



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Лабораторные работы

По дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»

г. Ростов-на-Дону

Лабораторный практикум

Цели лабораторных работ:

- более глубокое понимание студентами действительной работы конструкций;
- умение оценить их прочность и деформативность;
- получение навыков экспериментальных исследований.

Состав лабораторных работ

1. Проведение расчетов по определению теоретических величин расчетной и разрушающей нагрузок, деформаций и т.д.

Определение теоретических величин несущей способности и деформаций образцов, подлежащих испытанию, производится по формулам сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости с учетом СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции».

2. Измерение образцов в натуре с целью определения геометрических характеристик.

Геометрические размеры образцов определяются измерительным инструментом с точностью, заданной в лабораторной работе.

3. Испытание моделей на испытательных стендах, специальных установках.

Для измерения фактических деформаций используются тензометры, тензодатчики, индикаторы и прогибомеры. Нагружения образцов производится ступенями (порциями от полной испытательной нагрузки). После каждой ступени приложения нагрузки снимаются отсчеты по приборам, которые заносятся в соответствующие журналы испытаний.

4. Обработка результатов испытаний.

После окончания испытаний производится обработка полученных результатов: определение фактических напряжений и деформаций. Делают вывод, в котором, сравнивая теоретические и экспериментальные значения, дают оценку действительной работы конструкций.

В заключении оформляется отчет о проделанной лабораторной работе.

Лабораторная работа №1

«Определение модуля сдвига пенопласта»

Цель работы: определение экспериментальным путем модуля сдвига полистирольного пенопласта.

Область применения конструкций с использованием пластмасс: трехслойные ограждающие панели типа «Сэндвич», трехслойные балочные конструкции, арочные конструкции, состоящие из тонколистовых обшивок и заполнителя.

Материал обшивок: сталь, алюминий, полиэфирный стеклопластик, фанера, поликарбонат.

Материал заполнителя: ППУ, ППС, «Рипор» пенополиизоцианурат.

При изгибе трехслойных конструкций обшивки испытывают деформации растяжения-сжатия, заполнитель – деформации сдвига.

1.1. Основные расчетные положения

В соответствии с законом Гука для чистого сдвига имеет место зависимость:

$$\tau = \gamma \cdot G \rightarrow G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1)$$

где G – модуль сдвига;

τ – касательная напряжения;

γ – угол сдвига, т.е. искажение прямого угла ABC (рис. 1).

Модулем сдвига (модуль упругости II рода, модуль упругости при сдвиге) – называется физическая величина, характеризующая упругие свойства материалов и их способность сопротивляться сдвигающим деформациям.

Теоретически определяется отношением касательных напряжений τ к углу сдвига γ .

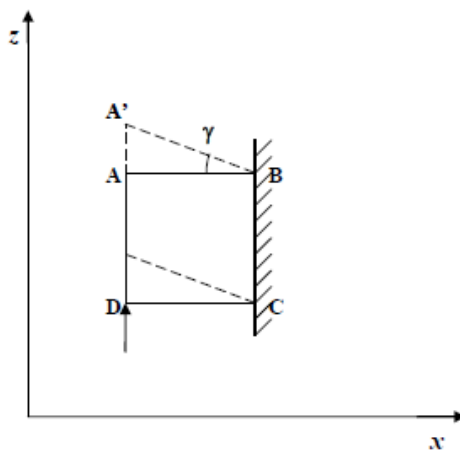


Рисунок 1 – К определению угла сдвига

Предположим, возможность перемещения только отрезка AD в направлении оси z. Тогда γ будет равна углу ABA'. Для случая малых деформаций:

$$\gamma = \operatorname{tg} \gamma = \frac{AA'}{AB} \quad (2)$$

1.2. Методика выполнения работы

Размеры испытательных образцов ограничены толщиной заполнителя трехслойных панелей (от 50 до 90 мм). Для испытания подготовлены четыре образца в форме параллелепипедов.

С помощью штангенциркуля перед испытанием определяются линейные размеры образца a, b и h в мм.

Образец для испытания и схема испытательной установки представлены на рис. 2 и рис. 3.

Загружение образца производится ступенями по 30 Н каждая. Величина вертикального перемещения фиксируется индикаторами часового типа, с ценой деления 0,01 мм. Аналогично в обратном порядке производится разгрузка. На каждой ступени приложения и снятия нагрузки фиксируются показания по приборам ИЧ-1.

Эти данные заносятся в журнал испытаний (табл. 1).

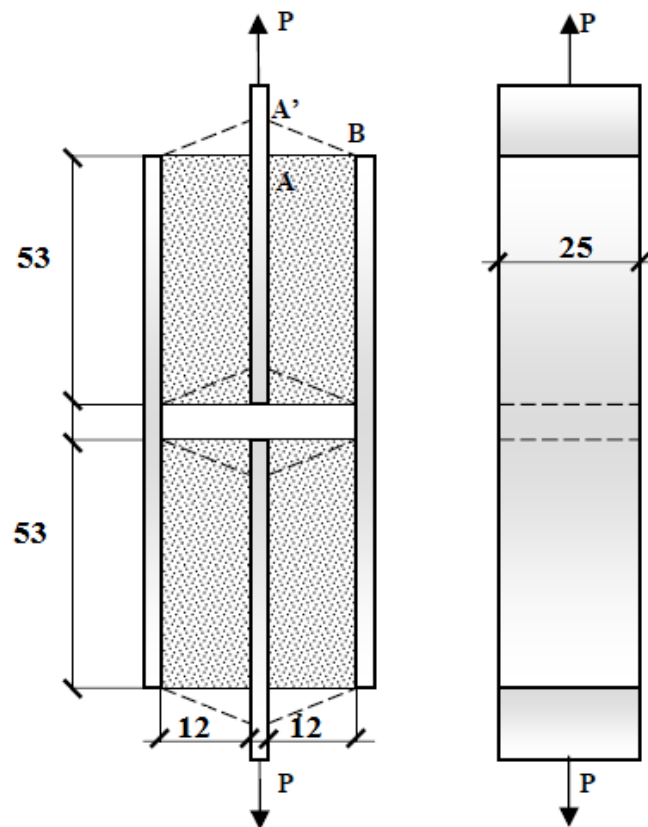


Рисунок 2 – Образец для испытания при чистом сдвиге

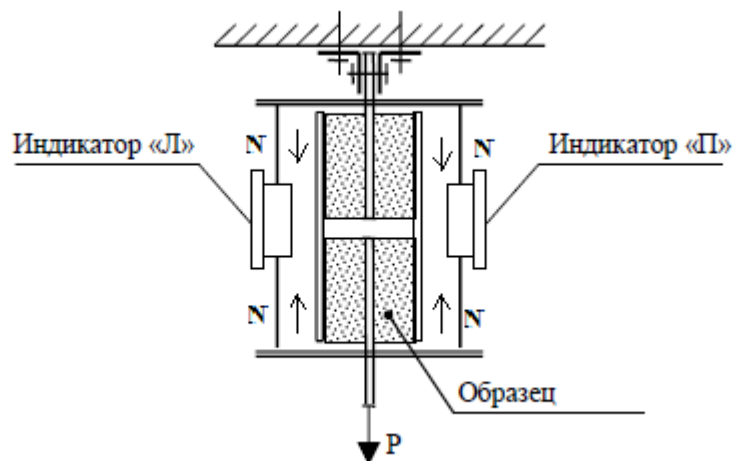


Рисунок 3 – Схема испытания образца

1.3. Обработка результатов испытаний

Касательные напряжения в образце определяются по формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \quad (3)$$

где $N = P/2$ – сдвигающее усилие, приходящееся на 1 параллелепипед.

$F = a \cdot b$ – площадь поперечного сечения параллелепипеда, по которому происходит сдвиг.

Угол сдвига γ можно определить по показателям индикаторов:

$$\gamma = \left(\frac{\Delta\Pi + \Delta\text{Л}}{4h} \right) \quad (4)$$

где $\Delta\Pi$ и $\Delta\text{Л}$ – средние показания приращений по правому и левому индикатору.

Вычисление модуля сдвига пенопласта производится по следующей формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} = \frac{P}{2 \cdot a \cdot b}, \quad (5)$$

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{P \cdot 4 \cdot h}{2 \cdot a \cdot b \cdot (\Delta\Pi + \Delta\text{Л})}, \quad (6)$$

Отсюда получим:

$$G = \left(\frac{2 \cdot P \cdot h}{ab \cdot (\Delta\Pi + \Delta\text{Л})} \right) \quad (7)$$

1.4. Выполнение лабораторной работы

Перед испытанием производится измерение образца штангенциркулем, при этом находится:

$$a = 25 \text{ мм} = 2,5 \text{ см},$$

$$b = 53 \text{ мм} = 5,3 \text{ см},$$

$$h = 12 \text{ мм} = 1,2 \text{ см}.$$

Касательные напряжения в образце:

$$\tau = \frac{N}{F} = \frac{90/2 \text{ Н}}{0,025 \text{ м} \cdot 0,053 \text{ м}} = 33962,26 \text{ Н/м}^2.$$

Площадь поперечного сечения параллелепипеда, по которой происходит сдвиг:

$$F = a \cdot b = 0,025 \text{ м} \cdot 0,053 \text{ м} = 0,001325 \text{ м}^2.$$

Таблица 1.1 – Журнал испытаний

Р, Н	Показания индикаторов					
	И-1 (слева)			И-2 (справа)		
	<i>n</i>	Δn	$\Sigma \Delta n$	<i>n</i>	Δn	$\Sigma \Delta n$
0	2.68	-	0.43	3.06	-	0.22
30	2.62	0.06		2.97	0.09	
60	2.41	0.21		2.88	0.06	
90	2.25	0.16		2.75	0.07	
60	2.36	0.11	0.43	2.85	0.1	0.22
30	2.52	0.16		2.92	0.07	
0	2.68	0.16		2.97	0.05	

$$\Delta Л = \frac{0,43 + 0,43}{2} = 0,43 \text{ мм},$$

$$\Delta П = \frac{0,22 + 0,22}{2} = 0,22 \text{ мм}.$$

Угол сдвига γ определяется по показаниям индикаторов:

$$\gamma = \frac{\Delta П + \Delta Л}{4h} = \frac{(0,22 + 0,43) \cdot 10^{-3} \text{ м}}{4 \cdot 0,012 \text{ м}} = 0,014.$$

Вычисление модуля сдвига пенопласта производится по формуле:

$$\begin{aligned} \sigma &= \left(\frac{2 \cdot P \cdot h}{a \cdot b \cdot (\Delta П + \Delta Л)} \right) = \left(\frac{2 \cdot 90 \text{ Н} \cdot 0,012 \text{ м}}{0,025 \text{ м} \cdot 0,053 \text{ м} \cdot (0,22 + 0,43) \cdot 10^{-3} \text{ м}} \right) = \\ &= 2,507982 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 2,51 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Вывод: численное значение модуля сдвига, полученного экспериментальным путем $\sigma = 2,51 \text{ МПа}$ – пенополиуритан обладает малой жесткостью при сдвиге.

Лабораторная работа №2 «Испытание трехслойной балки»

Цель работы: экспериментальная проверка данных расчета трехслойной балки с легким заполнителем. Сравнению подлежат экспериментальные и теоретические вычисленные значения прогибов балки и напряжений в обшивках.

2.1. Конструкция трехслойного образца

Фактические размеры образца устанавливаются перед испытанием и показаны на рис. 4.

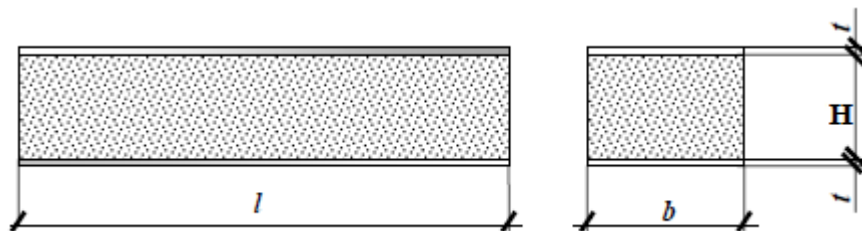


Рисунок 4 – Образец трехслойной балки

Обшивки образца изготовлены из алюминиевого листа толщиной 1мм и модулем упругости $E = 70000 \text{ МПа} = 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Средний слой выполнен из полиуретанового пенопласта, модуль сдвига принимается равным $G_3 = 3,71 \text{ МПа}$.

2.2. Основные расчетные положения

Рассмотрим равновесие элемента трехслойной панели.

Уравнения равновесия трехслойной панели имеют следующий вид
 $\sum Z = 0$:

$$-q \cdot dx dy - \tau_{xz} 2h \cdot dy + \left(\tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot 2h \cdot dy = 0,$$

$$-q \cdot dx dy + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} \cdot dx \cdot 2h \cdot dy = 0,$$

Умножая данное выражение на $\frac{1}{2h}$ получим:

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \frac{1}{2h} \cdot q = 0 \quad (1) \quad \text{или} \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = + \frac{q}{2h} \quad (1')$$

Уравнения связи между касательными напряжениями τ_{xz} и угловой деформацией (угол сдвига γ_{xz}):

$$\tau_{xz} = G_3 \cdot \gamma_{xz} = G_3 \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Дифференцируя выражение (2) по ∂x и приравнявая (1') получим:

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[G_3 \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] = + \frac{q}{2h} \quad (3)$$

Для среднего слоя элемента, полагая, что заполнитель работает на сдвиг только в плоскостях xOz и yOz , имеем $\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} = 0$.

Из уравнения равновесия элемента заполнителя:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0.$$

Продифференцируем выражение (2) по ∂z :

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[G_3 \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] = 0 \quad (4)$$

Так как $w = w(x, y)$ по гипотезе о несжимаемости плиты в поперечном направлении, то $\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0$, отсюда получаем выражение для u в виде:

$$u = f_1(x, y) \cdot z + f_2(x, y) \quad (5)$$

Из граничных условий имеем:

$$\begin{aligned} \text{при} \quad & z = 0; \quad u = u^-; \quad u^- = f_2(x, y), \\ \text{при} \quad & z = 2h; \quad u = u^+; \quad u^+ = f_1(x, y) \cdot 2h + u^-, \\ \text{причем} \quad & f_1(x, y) = \frac{u^+ - u^-}{2h}. \end{aligned}$$

Тогда получим:

$$u = \frac{u^+ - u^-}{2h} \cdot z + u^- = u^- + \frac{u^+ - u^-}{2h} \cdot z \quad (6)$$

полагая, что $u^+ = u^-$, запишем выражение $\frac{\partial u}{\partial z}$:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u^+ - u^-}{2h} = \frac{2u^+}{2h} = \frac{2u^+}{H - 2h'}$$

где H – толщина плиты.

Обозначим $2h = H$; $u^+ = u$.

Подставим полученное выражение для $\frac{\partial u}{\partial z}$ в формулу (3) в итоге получим:

$$2G_3 \cdot u' + G_3 \cdot Sw'' = q \quad (7)$$

Аналогичным образом, рассмотрев равновесие верхней обшивки элемента, получим:

$$\begin{aligned} \sigma_x^+ t \cdot dy - \left(\sigma_x^+ + \frac{\partial \sigma_x^+}{\partial x} dx \right) t \cdot dy + \tau_{zx} \cdot dxdy = 0, \\ \frac{\partial \sigma_x^+}{\partial x} dx \cdot t \cdot dy = \tau_{zx} \cdot dxdy \end{aligned} \quad (8)$$

Закон Гука:

$$\sigma^+ = E \cdot \varepsilon_x^+ = E \cdot \frac{\partial u^+}{\partial x} \quad (9)$$

Подставим в (8) выражение для σ_x^+ (9):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial u^+}{\partial x} \right) t = G_3 \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = G_3 \left(\frac{2u^+}{H} + w' \right), \\ \frac{\partial^2 u^+}{\partial x^2} \cdot E \cdot t = G_3 \left(\frac{2u^+}{H} + w' \right); \quad u^+ = u, \\ u'' \cdot Et - G_3 \frac{2}{H} u - G_3 w' = 0, \\ Et \cdot u'' - 2 \frac{G_3}{H} \cdot u - G_3 w' = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Получим два диф. уравнения деформаций трехслойной балки:

$$\left. \begin{aligned} Et \cdot u'' - 2 \frac{G_3}{H} u - G_3 w' &= 0 \\ 2G_3 \cdot u' + G_3 \cdot H \cdot w'' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

В соответствии с расчетной схемой граничные условия запишутся так:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } x = 0; \quad q &= \frac{P}{2b} \\ \text{при } x = \frac{l}{2}; \quad N = Et u' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решая систему диф. уравнений (11) и используя граничные условия (12), получим выражения для определения прогибов w и напряжений в обшивках σ :

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{P}{2bHG_3} \left[\left(x - \frac{l}{2} \right) - \frac{G_3}{HEt} \left(\frac{l^3}{12} + \frac{x^3}{3} - \frac{lx^2}{2} \right) \right] \\ \sigma &= \pm \frac{P}{2bHt} \left(x - \frac{l}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Максимальный прогиб балки находится в середине пролета при $x = 0$, поэтому выражения (13) запишутся так:

$$f^{\text{теор}}(w^T) = \frac{Pl^3}{24bH^2Et} \left(1 + \frac{6HEt}{G_3l^2} \right) \quad (14)$$

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{Pl}{4bHt} \quad (15)$$

2.3. Методика проведения испытания

Загружение образца производится ступенями. После полного нагружения производится разгрузка в обратном порядке.

Прогиб образца при испытании измеряется с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Деформации удлинений обшивок регистрируются с помощью тензодатчиков, соединенными с тензометрической аппаратурой (АИД-4 с переключателем датчиков ПД-100).

Опытные значения прогибов и удлинений заносятся в журнал испытаний.

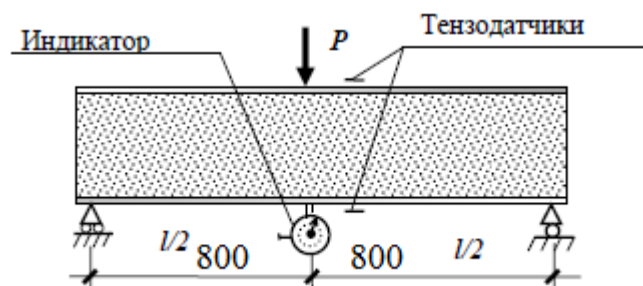


Рисунок 2.2 – Схема испытания трехслойной балки

В случае локального действия нагрузки затруднительно получить достоверное описание деформаций вблизи мест сосредоточения сил. В этой связи, в ходе проведения опыта деформации будем определять в третях пролета балки (датчики 4 – 11)

Геометрические параметры образца, установленные перед испытанием:

$$l = 1600 \text{ мм}; b = 165 \text{ мм}; H = 90 \text{ мм}; t = 1 \text{ мм}.$$

Таблица 2.1 – Журнал испытаний

Нагру зка, P_H , кгс	Индикатор И-1			Показания приборов																							
				4			5			6			7			8			9			10			11		
	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$
0	9,7	-		443	-		433	-		489	-		526	-		425	-		365	-		392	-		401	-	
10	8,8 1	0,89		438	5		429	4		490	1		527	1		420	5		361	4		394	2		402	1	
20	7,7 7	1,04		437	1		425	4		494	4		527	0		416	4		356	5		397	3		406	4	
30	6,8 7	0,90		434	3		424	1		498	4		531	4		415	1		353	3		402	5		407	1	
40	5,8 7	1,00		429	5		420	4		498	0		532	1		411	4		351	2		403	1		408	1	
50	4,8 1	1,06	4,89	428	1	15	416	4	17	499	1	10	536	4	10	417	4	18	347	4	18	406	3	14	411	3	10
40	5,7 1	0,90		429	1		421	5		498	1		532	4		412	5		352	5		403	3		407	4	
30	6,6 7	0,96		433	4		421	0		494	4		528	4		412	0		352	0		398	5		406	1	
20	7,7 1	1,04		434	1		425	4		490	4		527	1		416	4		353	1		398	0		403	3	
10	8,6 7	0,96		438	4		428	3		489	1		527	0		421	5		357	4		393	5		399	4	
0	9,6 1	0,94	4,8	439	1	11	430	2	14	486	3	13	523	4	13	422	1	15	362	5	15	392	1	14	398	1	13
f_{cp}, ε_{cp}			4,85			13			15,5			11,5			11,5			16,5			16,5			14			11,5

Журнал испытаний

[illegible]

2.4. Обработка результатов

Заключительным этапом работы является сравнение опытных и теоретических значений прогибов и напряжений, в частности имеем:

Теоретический максимальный прогиб при $x = 0$; $P = 500$ Н:

$$\omega_{\text{теор}} = \frac{Pl^3}{24bH^2Et} \left(1 + \frac{6HEt}{G_3l^2} \right);$$
$$\omega_{\text{теор}} = \frac{500 \text{ Н} \cdot 1,6^3 \text{ м}^3}{24 \cdot 0,165 \text{ м} \cdot 0,09^2 \text{ м}^2 \cdot 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа} \cdot 0,001 \text{ м}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0,09 \text{ м} \cdot 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа} \cdot 0,001 \text{ м}}{3,71 \text{ МПа} \cdot 1,6^2 \text{ м}^2} \right) = 4,9 \text{ мм}.$$

Теоретические максимальные напряжения в обшивках $x = 0$:

$$\sigma_{\text{теор}} = \pm \frac{Pl}{5,8bht} = \pm \frac{50 \text{ кгс} \cdot 160 \text{ см}}{5,8 \cdot 16,5 \text{ см} \cdot 9 \text{ см} \cdot 0,1 \text{ см}} = 92,9 \text{ кгс/см}^2 = 9,29 \text{ МПа}.$$

Опытный прогиб в середине пролета:

$$\omega_{\text{оп}} = \frac{4,89 + 4,8}{2} = 4,85 \text{ мм}.$$

Опытные значения напряжений:

$$\sigma_{\text{оп}} = \varepsilon \cdot E = 13,625 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 9,54 \text{ МПа}.$$

Разница:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_{\text{оп}} - \omega_{\text{теор}}}{\omega_{\text{оп}}} \cdot 100\% = \frac{4,85 - 4,9}{4,85} \cdot 100\% = 0,2 \text{ \%}.$$

Разница:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{\text{оп}} - \sigma_{\text{теор}}}{\sigma_{\text{оп}}} \cdot 100\% = \frac{9,54 - 9,29}{9,54} \cdot 100\% = 2,6 \text{ \%}.$$

Вывод: В результате проведенных испытаний были получены следующие результаты: теоретические прогибы на 0,2 % отличаются от полученных опытным путем, теоретические напряжения на 2,6 % отличаются от полученных опытным путем.

Причинами расхождения опытных и теоретических значений являются принятие при теоретическом исследовании частных конструкций, неточности, допущенные при определении модуля сдвига и прогиба, отклонения в показаниях приборов, погрешности при снятии отчетов, отклонение фактических нагрузок от принятых в расчете.

Лабораторная работа №3

«Испытание деревянной балки на устойчивость плоской формы изгиба»

Цель работы: определение фактической величины критической нагрузки, при которой образец теряет устойчивость (плоскую форму изгиба) и сравнения ее с теоретически вычисленной.

3.1. Основные расчетные положения

Величину критической нагрузки можно найти, рассмотрев деформированное состояние балки (рис. 5). Будем считать, что при деформации концы балки могут свободно вращаться относительно главных осей инерции X и Y ; вращению их относительно оси Z препятствуют специальные устройства. При таких исходных положениях боковое выпучивание будет сопровождаться кручением.

Положим, что произошло выпучивание балки в горизонтальном направлении (рис. 5). Рассмотрим условия равновесия правой части балки в сечении $m-n$ от начала координат.

Внешними силами, действующими на эту часть балки, являются опорная

$$\text{реакция } R_b = \frac{P}{2} \text{ и реактивный момент } M_b = P \cdot \frac{\delta}{2}.$$

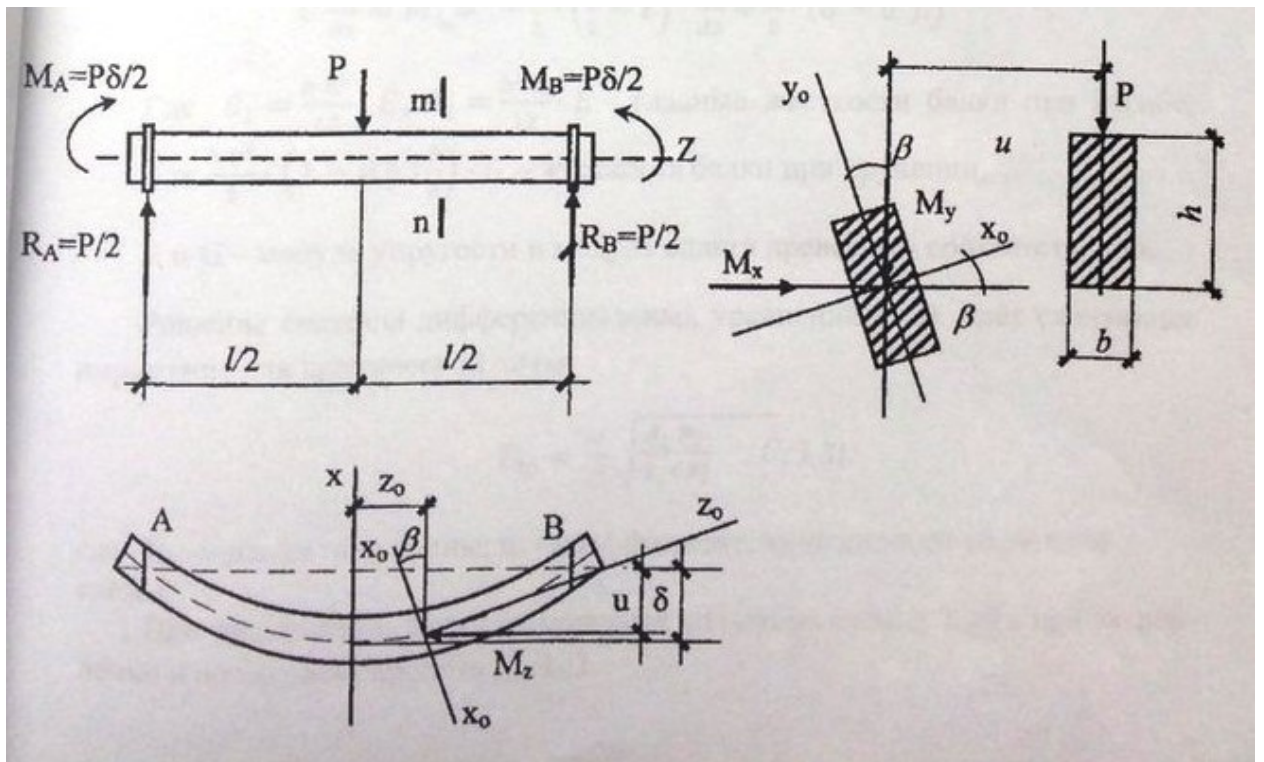


Рисунок 5 – Деформированное состояние балки

Моменты относительно осей, имеющих начало в точке Д (в центре поперечного сечения) и параллельных осям X, Y, Z будут равными:

$$M_x = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right),$$

$$M_y = 0,$$

$$M_z = \frac{P\delta}{2} - \frac{Pu}{2} = \frac{P}{2} (\delta - u),$$

Проекции этих моментов на оси X_0, Y_0, Z_0 имеют вид:

$$M_{x_0} = M_x \cdot \cos \beta \approx -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \cdot 1,$$

$$M_{y_0} = -M_x \cdot \sin \beta \approx \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \cdot \beta,$$

$$M_{z_0} = M_x \frac{du}{dz} + M_z \cdot \cos \beta \approx -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \cdot \frac{du}{dz} + \frac{P}{2} (\delta - u) \cdot 1.$$

Дифференциальные уравнения равновесия:

$$B_1 \frac{d^2 V}{dz^2} - M_{x_0} = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right),$$

$$B_2 \frac{d^2 U}{dz^2} - M_{y_0} = \frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \cdot \beta,$$

$$C \frac{d\beta}{dz} = M_{z_0} = -\frac{P}{2} \left(\frac{L}{2} - z \right) \cdot \frac{dx}{dz} + \frac{P}{2} (\delta - u').$$

где B_1, B_2 – главные жесткости балки при изгибе,

C – жесткость балки при кручении,

E, G – модуль упругости и модуль сдвига древесины соответственно.

Решением системы дифференциальных уравнений дает следующее выражение для критической силы:

$$P_{кр} = \frac{m}{L_1^2} \sqrt{\frac{B_1 \cdot B_2}{B_1 + B_2} \cdot C},$$

где L_1 – длина полуволны,

m – коэффициент, зависящий от расчетной схемы.

При закреплении балки от поворота только на опорах $L_1 = L$, при закреплении и посередине пролета $L_1 = L/2$.

3.2. Методика проведения испытания

Перед испытанием деревянной балки, выполненной из воздушно сухой древесины сосны, измеряются размеры ее поперечных сечений посередине длины и в четвертях пролета и вычисляются их средние значения:

$$b = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} = \frac{8,6 + 8,5 + 8,7}{3} = 8,6 \text{ мм};$$

$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} = \frac{10,5 + 10,4 + 10,6}{3} = 10,5 \text{ см}.$$

Расчетный пролет $L = 1880$ мм.

Схема установки для проведения испытаний приведена на рис.3.2.

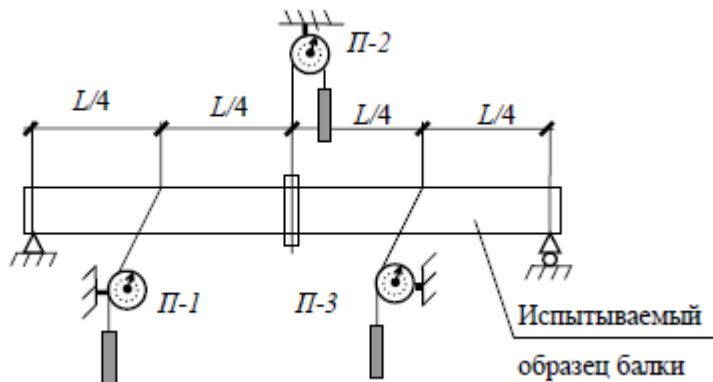


Рисунок 6 – Схема расположения приборов

Опорные приспособления установки устроены так, что образец балки при действии на него сосредоточенной силы в середине пролета может свободно поворачиваться в концевых сечениях, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. В то же время эти приспособления препятствуют повороту опорных сечений относительно продольной оси. Такое же устройство размещено в середине пролета. При такой схеме испытательной установки $m = 12,38$, $L_1 = L/2$.

Для измерения перемещений служат три прогибомера Максимова (П) с ценой деления 0,01 мм: один для измерения прогиба посередине пролета в вертикальной плоскости, два других – в четвертях пролета для измерения горизонтальных прогибов.

Загрузка образца производится ступенями. После явных признаков наступления потери устойчивости плоской формы деформирования балки процесс нагрузки прекращается и производится разгрузка образца в обратной последовательности. После каждой ступени нагрузки (разгрузки) снимаются отсчеты по приборам, показания которых заносятся в журнал испытаний.

Таблица 3.1 – Журнал испытаний

Нагрузка, P_H , кгс	Показания прогибомеров								
	П-1			П-2			П-3		
	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$	n	Δn	$\Sigma \Delta n$
0									
3									
6									
9									
12									
15									
18									
21									
24									
27									
30									
33									
30									
27									
24									
21									
18									
15									
12									
9									
6									
3									
0									

3.3. Обработка результатов испытаний

По журналу испытаний строятся графики зависимости прогибов от нагрузки.

1. Определение жесткостей образца на изгиб и кручение с учетом кратковременности действия нагрузки при испытании:

$$B_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot E^I = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot 300R_c^{\text{вп}} = \frac{8,6 \cdot 105^3}{12} \cdot 300 \cdot 31 \cdot 10^{-3} \text{ кН/мм}^2 =$$

$$= 7715570,6 \text{ кН} \cdot \text{мм}^2.$$

$$B_2 = \frac{h \cdot b^3}{12} \cdot E^I = \frac{h \cdot b^3}{12} \cdot 300R_c^{\text{вп}} = \frac{105 \cdot 8,6^3}{12} \cdot 300 \cdot 31 \cdot 10^{-3} \text{ кН/мм}^2 =$$

$$= 51759,06 \text{ кН} \cdot \text{мм}^2.$$

$$C = \frac{h \cdot b^3}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \frac{b}{h}\right) \cdot G =$$

$$= \frac{105 \cdot 8,6^3}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{8,6}{105}\right) \cdot 0,05 \cdot 31 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{мм}^2} = 32,76 \text{ кН} \cdot \text{мм}^2.$$

где $E^I = 300R_c^{\text{вп}}$ – модуль упругости древесины;

$G = 0,05E^I$ – модуль сдвига древесины;

$R_c^{\text{вп}} = 31 \text{ МПа}$.

(Данные приведены из СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции»)

2. Теоретическое значение критической нагрузки определяется следующим образом:

$$P_{\text{кр,теор}} = \frac{m}{L_1^2} \sqrt{\frac{B_1 \cdot B_2 \cdot C}{B_1 + B_2}},$$

где L_1 – длина полуволны, т.е. $L_1 = L/2$;

m – коэффициент, зависящий от расчетной схемы, при такой схеме испытательной установки $m = 12,38$.

$$P_{\text{кр,теор}} = \frac{m}{(L/2)^2} \sqrt{\frac{B_1 \cdot B_2 \cdot C}{B_1 + B_2}} = \frac{12,38}{(1880/2)^2} \sqrt{\frac{7715570,6 \cdot 51759,06 \cdot 32,76}{7715570,6 + 51759,06}} =$$

$$= 0,018 \text{ кН}.$$

3. Сопоставление опытного и теоретического значения критических нагрузок показывает, что:

$$\frac{P_{\text{кр.опыт}} - P_{\text{кр.теор}}}{P_{\text{кр.опыт}}} \cdot 100\% = \frac{330 - 18}{330} \cdot 100\% = 95\%.$$

4. Вычисляя теоретическое значение максимальной нагрузки из условия прочности образца при изгибе с учетом кратковременности испытания, получаем:

$$\frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{P_{\text{max}} \cdot L \cdot 6}{4bh^2} = R_{\text{и}}^{\text{вп}} = 33 \text{ МПа},$$

$$P_{\text{max}} = \frac{4 \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{\text{и}}^{\text{вп}}}{L \cdot 6} = \frac{4 \cdot 8,6 \cdot 105^2 \cdot 33 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 1880} = 1,109 \text{ кН}.$$

5. Определяется опытное значение коэффициента устойчивости:

$$\varphi_{m, \text{опыт}} = \frac{P_{\text{кр.опыт}}}{P_{\text{max}}} = \frac{330 \text{ Н}}{1109 \text{ Н}} = 0,298.$$

6. Вычисляется теоретическое значение коэффициента устойчивости:

$$\varphi_{m, \text{теор}} = 140 \cdot \frac{b^2}{(L/2) \cdot h} \cdot k_{\phi} = 140 \cdot \frac{8,6^2}{(1880/2) \cdot 105} \cdot 1,75 = 0,184.$$

где $k_{\phi} = 1,75$ – в соответствии с СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» приложение Е, схема 7.

Расхождение при этом составляет:

$$\frac{\varphi_{m, \text{опыт}} - \varphi_{m, \text{теор}}}{\varphi_{m, \text{опыт}}} \cdot 100\% = \frac{0,298 - 0,184}{0,298} \cdot 100\% = 38\%.$$

Вывод: Причиной расхождения опытных и теоретических значений критической нагрузки являются:

- отклонения в показаниях приборов;
- погрешности при снятии отчетов;
- отклонение фактических нагрузок от принятых в расчете;
- прикладываемая нагрузка смещена от центра;
- неизвестны истинные характеристики древесины;
- опоры не на подшипниках, что сковывает движение образца, запрещая поворот.