

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра архитектурно-строительного
проектирования

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические указания к лабораторным работам
для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Составитель Н.Г. Серёгин

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2021

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 620.19
ББК 34.66
К64

Рецензент — доцент, кандидат технических наук *Ф.А. Бойтемиров*,
доцент кафедры металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ

К64 **Конструкции из дерева и пластмасс** [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / сост. Н.Г. Серёгин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра архитектурно-строительного проектирования. — Электрон. дан. и прогр. (1,4 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа : <http://lib.mgsu.ru/> — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях приведены общие рекомендации к лабораторной работе по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс».

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Промышленное и гражданское строительство».

Учебное электронное издание

Редактор *Т.Н. Донина*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная правка, верстка *О.Г. Горюновой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, Adobe InDesign CS5.5, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 19.12.2020. Объем данных 1,4 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

| | |
|--|----|
| ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | 5 |
| ФОРМЫ КОНТРОЛЯ | 13 |
| УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ | 13 |

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель освоения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» — углубление уровня освоения компетенций обучающегося в области применения в строительстве деревянных конструкций, использования методов исследования, расчета, конструирования и контроля качества конструкций различных типов.

Лабораторная работа по данной дисциплине содержит 2 раздела:

1. Древесина — конструкционный строительный материал.
2. Основные физико-механические свойства древесины как конструкционного материала.

Рассмотрим часто встречаемый вид нагружения наиболее распространённых элементов деревянных конструкций, таких как балки, доски настилов и обшивок, а именно поперечный изгиб. В изгибаемом элементе от нагрузок, действующих поперёк его продольной оси, возникают изгибающие моменты M и поперечные силы Q , определяемые методами строительной механики. Например, в середине пролёта однопролётной шарнирно опёртой балки от равномерной нагрузки q возникает изгибающий момент $M = ql^2/8$, а от сосредоточенной в середине пролёта силы P — изгибающий момент равен $M = Pl/4$. Поперечные силы равняются опорным реакциям от нагрузок.

От действия изгибающего момента в сечениях элемента возникают напряжения изгиба σ , сжимающие в верхней половине сечения и растягивающие — в нижней. В результате элемент изгибается.

На рис. 1 показаны стандартный малый образец древесины и диаграмма его прогибов при испытании на изгиб. Эта диаграмма, как и при сжатии, примерно до середины имеет линейную форму, а затем изгибается, показывая ускоренный рост прогибов. Разрушение образца начинается с появления складок крайних сжатых волокон древесины и завершается разрывом крайних нижних растянутых волокон, в результате чего образец ломается. Средний временный предел прочности при статическом изгибе занимает промежуточное положение между его значениями при растяжении и сжатии — примерно 75 МПа.

Нормальные напряжения в сечениях изгибаемого элемента распределяются неравномерно по высоте. В начальной, расчётной, стадии древесина работает упруго, и эпюра напряжений изображается прямой линией с максимумами у кромок и нулём у нейтральной оси сечения. При дальнейшем росте напряжений сжатая часть сечения начинает работать упругоэластично, эпюра напряжений сжатия изгибается, и нейтральная ось смещается в сторону растянутой кромки. В стадии разрушения часть эпюры, показывающая сжатие, изгибается ещё больше, напряжения сжатия и растяжения достигают пределов прочности, и элемент разрушается.

Пороки древесины, длительное действие нагрузок и наличие перерезанных при распиловке волокон уменьшают прочность изгибаемых элементов из реальной древесины в той же степени, что и при сжатии, поэтому современные нормы не делают различия между расчётной прочностью древесины на сжатие и изгиб. Нормы также учитывают, что в брусках имеется меньше перерезанных при распиловке волокон, чем в досках, а в брёвнах их нет, поэтому для таких элементов расчётные сопротивления повышены.

Кроме того, прочность при изгибе, при прочих равных условиях, зависит от формы поперечного сечения элементов и отношения h / b для элементов прямоугольного сечения.

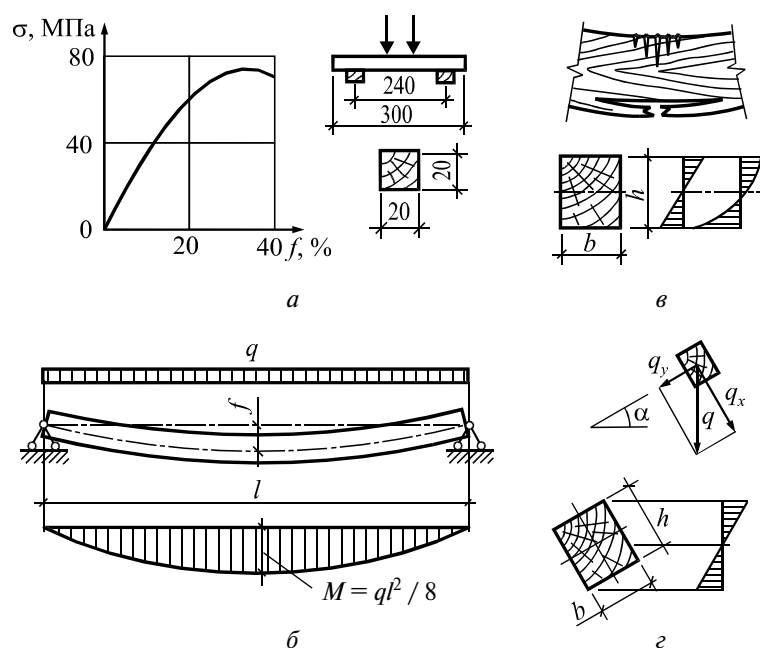


Рис. 1. Изгибаемый элемент:

a — график прогибов и образец; *б* — схема работы и эпюры изгибающих моментов; *в* — схема разрушения и эпюры нормальных напряжений; *г* — схема работы при косом изгибе и эпюра напряжений

Изгибаемые элементы работают более надёжно, чем сжатые, и заранее предупреждают об опасности разрушения большими прогибами.

Изгибаемые элементы, как и сжатые, рекомендуется изготавливать из древесины среднего качества 2-го сорта с расчётным сопротивлением $R_{и} = 13$ МПа.

В брусках с сечениями более 130 мм расчётное сопротивление изгибу $R_{и} = 15$ МПа, а в брёвнах $R_{и} = 16$ МПа. В малоответственных элементах можно применять древесину 3-го сорта с расчётным сопротивлением $R_{и} = 8,5$ МПа.

Расчёт изгибаемых элементов по прочности поперечных сечений производится на действие максимальных изгибающих моментов M (МНм) от расчётных нагрузок и действие поперечных сил Q (кН) по формулам:

— проверка прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{расч}}} \leq R_{и}; \quad (1)$$

— проверка прочности по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{QS_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}}b} \leq R_{\text{ск}} \quad (2)$$

или для прямоугольного сечения:

$$\frac{1,5Q}{hb} \leq R_{\text{ск}}, \quad (3)$$

где M — расчётный изгибающий момент в проверяемом сечении;

$W_{\text{расч}}$ — расчётный момент сопротивления проверяемого сечения. При наличии ослаблений в расчётном сечении элементов $W_{\text{расч}} = W_{\text{нт}}$, причём ослабления, расположенные на участке длиной до 200 мм, считаются совмещёнными в одном сечении, как при расчёте растянутых элементов;

Q — расчётная поперечная сила;

$S_{бр}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

h, b — расчётные размеры поперечного сечения элемента;

$R_{и}, R_{ск}$ — расчётные сопротивления материала соответственно изгибу и скалыванию.

При изгибе в сечениях элемента возникают и скалывающие напряжения τ , проверка которых проводится по формулам (2) и (3). В изгибаемых элементах при отношении $h/b > 4$ необходима проверка устойчивости из плоскости изгибаемых элементов (устойчивость плоской формы деформирования). Проверка устойчивости плоской формы деформирования производится по формуле

$$\frac{M}{W_{бр}} \leq \varphi_M R_{и}, \quad (4)$$

где M — расчётный изгибающий момент на рассматриваемом участке l_p ;

$W_{бр}$ — максимальный момент сопротивления брутто на рассматриваемом участке l_p ;

φ_M — коэффициент устойчивости изгибаемых элементов.

Для изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения, шарнирно закреплённых от смещения из плоскости изгиба и закреплённых от поворота вокруг продольной оси в опорных сечениях

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi, \quad (5)$$

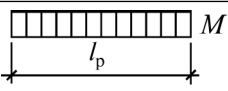
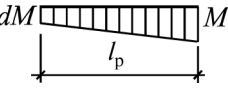
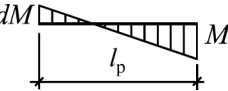
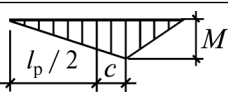
где l_p — расстояние между опорами элемента, а при наличии раскреплений сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещений из плоскости изгиба — расстояние между этими точками;

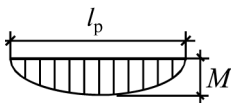
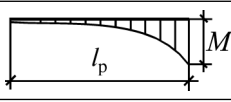
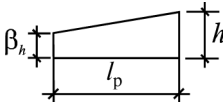
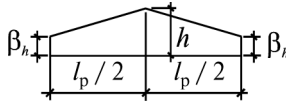
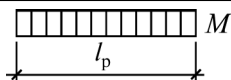
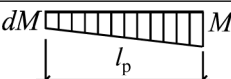
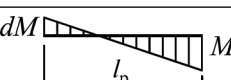

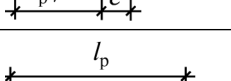

b, h — ширина и максимальная высота сечения элемента на участке l_p ;

k_ϕ — коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающего момента на участке l_p , определяемый по табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов k_ϕ и $k_{жМ}$ для расчётов на устойчивость плоской формы деформирования

| Форма эпюры моментов | k_ϕ | |
|---|--|--|
| | При закреплении только по концам участка l_p | При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке |
|  | 1 | 1 |
|  | $1,75 \dots 0,75d$ $0 < d \leq 1$ | $\frac{3}{2+d}; 0 \leq d \leq 1$ |
|  | $2 \dots (0,5 + d)^2$ $-1 \leq d \leq 0$ | $\frac{3}{2+d}; -2 < d \leq 0$ |
|  | $1,35 + 1,45 (c/l_p)^2$ | $1,35 + 0,3 (c/l_p)$ |

| Форма эпюры моментов | k_{Φ} | |
|---|---|---|
| | При закреплении только по концам участка l_p | При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке |
|  | 1,13 | 1,13 |
|  | 2,45 | 2,32 |
| Форма эпюры моментов | $k_{жМ}$ | |
| |  |  |
|  | $\beta^{1/2}$ | $\beta^{1/2}$ |
|  | $\frac{1}{\beta^{3-d}}$ | $\beta^{1/2}$ |
|  | $\frac{1}{\beta^{3-d}}$ | $\beta^{1/2}$ |
|  | $\beta^{\frac{1}{2+2c/l_p}}$ | $\beta^{\frac{1}{3-2c/l_p}}$ |
|  | $\beta^{1/2}$ | $\beta^{2/5}$ |
|  | $\beta^{1/4}$ | $\beta^{1/2}$ |

При расчёте изгибаемых элементов с линейно меняющейся по длине высотой и постоянной шириной поперечного сечения, не имеющих закреплений из плоскости изгиба растянутой кромки или при $m < 4$, коэффициент φ_M дополнительно умножается на коэффициент $k_{жМ}$. Значения коэффициента $k_{жМ}$ приведены в табл. 1. При числе промежуточных подкреплённых точек растянутой кромки $m \geq 4$ $k_{жМ} = 1$.

При подкреплении растянутой кромки элемента из плоскости изгиба в промежуточных точках на участке l_p коэффициент φ_M , определённый по формуле (5), следует умножить на коэффициент $k_{пМ}$, который находят по формуле

$$k_{пМ} = 1 + \left[0,142 \frac{l_p}{h} + 1,76 \frac{h}{l_p} + 1,4\alpha_p - 1 \right] \frac{m^2}{m^2 + 1}, \quad (6)$$

где α_p — центральный угол в радианах, определяющий участок l_p элемента кругового очертания (для прямоугольных элементов $\alpha_p = 0$);

m — число промежуточных подкреплённых (с одинаковым шагом) точек растянутой кромки на участке l_p . При $m \geq 4$ величину $m^2 / (m^2 + 1)$ следует принимать равной 1.

Проверку устойчивости плоской формы деформирования изгибаемых элементов двутаврового и коробчатого поперечного сечения следует производить в тех случаях, когда $l_p \geq 7b$, где b — ширина поперечного сечения сжатого пояса.

Расчёт следует производить по формуле

$$\frac{M}{W_{\text{бр}}} \leq \varphi R_c, \quad (7)$$

где φ — коэффициент продольного изгиба из плоскости сжатого пояса элемента;
 R_c — расчётное сопротивление сжатию.

Расчёт на жёсткость изгибаемых элементов заключается в определении прогиба или наибольшего относительного прогиба f/l от нормативных нагрузок и проверке условия, чтобы он не превосходил предельно допускаемого нормами значения:

$$f \leq [f], f/l \leq [f/l]. \quad (8)$$

Формулы для определения максимального прогиба для схем балок и нагрузок, приведённых на рис. 2, даны в табл. 2.

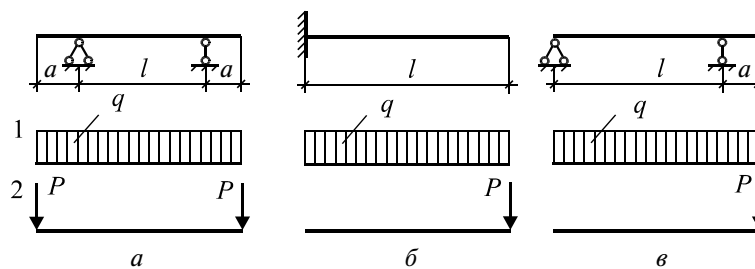


Рис. 2. Схемы балок и нагрузок

Таблица 2

Формулы для определения максимального прогиба

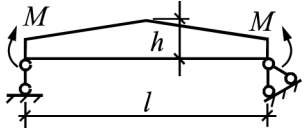
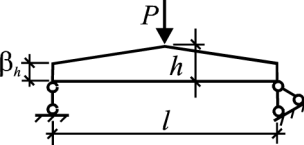
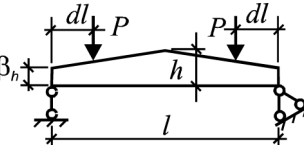
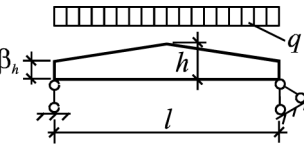
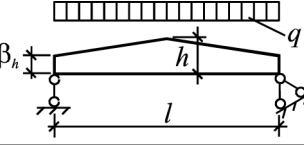
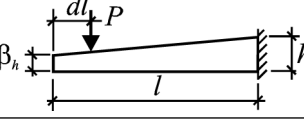
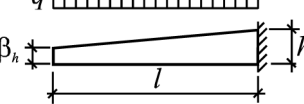
| Схема балки по рис. 2 | В середине пролёта | На конце консоли |
|-----------------------|--|--|
| 1а | $f_{\text{нр}} = \frac{ql^2}{48EI} \left(\frac{5}{8}l^2 - 3a^2 \right)$ | $f_0 = \frac{qa}{24EI} (l^3 - 6a^2l - 3a^3)$ |
| 2а | $f_{\text{нр}} = -\frac{Pal^2}{8EI}$ | $f_0 = \frac{Pa^2}{6EI} (2a + 3l)$ |
| 1б | — | $f_0 = \frac{ql^4}{8EI}$ |
| 2б | — | $f_0 = \frac{Pl^3}{3EI}$ |
| 1в | — | $f_0 = \frac{qa}{24EI} [3a^3 - l(l^2 - 4a^2)]$ |
| 2в | $f_{\text{нр}} = -0,0642 \frac{Pal^2}{EI}$ | $f_0 = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a)$ |

Прогиб для однопролётной шарнирно опёртой балки определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{48} \frac{Pl^3}{EI} \text{ или } f_0 = \frac{5}{384} \frac{q^H l^4}{EI}, \quad (9)$$

где f_0 — прогиб балки постоянного сечения без учёта деформаций сдвига;
 l — расчётный пролёт элемента.

**Значения коэффициентов k и c для вычисления прогибов балок
с учётом переменности сечения и деформации сдвига**

| Поперечное сечение балки | Расчётная схема | k | c |
|--------------------------|---|--|--|
| Прямоугольное |  | β | 0 |
| То же |  | $0,23 + 0,77\beta$ | $16,4 + 7,6\beta$ |
| » |  | $0,5d + (1 - 0,5d)\beta$ | $[45 - 24d(1 - \beta) + 3\beta] \times \frac{1}{3 - 4d^2}$ |
| » |  | $0,15 + 0,85\beta$ | $15,4 + 3,8\beta$ |
| Двутавровое |  | $0,4 + 0,6\beta$ | $(45,3 - 6,9\beta)\gamma$ |
| Прямоугольное |  | $0,23 + 0,77\beta + 0,6d \times (1 - \beta)$ | $[8,2 + 2,4(1 - \beta)d + 3,8\beta] \times \frac{1}{(2 + d)(1 - d)}$ |
| То же |  | $0,35 + 0,65\beta$ | $5,4 + 2,6\beta$ |

Примечания. k, c — коэффициенты, учитывающие переменность высоты сечения элемента и влияние деформации сдвига и прогиб; γ — отношение площади поясов к площади стенки двутавровой балки (высота стенки принимается между центрами тяжести поясов).

Таблица 4

Предельные деформации (прогибы) элементов зданий

| Элементы конструкций | Предельные прогибы в долях пролёта, не более $[f/l]^*$ |
|---|--|
| Балки междуэтажных перекрытий | 1/250 |
| Балки чердачных перекрытий | 1/200 |
| Покрытия (кроме ендов): | |
| прогоны, стропильные ноги | 1/200 |
| балки консольные | 1/150 |
| фермы, клеёные балки (кроме консольных) | 1/300 |
| плиты | 1/250 |
| обрешётки, настилы | 1/150 |
| Несущие элементы ендов | 1/400 |
| Панели и элементы фахверка | 1/250 |

* $[f/l]$ — предельные относительные прогибы изгибаемых деревянных элементов.

Схема экспериментальной установки для испытания древесины на поперечный изгиб представлена на рис. 3. Спецификация к схеме приведена в табл. 5.

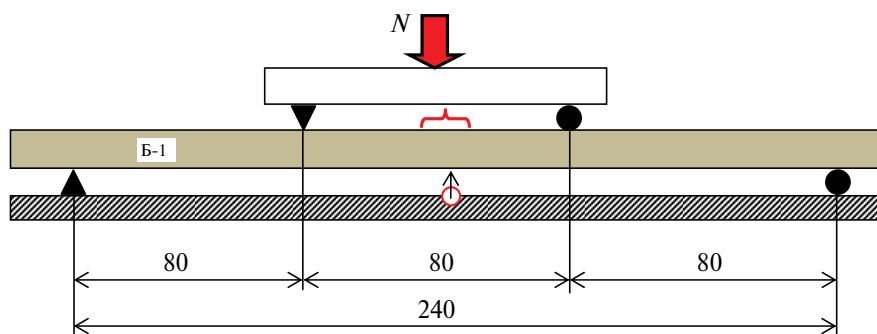


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для испытания древесины на поперечный изгиб

Таблица 5

Спецификация к схеме экспериментальной установки для испытания древесины на поперечный изгиб

| № п/п | Конструкция | Наименование материала | Длина, см | № проката | Масса, кг |
|-------|-------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Траверса | Двутавр или швеллер | 25 | 10 | 2,15 |
| 2 | Опытный образец | | | | |
| 3 | Опорный швеллер | Швеллер | 70 | 14 | 8,61 |
| 4 | Тензомер | Тензомер рычажного типа с базой 50 мм | — | — | — |
| 5 | Индикатор | Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм | — | — | — |
| 6 | Шарнирно подвижная опора (каток) | Каток. Труба \varnothing 32 мм, заполненная бетоном | 4 | — | 0,25 |
| 7 | Шарнирно неподвижная опора (уголок) | Уголок с приваренной опорной пластиной | 4 | — | 0,25 |
| 8 | Опорная пластина | Пластина 40×40×6 мм | — | — | 0,5 |

Порядок выполнения работы

1. Измерить штангенциркулем в середине длины каждого образца ширину b в радиальном направлении и высоту h в тангенциальном. Записать в журнал результаты измерений. Образец уложить на неподвижные закруглённые опоры.

2. На образце определить предел прочности при статическом изгибе. Образец испытать на поперечный изгиб до разрушения. Перед испытанием образец поместить в приспособление по схеме на рис. 4 и нагружать одним или двумя сосредоточенными грузами. Радиус закругления неподвижных опор и ножей приспособления должен быть равным 15 мм. Образец на опоры поместить так, чтобы изгибающие усилия были направлены по касательной к годичным слоям, т.е. необходимо обеспечить тангенциальный изгиб. При испытании древесины мягких пород на опоры и под ножи поместить фанерные прокладки размером 20×20×5 мм.

3. Образец испытать до разрушения.

4. Установить приспособление вместе с образцом между плитами пресса. Отцентрировать. Образец начать нагружать. Скорость нагружения должна быть равномерной в течение всего времени испытаний и составлять:

- а) при испытании по схеме рис. 4, a — $7 \pm 1,5$ кН/мин;
- б) при испытании по схеме рис. 4, b — 5 ± 1 кН/мин.

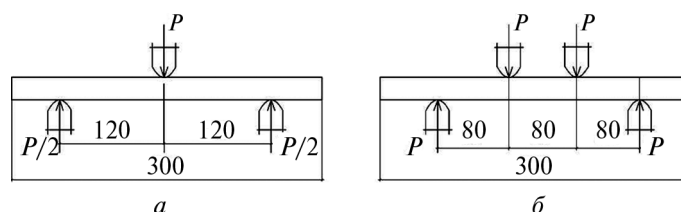


Рис. 4. Схемы испытания древесины на поперечный изгиб:
a — при нагружении посередине между опорами в одной точке;
б — при нагружении в двух точках на одной трети расстояния от опор

5. Выключить пресс. Извлечь приспособление с образцом. Вычислить предел прочности древесины при статическом изгибе с погрешностью не более 1 МПа. Результаты испытаний древесины на поперечный изгиб занести в журнал лабораторных работ (табл. 6).

Таблица 6

Определение прочности древесины при изгибе

| № п/п | Размеры образца, мм | | | Максимальная нагрузка P_{\max} , кН | Предел прочности образца $R_{и}$, МПа | Характер разрушения образца |
|-------|---------------------|-----|-----|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| | b | h | l | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

По результатам испытаний древесины методами статистической обработки данных определить её фактические характеристики прочности. Результаты обработки данных необходимо свести в табл. 7.

Таблица 7

Форма журнала статистической обработки результатов испытаний древесины

| Значения | X | ΔX | S | V | S_x | P |
|----------|-----|------------|-----|-----|-------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Примечание. В строке «Значения» — результаты испытаний исследуемой характеристики древесины.

Рассмотрим статистические характеристики, входящие в табл. 7:

X — среднее арифметическое значение:

$$X = \sum \text{значений} / n,$$

где n — число ранее полученных значений исследуемой характеристики древесины;

ΔX — отклонение конкретного значения от среднего арифметического со своим знаком;

S — среднее квадратическое отклонение:

$$S = \pm \sqrt{\sum \Delta X^2 / (n-1)};$$

V — вариационный коэффициент:

$$V = \pm 100S / X;$$

S_x — средняя ошибка среднего арифметического:

$$S_x = \pm S / \sqrt{n};$$

P — показатель точности:

$$P = \pm 100S_x / X \%.$$

Удовлетворительной считается точность $P \leq \pm 5 \%$, при этом фактическая характеристика равна среднему арифметическому. Если $P > 5 \%$, то следует постепенным удалением значений с максимальным отклонением ΔX понизить P до требуемого значения, учитывая, что n должно быть не меньше трёх.

По результатам лабораторной работы сделать вывод о прочностных свойствах древесины и произвести оценку методов их определения.

Затем определить коэффициент запаса прочности по формуле

$$K = P / R_{\text{расч}}$$

где P — сопротивление древесины изгибу;

$R_{\text{расч}}$ — соответствующее расчётное сопротивление, определяемое по СП 64.13330.2011.

ФОРМЫ КОНТРОЛЯ

Оценивание формирования компетенций студентов при проведении лабораторной работы осуществляется посредством прохождения ими формы защиты отчёта по лабораторной работе «Основные физико-механические свойства древесины».

Примерные вопросы к защите отчёта по лабораторной работе

1. Элементы деревянных конструкций, работающие на растяжение.
2. Форма стандартного лабораторного образца для испытаний древесины на растяжение.
3. Диаграмма деформаций древесины при растяжении вдоль волокон.
4. Максимальный предел прочности древесины при растяжении вдоль волокон.
5. Проверка прочности центрально растянутых конструктивных элементов.
6. Элементы деревянных конструкций, работающие на поперечный изгиб.
7. Изгибающие моменты и поперечная сила.
8. Сжатие и растяжение участков деревянных элементов при поперечном изгибе.
9. Форма стандартного лабораторного образца для испытаний древесины на поперечный изгиб.
10. Проверка прочности деревянных элементов по нормальным напряжениям при поперечном изгибе.
11. Проверка прочности деревянных элементов по касательным напряжениям при поперечном изгибе.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература

Бойтемиров Ф.А. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник. — Москва : Академия, 2013. — 286 с.

Дополнительная литература

Гиясов Б.И. Конструкции из древесины и пластмасс : учебник / Б.И. Гиясов, В.И. Запруднов, В.В. Стриженко и др. — Москва : Изд-во АСВ, 2017. — 582 с.

Гиясов Б.И. Конструкции из древесины и пластмасс : учебное пособие / Б.И. Гиясов, Н.Г. Серёгин, Д.Н. Серёгин. — Москва : Изд-во АСВ, 2018. — 400 с.

СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. — Москва : ОАО ЦПП, 2011. — 87 с.