## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КЛЕЕНОЙ БАЛКИ

**Цель работы**

Определить действительные нормальные напряжения, несущую способность и деформативность деревянной балки при поперечном изгибе.

**Задачи работы**

1. Определить несущую способность балки по расчетным нормальным напряжениям.
2. Определить несущую способность балки по расчетным касательным напряжениям.
3. Определить теоретические и опытные значения прогиба при расчетной нагрузке.
4. Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте клееного сечения балки при расчетной нагрузке.
5. Определить усредненный модуль упругости и сопоставить его с расчетным значением.
6. Определить влияние поперечной силы на полный прогиб балки.

**Оборудование и приборы**

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.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Модели балок вырезаны из многослойного клееного пакета, предварительно склеенного из досок толщиной 26 мм. Сорт древесины удовлетворяет требованиям СНиП. Для склеивания пакета применен фенольно-резорциновый клей ФРФ-50. Расчетная схема модели клееной балки показана на рис. 14.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Определение фактических размеров клееной балки

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 $l$.

2. Определяют геометрические характеристики поперечного сечения:

- площадь поперечного сечения $F = bh$;
- статический момент $S = bh^2/8$;
- момент сопротивления $W = bh^2/6$;
- момент инерции $J = bh^2/12$.

3. По п. 3.1 и 3.5 [1] принимают расчетные характеристики материала:

- расчетные сопротивления древесины изгибу $R_и$;
- расчетные сопротивления скалыванию $R_{ск}$;
- расчетный модуль упругости $E$;
- расчетный модуль сдвига $G$.

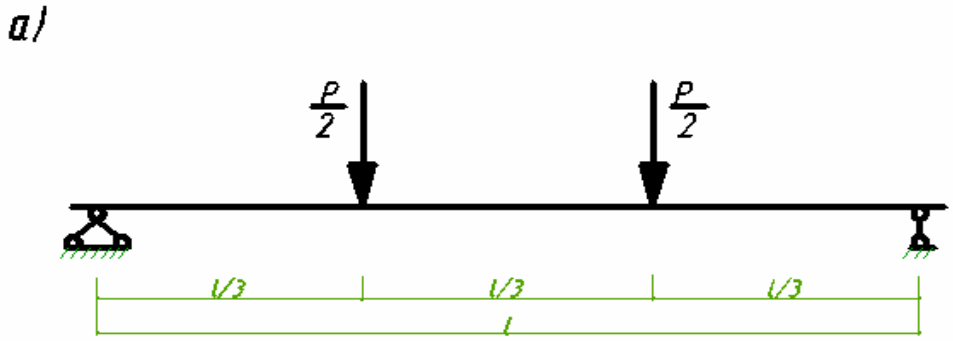


*Рис. 14. Модель клееной балки (начало):*
*а – расчетная схема;*

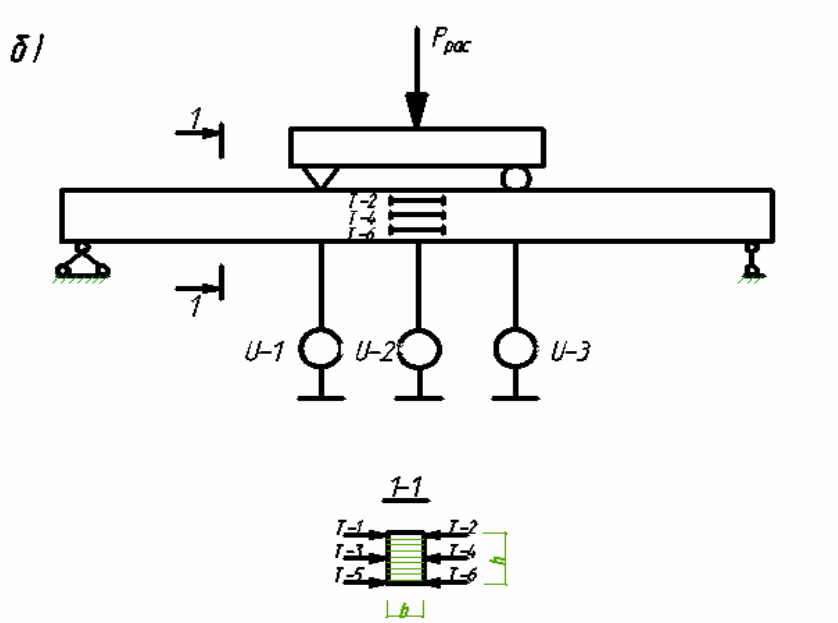


*Рис. 14. Модель клееной балки (окончание):*
*б – схема расположения приборов*

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

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P_{\text{рас}}\, l}{6W} \le R_{\text{и}}\,; \qquad P_{\text{рас}} = \frac{6R_{\text{и}}W}{l}.$$

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

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

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

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

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

где $n$ = 1, 2 – усредненный коэффициент перегрузки при пересчете расчетной нагрузки в нормативную

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

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

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

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

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

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

$$P_{\text{раз.т}} = P_{\text{рас}}K.$$

## УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

При испытании определяют:

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

б) прогиб балки на каждой ступени загружения:

в) величину разрушающей нагрузки (по усмотрению преподавателя).

Нагружение балки осуществляют ступенями по 0,25 $P_{\text{рас}}$. Показания тензометра записывают в журнал испытания (табл. 7) при нулевой и расчетной нагрузках. Показания индикаторов или прогибомеров записывают на каждой ступени нагрузки до величины 2 $P_{\text{рас}}$, после чего приборы снимают и образец нагружают до разрушения.

Показания прогибомеров записывают в журнал испытания (табл. 8).

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 0,25 $P_{\text{рас}}$ и 0,5 $P_{\text{рас}}$ 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

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

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

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

и вычисляют усредненный модуль упругости древесины в зоне чистого изгиба

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

Сравнение результатов, полученных по формулам $E_{(\text{А-Б})}$, $E_{(1\text{-}3)}$, дает возможность экспериментально оценить влияние поперечной 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

1. Разрушающих нагрузок

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

2. Прогибов при расчетной нагрузке

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

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

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

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

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

3. Максимальных нормальных напряжений $\sigma_x$ при расчетной нагрузке

$$\frac{\sigma_x - \sigma_{x_{оп}}}{\sigma_{x_т}} 100\% .$$

## 6. Выводы по результатам испытания

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

## ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы, конструкцию балки и схему ее нагружения, результаты фактических размеров, определение расчетной и разрушающей нагрузки, теоретические величины напряжений и прогибов при действии расчетной нагрузки, схему расстановки приборов, журналы испытания с необходимыми вычислениями (см. табл. 7, 8), эпюры нормальных напряжений в сечении, график зависимости прогиба от нагрузки.

*Таблица 7*

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЯ

Определение относительных деформаций балки

| Виды отсчетов и вычислений | Тензометры (база = 20 мм, $m$ = 1000) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | № 5 | № 6 |
| Начальные отсчеты $P$ = 0, Н (кгс) | | | | | | |
| Конечные отсчеты $P$, Н (кгс) | | | | | | |
| Разность отсчетов | | | | | | |
| Средняя разность отсчетов $n$ | | | | | | |
| Напряжение $\sigma_и$, МПа (кгс/см$^2$) | | | | | | |

*Примечание*. $m$ – увеличение тензометра; $\sigma_и = \frac{5000}{m} n = 5n$.

*Таблица 8*

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЯ

Определение прогибов балки

| Нагрузка | | Отсчет по индикатору, мм | | | Прогиб, мм | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| в долях от $P_{рас}$ | Н (кгс) | *U*-1 | *U*-2 | *U*-3 | $f_2$ | $f_{(1-3)}$ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких условий назначается расчетная нагрузка 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 балок от действия касательных напряжений?

6. При каких параметрах *h/l* необходимо учитывать влияние дополнительного прогиба от поперечных сил?

7. Как определить предельный 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. Как теоретически определяют полный прогиб балки?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. СНиП II-25-80*. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.

2. Арленинов, Д.К. Конструкции из дерева и пластмасс / Д.К. Арленинов [и др.]. – М. : АСВ, 2006. – 246 с. – ISBN 5-93093-467-3.

3. Зубарев, Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Н. Зубарев, И.М. Лялин. – М. : Высш. шк, 1980. – 311 с.

4. Карлсен, Г.Г. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Г. Карлсен [и др.] ; под ред. Г.Г. Карлсен, Ю.В. Слицкоухова. – М. : Стройиздат, 1986. – 543 с.

5. Щуко, В.Ю. Клееные армированные деревянные конструкции : учеб. пособие / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 68 с. – ISBN 978-5-89368-877-1.

6. Гапоев, М.М. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник / М.М. Гапоев [и др.]. – М. : АСВ, 2004. – 440 с. – ISBN 5-93093-302-2.