

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОЙ
СВАРНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ**

САМАРА 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОЙ
СВАРНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК 539.3(075)
ББК 30.121

Составители: *И. С. Ахмедьянов, В. А. Мехеда, О. В. Хвесьюк*

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. К. Шадрин

Исследование напряженно-деформированного состояния плоской сварной стержневой системы: метод. указания к лабораторной работе / сост. *И.С. Ахмедьянов, В.А. Мехеда, О.В. Хвесьюк*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 16 с., ил. 13.

Дано описание учебной лабораторной установки для исследования напряженного состояния плоской стержневой системы. Обосновывается выбор расчетных схем. Приводятся: формулы для проведения теоретических расчетов, методика измерения деформаций, порядок выполнения работы и оформления ее результатов, контрольные вопросы. Предназначено для студентов 1 и 3 факультетов дневного и вечернего отделений.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПЛОСКОЙ СВАРНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ**

Методические указания к лабораторной работе

Составители: *Ахмедьянов Исхак Саидович,
Мехеда Виллий Андреевич,
Хвесьюк Олег Вячеславович*

Редактор И.И. Спиридонова
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 16.05.2012. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ . Арт. – М2 /2012

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Описание объекта исследования	4
2 Теоретические положения	5
2.1 Расчетная схема рама	6
2.2 Расчетная схема «ферма»	8
3 Экспериментальное определение деформаций и расчет напряжений	9
3.1 Измерение деформации в точке в заданном направлении..	9
3.2 Измерение отдельных составляющих деформации.....	11
4 Порядок выполнения работы	12
Контрольные вопросы	15
Список использованной литературы	16

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОЙ СВАРНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы – экспериментальная проверка приемлемости расчетной схемы в виде плоской фермы для описания напряженно-деформированного состояния сварной стержневой системы.

1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная установка состоит из двух плоских сварных стержневых систем (рис.1), которые изготовлены из стальных труб (рис.2) размерами $D \times d = 21 \times 3$ мм (стержневая система №1) и $D \times d = 42 \times 3$ мм (стержневая система № 2).



Рис. 1 - Общий вид сварных плоских рам

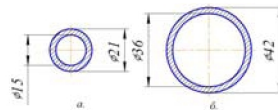


Рис. 2 - Поперечные сечения стержней

Площади поперечных сечений труб F и моменты сопротивления изгибу W соответственно равны:

$$F_1 = 169,6 \text{ мм}^2, W_1 = 654,4 \text{ мм}^3;$$

$$F_2 = 367,6 \text{ мм}^2, W_2 = 3328 \text{ мм}^3.$$

Отметим, что допусковое отклонение толщины труб от номинального значения, согласно ГОСТ 8734-58, составляет $\pm 10\%$.

Испытываемые конструкции закреплены консольно, а нагрузка к ним прикладывается на свободном конце. Динамометр (рис.3) измеряет силу, действующую на систему №1. На систему №2 приходится сила в два раза большая в соответствии с размерами плеч поперечной балки.

Трубы изготовлены из стали с модулем упругости $E = 2,05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Для измерения деформаций стержней в лабораторной установке используются тензорезисторы, имеющие коэффициент тензочувствительности $K=2,06$.

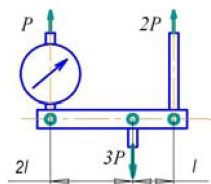


Рис. 3 - Схема нагружения стержневых систем

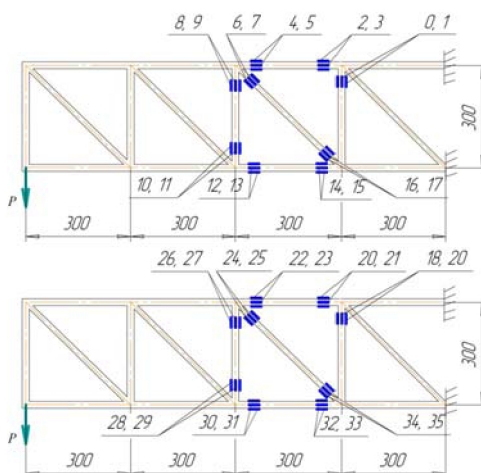


Рис. 4- Расположение тензорезисторов на стержнях

Схема расположения тензорезисторов на стержнях испытываемых конструкций приведена на рис 4. Для обеих стержневых систем принята одинаковая нумерация узлов.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для теоретического расчета усилий и напряжений в стержнях исследуемых систем можно выбрать различные расчетные схемы (рис. 5 и 8).

2.1 Расчетная схема рама

Полагая сварные узлы абсолютно жесткими, получим расчетную схему в виде плоской многократно статически неопределимой рамы, которая близка к реальной конструкции, но весьма сложна для расчета. Число лишних связей L для плоской стержневой системы (рис. 5) можно определить по формуле

$$L = 3 \cdot K - III + C_{on} - 3.$$

Здесь K – число замкнутых контуров, III – число простых шарниров, C_{on} – число опорных связей.

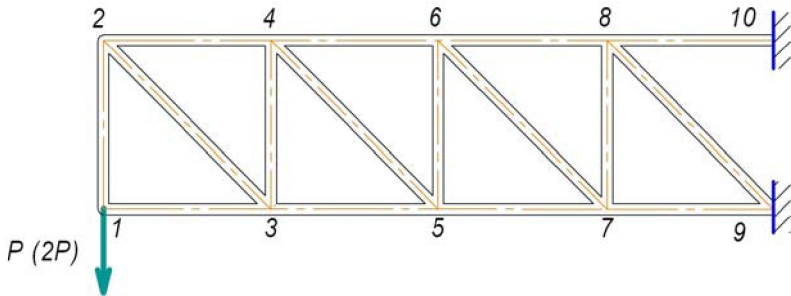


Рис. 5- Расчетная схема «рама»

В нашем случае $K = 7$, $III = 0$, $C_{on} = 6$ и, следовательно, $L = 24$.

Если раскрытие статической неопределимости производить методом сил, то при этом необходимо решать систему из 24 линейных алгебраических уравнений.

Расчет рам был выполнен на ЭВМ матричным методом перемещений по программе, разработанной инженером С. Х. Хазановым. Результаты расчета приведены на рис 6 и 7.

На рис. 6 и 7 приведены значения осевых усилий в узлах и их направление. По длине стержней осевые усилия постоянны.

Изгибающие моменты по длине стержней изменяются по линейному закону. Наибольшие изгибающие моменты наблюдаются в узлах, а посередине стержней они имеют небольшие значения практически во всех стержнях.

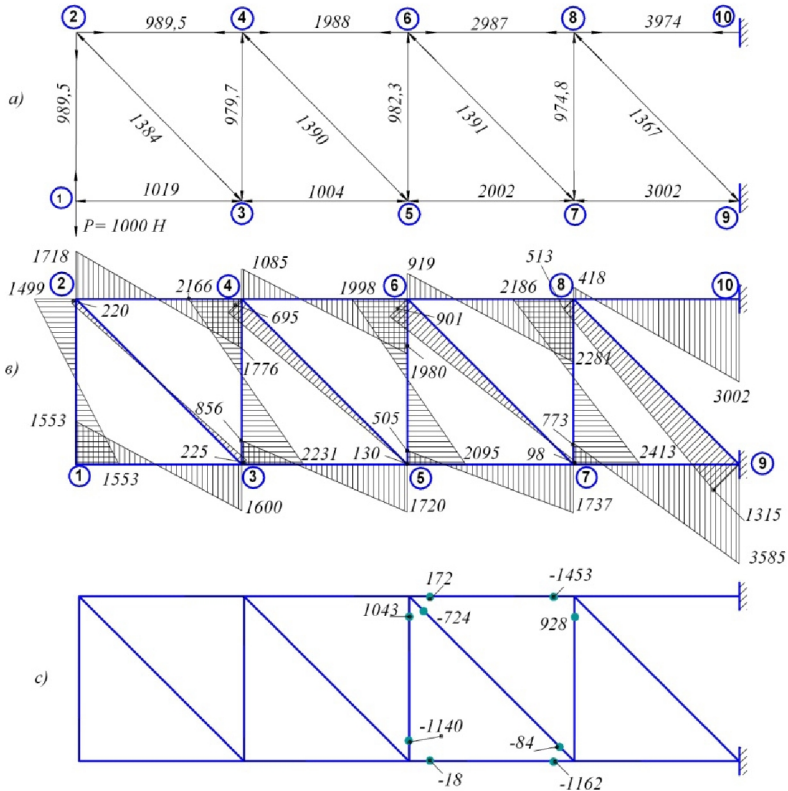


Рис. 6 - Стержневая система 1. Расчетная схема «рама».

Нагрузка $P=1000 \text{ H}$:

a – осевые усилия в стержнях в H ;

в – изгибающие моменты в стержнях в $\text{H}\cdot\text{мм}$;

с – изгибающие моменты в местах установки тензорезисторов в $\text{H}\cdot\text{мм}$

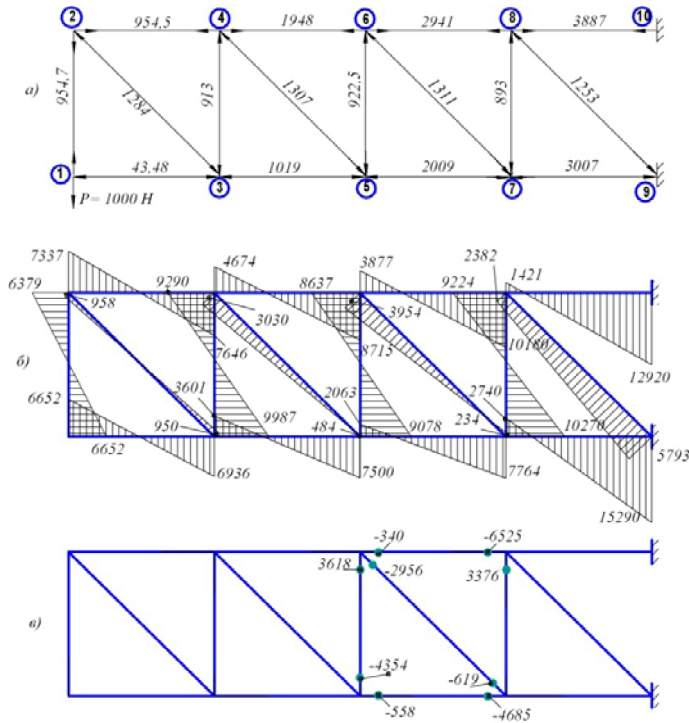


Рис.7 - Стержневая система 2. Расчетная схема «рама».

Нагрузка $P=1000 \text{ H}$

a – осевые усилия в стержнях в H ;

b – изгибающие моменты в стержнях в $\text{H}\cdot\text{мм}$;

v - изгибающие моменты в местах установки тензорезисторов в $\text{H}\cdot\text{мм}$

На рис. 6,в и 7,в приведены значения изгибающих моментов в местах наклейки тензорезисторов.

2.2 Расчетная схема «ферма»

Теперь рассмотрим другую более простую расчетную схему. Воспользуемся следующими обстоятельствами:

- стержни исследуемых конструкций прямолинейны,
- их оси пересекаются в одной точке,
- внешняя нагрузка прикладывается в узлах,
- длина каждого стержня намного превышает его диаметр.

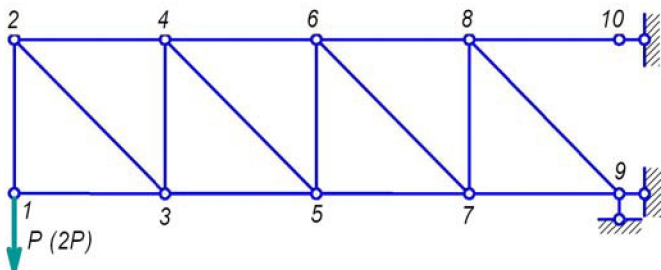


Рис. 8 Расчетная схема «ферма»

Такие стержни работают главным образом на растяжение–сжатие, и их изгибом можно пренебречь. Тогда, считая соединения стержней в узлах шарнирными, получим простую расчетную схему (рис.8), которая называется **фермой**. Осевые усилия в стержнях фермы N_ϕ легко определяются методом вырезания узлов [3], а напряжения при отсутствии изгибающих моментов вычисляются следующим образом:

$$\sigma = \frac{N_\phi}{F}$$

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ

3.1 Измерение деформации в точке в заданном направлении

Для измерения деформаций в лабораторной установке используются тензорезисторы.

Активный датчик R_a наклеивается на поверхность конструкции в исследуемой точке и ориентируется в заданном направлении. Далее он включается в плечо измерительного моста (рис. 9), а в другое, смежное плечо, для уравнивания моста и компенсации температурной деформации включается компенсационный датчик R_k .

Измерительный мост является входной цепочкой тензометрической измерительной

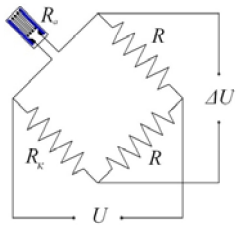


Рис. 9 – Тензометрический измерительный мост

системы. Измерительная система запитывается мост напряжением U по одной диагонали, а с другой диагонали снимает сигнал разбаланса моста ΔU , вызванный деформированием активного тензорезистора.

Допустим, деформация вызвана приращением нагрузки на конструкцию

$$\Delta P = P_{\kappa} - P_{\circ}$$

Здесь P_{\circ} - начальное, а P_{κ} - конечное значение нагрузки.

Приращению нагрузки ΔP будет соответствовать приращение показаний прибора $\Delta n = n_{\kappa} - n_{\circ}$ по измерительному каналу выбранного датчика.

Здесь n_{\circ} - показание измерительного прибора при действии начальной нагрузки, а n_{κ} - конечной.

В учебной лаборатории прочности показания тензорезисторов фиксируются измерительной системой СИИТ-3 (Система Информационная Измерительная Тензометрическая). Она позволяет последовательно опрашивать показания до 100 подключенных к ней активных датчиков (100 каналов). Пересчет показаний Δn в деформации производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{4}{K} 10^{-6} \Delta n. \quad (1)$$

Здесь K – коэффициент тензочувствительности активных тензорезисторов. Все тензорезисторы, наклеенные на исследуемую конструкцию, относятся к одной партии и имеют одинаковое номинальное сопротивление и один и тот же коэффициент тензочувствительности.

3.2 Измерение отдельных составляющих деформации

Пусть стержневой элемент одновременно подвергается растяжению и изгибу (рис.10). Продольная деформация в точке будет состоять из двух компонент $\varepsilon = \varepsilon_N + \varepsilon_M$

Здесь ε_N деформация в точке от действия растяжения, а ε_M - от изгиба.

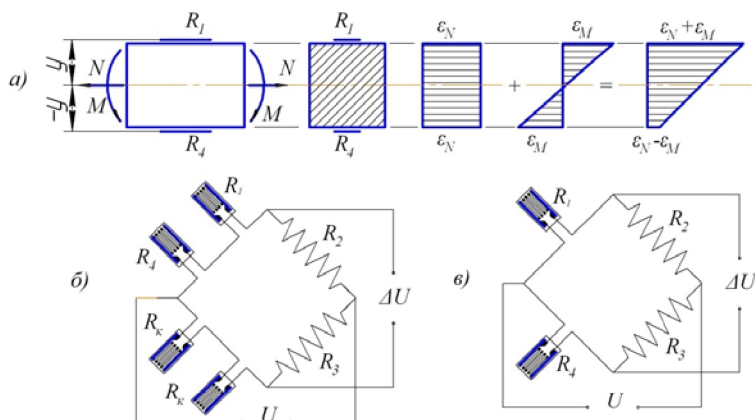


Рис. 10 –Схемы раздельного измерения деформаций
а – схема нагружения объекта и установки датчиков;
б – измерение деформации растяжения-сжатия;
в – измерение деформации изгиба

Если тензорезисторы R_1 и R_4 наклеить **на равном расстоянии** y от оси изгиба (рис. 10,а), то деформации изгиба, действующие на датчики, будут равны по величине и противоположны по знаку.

Полные продольные деформации в местах наклейки тензорезисторов R_1 и R_4 будут

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_N + \varepsilon_M,$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_N - \varepsilon_M.$$

Решая эти уравнения совместно, получим

$$\varepsilon_N = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}, \quad \varepsilon_M = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2}.$$

Суммирование и вычитание сигналов датчиков можно осуществить аппаратно в пределах измерительного моста.

Для измерения ε_N необходимо тензорезисторы R_1 и R_4 *включить последовательно в одно плечо* измерительного моста (рис. 10,б) и удвоить число компенсационных датчиков в смежном плече. По показанию такого моста осевая деформация подсчитывается по формуле (1).

Если тензорезисторы R_1 и R_4 включить в смежные плечи моста (рис. 10,в), то будет измеряться деформация изгиба ε_M , причем чувствительность моста к изгибным деформациям удвоится, а цена деления прибора уменьшается в два раза:

$$\varepsilon_M = \frac{2}{K} 10^{-6} \Delta n. \quad (2)$$

4 Порядок выполнения работы

4.1 Подсоединить кабели от переключателя датчиков прибора СИИТ-3 к штепсельным разъёмам лабораторной установки и по маркировке разъёмов установить соответствие между номерами датчиков и номерами каналов прибора СИИТ-3.

4.2 С помощью прибора СИИТ-3 снять показания датчиков сначала при предварительной нагрузке P_0 , а затем при конечной нагрузке P_k .

4.3 Внести в таблицу 1 значения показаний датчиков при предварительной нагрузке P_0 и при конечной нагрузке P_k , которые обозначены соответственно. В следующем столбце таблицы вычислить приращения показаний датчиков по формуле $\Delta n = n_k - n_0$. Вид таблицы 1 приведен на рисунке 11.

4.4 Эксперимент (п.п. 4.2 и 4.3) повторить ещё два раза и результаты всех трёх опытов усреднить, внося требуемые данные в таблицу 1.

4.5 Перевести усреднённые значения в столбец 4 таблиц 2 и 3.

4.6 Внести значения осевых сил, полученные в результате расчёта обеих стержневых конструкций по схеме «рама» (рис. 6,а и 7,а), в столбец 6 таблицы 2, сформированной в текстовом редакторе *Excel*. Вид таблицы 2 приведён на рисунке 12.

Предварительная обработка результатов эксперимента											Таблица 1	
№ датчика	Стержень, где расположен датчик (по схеме на)	Назначение стержня	1-е измерение			2-е измерение			3-е измерение			$\Delta n_{ср}$
			n_0	n_k	Δn_1	n_0	n_k	Δn_2	n_0	n_k	Δn_3	
0	7-8, растяжение	стойка										
1	7-8, изгиб	стойка										
2	6-8, растяжение	верхн. пояс										
3	6-8, изгиб	верхн. пояс										
4	6-8, растяжение	верхн. пояс										
5	6-8, изгиб	верхн. пояс										

Рис. 11 – Таблица предварительной обработки результатов эксперимента

4.7 Вычислить соответствующие осевым силам значения нормальных напряжений, результаты поместить в столбец 7 таблицы 2.

4.8 Вычислить осевые силы в стержнях от заданной нагрузки P , рассматривая конструкцию как плоскую ферму. Результаты поместить в столбец 8 таблицы 2.

4.9 Вычислить соответствующие осевым силам значения нормальных напряжений, результаты поместить в столбец 9 таблицы 2.

4.10 Внести в столбец 7 таблицы 3 значения изгибающих моментов в местах расположения тензорезисторов в обеих конструкциях, в столбец 8 таблицы 3 поместить значения нормальных напряжений от действия изгибающих моментов. Вид таблицы 3 приведён на рисунке 13.

Обработка экспериментальных данных по напряжениям от растяжения - сжатия											
№ датчика	Угол стержня	Назначение стержня	$\Delta l_{из}$	$\sigma_{N, exp}, МПа$	Расчетная схема - рама		Расчетная схема - ферма		Сравнение результатов		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	7,3, растяжение	стойка									
2	6,5, растяжение	верхн. пояс									
4	6,5, растяжение	верхн. пояс									
6	6,7, сжатие	диагональ									
8	5,6, растяжение	стойка									
10	5,6, растяжение	стойка									
12	5,7, сжатие	нижн. пояс									
14	5,7, сжатие	нижн. пояс									
16	6,7, сжатие	диагональ									
18	7,3, растяжение	стойка									
20	6,5, растяжение	верхн. пояс									

Рис. 12 – Расчет напряжений растяжения-сжатия

Обработка экспериментальных данных по напряжениям от изгиба										
№ датчика	Угол стержня	Назначение стержня	$\Delta l_{из}$	$\sigma_{M, exp}, МПа$	$\sigma_{N, exp}, МПа$	$M_{p, F}, Н\cdot м$	$\sigma_{из, F}, МПа$	$\sigma_{из, F} / \sigma_{из, P}$	$P_{из, F} / \sigma_{из, P}$	$\sigma_{M, exp} / \sigma_{N, exp}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	7,8, изгиб	стойка								
3	6,8, изгиб	верхн. пояс								
5	6,8, изгиб	верхн. пояс								
7	6,7, изгиб	диагональ								
9	5,6, изгиб	стойка								
11	5,6, изгиб	стойка								
13	5,7, изгиб	нижн. пояс								
15	5,7, изгиб	нижн. пояс								
17	6,7, изгиб	диагональ								
19	7,8, изгиб	стойка								

Рис. 13 – Расчет напряжений изгиба

4.11 Вычислить значения в столбце 5 таблицы 2 и в столбцах 5, 6 таблицы 3.

4.12 Сравнить результаты расчёта и экспериментальные данные в оставшихся столбцах таблиц 2 и 3.

4.13 Оценить расхождение между расчётными и опытными значениями нормальных напряжений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие расчетные схемы можно использовать при исследовании напряженно-деформированного состояния рассматриваемых конструкций?
2. Каким условиям должна удовлетворять конструкция, чтобы ее можно было рассчитывать как ферму?
3. В чем сущность метода вырезания узлов?
4. Каким образом измеряются осевые напряжения в стержнях?
5. Каким образом измеряются напряжения от изгиба стержней?
6. Как оценить по результатам эксперимента правомерность выбора расчетной схемы в виде фермы?
7. К какой из рассматриваемых сварных конструкций лучше подходит расчетная схема в виде фермы?
8. Какие расчетные схемы следует использовать при проекторочном и поверочном расчетах аналогичных конструкций?
9. Почему при измерении как осевых, так и изгибных деформаций тензорезисторы наклеиваются в диаметрально противоположных точках сечения?
10. Почему отличаются осевые усилия в расчетных схемах ферма и рама?
11. Учитывает ли расчетная схема рама концентрацию напряжений вблизи узлов?
12. Насколько велика разность осевых напряжений в расчетных схемах ферма и рама?
13. Насколько велико отличие изгибных напряжений расчетной схемы рама от результатов эксперимента?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Смирнов, В.А.* Строительная механика [Текст]: учебник для вузов / *В.А. Смирнов, С.А. Иванов, М.А. Тихонов.* – М.: Стройиздат, 1984. – 208 с.
- 2 *Дарков, А.В.* Строительная механика [Текст]: учебник для вузов / *А.В. Дарков [и др.].* – М.: Высш. школа, 1976. – 600 с.
- 3 *Хазанов, Х.С.* Алгоритм выбора метода исследования геометрической неизменяемости и определения усилий в стержнях фермы [Текст] : метод. указания / *Х.С. Хазанов.* – Куйбышев, типография им. В.П. Мяги, 1984. – 32 с.
- 4 *Мехеда, В.А.* Тензометрический метод измерения деформаций [Текст]: учеб. пособие / *В.А. Мехеда.* – Самара: СГАУ, 2011. – 54 с.