

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



В. А. Дронченко

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИВОМ БРУСЕ

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
для студентов специальностей  
1-36 01 01, 1-37 01 07, 1-37 01 06, 1-36 07 01,  
1-36 07 02, 1-70 02 01, 1-70 04 71

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой  
2022

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 539.3(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией  
механико-технологического факультета  
в качестве методических указаний (протокол № 10 от 24.06.2022 г.)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Исследование напряжений в кривом брус» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**Технические требования:**

1 оптический диск.

**Системные требования:**

PC с процессором не ниже Core 2 Duo;

2 Gb RAM; свободное место на HDD 2 Mb;

Windows XP/7/8/8.1/10

привод CD-ROM/DVD-ROM;

мышь

Редактор *Т. А. Дарьянова*

---

Подписано к использованию 20.09.2022.

Объем издания 1,19 Мб. Заказ 523.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

### Цель работы:

1. Экспериментальное определение нормальных напряжений в поперечном сечении кривого бруса и изучение закона их распределения.
2. Сравнительный анализ нормальных напряжений, найденных экспериментально и вычисленных по теоретически формулам.

### Оборудование, приборы, образцы

1. Разрывная машина УММ-5 (рисунок 1), развивающая максимальное усилие на разрыв 5 т.
2. Измеритель деформаций ИД-62м (рисунок 2), позволяющий снимать данные с девяти тензодатчиков.
3. Штангенциркуль.
4. Кривой брус СМ-13Б (рисунок 3), на который наклеены три проволочных тензодатчика сопротивления для измерения деформации. Схема расположения тензодатчиков представлена на рисунке 6. При измерении деформаций проволочные тензодатчики проводами соединяются с измерителем деформаций ИД-62м по мостовой схеме Уитстона.



Рисунок 1. – Разрывная машина УММ-5



Рисунок 2. – Измеритель деформаций ИД-62м



Рисунок 3. – Стальной образец для испытания

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В машиностроении и строительной практике часто встречаются брусья (стержни) с криволинейной осью. К ним относятся крюки подъемных кранов, звенья цепей, арки, своды и т.д. Все эти брусья отличаются той особенностью, что их ось представляет собой плоскую кривую, поперечное сечение имеет ось симметрии, а приложенная к брусу нагрузка лежит

в одной плоскости, совпадающей с осью бруса и осью симметрии поперечного сечения.

Схема изучаемого в настоящей лабораторной работе кривого бруса представлена на рисунке 4.

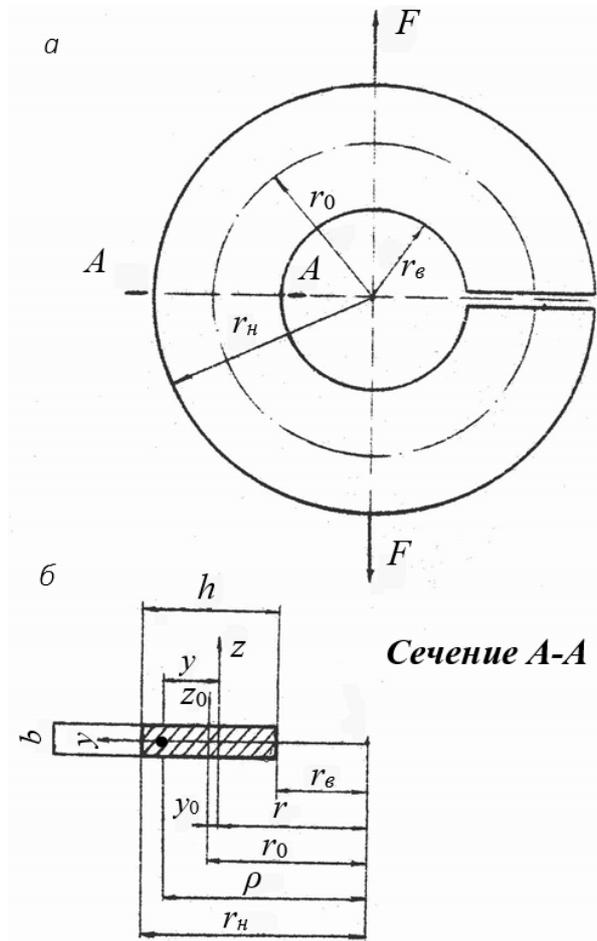


Рисунок 4

Брус имеет постоянное по длине прямоугольное поперечное сечение и очерченную по окружности плоскую ось (см. рисунок 4, а).

В поперечном сечении таких брусьев может действовать три внутренних усилия: продольная сила  $N$ , изгибающий момент  $M$  и поперечная сила  $Q$ . Их определение, как и в прямом бруске, осуществляется с помощью метода сечений.

*Изгибающий момент* в поперечном сечении кривого бруса численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, взятых по одну сторону сечения, относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения и перпендикулярной силовой плоскости (ось  $z_0$ , см. рисунок 4, б).

*Силовая плоскость* – это плоскость, в которой действуют приложенные к бруску нагрузки. Она проходит через ось бруса и ось симметрии поперечного сечения (ось  $y$ , см. рисунок 4, б).

Изгибающий момент считается положительным, если растягиваются внутренние волокна бруса.

Продольная сила в поперечном сечении кривого бруса численно равна алгебраической сумме проекций внешних сил, взятых по одну сторону оси сечения, на ось (ось  $y$ , см. рисунок 4, а), проходящую через центр тяжести поперечного сечения и центр кривизны этого же сечения бруса (эта ось лежит и в силовой плоскости).

Поперечная сила считается положительной, если вызывающая ее внешняя сила поворачивает часть бруса относительно центральной оси  $z_0$  (см. рисунок 4, б) по часовой стрелке (ось  $z_0$  проходит через центр тяжести поперечного сечения бруса перпендикулярно силовой плоскости).

Учитывая сказанное выше в отношении  $M$ ,  $N$ ,  $Q$ , рассмотрим определение внутренних усилий и построение их эпюр для бруса, изучаемого в лабораторной работе.

При вычислении внутренних усилий рассмотрим участки  $CD$ ,  $BE$ ,  $CB$ .

На участке  $CD$  и  $BE$  внутренние усилия отсутствуют (равны нулю). В этом легко убедиться, если вычислять  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  через нагрузки, приложенные к отсеченной части бруса, расположенной со стороны точки  $D$  (здесь нагрузки отсутствуют, поэтому изгибающий момент, продольная и поперечная силы на этих участках также будут равны нулю).

На участке  $CB$  (рисунок 5)

$$M = F \cdot h,$$

$$h = r \cdot \sin \varphi,$$

где  $r_0$  – радиус кривизны оси бруса.

Тогда

$$M = F \cdot r_0 \sin \varphi,$$

$$N = F \cdot \sin \varphi,$$

$$Q = F \cdot \cos \varphi.$$

Дальнейшие вычисления, необходимые для построения эпюр, выполнены в табличной форме.

Значения углов Внутренние усилия	$\varphi_c = 0$	$\varphi_{A-A} = 90$	$\varphi_B = 180$
$M = F \cdot r_0 \cdot \sin \varphi$	0	$F \cdot r_0$	0
$N = F \cdot \sin \varphi$	0	$F$	0
$Q = F \cdot \cos \varphi$	$F$	0	$-F$

По вычисленным внутренним усилиям строим их эпюры (рисунок 5). При этом эпюра  $M$  построена со стороны растянутой зоны, на эпюрах  $N$ ,  $Q$  представлены знаки.

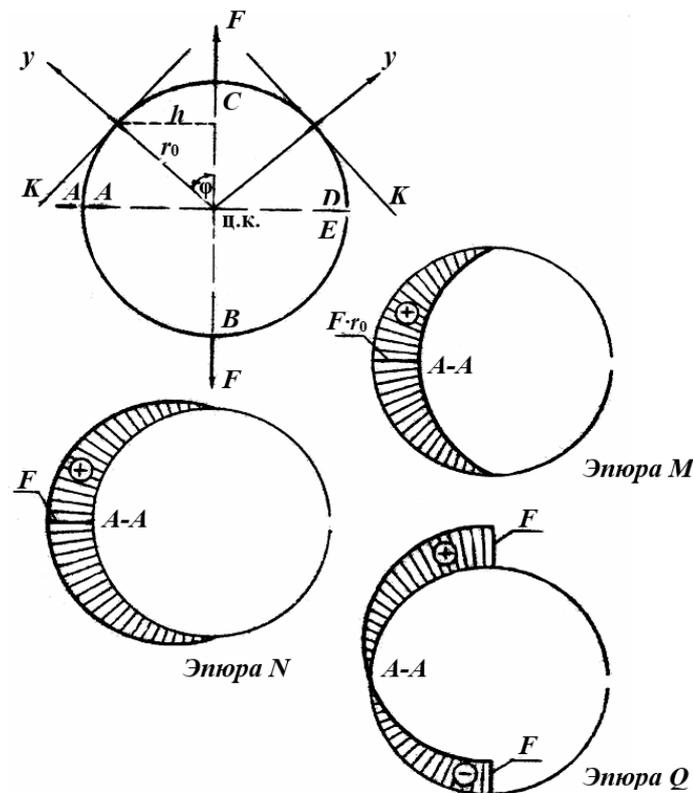


Рисунок 5

Различают брусья малой и большой кривизны.

К брусьям малой кривизны относятся брусья, для которых выполняется условие

$$\frac{r_0}{h} > 5, \quad (1)$$

где  $r_0$  – радиус кривизны оси бруса (см. рисунок 4, а, б);

$h$  – ширина поперечного сечения (см. рисунок 4, б).

Если ширина поперечного сечения изменяется по длине бруса, то под  $h$  в выражении (1) понимают наибольшую высоту поперечного сечения.

Нормальные напряжения от изгибающего момента в поперечном сечении бруса малой кривизны с достаточной для практических расчетов точностью можно определить по формуле, полученной для прямых брусьев (т.е. для брусьев с прямолинейной осью):

$$\sigma_M = \frac{M}{J_z} \cdot y, \quad (2)$$

где  $M$  – изгибающий момент в полученном сечении кривого бруса;  
 $J_z$  – момент инерции поперечного сечения кривого бруса относительно центральной оси  $z_0$  (см. рисунок 4, б), перпендикулярной силовой плоскости;  
 $y$  – ордината точки поперечного сечения кривого бруса относительно центральной оси  $z_0$ .

К брусам большой кривизны относятся брусья, для которых выполняется условие

$$\frac{r_0}{h} \geq 5, \quad (3)$$

где  $r_0, h$  – те же величины, что и в выражении (1).

Нормальные напряжения от изгибающего момента в поперечном сечении бруса большой кривизны вычисляются по формуле

$$\sigma_M = \frac{M}{S_z} \cdot \frac{y}{\rho}, \quad (4)$$

где  $M$  – изгибающий момент в поперечном сечении кривого бруса;  
 $y$  – ордината точки поперечного сечения кривого бруса, в которой вычисляются напряжения, относительно нейтральной оси  $z$  (см. рисунок 4, б);  
 $\rho$  – радиус кривизны рассматриваемого слоя волокон, т.е. расстояние от центра кривизны (ц.к.) до точки поперечного сечения, в которой вычисляются напряжения (см. рисунок 4, б);

$S_z$  – статический момент поперечного сечения кривого бруса относительно нейтральной оси  $z$  (см. рисунок 4, б).

Статический момент поперечного сечения кривого бруса относительно нейтральной оси вычисляется по формуле

$$S_z = A \cdot y_0, \quad (5)$$

где  $y_0$  – расстояние от центра тяжести поперечного сечения кривого бруса до нейтральной оси  $z$  (см. рисунок 4, б);

$A$  – площадь поперечного сечения кривого бруса.

Нейтральная ось в кривом бруссе всегда смещена от центра тяжести поперечного сечения в сторону центра кривизны (см. рисунок 4, б) этого сечения на расстояние  $y_0$  (поэтому  $y_0$  и  $S_z$  всегда положительны). Это расстояние равно

$$y_0 = r_0 - r, \quad (6)$$

где  $r_0$  – радиус кривизны оси бруса (см. рисунок 4, а, б);

$r$  – радиус кривизны нейтрального слоя, т.е. расстояние от центра кривизны до нейтральной оси (см. рисунок 4, б).

Радиус кривизны нейтрального слоя кривого бруса вычисляется в зависимости от формы поперечного сечения по одной из формул, которые можно найти в справочной литературе по сопротивлению материалов. Для бруса с прямоугольным поперечным сечением используется формула

$$r = \frac{h}{\ln \frac{r_H}{r_в}}, \quad (7)$$

где  $h$  – высота поперечного сечения кривого бруса (см. рисунок 4, б);

$r_H$  – радиус кривизны наружных волокон кривого бруса (см. рисунок 4, а, б);

$r_в$  – радиус кривизны внутренних волокон кривого бруса (см. рисунок 4, а, б).

Следует отметить, что формулы (4) и (7) получены для случая чистого изгиба кривого бруса (т.е. при  $N=0$ ,  $Q=0$ ). Однако этими формулами можно пользоваться для определения положения нейтральной оси и вычисления нормальных напряжений от изгибающего момента и в том случае, когда в поперечном сечении кривого бруса наряду с изгибающим моментом действует продольная и поперечная силы.

Знак нормальных напряжений при использовании выражения (4) устанавливается в соответствии с характером деформации материала в рассматриваемой точке. Если материал в точке испытывает растяжение, то нормальные напряжения будут растягивающими (положительными); если сжатие – то сжимающими (отрицательными). При этом изгибающий момент и ордината точки в выражение (4) подставляются без учета знака, т.е. берутся по модулю (если они отрицательные).

В лабораторной работе исследуются напряжения по сечению А-А. В этом сечении изгибающий момент растягивает правую от оси  $z$  зону (рисунки 6, 7) и сжимает левую. Поэтому напряжения от изгибающего момента в точке 3 положительные, в точках 1, 2 – отрицательные.

Выражение (4) представляет собой уравнение гиперболы, поэтому нормальные напряжения от изгибающего момента в кривом брус (в отличие от прямого бруса) изменяются по гиперболическому закону (рисунок 7, эпюра  $\sigma_M^T$ ).

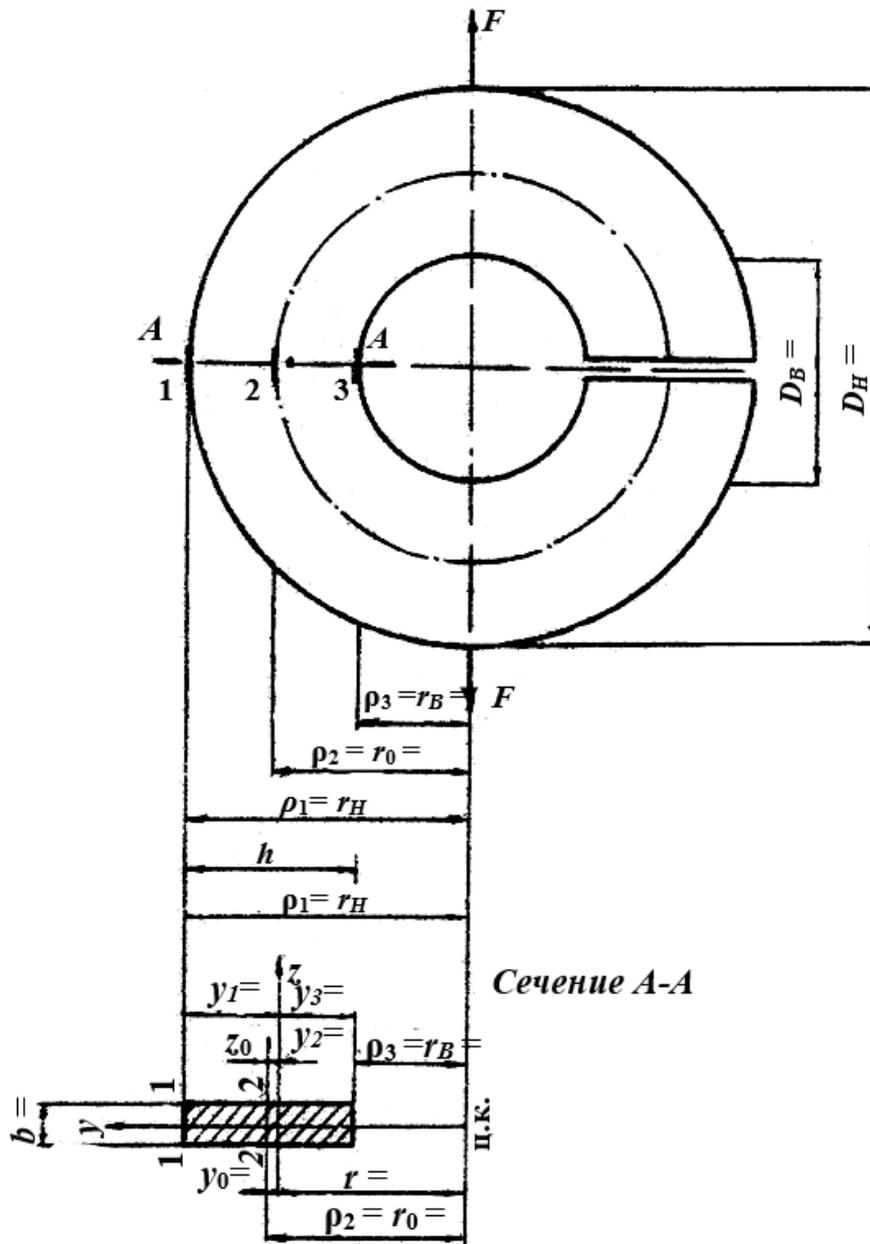


Рисунок 6

При наличии в поперечном сечении кривого бруса продольной силы нормальные напряжения от нее вычисляются по формуле

$$\sigma_N = \frac{N}{A}, \quad (8)$$

где  $N$  – продольная сила в поперечном сечении кривого бруса;  
 $A$  – площадь поперечного сечения кривого бруса.

При вычислении напряжений продольная сила в выражение (8) подставляется с учетом знака, т.е. знак нормальных напряжений от продольной силы совпадает со знаком продольной силы.

При наличии в поперечном сечении кривого бруса изгибающего момента и продольной силы полные нормальные напряжения равны сумме напряжений от продольной силы и изгибающего момента:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_M.$$

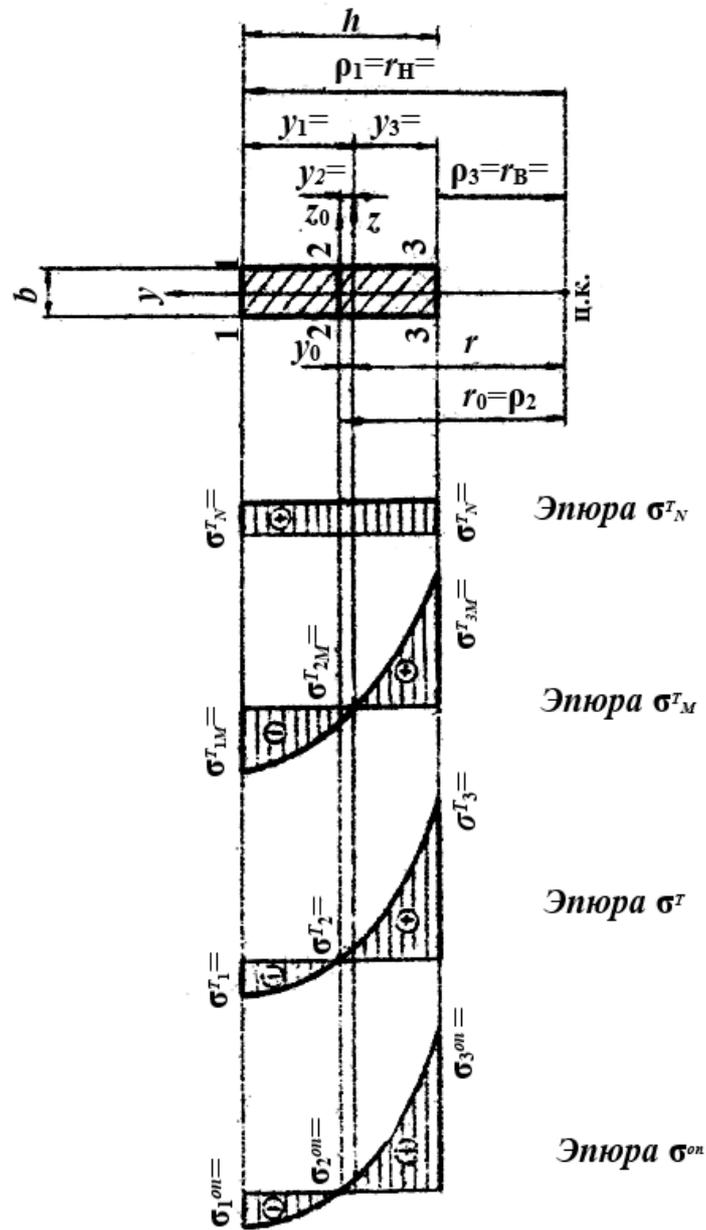


Рисунок 7

Так, для бруса большой кривизны полные нормальные напряжения равны

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M \cdot y}{S_z \cdot \rho}. \quad (9)$$

При необходимости касательные напряжения, вызываемые поперечной силой, можно вычислить по формуле, полученной для прямого бруса,

$$\tau = \frac{Q \cdot S_z^{\text{от}}}{I_z \cdot b}, \quad (10)$$

где  $Q$  – поперечная сила в поперечном сечении кривого бруса;

$S_z^{\text{от}}$  – статический момент отсеченной части поперечного сечения кривого бруса относительно центральной оси  $z_0$  (отсеченная часть – это часть поперечного сечения, отсекаемая линией, параллельной оси  $z_0$  и проходящей через точку, в которой вычисляются касательные напряжения);

$I_z$  – момент инерции всего поперечного сечения кривого бруса относительно центральной оси  $z_0$  (см. рисунок 4, б), перпендикулярной силовой плоскости;

$b$  – толщина поперечного сечения кривого бруса на уровне точки, в которой вычисляются касательные напряжения.

## ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Измерить при помощи штангенциркуля ширину  $h$  и толщину  $b$  поперечного сечения бруса, а также внутренний  $D_v$  и наружный  $D_n$  диаметры бруса.
2. Установить образец в захватах испытательной машины.
3. Подключить тензодатчики к измерителю деформаций при отсутствии нагрузки.
4. Нагрузить стальной брус от 5 000 Н до 27 500 Н с шагом 7 500 Н, снимая показания на измерителе деформаций для каждого тензодатчика сопротивления, и записать результаты в таблицу (приложение).
5. Произвести обработку результатов измерений.

## Обработка и анализ полученных результатов

### Обработка результатов

1. Определение опытных величин нормальных напряжений в точках 1–3 поперечного сечения бруса А-А (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):
  - а) для вычисления опытных напряжений необходимо сначала обработать данные, занесенные в таблицу (приложение) при проведении нагружения бруса и снятия показаний с измерителя деформации ИД-62м.

При заполнении таблицы (приложение) в графу заносятся величины прикладываемых к брусу нагрузок, в графы 3, 7, 11 – показания измерителя деформации ИДЦ-1 для тензодатчиков 1, 2, 3 при этих нагрузках.

При обработке граф 2, 4, 8, 12 производят вычитания предыдущих величин (занесенных в графы 1, 3, 7, 11) из последующих.

При обработке граф 5, 9, 13 вычисляют средние приращения показаний измерителя деформации для тензодатчиков 1, 2, 3 на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ;

б) вычисляем опытные величины нормальных напряжений в точках 1–3 сечения А-А (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):

$$\sigma_1^{on} = \Delta \Pi_1^{cp} \cdot \sigma_0;$$

$$\sigma_2^{on} = \Delta \Pi_2^{cp} \cdot \sigma_0;$$

$$\sigma_3^{on} = \Delta \Pi_3^{cp} \cdot \sigma_0.$$

где  $\Delta \Pi_1^{cp}, \Delta \Pi_2^{cp}, \Delta \Pi_3^{cp}$  – средние приращения показаний измерителя деформаций для тензодатчиков 1, 2, 3 на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ;

$\sigma_0 = 0,2$  МПа – тарировочный коэффициент нормальных напряжений;

в) строим эпюру опытных нормальных напряжений для сечения А-А (см. рисунок 7, эпюра  $\sigma^{on}$ ).

2. Определение теоретических величин напряжений в точках 1–3 поперечного сечения бруса А-А (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):

а) проверяем условие 3 и устанавливаем, к какой категории брусьев относится исследуемый в лабораторной работе (к брусьям большой или малой кривизны);

б) вычисляем площадь поперечного сечения

$$A = b \cdot h,$$

где  $b, h$  – размеры поперечного сечения бруса (см. рисунок 6);

в) определяем радиус кривизны оси бруса (см. рисунок 6)

$$r_0 = \frac{D_b}{2} + \frac{h}{2};$$

г) определяем радиусы наружных и внутренних волокон бруса (см. рисунок 6):

$$r_n = \frac{1}{2} D_n, \quad r_e = \frac{1}{2} D_e;$$

д) определяем радиусы кривизны волокон, на которых расположены тензодатчики (см. рисунок 6):

$$\rho_1 = \frac{1}{2}D_H, \quad \rho_2 = r_0, \quad \rho_3 = \frac{1}{2}D_B;$$

е) определяем радиус кривизны (см. рисунок б) нейтрального слоя (от действия изгибающего момента)

$$r = \frac{h}{\ln \frac{r_H}{r_B}}$$

где  $h$  – ширина поперечного сечения бруса;

ж) определяем положение нейтральной оси  $z$ :

$$y_0 = r_0 - r,$$

где  $y_0$  – расстояние, на которое нейтральная ось поперечного сечения смещена от центра тяжести сечения (ось  $z_0$  – центральная ось) в сторону центра кривизны (ц.к.) сечения (см. рисунок б).

*Примечание.* Следует иметь в виду, что ось  $z$  (см. рисунок б) является нейтральной осью поперечного сечения кривого бруса при учете только изгибающего момента.

з) вычисляем статический момент поперечного сечения относительно нейтральной оси  $z$ :

$$S_z = A \cdot y_0,$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения бруса;

и) определяем ординаты точек относительно нейтральной оси (см. рисунок б):

$$y_1 = \frac{y}{2} + y_0, \quad y_2 = y_0, \quad y_3 = -\left(\frac{h}{2} - y_0\right);$$

к) определяем внутренние усилия в поперечном сечении А-А кривого бруса (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):

$$M = \Delta F \cdot r_0, \quad N = \Delta F, \quad Q = 0,$$

где  $\Delta F$  – ступень приращения нагрузки;

л) определяем теоретические значения нормальных напряжений в точках 1–3 сечения А-А от изгибающего момента (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):

$$\sigma_{1M}^T = -\frac{M \cdot y_1}{S_z \cdot \rho_1}, \quad \sigma_{2M}^T = -\frac{M \cdot y_2}{S_z \cdot \rho_2}, \quad \sigma_{3M}^T = -\frac{M \cdot y_3}{S_z \cdot \rho_3},$$

где  $M$  – изгибающий момент в сечении А-А;

н) определяем полные нормальные напряжения в точках 1–3 сечения А-А от действия продольной силы и изгибающего момента (на ступень приращения нагрузки  $\Delta F$ ):

$$\sigma_1^T = \sigma_N^T + \sigma_{1M}^T, \quad \sigma_2^T = \sigma_N^T + \sigma_{2M}^T = 0, \quad \sigma_3^T = \sigma_N^T + \sigma_{3M}^T.$$

*Примечание.* Учитывая, что полное выражение напряжений для точки 2 имеет вид

$$\sigma_2^T = \frac{N}{F} - \frac{M \cdot y_2}{S_z \cdot \rho_2},$$

где

$$N = \Delta F, \quad M = \Delta F \cdot r_0,$$

$$y_2 = y_0, \quad S_z = A \cdot y_0, \quad \rho_2 = r_0,$$

получим

$$\sigma_2^T = \frac{\Delta F}{A} - \frac{\Delta F \cdot r_0 \cdot y_0}{A \cdot y_0 \cdot r_0} = \frac{\Delta F}{A} - \frac{\Delta F}{A} = 0.$$

Из того, что полные нормальные напряжения в точках, расположенных на уровне 2-2 (см. рисунок 7) равны нулю (а эти точки находятся на центральной оси  $z_0$ ), следует, что при наличии в поперечном сечении наряду с изгибающим моментом и продольной силы, нейтральной осью является центральная ось (при наличии только изгибающего момента нейтральной осью является ось  $z$ );

о) сравниваем нормальные напряжения, полученные опытным путем, и вычисленные теоретически:

$$\Delta\sigma_1 = \frac{\sigma_1^T - \sigma_1^{on}}{\sigma_1^T} 100 \%, \quad \Delta\sigma_3 = \frac{\sigma_3^T - \sigma_3^{on}}{\sigma_3^T} 100 \%,$$

где  $\sigma_1^{on}, \sigma_3^{on}$  – опытные напряжения в точках 1–3 сечения А-А;

$\sigma_1^T, \sigma_3^T$  – полные теоретические напряжения (от изгибающего момента и продольной силы) в точках 1–3 сечения А-А.

*Примечание.* Отрицательные напряжения необходимо подставлять в эти выражения без учета знака (по модулю);

п) строим эпюры (см. рисунок 7) теоретических нормальных напряжений для сечения А-А от продольной силы (эпюра  $\sigma_N^T$ ), от изгибающего

момента (эпюра  $\sigma_H^T$ ), от совместного действия продольной силы и изгибающего момента (эпюра  $\sigma^T$ ).

При построении эпюры напряжений от изгибающего момента (эпюра  $\sigma_H^T$ ) следует обратить внимание на то, что напряжения на оси  $z$  равны нулю, т.к. при наличии в поперечном сечении кривого бруса только изгибающего момента ось  $z$  является нейтральной, а на эпюре суммарных напряжений (эпюра  $\sigma^T$ ) равны нулю напряжения на оси  $z_0$ , т. к. при наличии в поперечном сечении кривого бруса изгибающего момента и продольной силы нейтральной осью является ось  $z_0$ .

#### *Анализ полученных результатов*

а) обратить внимание на очертание эпюр опытных ( $\sigma^{on}$ ) и теоретических ( $\sigma^T$ ) напряжений (см. рисунок 7) и сделать заключение о характере распределения нормальных напряжений по поперечному сечению кривого бруса большой кривизны;

б) сравнить значения нормальных напряжений, определенных экспериментально ( $\sigma^{on}$ ) и вычисленных по теоретическим формулам ( $\sigma^T$ ), и дать заключение о соответствии расчетной формулы (9) для вычисления нормальных напряжений в кривом брус большой кривизны.

Сформулировать выводы на основании анализа экспериментальных и теоретических данных.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие внутренние усилия могут возникать в поперечном сечении плоского кривого бруса?
2. Чему равны изгибающий момент, продольная и поперечная силы в поперечном сечении кривого бруса?
3. Каково правило знаков изгибающего момента, продольной и поперечной силы в кривом брус?
4. Какие брус относятся к брусам большой и малой кривизны?
5. Как определяются нормальные напряжения от изгибающего момента в брусам малой и большой кривизны?
6. Как вычисляются нормальные напряжения от продольной силы в кривом брус?
7. Как вычисляются полные нормальные напряжения от совместного действия продольной силы и изгибающего момента в брус большой кривизны?
8. Как определяется радиус кривизны нейтрального слоя и положение нейтральной оси в кривом брус от действия изгибающего момента?

9. Можно ли пользоваться формулами (4) и (7) при наличии в поперечном сечении кривого бруса, кроме изгибающего момента, продольной и поперечной сил?

10. При наличии каких внутренних усилий нейтральной осью является ось  $z$  или ось  $z_0$  (см. рисунок 4, б)?

11. Как определяются касательные напряжения в поперечном сечении кривого бруса?

12. Как определяются опытные величины нормальных напряжений в поперечном сечении кривого бруса?

13. Какова цель лабораторной работы?

## ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

### *Общие требования по охране труда*

– При работе на машине УММ-5 на студента могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы: подвижные части оборудования.

### *Требования по охране труда перед началом работы*

– Внешним осмотром убедиться в отсутствии механических повреждений испытательной машины и ее узлов;  
– убедиться, что машина надежно заземлена;  
– проверить отключение машины всех токоведущих элементов электрооборудования;  
– убедиться в наличии защитного ограждения рабочей зоны;  
– убедиться, что все органы управления находятся в исходном положении.

### *Требования по охране труда при выполнении работы*

– Работа проводится без включения электрооборудования УММ-5;  
– не проводить испытаний на растяжение без защитных ограждений на верхнем и нижнем захвате;  
– при проведении испытаний не превышать ограничений по нагрузке свыше указанных для каждого диапазона;  
– не производить самостоятельно (без разрешения преподавателя) ремонт и регулировку оборудования.

### *Требования по охране труда по окончании работы*

– После завершения испытания следует: разгрузить испытываемый образец; снять с машины испытываемый образец установить все органы управления в исходное положение.

### *Требования по охране труда в аварийных ситуациях*

– Немедленно прекратить работу при возникновении ситуаций, которые могут привести к аварии или несчастным случаям.

## Литература

1. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов : учеб. для вузов / В.И. Феодосьев. – 9-е изд. перераб. – М. : Наука, 1986. – 512 с.
2. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов. Лабораторный практикум : учеб. пособие / М.Д. Подскребко, О.И. Мисуно, С.А. Легенький ; под ред. М.Д. Подскребко. – Минск : Алалфея, 2001. – 273 с.
3. Сборник задач по сопротивлению материалов : учеб. пособие / Н.М. Беляев [и др.] ; под ред. В.К. Качурина. – Издание второе, испр. – М. : Альянс, 2014. – 429 с.
4. Дарков, А.В. Сопротивление материалов : учеб. / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – Издание пятое, перераб. и доп. – М. : Альянс, 2014. – 622 с.
5. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов : учеб. пособие / Н.М. Беляев. – М. : Альянс, 2014. – 607 с.
6. Сборник задач по сопротивлению материалов : учеб. пособие / Л.А. Гурьева, В.А. Дронченко, И.Г. Гурьев ; под общ. ред. Л.А. Гурьевой. – Минск : Алалфея, 2002. – 352 с.

Отчет о лабораторной работе студент должен оформить следующим образом.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Исследование напряжений в кривом брус

1. Цель работы.
2. Используемое оборудование, приборы, образцы:
  - кривой брус СМ-13Б;
  - измеритель деформации ИД-62м;
  - разрывная машина УММ-5;
  - штангенциркуль.
3. Размеры бруса:

- наружный диаметр  $D_n =$  мм;
- внутренний диаметр  $D_v =$  мм;
- ширина поперечного сечения  $h =$  мм;
- толщина поперечного сечения  $b =$  мм.

4. Вычисляем опытные напряжения в точках 1–3 сечения А-А (заполнить таблицу):

$$\sigma_1^{on} = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_2^{on} = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_3^{on} = \quad \text{МПа}.$$

5. Вычисляем теоретические напряжения в точках 1–3 сечения А-А.

а) проверяем условие

$$\frac{r_0}{h} > 5.$$

Исследуемый брус относится к брусам большой (или малой кривизны).

б) площадь поперечного сечения

$$A = \quad \text{мм}^2;$$

в) радиус кривизны оси бруса

$$r_0 = \quad \text{мм};$$

г) радиусы кривизны волокон, на которых расположены тензодатчики:

$$\rho_1 = \quad \text{мм};$$

$$\rho_2 = \quad \text{мм};$$

$$\rho_3 = \quad \text{мм};$$

е) радиус кривизны нейтрального слоя (от действия изгибающего момента)

$$r = \quad \text{мм};$$

ж) расстояние, на которое нейтральная ось смещается от центра тяжести поперечного сечения в сторону центра кривизны (от действия изгибающего момента),

$$y_0 = \quad \text{мм};$$

з) статический момент поперечного сечения бруса относительно нейтральной оси  $z$

$$S_z = \quad \text{мм}^3;$$

и) ординаты точек относительно оси  $z$ :

$$y_1 = \quad \text{мм};$$

$$y_2 = \quad \text{мм};$$

$$y_3 = \quad \text{мм};$$

к) внутренние усилия в поперечном сечении А-А кривого бруса:

$$N = \quad \text{Н};$$

$$M = \quad \text{Н} \cdot \text{мм};$$

$$Q = \quad \text{Н};$$

л) теоретические значения нормальных напряжений в точках 1–3 сечения А-А от продольной силы

$$\sigma_N^T = \quad \text{МПа};$$

м) теоретические значения нормальных напряжений в точках 1–3 сечения А-А от изгибающего момента:

$$\sigma_{1M}^T = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_{2M}^T = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_{3M}^T = \quad \text{МПа}.$$

*Примечание.* При вычислении напряжений (пункты л, м) необходимо подставлять все величины в миллиметрах (мм) и ньютонах (Н);

н) полные нормальные напряжения в точках 1–3 сечения А-А от совместного действия продольной силы и изгибающего момента:

$$\sigma_1^T = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_2^T = \quad \text{МПа};$$

$$\sigma_3^T = \quad \text{МПа};$$

о) сравнить нормальные напряжения, полученные опытным путем и вычисленные теоретически:

$$\Delta\sigma_1 = \quad \%;$$

$$\Delta\sigma_3 = \quad \%;$$

п) приложить чертежи (см. рисунки 6, 7): схему бруса с расположением тензодатчиков и необходимыми размерами; схему поперечного сечения А-А с осями  $y$ ,  $z_0$ ,  $z$  и необходимыми размерами; эпюры теоретических ( $\sigma_N^T, \sigma_M^T, \sigma_T$ ) и опытных ( $\sigma^{оп}$ ) напряжений.

б. Выводы.

