением образца.

У древесины лиственных пород при сжатии как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях происходит смятие анатомических элементов и наблюдается трехфазная диаграмма, хотя и менее выраженная. Од-

нофазная диаграмма сжатия в тангенциальном направлении характерна для древесины хвойных пород. В этом случае условия воспринимают одновременно ранние и поздние зоны годичных слоев. Однако наибольшие напряжения возникают в жестких поздних зонах. Эти более прочные зоны и определяют сопротивление разрушению всего образца. Нагружение приводит к явному разрушению образцов: они выпучиваются в сторону выпуклости годичных слоев. Однофазная диаграмма обнаруживается при радиальном сжатии сухой древесины дуба, что связано с наличием широких сердцевинных лучей.

Поскольку в большинстве случаев при действии сжимающих усилий поперек волокон не удается установить максимальную нагрузку, приводящую к окончательному разрушению образца, ограничиваются определением предела пропорциональности, который принимают за условный предел прочности.

Условный предел прочности, σ_{Wy}, вычисляют по формуле

$$\sigma_{Wy} = \frac{P_{y.n}}{(al)}, \qquad (1.2.1)$$

где $P_{у.п}$ – нагрузка соответствующая пределу пропорциональности, Н;

а – ширина образца, мм;

l – длина образца, мм.

В таблице 1.2.1 приведены ориентировочные (прочность исследована недостаточно) данные.

Таблица 1.2.1 Прочность древесины при сжатии поперек волокон при влажности 12 % (Центральные районы Европейской части России)

Порода	Условный предел прочности, МПа в направлении	
	радиальном	тангенциальном
Сосна	5,1	7,5
Ель	-	-
Дуб	-	-
Осина	5,4	3,5
Вяз	5,7	4,6
Ясень	-	-

Порядок проведения работы

Подготавливают журнал наблюдения (таблица 1.2.2)

– нумеруют полученный образец двумя большими буквами, характеризующими фамилии студентов, выполняющих совместно эту работу;

– определяют породу древесины, используя определитель пород;

– измеряют штангенциркулем размеры поверхности нагружения;

– устанавливают скорость нагружения машины – 2 мм/мин;

– устанавливают на штанге маятника сменные грузы А ... Б;

– устанавливают образец в специальном приспособлении между опорными плоскостями машины;

– включают машину и доводят нагружение до заметного увеличения скорости деформирования образца;

– снимают показания по шкале «Б»;

– определяют характер разрушения;

– определяют влажность образца весовым методом.

Обработка результатов

– определяют по формуле 1.2.1 предел прочности;

– определяют по формуле 1.1.2 предел прочности при нормализованной влажности.

Таблица 1.2.2 Протокол испытаний на сжатие поперек волокон

Маркировка образца	Порода	Скорость нагружения, мм/м	Размеры поперечного сечения		Предел пропорциональности, $P_{у.п}$, Н	Влажность, %, W	Предел прочности, МПа		Характер разрушений
			a	b			σ_w	σ_{12}	

Задание №3. Определение предела прочности при растяжении вдоль волокон.

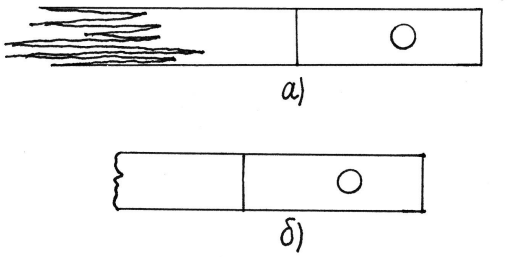
Теоретический материал

Предел прочности древесины при расчете вдоль волокон имеет самое максимальное значение. В среднем для всех пород предел прочности при растяжении вдоль волокон составляет 130 МПа. Несмотря на столь высокую прочность, древесина в конструкциях и изделиях довольно редко работает на растяжение вдоль волокон из-за трудности предотвращения разрушения деталей в местах закрепления (под действием сжимающих и скалывающих нагрузок).

Этот показатель незначительно зависит от влажности древесины, но резко падает при малейшем отклонении волокон от направления продольной оси образца.

Для определения прочности при растяжении вдоль волокон применяют образцы довольно сложной формы с массивными головками, которые зажимают в захватах машины, и тонкой рабочей частью (рисунок 1.1.1). При такой форме образца предупреждается возможность его разрушения в местах крепления от сжатия поперек волокон и скалывания вдоль волокон. Переход от головок к рабочей части образца делают плавным во избежание концентрации напряжений.

Характер разрушения может быть двух видов: гладкий и защепистый. Последний, как правило, характерен для древесины с высокой прочностью (рисунок 1.3.1).



а – защепистый (волокнистый); б – гладкий (обрывистый)

Рис. 1.3.1 Характер разрушения образцов при испытании древесины на растяжение вдоль волокон

Пределы прочности вычисляют по формулам 1.1 и 1.2. В таблице 1.3.1 приведены пределы прочности древесины.

Таблица 1.3.1 Прочность древесины при растяжении вдоль волокон при влажности 12 % (Центральные районы Европейской части России)

Порода	Предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа
Сосна	116
Ель	109
Дуб	105
Береза	110
Осина	133
Вяз	–
Ясень	–

Порядок проведения работы

Подготавливают журнал наблюдения (таблица 1.3.2).

Таблица 1.3.2 Протокол испытаний на растяжение вдоль волокон

Марки-ровка образца	По-рода	Скорость нагруже-ния, мм/мин	Размеры образца		Макс. нагруз ка, P_{max}, Н	Влаж-ность, %, W	Предел прочно-сти, МПа		Характер разруше-ний
			a	b			σ_w	σ_{12}	

– нумеруют полученный образец двумя большими буквами, характеризующими фамилии студентов, выполняющих совместно эту работу;

– определяют породу древесины, используя определитель пород;

– измеряют штангенциркулем размеры поперечного сечения в трех местах: на средине и на расстоянии 35 мм от средины в ту или иную стороны;

– вычисляют среднеарифметическое для «a» и «b»;

– устанавливают скорость нагружения машины – 10 мм/мин;

– устанавливают на штанге маятника смежные грузы А…В;

– устанавливают в обе головки образца стальные пробки;

– устанавливают образец между рифлеными щечка-ми машины так, чтобы часть каждой головки, граничащая с закруглением, оставалась свободной на протяжении 20…25 мм. Образец должен быть установлен вертикально;

– включают машину и доводят нагружение до разрушения образца;

– снимают по шкале «В» нагрузку P_{max} с точностью до цены деления шкалы;

– определяют характер разрушения;

– определяют влажность образца весовым методом.

Обработка результатов:

– определяют по формуле 1.1.1 предел прочности;

– определяют по формуле 1.1.2 предел прочности при нормализованной влажности;

– формулируют выводы.

Задание №4. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон.

Теоретический материал

В конструкциях и изделиях древесина часто работает на скалывание вдоль волокон.

Прочность при скалывании вдоль волокон древесины лиственных пород примерно в 1,6 раза выше, чем древесины хвойных пород. При тангенциальном скалывании прочность древесины лиственных пород на 10…30 % выше, чем при радиальном; это превышение тем больше, чем

лучше развиты в древесине сердцевинные лучи (граб, бук). У древесины хвойных пород прочность на скалывание в обоих случаях примерно одинакова: в среднем для всех пород предел прочности при скалывании вдоль волокон составляет примерно 1/5 от предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Испытание на скалывание проводят на образце, форма и размеры которого показаны на рисунке 1.1.1.

К образцу прикладывают две равные и противоположно направленные силы, вызывающие разрушение в параллельной им плоскости.

Предел прочности, τ_w, МПа, вычисляют по формуле

$$\tau_W = \frac{P_{\max}}{(b \cdot l)}, \qquad (1.4.1)$$

где $P_{\max}$ – максимальная нагрузка, Н;

b – толщина образца, мм;

l – длина плоскости скалывания, мм.

Примерные значения прочности древесины при скалывании вдоль волокон приведены в таблице 1.4.1.

Таблица 1.4.1 Прочность древесины при скалывании вдоль волокон при влажности 12% (Центральные районы Европейской части России)

Порода	Предел прочности, МПа, при скалывании	
	В радиальной плоскости	В тангенциальной плоскости
Сосна	7,4	7,9
Ель	7,3	7,3
Дуб	7,7	9,0
Береза	8,7	11,6
Осина	5,9	7,7
Вяз	8,9	9,5
Ясень	13,7	13,8

Порядок проведения работы

Испытание на скалывание вдоль волокон проводят по тангентальной и радиальной плоскостям, форма и размеры должны соответствовать рис. 1.3. Образцы вырезают таким образом, чтобы годовые слои на торцах были параллельны плоскости скалывания при тангентальном и перпендикулярны при радиальном скалывании. Отклонения от указанных размеров скалываемой части образца не должны превышать 0,5 мм. Перед испытанием штангенциркулем измеряют с точностью до 0,1 мм по ожидаемой плоскости скалывания ширину образца «в» и длину скалывания «с».

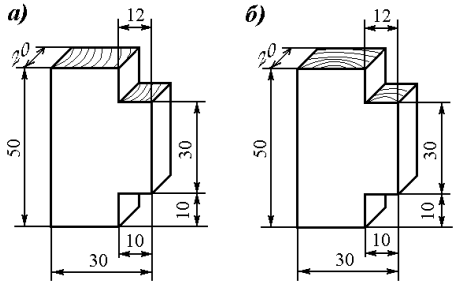
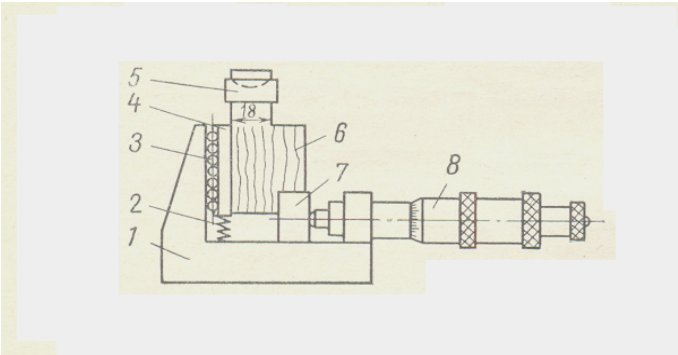


Рис. 1.4.1 Образцы для испытания древесины на скалывание вдоль волокон по плоскости: а) тангентальной, б) радиальной

Для уменьшения искажающего влияния трения используют приспособление с подвижной планкой на роликовых опорах (рисунок 1.4.2)



+

1 – корпус; 2 – пружина; 3 – ролик; 4 – подвижная планка; 5 – нажимная призма; 6 – образец; 7 – подвижная опора; 8 – прижимное устройство

Рис. 1.4.2 Приспособление для испытания на скалывание древесины вдоль волокон

Подготавливают журнал наблюдения (таблица 1.4.2);

Таблица 1.4.2 Протокол испытаний при скалывании вдоль волокон

Маркировка образца	Порода	Скорость нагружения, мм/мин	Размеры площади скалывания, мм		Макс. нагрузка, P_{max}, Н	Влажность, %, W	Предел прочности, МПа		Характер разрушений
			b	l			τ_w	τ_{12}	

– нумеруют полученный образец двумя большими буквами, характеризующими фамилии студентов, выполняющих совместно эту работу;

– определяют породу древесины, используя определитель пород;

– измеряют штангенциркулем толщину образца b и длину скалывания l;

– устанавливают скорость нагружения машины – 4 мм/мин;

– устанавливают на штанге маятника сменные грузы А…Б;

– устанавливают приспособление с образцом на опорной плите машины, снабженной шаровой опорой;

– включают машину и доводят нагружение до разрушения образца;

– снимают по шкале «Б» нагрузку P_{max} с точностью до цены деления шкалы;

– определяют характер разрушения;

– определяют влажность образца весовым методом.

Обработка результатов

– определяют по формуле 1.4 предел прочности;

– определяют по формуле 1.2 предел прочности при нормализованной влажности;

– формулируют выводы.

Задание №5. Определение предела прочности древесины при статическом изгибе.

Теоретический материал

Предел прочности древесины при статическом изгибе очень высок (таблица 1.5.1). высокая прочность и легкость приложения усилия обуславливает широкое применение древесины в конструкциях и изделиях, работающих на изгиб (балки, мосты и т.д.).

Различие прочности при радиальном и тангенциальном изгибах обнаруживается только для хвойных пород: предел прочности при тангенциальном изгибе может быть на 10…12 % выше, чем при радиальном.

Форма образца и схема испытания показаны на рисунке 1.

В образце при нагружении возникают сжимающие напряжения в верхней его части и растягивающие в нижней. Поскольку прочность на сжатие вдоль волокон значительно меньше прочности на растяжение, разрушение начинается с образования складок в сжатой зоне образца. Окончательное разрушение происходит в растянутой зоне в виде разрыва или отслоения крайних волокон и полного излома образца.

При низкой прочности образца получается почти гладкий излом, при высокой – защепистый (особенно в растянутой зоне).

Предел прочности при влажности W σ_w, МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma_W = \frac{3P_{max}l}{(2bh^2)}, \qquad (1.5.1)$$

где l – расстояние между опорами, мм;

b – ширина в радиальном направлении, мм;

h – высота образца в тангенциальном направлении, мм.

Таблица 1.5.1 Прочность древесины при статическом изгибе при влажности 12 % (Центральные районы Европейской части России)

Порода	Предел прочности, МПа, при статическом изгибе
Сосна	88
Ель	81
Дуб	105
Береза	99
Осина	77
Вяз	93
Ясень	111

Порядок проведения работы

Подготавливают журнал наблюдения (табл. 1.5.2).

Таблица 1.5.2 Протокол испытаний при статическом изгибе

Марки-ровка образца	По-рода	Скорость нагруже-ния, мм/м	Размеры попе-речного сечения		Макс. нагруз ка P_{max}, Н	Влаж-ность, %, W	Предел прочно-сти, МПа		Характер разруше-ний
			a	h			R_w	R_{12}	

– нумеруют полученный образец двумя большими буквами, характеризующими фамилии студентов, выполняющих совместно эту работу;

– определяют породу древесины, используя определитель пород;

– измеряют штангенциркулем на средине образца размеры поперечного сечения (h – размер в тангенциальном направлении);

– устанавливают скорость нагружения машины – 10 мм/мин;

– устанавливают на штанге маятника сменные грузы А … Б;

– устанавливают на машине соответствующее приспособление;

– устанавливают образец на опорах так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годовым слоям (изгиб тангенциальный), а ножи и опоры должны быть сим-метричны относительно середины длины образца;

– включают машину и доводят нагружение до разрушения образца;

– снимают измерения по шкале «Б» нагрузку Pmax с точностью до цены деления шкалы;

– определяют характер разрушения;

– определяют влажность образца весовым методом.

Обработка результатов

– определяют по формуле 5.1 предел прочности;

– определяют по формуле 1.2 предел прочности при нормализованной влажности;

– формулируют выводы.

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.
2. Описание используемых приборов и оборудования.
3. Таблицы форм отчета, определение пределов прочности, обработку результатов испытаний и расчеты.
4. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Назовите основные свойства древесины, ее пороки.
2. Объясните строение ствола.
3. Что называется влажностью древесины и как она определяется?
4. Как определяется прочность при сжатии вдоль волокон?

Как определяется прочность при скалывании вдоль волокон?

Список литературы: [1, 4, 8, 9].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИСПЫТАНИЕ ЛОБОВОЙ ВРУБКИ

Цель работы: исследования прочностных характеристик лобовой врубки.

Задачи работы:

– экспериментально определить деформацию смятия древесины под нагрузкой;

– построить график зависимости деформаций смятия от нагрузки.

– определить величину разрушающей нагрузки.

– установить характер разрушения соединения.

– выполнить анализ экспериментально-теоретических исследований.

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудование: испытательный пресс, индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм, штангенциркуль.

Теоретический материал

Врубкой называется соединение, в котором усилие передается от одного элемента к другому непосредственно без вкладышей или иных рабочих связей. За этим видом соединения сохранилось старое название "вруб-

ка", хотя в настоящее время врезки и гнезда выполняют с помощью малой механизации электро- или мотопилой и т.п.

Основной областью применения врубок являются узловые соединения в брусчатых и бревенчатых фермах, в том числе в опорных узлах примыкания сжатого верхнего пояса к растянутому нижнему поясу.

Элементы врубок соединяются между собой вспомогательными монтажными (аварийными) связями – болтами, хомутами, скобами и т. п. Вспомогательные связи в основной работе соединения не участвуют, поскольку их начальная жесткость сопротивления сдвигу по сравнению с работой древесины ничтожно мала. Характерной особенностью лобовых врубок под нагрузкой является работа древесины на скалывание вдоль волокон и смятие под углом λ к волокнам.

Соединение "врубка" утрачивает несущую способность при достижении одного из трех предельных состояний:

1) по смятию площадки упора $F_{см}$ α;

2) скалыванию площадки $F_{ск}$;

3) разрыву ослабленного врубкой элемента.

Испытанию подвергается модель простейшей треугольной фермы, опорные узлы которой выполнены в виде лобовой врубки (рисунок 2.1).

Рабочая плоскость смятия во врубке должна располагаться перпендикулярно сжатому элементу, центровка усилия в растянутом элементе осуществляется по ослабленному врезкой сечению.

Длина плоскости скалывания должна $l_{ск} \geq 1{,}5h$ и $l_{ск} \geq 10h$вр, где h – полная высота сечения скалываемого элемента, $h_{вр}$ – глубина врубки рекомендуется hвр $\leq 1/3h$ согласно [1]. Большая глубина врубки чрезмерно ослабляет сечение, к тому же в этом случае возрастает вероятность появления на площадке скалывания усушенных трещин, направление которых близко к радиальному.

Согласно п. 5.3 [1] lск / e должно быть не менее 3. Здесь e – плечо сил скалывания, принимается $e = 0{,}5h$, при расчете элементов с несимметричной врезкой. В процессе лабораторной работы определяются теоретические и фактические величины разрушающей нагрузки и деформации смятия врубки.

Порода древесины и влажность материала сообщаются преподавателем перед началом работы.

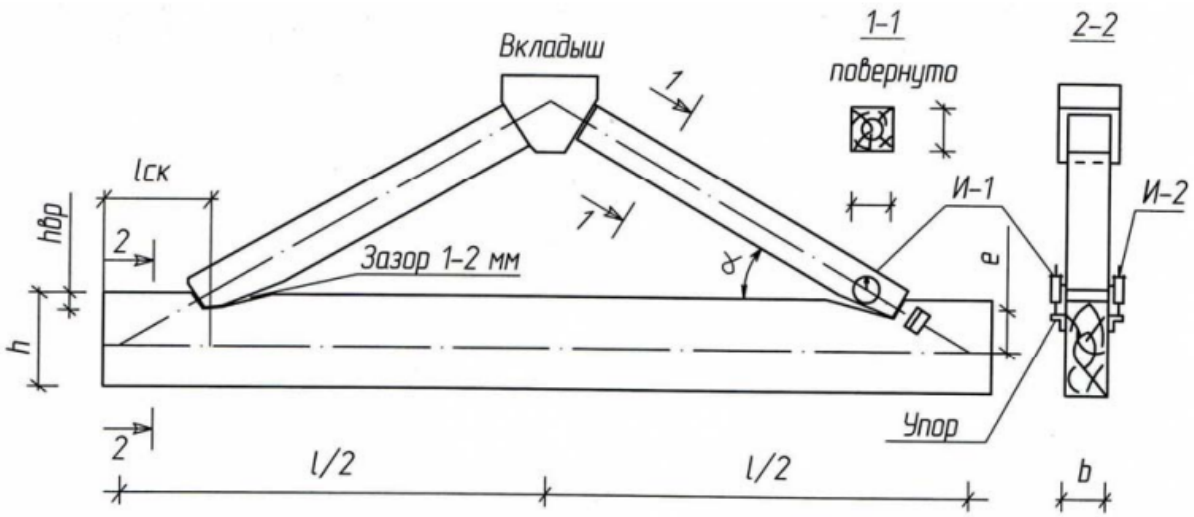


Рис. 2.1. Конструкция лобовой врубки и размещение приборов

Расчетную несущую способность соединения определяют из условия смятия и скалывания древесины согласно указаниям п. 5.2, 5.10 и 5.12, а расчетные сопротивления материалов принимают по п. 3.1 [1].

Расчетное сопротивление смятию вдоль под углом α к направлению волокон определяем с помощью выражения

$$R_{см\alpha} = R_{см} / \left(1 + \left(R_{см} / R_{см.90} - 1\right)\sin^3 \alpha\right), \tag{2.1}$$

где $R_{см}$ – расчетное сопротивление смятию вдоль волокон;

$R_{см.90}$ – расчетное сопротивление смятию поперек волокон.

Среднее по площадке скалыванию расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон $R_{ск}^{ср}$ определяем по п. 5.3 [1]:

$$R_{ск}^{ср} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta l_{ск} / e}, \tag{2.2}$$

где β = 0,25 для одностороннего скалывания (эпюра напряжений по длине площадки скалывания приведена на рис. 2.2).

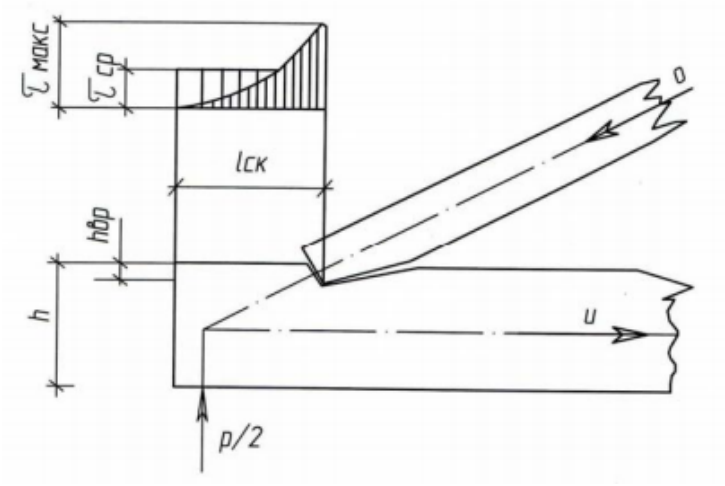


Рис. 2.2 Эпюры скалывающих напряжений

Определение усилий
Из диаграммы усилий (рис. 2.3) следует

$$U = \frac{p}{2\,\mathrm{tg}\alpha}; \qquad p = 2U\mathrm{tg}\alpha\,. \tag{2.3}$$

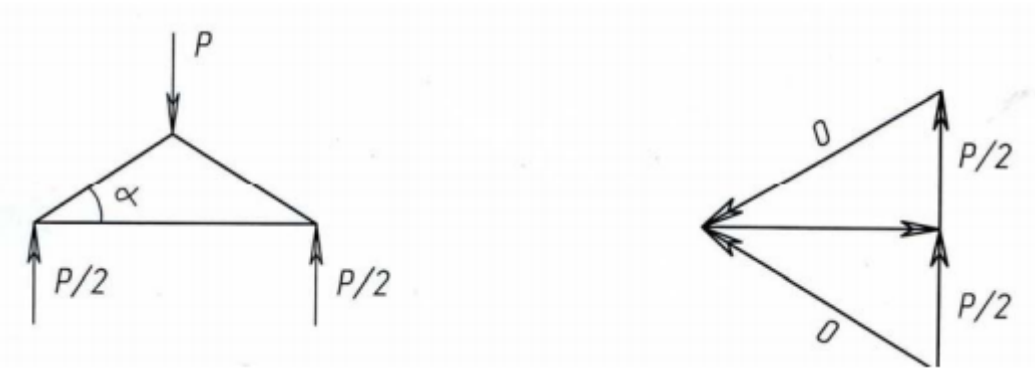


Рис. 2.3 Диаграмма усилий

Определение расчетной несущей способности врубки производят:
– из условия скалывания

$$U_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{ср}}\, l_{\text{ск}} b\,. \tag{2.4}$$

– из условия смятия

$$U_{\text{см}} = R_{\text{см}\,\alpha} h_{\text{вр}} b\,. \tag{2.5}$$

Определение расчетной нагрузки производят:

– из условия скалывания

$$P_{ск} = 2U_{ск}\,\mathrm{tg}\alpha\,. \tag{2.6}$$

– из условия смятия

$$P_{см} = 2U_{см}\,\mathrm{tg}\alpha\,. \tag{2.7}$$

Меньшая величина является расчетной нагрузкой $P_{рас}$.

Определение теоретического значения разрушающей нагрузки при кратковременном машинном испытании.

Обычно врубка конструируется так, чтобы расчетная несущая способность по скалыванию была больше, чем по смятию, так как хрупкое скалывание опаснее вязкого смятия. При испытаниях разрушение врубки происходит все же от скалывания.

Причина в том, что расчетное сопротивление смятия устанавливается не из условия прочности, а из условия ограничения деформаций смятия.

Поэтому при определении теоретической величины разрушающей нагрузки необходимо исходить из несущей способности врубки по скалыванию.

Расчетное сопротивление древесины определяется с учетом длительного воздействия нагрузки и наличия пороков. Поэтому разрушающая нагрузка при кратковременных машинных испытаниях составляет:

а) при наличии в древесине сучков и других пороков в удовлетворяющих для данного сорта пределах

$$P_{раз.м} = P_{ск} / K_{дл}\,, \tag{2.8}$$

где К дл = 0,66 – коэффициент длительного сопротивления древесины, учитывает уменьшение предела прочности при длительном действии нагрузки;

б) при наличии «чистой» древесины, т. е. при отсутствии сучков и других пороков

$$P_{раз.м} = P_{ск} / K_{одн}\,, \tag{2.9}$$

где $К_{одн}$ = 0,7 – коэффициент однородности при работе на скалывание.

Определение теоретической величины

При длительном воздействии расчетной нагрузки расчетная деформация соединения согласно табл. 15 [1] Δ'm = 1,5 мм.

При кратковременном нагружении расчетная деформация соединения приближенно равна

$$\Delta_{т} = \Delta'_{т} K_{дл} . \tag{2.10}$$

Испытания можно выполнять на гидравлической или механической машине с нагрузкой по шкале до 50 кН.

Обычно разрушение врубки происходит от скалывания древесины (хрупкое разрушение), поэтому образец должен быть закреплен, кроме того, должны быть установлены ограждения против торцов образца.

Во избежание несчастных случаев во время испытаний нельзя находиться против торцов образца.

При испытании образца определяются разрушающая нагрузка и деформации смятия врубки.

Схема испытания образца показана на рис. 2.4.

Деформации смятия врубки замеряются двумя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Образец загружают ступенями по 1,0 кН.

Отсчеты по индикаторам берут при нулевой нагрузке и на каждой ступени загружения и записывают в журнал испытания (табл. 2.1).

После нагружения до расчетной нагрузки $P_{рас}$ индикаторы снимают и производят дальнейшее загружение образца до его разрушения, определяют разрушающую нагрузку $P_{раз}$.

Полные деформации смятия врубки определяются по данным отсчетов индикаторов, для чего из отсчета при нулевой нагрузке нужно вычесть отсчет при нагрузке последующей ступени нагружения, и затем определить среднее значение полной деформации по двум индикаторам.

По вычисленным средним значениям деформации строится график зависимости деформаций смятия врубки от нагрузки. По данному графику определяется величина полной деформации 3 смятия врубки при расчетной нагрузке, а также величина рыхлых 1 и упругих 2 деформаций смятия врубки, как показано на рис. 2.4.

Заключительным этапом работы является сравнение фактических разрушающей нагрузки и деформаций смятия врубки, полученных в результате испытания, с их теоретическими значениями, определенными ранее

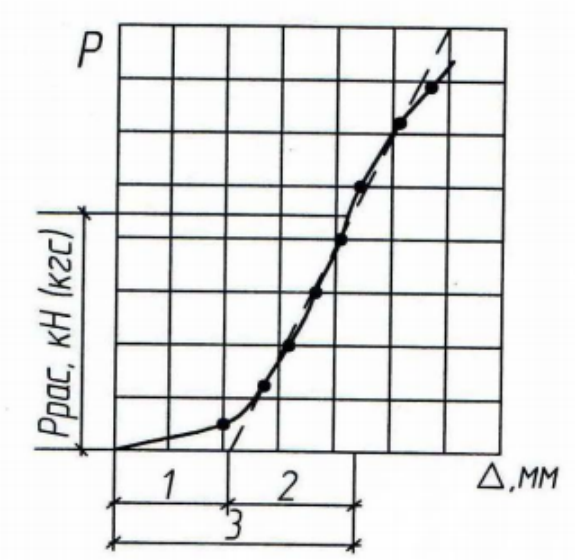


Рис. 2.4 Определение рыхлых и упругих
Деформаций

Сравнение опытных величин с теоретическими

Отклонения вычисляют в процентах с учетом знака:

а) разрушающей нагрузки

$$\frac{P_{\text{раз}} - P_{\text{раз.т}}}{P_{\text{раз.т}}} 100\%; \tag{2.11}$$

б) деформации смятия

$$\frac{\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{т}}}{\Delta_{.\text{т}}} 100\%, \tag{2.12}$$

где Δ см – определяется как разница между полной и рыхлой деформациями врубки;

в) коэффициент надежности

$$K = P_{\text{раз}} / P_{\text{рас}}. \tag{2.13}$$

В выводах описывают характер разрушения соединения, дают зарисовки разрушенных образцов, а также анализируют сходимость теоретических и опытных величин.

Порядок проведения работы:

Подготавливают журнал испытания (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Журнал испытания
Определение деформации лобовой врубки

Нагрузка, кН	Индикатор № 1		Индикатор № 2		Средняя полная деформация, мм
	Отсчет по прибо-ру	Полная деформация, мм	Отсчет по прибо-ру	Полная деформация, мм	

– определяют фактические размеры сечения (угол примыкания скатных элементов α; ширину поясов *b*; высоту нижнего пояса *h*; глубину врубки $h_{вр}$; длину площадки скалывания $l_{ск}$; плечо пары сил *e*);

– проверяют, укладываются ли размеры врубки в ограничения п. 5.3 и 5.11 [1];

– по наличию пороков определяют сорт древесины, записывают породу древесины и влажность;

– определяют расчетные сопротивления и усилия;

– определяют расчетную несущую способность врубки;

– определяют расчетную нагрузку;

– определяют теоретическое значение разрушающей нагрузки при кратковременном машинном испытании;

– определяют теоретическую величину;

– производят сравнение фактических разрушающей нагрузки и деформаций смятия врубки, полученных в результате испытания, с их теоретическими значениями, определенными ранее;

– формулируют выводы.

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.
2. Описание используемых приборов и оборудования.
3. Схематический рисунок модели, конструктивную схему и размеры врубки), размещения приборов.
4. Расчет разрушающей нагрузки, журнал определения фактической деформации смятия врубки.
5. График зависимости деформации смятия врубки от нагрузки, по которому определяют величины полной, рыхлой и упругой деформаций врубки при расчетной нагрузке.
6. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Как необходимо центрировать лобовые врубки с одним зубом?

2. Из каких условий определяют расчетную несущую способность лобовой врубки?

3. Как определить среднее скалывающее напряжении, действующего по длине площадки скалывания?

4. Причины расхождения между опытными и теоретическими величинами?

5. Чему равняется предельная деформация смятия в лобовой врубке?

6. Для чего нужны в опорном узле аварийный болт, подферменная подкладка, опорная подушка?

7. Почему в лобовых врубках предусмотрены зазоры между неопорными плоскостями сопрягаемых элементов?

Список литературы: [1, 2, 8, 9]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИСПЫТАНИЕ ДВУХСРЕЗНОГО СТЫКА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НАГЕЛЯХ (НА ГВОЗДЯХ)

Цель работы: исследования работы и характер разрушения соединений.

Задачи лабораторной работы:

– определение нагрузки, при которой резко возрастают остаточные деформации.

– определение деформации соединения при расчетной нагрузке.

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудования: испытательная машина ПГ-10, индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм, штангенциркуль.

Теоретический материал

Нагелями в деревянных конструкциях называют гибкие стержни, пластинки или иные вкладыши, препятствующие сдвигу соединяемых элементов и работающие в основном на изгиб.

Нагельные соединения являются безраспорными, что обеспечивается защемлением нагеля в нагельном гнезде. По наличию или отсутствию симметрии изогнутой оси нагеля соединения могут быть симметричными или несимметричными, а по числу плоскостей сдвига – двухсрезными и многосрезными. Под цилиндрические нагели (штыри, болты) отверстия сверлят в пакете, диаметром, равным диаметру нагеля.

В нагельных соединениях скалывание древесины исключается конструктивными мероприятиями, для этого расстояния S1, S2, S3 должны быть не меньше минимальных величин, приведенных в п. 5.18 [1] (рис. 3.1).

Расчетная несущая способность на один условный срез в нагельном соединении определяется по табл. 17 [1]. Испытанию подвергается симметричное двухсрезное соединение на цилиндрических нагелях из стали либо алюминия, либо стеклопластика

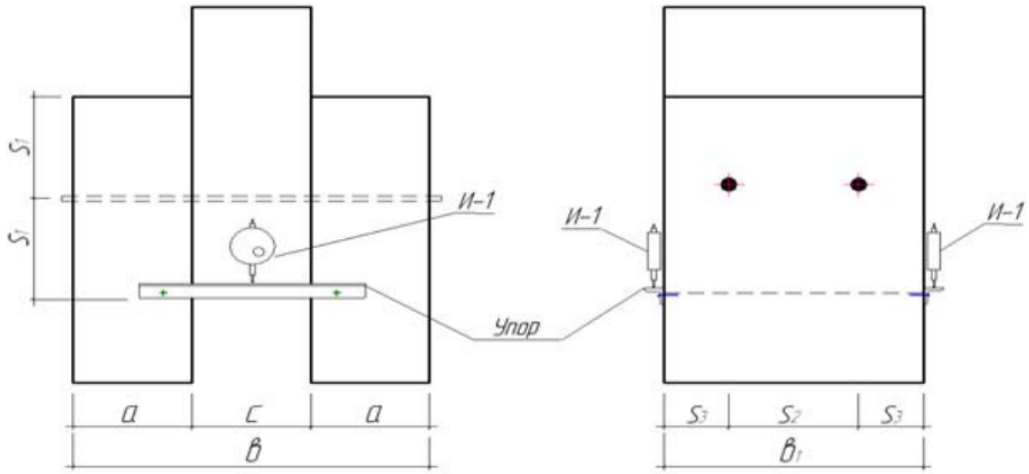


Рис. 3.1 Конструкция соединения на нагелях

Проверка правильности расстановки нагелей

Определение теоретической величины несущей способности нагельного соединения

Расчетную несущую способность нагеля на один условный срез в зависимости от материала нагеля определяют по табл. 17 [1]:

Из условия смятия крайнего элемента

$$Та = a\ d\ 80. \qquad (3.1)$$

Из условия смятия среднего элемента

$$Тс = c\ d\ 50. \qquad (3.2)$$

Из условия изгиба нагеля из стали С38/23:

$$Ти = 180\ d^2 + 2\ a^2 < 250\ d^2. \qquad (3.3)$$

Из условия изгиба нагеля из алюминиевого сплава Д16-Т:

$$Ти = 160\ d^2 + 2\ a^2 < 220\ d^2. \qquad (3.4)$$

Из условия изгиба нагеля из стеклопластика АГ-4С:

$$Ти = 145\ d^2 + 2\ a^2 < 180\ d^2. \qquad (3.5)$$

Минимальная величина, найденная по приведенным трем формулам, составит расчетную несущую способность нагеля на один условный срез T_{min}. Указанные формулы учитывают длительное действие нагрузки.

Расчетная несущая способность соединения определяется по минимальной несущей способности нагеля на один условный срез из условия изгиба и смятия по формуле

$$P = m\, n_{ср} T_{min}. \qquad (3.6)$$

Теоретическая величина нагрузки, при которой резко возрастают остаточные деформации, с учетом кратковременности ее действия приисспытании

$$P_{кр} = P / K_{дл}, \qquad (3.7)$$

где $K_{дл}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки, принимается равным 0,66.

При полном использовании расчетной несущей способности соединения согласно табл. 15 [1] теоретическая величина деформации $\Delta т = 2$ мм.

Порядок проведения работы:

Подготавливают журнал испытания (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Журнал испытания

Определение деформации сдвига образца

Нагрузка, кН	Индикатор №1		Индикатор №1		Средняя деформация за ступень (приращения деформации), мм	Полная деформация образца, мм	Примечания
	Отсчет по прибору	Деформация за ступень, мм	Отсчет по прибору	Деформация за ступень, мм			

Испытывают образец на гидравлической или механической машине с нагрузкой по шкале 100 кН (10 т).

Деформацию сдвига соединяемых элементов замеряют двумя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для ликвидации рыхлых деформаций образец загружается нагрузкой 2,0 кН, которая принимается за условную нулевую отметку.

Далее нагрузка увеличивается ступенями, величина которых равна примерно 0,1 *P*кр. При каждой ступени нагружения снимают показания индикаторов и записывают в табл. 3.1.

Испытания проводят с одинаковой скоростью, равной 30 кН/мин, до разрушения узла, которое характеризуется тем, что рост нагрузки по силоизмерителю машины приостанавливается, а деформация соединения продолжается.

Обрабатывают результаты испытаний. По отсчетам индикаторов вычисляют полные деформации за каждую ступень, т.е. приращения деформаций, равные разности отсчетов при предыдущей и последующей ступенях нагружения.

Полная деформация образца равна сумме приращений за ступень. Строят график зависимости полной деформации от нагрузки.

Кроме того, строят график приращения деформаций. На этом графике точка перелома прямой будет характеризовать величину нагрузки, при которой резко возрастают остаточные деформации $P_{деф}$.

Величину этой нагрузки сравнивают с $P_{кр}$ и определяют отношением этих величин по формуле

$$\frac{P_{деф}}{P_{кр}} 100\,\%. \tag{3.8}$$

Для фактического значения нагрузки, при которой резко возрастают остаточные деформации, по построенному графику зависимости полной деформации от нагрузки определяют полную деформацию соединения ($\Delta_{фак}$), которая сравнивается с деформацией нагельных соединений при полном использовании их расчетной несущей способности, равной 2 мм по табл. 15 [1].

Находим отношение фактической деформации к установленной нормами:

$$(\Delta\ фак\ /\ \Delta\ т\ )100\ \%\ . \tag{3.9}$$

При нахождении деформации следует учесть, что за нулевой отсчет принимают загружение при нагрузке 0,1 $P_{кр}$. Рыхлая деформация на участке от фактического нуля до нагрузки 0,1 $P_{кр}$ должна быть исключена.

Величина $\Delta_{фак}$ – это деформация на участке от 0,1 $P_{кр}$ до $P_{кр}$.

Коэффициент надежности $K = P_{деф}/P$.

Формулируют выводы по результатам испытаний (описывают характер разрушения соединения, дают зарисовки разрушенного образца, а также анализируют сходимость теоретических и фактических величин, при наличии расхождения указывают возможные причины).

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.

2. Описание используемых приборов и оборудования.

3. Изображение конструкции балки и схему ее нагружения, результаты фактических размеров,

4. Определение расчетной нагрузки, схему установки приборов, журналы испытания с необходимыми вычислениями, эпюры нормальных напряжений.

5. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Какое нагельное соединение является симметричным?

2. Какое нагельное соединение является несимметричным?

3. Как устраняется опасность скалывания древесины между нагелями?

4. Чему равны предельные расстояния между осями стальных цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины?

5. Чему равны предельные расстояния между осями стальных цилиндрических нагелей поперек волокон древесины?

6. От чего зависит количество пластических шарниров в нагеле?

7. Как определить несущую способность на один условный срез из условия изгиба нагеля?

8. Почему нагельные соединения не рассчитывают на срез?

9. Как рассчитать несущую способность по смятию древесины на один условный срез нагеля?

10. Как определить полную несущую способность нагельного соединения?

Список литературы: [1, 2, 8, 9].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕНОЙ БАЛКИ

Цель работы: исследования работы и характера разрушения клееной балки.

Задачи лабораторной работы:

– определить несущую способность балки по расчетным нормальным напряжениям.

– определить несущую способность балки по расчетным касательным напряжениям.

– определить теоретические и опытные значения прогиба при расчетной нагрузке.

– определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте клееного сечения балки при расчетной нагрузке.

– определить усредненный модуль упругости и сопоставить его с расчетным значением.

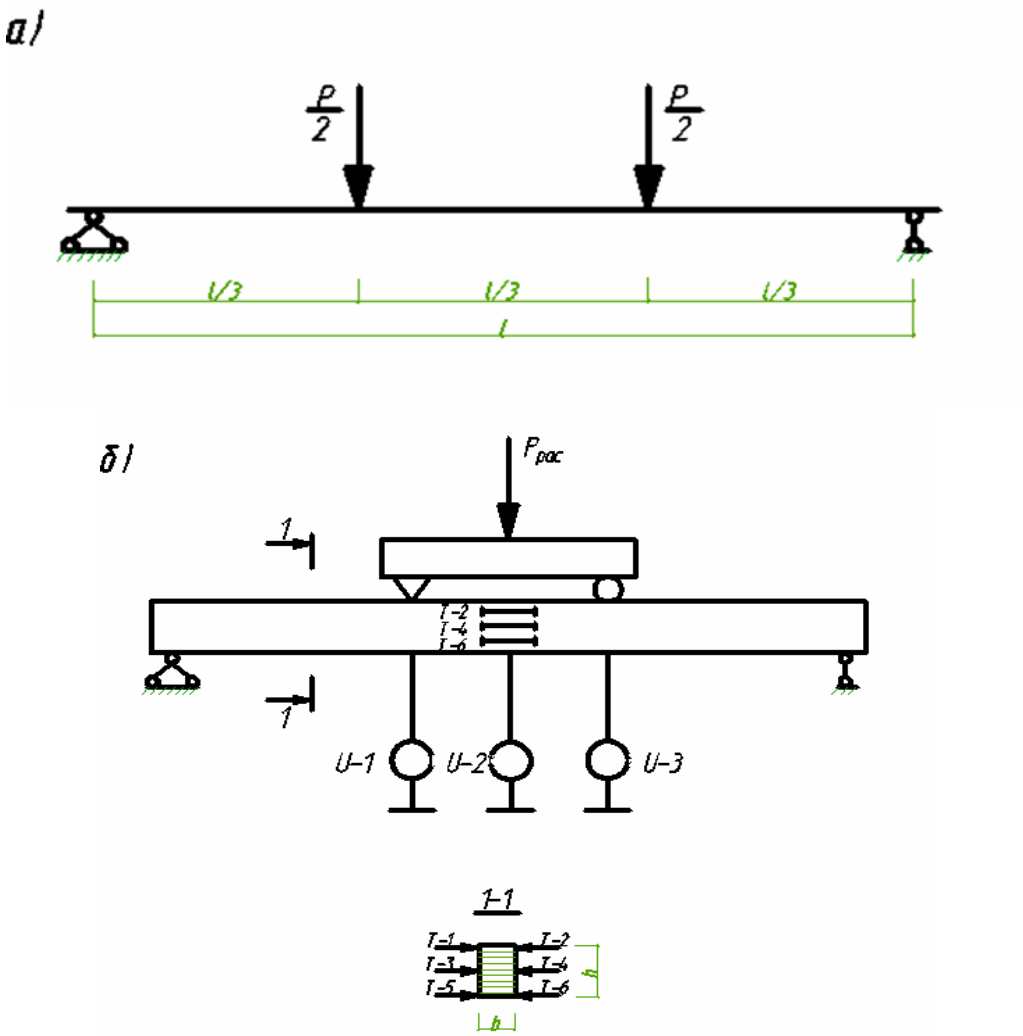
– определить влияние поперечной силы на полный прогиб балки.

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудование:

1. Испытательная машина с распределительной траверсой или рычажный испытательный стенд.
2. Тензометры Гугенбергера с базой 20 мм.
3. Прогибомеры 6ПАО с ценой деления 0,1 мм.
4. Штангенциркуль.
5. Модели балок, вырезанные из многослойного клееного пакета, склееного из досок толщиной 26 мм. сорт древесины удовлетворяет требованиям ГОСТ, для склеивания пакета применен фенольно-резорциновый клей ФРФ-50.

Теоретический материал

Расчетная схема модели клееной балки показана на рис. 4.1.



а – расчетная схема

б – схема расположения приборов

Рис. 4.1 =Расчетная схема модели клееной балки

Порядок проведения работы

1. Определение фактических размеров клееной балки

1.1. Замеряют и заносят в отчет по лабораторным работам следующие исходные данные:

– материал балки;

– влажность;

– высоту поперечного сечения h

– ширину поперечного сечения b

– пролет балки l.

1.2. Определяют геометрические характеристики поперечного сечения:

– площадь поперечного сечения $F = bh$;

– статический момент $S = bh^2/8$;

– момент сопротивления $W = bh^2/12$;

– момент инерции $J = bh^2/12$;

1.3. По п.3.1 и 3.5 [8] принимают расчетные характеристики материала:

– расчетные сопротивления древесины изгибу $R_и$;

– расчетные сопротивления скалыванию $R_{ск}$;

– расчетный модуль упругости E;

– расчетный модуль сдвига G.

2. Определение несущей способности балки по расчетным нормальным напряжениям при изгибе

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P_{рас}\, l}{6W} \le R_и\,; \qquad P_{рас} = \frac{6R_и W}{l}\,. \qquad (4.1) \text{ и } (4.2)$$

3. Определение несущей способности балки по расчетным касательным напряжениям при изгибе

$$\tau - \frac{QS}{Jb} - \frac{3Q}{2F} - \frac{3P_{рас}}{4F} \le R_{ск}, \qquad P_{рас} = \frac{4FR_{ск}}{3}\,. \qquad (4.3) \text{ и } (4.4)$$

4. Определение несущей способности балки из условия предельных деформаций (по 2-му предельному состоянию)

Величина предельного изгиба балки l/300 пролета по табл. 16 [1].

$$\frac{f}{l} = \frac{23Pl^2}{1296EJn} \le \frac{1}{300}, \qquad (4.5)$$

где n – 1.2 – усредненный коэффициент перегрузки при пересчете расчетной нагрузки в нормативную

$$P = \frac{108EJn}{575l^2}. \tag{4.6}$$

Несущая способность балки по второму предельному состоянию с учетом влияния поперечных сил составит

$$\frac{f_{общ}}{l} = \frac{23l^2P}{648EJn^2}\left(1+1{,}172\frac{Eh^2}{Gl^2}\right) \le \frac{1}{300}, \tag{4.7}$$

$$P_{общ} = \frac{108EJn}{575l^2(1+1{,}172Eh^2/Gl^2)}. \tag{4.8}$$

За расчетную способность (несущую) балки принимается минимальная из вычисленных величин сосредоточенной нагрузки $P_{рас}$.

При определении теоретической разрушающей нагрузки необходимо значение расчетной нагрузки увеличить на коэффициент надежности по материалу K = 3,8, учитывающий снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки. Масштабный фактор и наличие пороков в деревянном элементе, тогда

$$P_{раз.т.} = P_{рас} \cdot K. \tag{4.9}$$

При испытании определяют:

а) величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки при расчетной нагрузке;

б) прогиб балки при каждой ступени загружения;

в) величину разрушающей нагрузки (по усмотрению преподавателя).

Нагружение балки осуществляют ступенями по $0{,}25P_{рас.}$ Показания тензометра записывают в журнал испытания (таблица 4.1) при нулевой и расчётной нагрузке. Показания индикаторов или прогибомеров записывают на каждой ступени нагрузки до величины $2P_{рас}$, после чего приборы снимают и образец нагружают до разрушения.

Показания прогибомеров записывают в журнал испытания (таблица 4.2).

По данным испытаний определяют: во-первых, фибровые деформации балки и строят эпюру нормальных напряжений по высоте ее поперечного сечения; во-вторых, прогибы балки в середине пролета с построением графика зависимости прогибов от нагрузки. По величинам прогибов балки при нагрузках $0{,}25P_{рас}$ и $0{,}5P_{рас}$ вычисляют усредненный модуль упругости балки при кратковременном нагружении и оценивают влияние поперечной силы на прогиб балки.

Для этого по показаниям прогибомера №2 определяют прогиб балки в середине пролета и вычисляют усредненный модуль упругости древесины без учета влияния поперечной силы

$$E_{(А-Б)} = \frac{23Pl^3}{108bh^3 f^2}. \tag{4.10}$$

Затем определяют наибольшее приращение прогиба балки на участке между грузами по показаниям трех индикаторов

$$f_{(1-3)} = \frac{f_1 + f_3}{2} - f_2, \tag{4.11}$$

и вычисляют усредненный модуль упругости в зоне чистого изгиба

$$E_{(1-3)} = \frac{Pl^3}{36bh^3 f_{(1-3)}}. \tag{4.12}$$

Сравнение результатов, полученных по формулам (4.10) и (4.12), дает возможность экспериментально оценить влияние поперечной силы на прогиб балки при кратковременном нагружении и сравнить его со значениями. Полученными с учетом расчетных значений *E* и *G/*

5. Сравнение опытных величин с теоретическими.

5.1. Сравнение разрушающих нагрузок

$$\frac{P_{раз.оп} - P_{раз.т}}{P_{раз.т}} 100\%; \tag{4.13}$$

5.2. Сравнение прогибов при расчетной нагрузке

$$\frac{f_{оп} - f_{т}}{f_{т}} 100\%. \tag{4.14}$$

Сравнение экспериментальных и теоретических значений влияния поперечной силы на прогиб балки при условии одинакового влияния при кратковременном и длительном действии нагрузки

$$\Delta f_{\text{т}} = \frac{f_M + Q}{f_M} 100\%, \tag{4.15}$$

$$\Delta f_{\text{оп}} = \frac{E_{(1-3)} - E_{(\text{А}-\text{Б})}}{E_{(\text{А}-\text{Б})}} 100\%, \tag{4.16}$$

где $f_M + Q$– прогиб балки с учетом влияния поперечной силы;

f_M – прогиб балки без учета влияния поперечной силы;

5.3. Сравнение максимальных нормальных напряжений σ_x при расчетной нагрузке

$$\frac{\sigma_x - \sigma_{x_{\text{оп}}}}{\sigma_{x_{\text{т}}}} 100\%. \tag{4.17}$$

В выводах по результатам испытания анализируют сходимость теоретических и опытных величин, прогибов при расчетной нагрузке, дополнительного прогиба от поперечной силы, а при их несоответствии указывают возможные причины.

Таблица 5.1

Журнал испытаний

Определение относительных деформаций балки

Виды отсчетов и вычислений	Тензометры (база = 20мм, m = 1000)					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Начальные отсчеты P = 0, Н						
Конечные отсчеты P = 0, Н						
Разность отсчетов						
Средняя разность отсчетов в n						
Напряжение σ_u, МПа						
Примечание. m – увеличение тензометра; $\sigma_u = (5000/m)\ n = 5n$.						

Таблица 5.2

Журнал испытаний
Определение прогибов балки

Нагрузка		Отчет по индикатору, мм			Прогиб, мм	
В долях от $P_{рас}$	Н	U-1	U-2	U-3	f_2	$F_{(1\text{-}3)}$

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.
2. Описание используемых приборов и оборудования.
3. Схематический рисунок конструкции балки и расчетную схему ее нагружения, определение расчетной и разрушающей нагрузки, теоретические величины напряжений и прогибов при действии расчетной нагрузки, схему расстановки приборов, журнал испытания с необходимыми вычислениями (см. таблицы 5.1 и 5.2), эпюры нормальных напряжений в сечении, график зависимости прогиба от нагрузки
4. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Из каких условий назначается расчетная нагрузки для клееной балки?
2. Как определить предельный момент для клееной балки из условия прочности по нормальным напряжениям?
3. Как распределяются нормальные напряжения по высоте сечений балки?
4. Как распределяются касательные напряжения по высоте сечения балки?
5. При каких соотношениях *h/l* происходит разрушение балки от действия касательных напряжений?
6. При каких параметрах *h/l* необходимо учитывать влияние дополнительного прогиба от поперечных сил?
7. Как определить предельных изгибающий момент из условия прочности по касательным напряжениям?
8. Как определить изгибающий момент из условия прогиба?
9. Какие виды разрушения может иметь клееная балка?
10. От каких геометрических параметров зависит вид и характер разрушения клееной балки?

11. Что происходит с волокнами древесины в сжатой зоне сечения перед разрушением балок по нормальному сечению?

12. Как экспериментально определить усредненный модуль упругости балки?

13. Какие стадии работы имеет клееная балка при загружении до разрушения?

14. Какие теоретически определяют полный прогиб балки?

Список литературы: [1, 8].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕФАНЕРНОЙ БАЛКИ

Цель работы: исследования работы и характера разрушения клеефанерной балки

Задачи лабораторной работы:

– определить расчетную несущую способность балки,

–экспериментально построить график прогибов и сравнить их с прогибами, полученными теоретически.

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудования: силовая установка с гидравлическим домкратом (или другая испытательная машина с силоизмерителем), прогибомер, тензодатчики с базой 20 мм; образец.

Теоретический материал

Клеефанерные балки состоят из фанерных стенок (толщиной 10-12мм) и дощатых поясов. Поперечное сечение клеефанерной балки может быть двутавровым или коробчатым. Так как при этом пояса удалены от нейтральной оси, то материал в таких балках используется наиболее эффективно.

Балки такого типа могут быть постоянной высоты, двускатными, а также с криволинейным верхним поясом.

Опытный образец балки приведен на рисунке 5.1, для ее изготовления подбирают древесину по нижеуказанным правилам. Для изготовления поясов балки подбирают сосновые или еловые доски влажностью 10-15%, по возможности без пороков, особенно сучков. Доски строгают с четырех сторон до получения номинальных размеров и склеивают между собой. Годовые слои досок должны иметь согласованное расположение. Древесина нижней доски балки должна быть более высокого качества, чем верхней.

Для стенки подбирают березовую фанеру марки ВК, склеенную карбамидным клеем или фанеру марки ФСФ, склеенную фенолформальдегидным клеем. При сгибании листы фанеры не должны расслаиваться. Прочность фанеры проверяют испытанием на скалывание клеевого шва. На го-

ризонтальном столе собирают каркас балки из досок (пояса и ребра), скрепляя их гвоздями.

На каркас наклеивают с двух сторон фанеру так, чтобы волокна рубашек были перпендикулярны к доскам поясов.

Рекомендованные размеры образца балки (рис.1) e = 100 см; $b_с$ = 5см; $b_п$ = 4 см; h = 8 см; $h_п$ = 2 см; δ = 0,25 см.

Приведенные геометрические характеристики поперечного сечения балки вычисляют по формулам:

$$J_{пр} = J_д + J_ф E_ф/E; \qquad S_{пр} = S_д + S_ф\, E_ф/E, \tag{5.1}$$

При $E_о/E$ = 50000/100000 = 0,5, таким образом получим:

$$J_{ïð} = \frac{b_ï\left(h^3 - h_1^3\right) + \delta \cdot h^3}{12}, \tag{5.2}$$

$$W_{ïð} = \frac{b_ï\left(h^3 - h_1^3\right) + \delta \cdot h^3}{6 \cdot h}, \tag{5.3}$$

$$S_ï = b_ï\left(h^2 - h_1^2\right)/8, \tag{5.4}$$

$$S_{ïð} = \frac{b_ï\left(h^2 - h_1^2\right) + \delta \cdot h^3}{8}, \tag{5.5}$$

где $I_{пр}$, $S_{пр}$, $W_{пр}$ – соответственно приведенные к древесине значения момента инерции, статистического момента и момента сопротивления;

$E_ф$ и E – модули упругости фанеры и древесины;

$S_п$ – статистический момент пояса относительно центра тяжести балки.

Расчетную нагрузку определяют по расчетной несущей способности балки.

По прочности поперечного сечения от действия нормальных напряжений расчетную нагрузку P находят по формуле:

$$\sigma = M/W_{пр} \leq R_р; \tag{5.6}$$

где $M = Pl/6$;

$R_р$ – расчетное сопротивление древесины пояса на растяжение.

Таким образом после преобразования:

$$P_1 = 6W_{пр} R_р / l \qquad (5.7)$$

По прочности на скалывание клеевых швов, крепящих фанеру к поясам, расчетную нагрузку P вычисляют, пользуясь выражением:

$$\tau = \frac{Q_{max} S_{ï}}{J_{ïð} \sum h_{ï}} \le R_{ñê}^{ô}, \qquad (5.8)$$

где $Q_{max} = P/2$; $\Sigma h_п = 2h_п$

$R_{ск}^{ф}$ – расчетное сопротивление клеевых швов фанеры на скалывание (срез). Решив эти формулы, получим:

$$P_2 = 4J_{пр} h_п R_{ск}^{ф} / S_п, \qquad (5.9)$$

По прочности на срез фанерной стенки расчетную нагрузку по формуле:

$$\tau = QS_{пр} / (I_{пр} \Sigma\delta) \le R_{ср}^{ф}, \qquad (5.10)$$

где $S_{пр}$ – статистический момент половины сечения относительно центра тяжести балки;

$R_{ср}^{ф}$ –расчетное сопротивление фанеры на срез (скалывание).

Следовательно,

$$P_3 = 4I_{пр}\delta R_{ср}^{ф} / S_{пр}, \qquad (5.11)$$

По устойчивости фанерной стенки расчетную нагрузку определяют, пользуясь формулой:

$$Q_{max} / [\Sigma\delta(h-h_п) - \varphi_ф] \le R_{ср}^{ф}, \qquad (5.12)$$

где $\varphi_ф = (65\delta/a)^2$ – коэффициент устойчивости фанеры;

a – расстояние в свету между ребрами жестокости балки;

При $a \le 65\delta$ коэффициент $\varphi = 1$.

При $\varphi = 1$ расчетную нагрузку P из условия устойчивости фанерной стенки не определяют.

В опорной части балки (рис. 5.1) $a = 0{,}5[l/3 - 2{,}5bc]$

В принятой балке $a < 65\delta$ и $\varphi = 1$.

По предельному прогибу расчетную нагрузку Р находят по формуле

$$fn = fm(1 + \alpha h^2 / \ell^2) < f_{пр}\, \ell / 250. \qquad (5.13)$$

где f_n – полный прогиб балки, с учетом нормальных и касательных напряжений;

Прогиб балки, определяемый без учета касательных напряжений

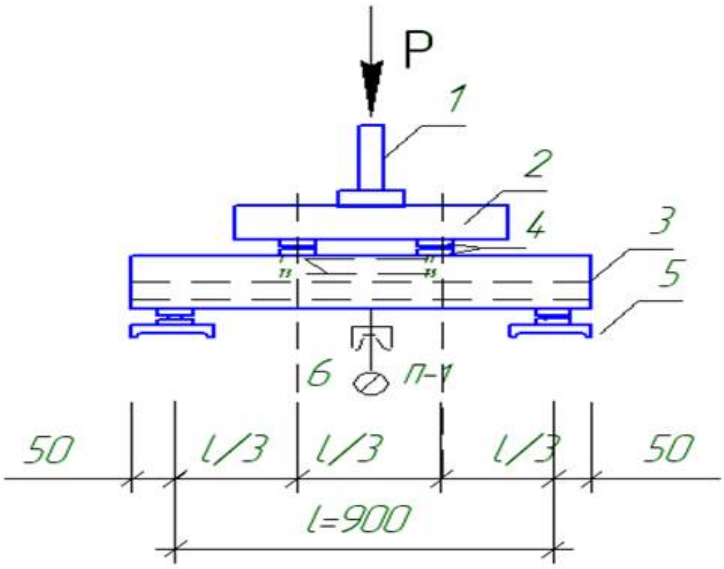
$$f = \frac{23 \cdot \frac{P}{2} \cdot l^3}{648 \cdot E \cdot J_{пр}}, \qquad (5.14)$$

(здесь $P^{Н} = P/n \approx P/1{,}2$ нормативная нагрузка),

где n – усредненный коэффициент перегрузки); $\alpha = 90^{o}$ при $\Sigma\delta/bn = 1/8$;

$f_{пр}$ – предельный прогиб. После подстановок, решив формулу, получим

$$P = 0{,}27EI_{пр} / (l^2 + 90\, h^2). \qquad (5.15)$$



1 – рычаг; 2 – металлическая траверса; 3– балка; 4 – опоры траверсы; 5 – опоры рычажной установки; 6 –средняя опора рычажной установки;7 – платформа рычага с грузами.

Рисунок 5.1 Схема рычажной установки и испытания балок

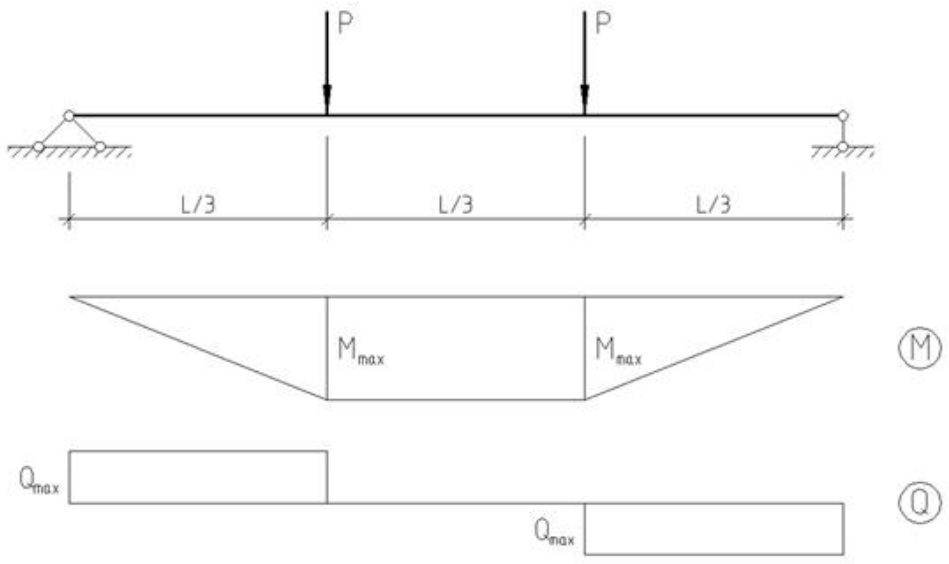


Рис. 5.1 Расчетная схема клеефанерной балки,
эпюры изгибающих моментов и поперечных сил

Порядок проведения работы

1. Определяются геометрические размеры − ширина *b*i и высота *h*i поперечного сечения составляющих элементов балки (модули упругости *E*i этих элементов и жесткости коннекторов Кс при заданном расстоянии между контактными пластинами определяется на предварительном этапе испытаний).

2. По формулам 6.3÷6.8 вычисляют значения прогибов балки как стержня целого сечения и как стержня с нулевой жесткостью связей сдвига.

3. Производится ступенчатое нагружение балки, а затем − ее полная разгрузка; результаты измерения вертикальных деформаций (т.е. отсчеты по индикаторам ИН1-ИН6) на каждой ступени нагружения и разгрузки заносятся в журнал испытаний в форме таблицы 5.1, а результаты измерения горизонтальных смещений элементов по плоскости соединения в табл. 5.2.

4. Производится численная обработка экспериментальных данных с целью определения прогиба балки *f*п и смещений составляющих элементов по плоскости соединения, после чего осуществляется сравнение этих результатов с теоретическими и определяется величина коэффициента *KI*, (5.2).

5. На основании полученных экспериментальных данных строится график зависимости прогибов балки и смещений по плоскости соединения от уровня нагружения.

Таблица 5.1

Журнал испытаний

Измерения вертикальных деформаций

Виды отсчетов и вычислений	Тензометры (база = 20мм, m = 1000)					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Начальные отсчеты P = 0, Н						
Конечные отсчеты P = 0, Н						
Разность отсчетов						
Средняя разность отсчетов в n						
Напряжение σ_u, МПа						
Примечание. m – увеличение тензометра; $\sigma_u = (5000/m)\ n = 5n$.						

Таблица 5.2

Журнал испытаний

Определение прогибов балки

Нагрузка		Отчет по индикатору, мм			Прогиб, мм	
В долях от $P_{рас}$	Н	U-1	U-2	U-3	f_2	$F_{(1\text{-}3)}$

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.
2. Описание используемых приборов и оборудования.
3. Схематический рисунок конструкции балки и расчетную схему ее нагружения, журнал испытания с необходимыми вычислениями (см. таблицы 6.1 и 6.2), график прогиба и результаты расчетов.
4. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Конструкция и виды клеефанерных балок с плоской стенкой.
2. Приведённые геометрические характеристики поперечного сечения клеефанерных балок коробчатой конструкции.
3. Расчёт клеефанерных балок с плоской стенкой коробчатого сечения.

4. Проверка прогиба клеефанерных балок.

5. Проверка устойчивости фанерной стенки от выпучивания (в зависимости от расположения волокон рубашки).

Список литературы: [1, 2, 8, 9]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИСПЫТАНИЕ СОСТАВНОЙ БАЛКИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ

Цели работы: изучение методики пользования приборами для испытания составной балки с соединением на деформативных связях сдвига

Задачи лабораторной работы:

– исследование работы составных балок с соединениями на механических связях сдвига;

– определение коэффициента влияния податливости связей сдвига на прогибы стержня составного сечения;

– определение относительных смещений составляющих элементов по плоскости соединения.

Приборы и оборудование:

– балка, состоящая из 2-х брусьев, соединенных между собой нагельными пластинами типа ТГк. Количество нагельных пластин в балке определено расчетом из условия восприятия сдвигающих сил.

– шарнирные опоры;

– пружинный динамометр;

– индикаторы часового типа ИЧ-50 с точностью до 0,01мм.

Теоретический материал

Объектом исследования является балка, состоящая из 2-х брусьев, соединенных между собой нагельными пластинами типа ТГк. Количество нагельных пластин в балке определено расчетом из условия восприятия сдвигающих сил [1, 4].

Балка установлена на шарнирные опоры, сосредоточенная нагрузка по середине пролета балки прикладывается с помощью винтового нагружающего устройства, закрепленного в специальной металлической раме, заанкеренной относительно силового основания. Силоизмерение осуществляется с помощью пружинного динамометра, закрепленного в той же раме.

Прогиб балки по середине пролета измеряется с помощью индикаторов часового типа ИЧ-50 с точностью до 0,01мм, при этом индикаторами ИН1, ИН2 фиксируются вертикальные перемещения сечения балки по середине ее длины, а индикаторами ИНЗ - ИН6, перемещения опорных ее сечений – прогиб балки на каждой ступени загружения определяется как разность между усредненными значениями отсчетов по индикаторам ИН1-ИН2 и индикаторами ИНЗ-ИН6.

Горизонтальные смещения составляющих элементов балки по плоскости их соединения измеряются с помощью горизонтально-ориентированных и расположенных по торцам балки индикаторов ИН7, ИН8, которые фиксируют смещения нижнего элемента относительно верхнего.

Во втором случае объектом исследования является деревянная балка составного сечения, содержащая два брусчатых элемента, размещенных на некотором расстоянии друг от друга (с зазором) и соединенных четырьмя нагельными коннекторами с регулируемым высотным размером, определяемым расстоянием между его горизонтальными несущими

пластинами (такие коннекторы предназначены для усиления существующих балок «ряжевого» типа и изготовления балочных перекрестных систем повышенной точности).

Испытания балки производятся аналогично первому случаю, при чем горизонтальные смещения составляющих элементов балки по плоскости их соединения измеряются с помощью горизонтально-ориентированных индикаторов ИН7 − ИНН, при этом индикаторы ИН7-ИН10 фиксируют смещения нижнего элемента относительно соответствующих коннекторов, а индикаторы ИНН-ИНН – смещения верхнего элемента относительно тех же коннекторов.

Известно, что на характер работы составных деревянных стержней с соединениями на механических связях сдвига, к числу которых относятся и коннекторы нагельного типа, существенное влияние оказывает повышенная деформативность («податливость») таких связей, изначально проявляющееся в смещениях отдельных составляющих элементов по плоскости соединения («плоскости сплачивания»).

В конечном итоге такие смещения составляющих элементов приводят к увеличению прогибов составных стержней, а также − изменению характера распределения нормальных напряжений в их поперечных сечениях.

При конструктивном расчете составных стержней, объединенных достаточно большим количеством связей сдвига по плоскостям соединения, влияние указанных смещений учитываются посредством корректирования геометрических характеристик их поперечного сечения − момента инерции Iп и момента сопротивления $W_п$ − путем «приведения» к характеристикам стержней целого сечения тех же размеров, которое осуществляется на основе следующих выражений:

$$I = I \cdot k_I \quad \text{и} \quad W_п = W \cdot k_W \qquad (6.1)$$

В формулах 6.1 коэффициенты k_I и k_W учитывают влияние податливости связей сдвига на момент инерции I и момент сопротивления W попе-

речного сечения. Численные значения этих коэффициентов определяются по СНиП [8].

В тех случаях, когда число связевых элементов, расставленных по длине плоскости соединения сравнительно невелико расчет по методу приведения (основанному на представлении группы связей в виде одной «обобщенной» связи) оказывается недостаточно точным, вследствие чего возникает необходимость в привлечении традиционных методов расчета, в которых число неизвестных определяется числом связевых элементов с учетом привлечения реальных жесткостей связей сдвига и их фактической расстановки по длине шва сплачивания.

После составления и решения соответствующей системы уравнений получают значения сдвигающих усилий Ti в соединительных элементах, а затем и все значимые параметры напряженно-деформированного состояния – величину нормальных напряжений в составляющих элементах, их смещения в плоскости соединения и прогибы.

Необходимые для подобных расчетов данные о величинах изгибной жесткости составляющих элементов стержня EI; и сдвиговой жесткости соединительных элементов K_{ci}, определяются на основе нормативных данных, а при исследованиях – экспериментально.

В данной работе рассматриваются два варианта составных балок на деформативных связях сдвига:

1. балка с соединениями на нагельных пластинах ТГк без зазоров, общий вид показан на рис 6.1;

2. балка с соединениями на нагельных коннекторах с регулируемым вертикальным зазором, общий вид показан на рис 6.2.

Одной из основных параметров, характеризующих работу составных балок на податливых связях, является их прогибы и смещения составляющих элементов по плоскости соединения.

Учитывая, что объектом исследования является составная деревянная балка, содержащая ограниченное число соединительных элементов по длине плоскости соединения, теоретические значения ее деформаций - прогиб по середине пролета и горизонтальные смещения составляющих элементов по плоскости соединения − определяется численным методом с использованием программы, разработанной в НПИЦСК для персональных компьютеров IBM. В указанных расчетах используются данные об изгибных жесткостях верхнего (EIв) и нижнего (EIн) составляющих элементов стержня, а также сдвиговой жесткости коннекторов Ki (при фиксированном расстоянии между его пластинами), численные значения которых получены экспериментально на предварительной стадии исследований.

Основной задачей испытания составных балок является определение экспериментальных значений упомянутых выше деформационных параметров (т.е. прогиба $f_п$ и горизонтальных смещений) и, далее, определение на этой основе коэффициента KI учитывающего влияние податливости

связей на момент инерции балки составного сечения:

$$K_I = I_п / I = f_п / f \quad , \tag{6.2}$$

где fп − прогиб составного стержня, определенный экспериментально;

f − расчетный прогиб составной балки как стержня целого сечения.

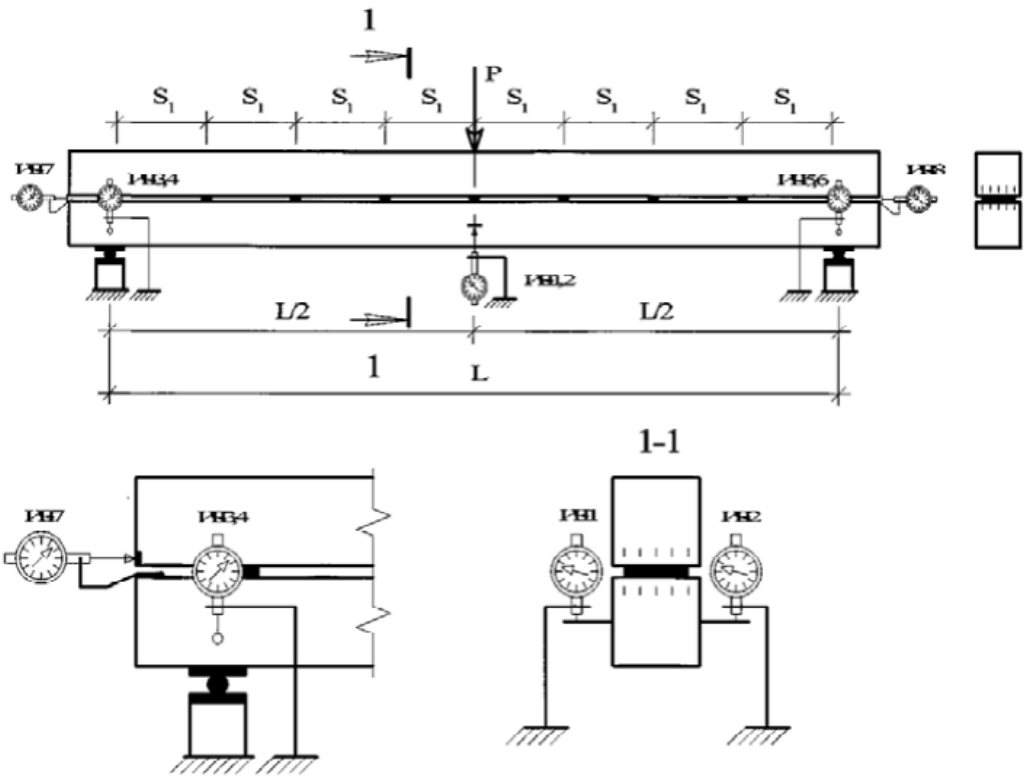
Прогиб стержня целого сечения определяется из выражения

$$f = Pl^3 / 48(EI)_{пр} \quad , \tag{6.3}$$

где Р − величина сосредоточенной силы по середине пролета балки;

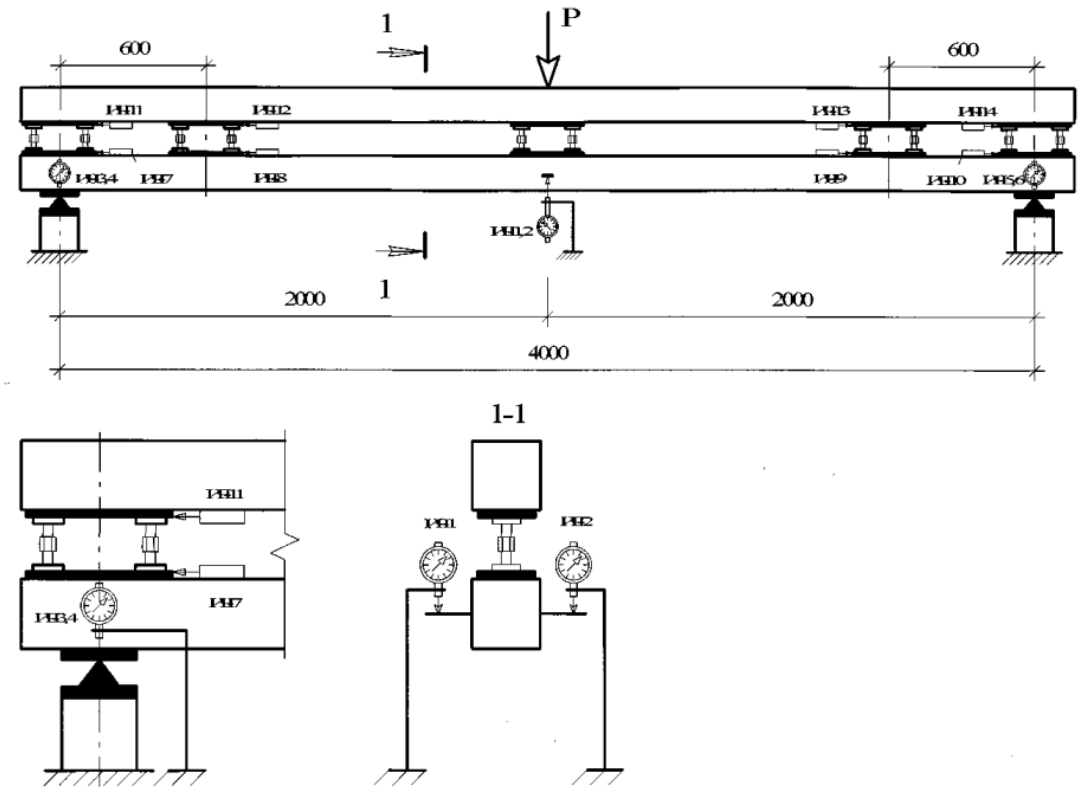
$(EI)_{пр}$ – приведенная изгибная жесткость составной балки как стержня целого сечения, в случае различной величины модуля упругости и геометрических размеров поперечного сечения составляющие балку элементов, при этом:

$$I_i = b_i \cdot h_i / 12 \quad ,$$



а) общий вид; б) схема измерения сдвиговых деформаций

Рис. 6.1 Испытания составной балки на нагельных пластинах ТГк



а) общий вид; б) схема измерения сдвиговых деформаций

Рис. 6.2 Испытания составной балки
на нагельных регулируемых коннекторах

В целях оценки эффективности применения коннекторов производится сравнение действительного прогиба составного стержня fп с прогибом этого стержня f_0 при условии нулевой жесткости связей сдвига, величина которого определяется по выражению 5.3, где приведенная жесткость (с «приведением» к модулю упругости нижнего элемента) определяется следующим образом:

$$E_i I_{0\text{пр}} = E_i I_i = E_{\text{н}}\left(n_{\text{в}} I_{\text{в}} + I_{\text{н}}\right) , \qquad (6.4)$$

где n_e – соотношение между модулями упругости верхнего и нижнего составляющих элементов,

$$n_e = E_{\text{в}} / E_{\text{н}} ,$$

Для вычисления приведенной изгибной жесткости составной балки как стержня целого сечения последовательно вычисляются следующие

геометрические характеристики (с «приведением» к модулю упругости нижнего составляющего элемента):

− расчетная площадь поперечного сечения:

$$A_{\text{пр}} = b_{\text{н}} h_{\text{н}} + n_{\text{в}} b_{\text{в}} h_{\text{в}} \ , \tag{6.5}$$

− приведённый статический момент относительно нижней грани сечения

$$S_{\text{пр}} = b_{\text{н}} h_{\text{н}} \left(h_{\text{н}} / 2 \right) + n_{\text{в}} b_{\text{в}} h_{\text{в}} c \ , \tag{6.6}$$

где с − расстояние от оси верхнего элемента до нижней грани сечения.

− ордината центра тяжести сечения приведенного сечения

$$Y_{\text{пр}} = S_{\text{пр}} / A_{\text{пр}} \ , \tag{6.7}$$

− и, в заключение, расчетный момент инерции целого сечения

$$I_{\text{пр}} = n_{\text{в}} I_{\text{в}} + I_{\text{н}} + b_{\text{н}} h_{\text{н}} a^2 + n_{\text{в}} b_{\text{в}} h_{\text{в}} b^2 \ , \tag{6.8}$$

где a, b − расстояния от геометрических осей нижнего и верхнего элементов до геометрической оси сечения в целом.

Далее по выражению 6.3 определяется теоретическое значение прогиба составной балки как стержня целого сечения.

Порядок проведения работы

1. Определяются геометрические размеры − ширина bi и высота hi поперечного сечения составляющих элементов балки (модули упругости Ei этих элементов и жесткости коннекторов Кс при заданном расстоянии между контактными пластинами определяется на предварительном этапе испытаний).

2. По формулам 6.3÷6.8 вычисляют значения прогибов балки как стержня целого сечения и как стержня с нулевой жесткостью связей сдвига.

3. Производится ступенчатое нагружение балки, а затем − ее полная разгрузка; результаты измерения вертикальных деформаций (т.е. отсчеты по индикаторам ИН1-ИН6) на каждой ступени нагружения и разгрузки заносятся в журнал испытаний в форме таблицы 6.1, а результаты измерения горизонтальных смещений элементов по плоскости соединения в табл. 6.2.

4. Производится численная обработка экспериментальных данных с

целью определения прогиба балки fп и смещений составляющих элементов по плоскости соединения, после чего осуществляется сравнение этих результатов с теоретическими и определяется величина коэффициента *KI*, (6.2).

5. На основании полученных экспериментальных данных строится график зависимости прогибов балки и смещений по плоскости соединения от уровня нагружения.

Таблица 6.1

Журнал испытаний
Измерения вертикальных деформаций

P	Вертикальные перемещения					Перемещения на опоре									Прогиб	
	ИН1		ИН2		$\Delta_{ср}$	ИН3		ИН4		ИН5		ИН6		$\Delta_{ср}$	F	Σf
	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ		Отсчет	Δ	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ			
0																
…																
…																
0																

Таблица 6.2

Журнал испытаний
Измерения горизонтальных перемещений

P	Горизонтальные перемещения					Перемещения на опоре									Прогиб	
	ИН1		ИН2		$\Delta_{ср}$	ИН3		ИН4		ИН5		ИН6		$\Delta_{ср}$	F	Σf
	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ		Отсчет	Δ	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ	Отсчет	Δ			
0																
…																
…																
0																

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.
2. Описание используемых приборов и оборудования.
3. Схематический рисунок конструкции балки и расчетную схему ее нагружения, определение значения прогибов балки как стержня целого сечения и как стержня с нулевой жесткостью связей сдвига, журнал испытания с необходимыми вычислениями (см. таблицы 6.1 и 6.2), график зави-

симости прогиба и смещений по плоскости соединения от уровня нагружения.

4. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Какие балки называются составными? Каковы основные отличия в работе составных балок и балок целого сечения?

2. Каковы основные принципы расчета балок составного сечения?

3. Как соотносятся значения основных параметров напряженно-деформированного состояния составных стержней в сравнении со стержнями целого сечения и стержнями-пакетами?

Список литературы: [1, 2, 8]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИСПЫТАНИЕ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ СО СТЕНКОЙ ИЗ ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРУЖЕЧНОЙ ПЛИТЫ

Цель работы: экспериментальные исследования работы составной деревянной балки.

Задачи лабораторной работы:

– исследование работы двутавровой балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты;

– определение несущую способность при работе в упругой стадии двутавровой балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты;

Перечень необходимых материалов, реактивов, приборов, оборудования:

– испытательная машина с клиновидными захватами с погрешностью измерения нагрузки 1%;

– штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм;

– микрометр или толщиномер с погрешностью измерения не более 0,01 мм;

– тензометры с погрешностью измерения 0,001 мм;

– образцы.

Теоретический материал

Двутавр считается наиболее эффективной формой поперечного сечения по использованию материалов. Конструктивные особенности и преимущества двутавровых балок и стоек на основе ориентированно-стружечных плит OSB-3 по сравнению с деревянными брусьями следующие:

– высокая несущая способность, позволяющая использовать их в пролетах большой длины;

– высокая жесткость полов;

– сниженный в 2-3 раза удельный расход материалов на перекрытие по сравнению с решением перекрытия по деревянным брусьям;

– универсальность сточки зрения возможного применения в конструкциях стен, потолка и пола;

– бесшумность пола и отсутствие скрипа при правильной установке

– удобство монтажа в силу легкости конструкций, обрабатываемости обычными плотницкими инструментами и отсутствия необходимости в крановом оборудовании;

– количество опорных балок в перекрытии можно уменьшить, увеличивая их высоту, что дает возможность оперировать свободным пространством;

– в отверстиях, вырезанных в стенке балки, можно прокладывать коммуникации различного назначения.

Двутавровые балки и стойки на основе ориентированно-стружечных плит OSB-3 рекомендуются к применению при строительстве и реконструкции малоэтажных зданий в качестве несущих элементов балочных перекрытий и покрытий, а также в качестве несущих элементов каркаса стен.

Двутавровые балки перекрытия и покрытия (рисунок 7.1), имеющие сечение поясов 89 х 38 мм, высотой сечения от 200 до 450 мм, длиной L от 1,5 до 7,2 м, предназначены для устройства балочного междуэтажного и чердачного перекрытий жилых и общественных зданий. В сочетании с данными балками рекомендуется использовать облегченные ограждающие конструкции.

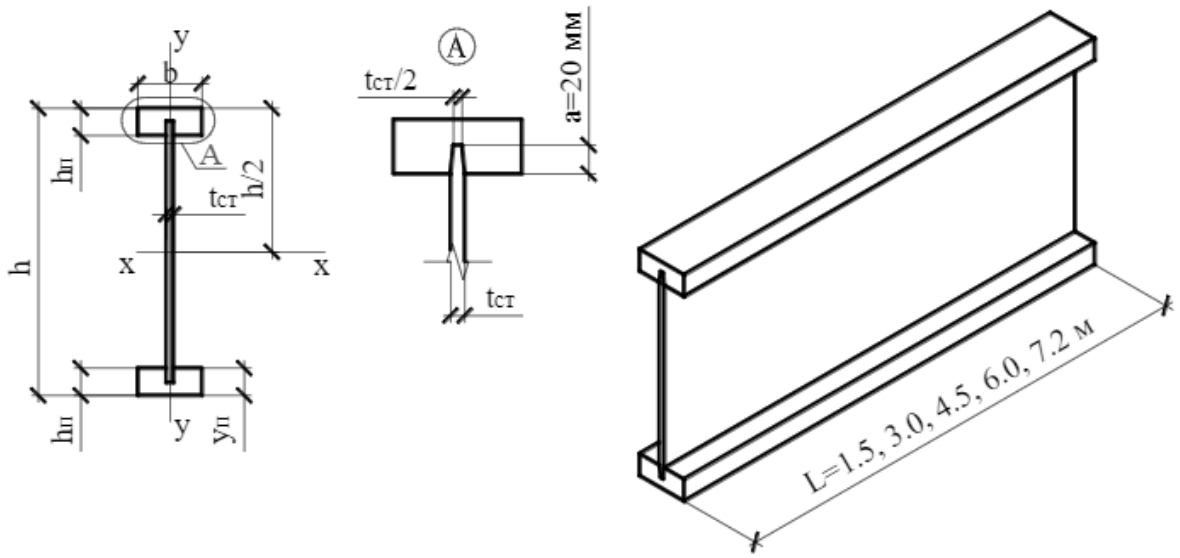


Рис. 7.1. Геометрические параметры двутавровых балок на основе плиты OSB-3

Балки и стойки постоянного по высоте двутаврового сечения вклю-

чают пояса из древесины хвойных пород и плоскую стенку из ориентированно-стружечной плиты OSB-3.

Ориентированно-стружечные плиты OSB-3, используемые для изготовления двутавровых балок и стоек, должны соответствовать требованиям ГОСТ [11].

Для изготовления элементов поясов двутавровых балок и стоек применяются пиломатериалы из древесины хвойных пород, удовлетворяющие требованиям ГОСТ [12]. Пояса двутавровых балок изготавливают из сосны 1 и 2 сорта.

Влажность пиломатериалов на момент изготовления изделий должна быть не более 22% по массе.

Отдельные части конструкции соединяются с применением резорцинформальдегидного клея ФР-12, водостойких полимерных дисперсий или иных клеев-аналогов.

Измеряют поперечное сечение рабочей части образца в трех местах – в средней части и на границах рабочей длины.

За начальную площадь поперечного сечения образца в его рабочей части A_0 принималось наименьшее из полученных значений на основании произведенных измерений с округлением до 0,01 мм^2.

Образцы устанавливались в захват машины так, чтобы его продольная ось совпадала с осями головок машины, а клиновидные захваты захватывали образец вплотную.

Перед испытанием определяют влажность листа, из которого вырезают образцы для испытания.

При определении предела прочности проводят нагружение образца равными ступенями до усилия, соответствующего напряжению, равному 5 ÷ 25% от предполагаемого предела прочности.

Число ступеней усилия должно быть не менее 4.

Время выдержки на каждой ступени до 8-10 с. Время действия нагрузки (90 ± 30) с.

Максимальную нагрузку измеряют с погрешностью не более 1%.

Образцы, разрушение которых произошло вне рабочей части, в расчет не принимают, и они должны быть заменены.

Обработка результатов

Предел прочности при растяжении $\sigma_р$, МПа, для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_р = F_{max} / b_1 h, \qquad (7.1)$$

где F_{max} – максимальная (разрушающая) нагрузка, Н;

b_1 – ширина рабочей части образца, мм;

h – толщина рабочей части образца, мм.

Результаты округляют:

– до 0,5 МПа - при испытании образцов всех толщин вдоль волокон, а также при испытании образцов толщиной 7 мм и более поперек волокон и под углом 45°;

– до 0,1 МПа - при испытании образцов толщиной менее 7 мм поперек волокон и под углом 45°.

За результат испытания каждой столярной плиты принимают среднеарифметическое значение показателей всех образцов, вырезанных из этой плиты.

Результаты измерений и расчетов заносят в журнал испытаний (таблица 7.1).

Таблица 7.1

Журнал испытаний

Определение предела прочности и модуля упругости при растяжении

Тип образца	Размеры поперечного сечения, мм			Радиус закругления R, мм	Ширина рабочей части образца b_1, мм	Длина рабочей части образца l_1, мм	Максимальная (разрушающая) нагрузка F_{max}, Н	Нагрузка, Н		Деформация по тензометру, мм		Предел прочности при растяжении σ_p, МПа	Модуль упругости при растяжении E, МПа	Влажность W, %
	длина l	ширина b	толщина h					F_1 =10% от F_{max}	F_2 =40% от F_{max}	u_1 при F_1	u_2 при F_2			

Для определения модуля упругости при растяжении дополнительно на противоположных боковых сторонах образца в его рабочей части устанавливают два тензометра с погрешностью измерения 0,001 мм. Подвижные призмы тензометра должны находиться в одной плоскости.

Испытания образцов проводят в соответствии с рисунком 7.2.

Нагрузка увеличивается с одинаковой скоростью во время всего испытания.

Значение деформации по тензометру измеряют при достижении усилия F_1 = 10% и F_2 = 40% от максимальной (разрушающей) нагрузки F_{max}.

Деформацию следует измерять с точностью до 0,005 мм для образца типа III и 0,001 мм – для образцов типов I и II.

Если деформацию измеряют при постепенном увеличении усилия, необходимо делать минимально 6 пар измерений.

При обработке результатов модуль упругости при растяжении E, МПа, вычисляют по формуле

$$E = [(F_1 - F_2)\, l_1] \,/\, [(u_2 - u_1)\, A], \qquad (7.2)$$

где A – база тензометра, мм;

–диапазон измерения усилия на графике (рисунок 7.2), по значению равен F_1 = 10% и по значению равен F_2 = 40% максимальной (разрушающей) нагрузки;

u_2 - u_1 – увеличение деформации, соответствующее F_1 – F_2 (рисунок 7.2).

Результат округляют до целого числа.

За результат испытаний каждого листа фанеры или столярной плиты принимают среднеарифметическое значение показателей всех образцов, вырезанных из этой плиты.

Рис. 7.2 График нагрузка – деформация
в пределах области упругой деформации

Порядок проведения работы

1. Определяются геометрические размеры − ширина bi и высота hi поперечного сечения составляющих элементов балки.

2. По формулам 7.1−7.2 вычисляют значения предела прочности при растяжении и модуля упругости при растяжении.

3. Производится испытание образца с равномерным нагружением с постоянной скоростью нагружения или постоянной скоростью перемещения нагружающей головки.

4. Результаты испытаний образцов обрабатывались по приведенной выше методике и представляются в виде физических значений.

5. На основании полученных экспериментальных данных строится график зависимости деформации в пределах области упругих деформаций от уровня нагружения.

6. Формируются выводы.

Требования к форме и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цели и задачи работы.

2. Описание используемых приборов и оборудования.

3. Схематический рисунок конструкции балки и расчетную схему ее нагружения, определение предела прочности и модуля упругости при растяжении, журнал испытания с необходимыми вычислениями (см. таблицу 7.1), график зависимости график зависимости деформации в пределах области упругих деформаций от уровня нагружения.

4. Выводы по работе.

Перечень контрольных вопросов

1. Какую конструкцию имеют составные балки?

2. Укажите достоинства двутавровых балок.

3. Как выполняется расчет составных клееных балок из фанеры либо другого материала с древесиной?

4. В каких случаях необходимо усиление стенки двутавровых балок?

5. Укажите способы соединений двутавровых балок с несущими конструкциями.

6. Какие требования имеются для устройства отверстий в стенке двутавровых балок.

Список литературы: [1, 6, 11, 12].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиясов, Б.И. Конструкции из древесины и пластмасс : учебное пособие для вузов / Б.И. Гиясов, Н.Г. Серёгин, Д.Н. Серёгин. – М. : Изд-во АСВ, 2018. – 142 с. : http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432301833.html.

2. Конструкции из дерева и пластмасс : Учебник для вузов / Э.В. Филимонов, М.М Гаппоев, И.М Гуськов и др. – М. : Изд-во АСВ, 2016. – 436 с.: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930933022.html

3. Малбиев С.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий: Учеб. пособие для строительных специальностей вузов. / С.А. Малбиев – М. : Изд-во АСВ, 2017. – 336 с. : http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432301772.html

4. Дукарский Ю.М. Инженерные конструкции. Металлические конструкции и конструкции из древесины и пластмасс : учебник для вузов / Ю.М. Дукарский, Ф.В. Расс, О.В. Мареева. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 262 с. : http://znanium.com/bookread2.php?book=899746

5. Семенов К.В. Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные

конструкции : учебное пособие / К.В. Семенов, М.Ю. Кононова. — СПб.: Лань, 2016. — 136 с. : https://e.lanbook.com/book/75517.

6. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций : учеб. пособие для вузов / Серов Е.Н. – М. : Издательство АСВ, 2015. – 536 с. :http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930937930.html

7. Семенов, Кононова: Конструкции из дерева и пластмассы. Деревянные конструкции. Учебное пособие, – М. : Издательство: Лань, 2016 г. : https://www.labirint.ru/books/542286/

8. СП 64.13330.2017. Свод правил. Деревянные конструкции (Актуализированная редакция СНиП II-25-80). – М., ОАО «ЦПП», 2020. – 103 с.

9. СП 31-105-2002. Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом" (одобрен Постановлением Госстроя РФ от14.02.2002 N 6). – М.: Госстрой России, 2002. – 32 с.

10. СНиП II-25-80*. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ФГУП ЦПП, 2018. – 30 с.

11. ГОСТ 3916.2-2018 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

12. ГОСТ 8486-86*. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017. – 9 с.