

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машиноведения

Ю. А. Чирков, С. Н. Горелов, В. М. Кушнарченко

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ПЛОСКОЙ РАМЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.04 Авиастроение и 15.03.03 Прикладная механика

Оренбург
2015

УДК 621.83.05(075.8)
ББК 34.445.72с
Ч 65

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В. И. Юршев

Чирков Ю. А.

Ч 65

Исследование напряженно-деформированного состояния в плоской раме: методические указания / Ю. А. Чирков, С. Н. Горелов, В. М. Кушнаренко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 26 с.

Методические указания содержат краткое описание основных характеристик плоских рам и определения усилий в опорах, порядок сборки наладки для исследования напряженно-деформированного состояния в плоской раме, опытной проверки теоремы взаимности работ и принципа взаимности перемещений.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по курсу «Соппротивление материалов» по направлениям подготовки 24.03.04 Авиастроение и 15.03.03 Прикладная механика.

Методические указания подготовлены в рамках проекта «Совершенствование подготовки кадров для приоритетных направлений развития экономики Оренбургской области на основе кластерной модели».

УДК 621.83.05(075.8)
ББК 34.445.72с

© Чирков Ю.А.,
Горелов С.Н.,
Кушнаренко В.М., 2015
© ОГУ, 2015

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Правила техники безопасности..... | 5 |
| 2 Цель работы | 5 |
| 3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы | 6 |
| 4 Общие сведения..... | 6 |
| 4.1 Область применения, достоинства и недостатки рам | 6 |
| 4.2 Измеритель деформаций | 12 |
| 4.3 Блок измерения усилия..... | 13 |
| 4.4 Сборка наладки..... | 14 |
| 5 Порядок выполнения работы | 17 |
| 6 Вопросы для самопроверки и контроля..... | 23 |
| Список использованных источников | 24 |
| Приложение А Содержание отчета | 25 |
| Приложение Б Нагрузки, перемещения и напряжения в раме..... | 26 |

Введение

Методические указания предназначены в помощь для практического изучения основных характеристик плоских рам и определения усилий в опорах, порядок сборки наладки для исследования напряженно-деформированного состояния в плоской раме, опытной проверки теоремы взаимности работ и принципа взаимности перемещений при выполнении лабораторной работы по курсу «Сопротивление материалов» по направлениям подготовки 24.03.04 Авиастроение и 15.03.03 Прикладная механика.

Выполнение лабораторной работы способствует закреплению теоретических знаний и позволяет наглядно изучить методику определения напряженно-деформированного состояния в плоской раме, получения основной системы и применения метода сил и метода перемещений при определении значений лишних связей, а полученные знания использовать в дальнейшем при решении задач на статически неопределимые рамы и системы.

В методических указаниях принята единая система физических единиц (СИ) со следующими отклонениями, допущенными в международных и межгосударственных стандартах на расчеты инженерных конструкций: размеры деталей передач выражаются в миллиметрах (мм), силы в ньютонах (Н), и соответственно напряжения в ньютонах, деленных на миллиметры в квадрате ($\text{Н}/\text{мм}^2$), т.е. мегапаскалях (МПа), а моменты в ньютонах, умноженных на миллиметр (Н·мм). У отдельных групп формул даны соответствующие примечания.

После выполнения лабораторной работы рекомендуется пройти тест на компьютере, вызвав необходимую программу, указав `G:\KOP\KONTROL\start.exe`. В процессе ответов на контрольные вопросы дополнительно систематизируется материал, и закрепляются полученные знания.

1 Правила техники безопасности

1. Прежде чем начать какое – либо действие, убедитесь, что оно не нанесет вреда окружающим.
2. Запрещается работать неисправным инструментом.
3. Снятые детали и узлы рамы следует класть на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка.
4. Передавая деталь другому студенту, убедитесь, что он ее держит, прежде, чем отпустить деталь самому.
5. При сборке наладки не подкладывайте пальцы под детали во время их установки.
6. Убедитесь в исправности электрической розетки и провода при подключении измерителя деформации и блока измерения усилий, которые должны стоять устойчиво, исключая падение и электрическое замыкание.

2 Цель работы

1. Ознакомиться с конструкцией рамы.
2. Выяснить назначение всех деталей наладки.
3. Собрать наладку в рекомендуемой последовательности.
4. Выяснить способы регулировок перемещений в опоре.
5. Определить перемещения в статически определимой раме.
6. Определить реакции опоры в статически неопределимой раме.
7. Оценить напряженно-деформированное состояние в среднем сечении Б статически определимой и неопределимой рам, сравнить теоретические результаты с экспериментальными данными.

Работа выполняется в течение 2-х академических часов. Для выполнения работы необходимы: ключи гаечные рожковые, собранная наладка, журнал лабораторных работ, линейка, карандаш, микрокалькулятор, измеритель деформации тензометрический цифровой ИДТЦ-01 (Учебный) и блок измерения усилий.

3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы

В процессе подготовки студент должен изучить разделы курса «Сопротивления материалов», касающиеся выполнения данной работы по учебникам, рекомендованным в «Списке использованных источников», а также по конспектам лекций.

Пользуясь настоящими методическими указаниями, студент должен:

- 1) уяснить цель работы, её содержание и порядок выполнения;
- 2) выписать в тетрадь расчётные формулы (см. ниже);
- 3) подготовить бланк отчёта (по форме, представленной в приложении А),

где необходимо:

- а) указать цель работы;
- б) начертить схему рамы, проставить основные размеры рамы и прикладываемые нагрузки;
- в) построить эпюры моментов сил в статически определимой и статически неопределимой рамах;
- г) составить и заполнить таблицу Б.1 приложения Б «Нагрузки, перемещения и напряжения в раме» в соответствии с полученными данными при выполнении работы;
- 4) подготовить ответы на вопросы, приведенные на странице 23.

4 Общие сведения

4.1 Область применения, достоинства и недостатки рам

Статически неопределимыми называются системы, для которых определение внешних реакций и всех внутренних силовых факторов не может быть произведено при помощи уравнений равновесия и метода сечений. Статически неопределимые системы содержат «лишние» связи. Число лишних связей, устранение которых обращает систему в статически определимую, называется *степенью статической неопределимости системы*.

Реакции и внутренние силы в статически неопределимых системах могут быть определены при использовании совместно с уравнениями равновесия дополнительных уравнений деформированного состояния системы. Значения реакций и внутренних сил статически неопределимых систем определяются от уровня стадии нагружения конструкции, т.е. материал конструкции испытывает напряжения до предела или за пределом пропорциональности. Если напряжения в конструкции имеют значения до предела пропорциональности материала, то реакции и внутренние силы определяются из уравнений упругих деформаций. Если материал конструкции испытывает напряжения за пределом пропорциональности, то реакции и внутренние силы находятся с учетом упругопластических деформаций и задача значительно усложняется.

1. Внутренние силы в статически неопределимой системе зависят от жесткости и количества «лишних» связей. Это можно рассмотреть на примерах статически определимых систем (рисунок 1). Введя дополнительные связи ab и ca , они становятся статически неопределимыми. Системы с одной «лишней» связью - со стержнем ab , будет работать иначе, чем при двух связях. От жесткости связей ab и ca работа системы также будет изменяться. Если элементы ab и cd изготовлены из резины, то очевидно, что данные системы с «лишними» связями, являясь статически неопределимыми, имеют значения внутренних силовых факторов, незначительно отличающихся от внутренних силовых факторов в статически определимых системах без этих «лишних» связей (рисунок 1).

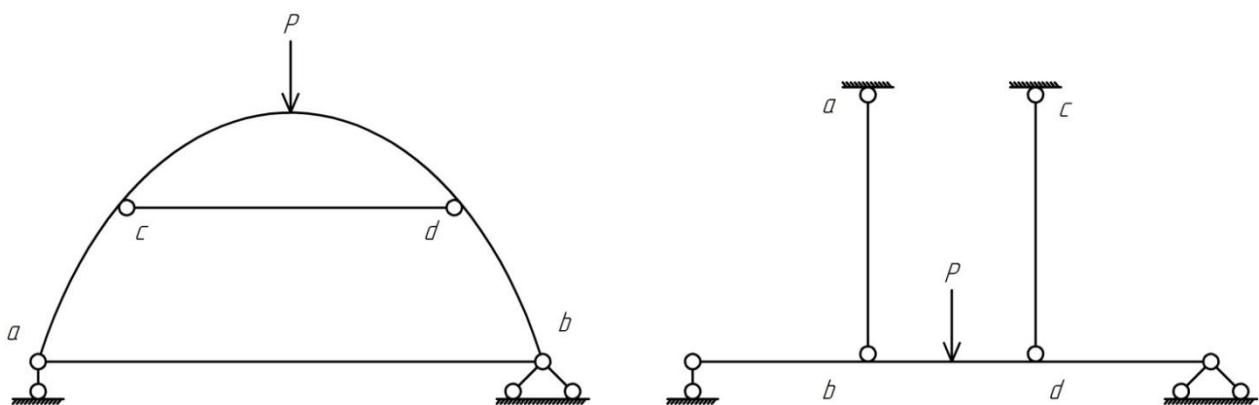


Рисунок 1 – Системы с лишними связями

2. Статически неопределимые системы имеют перемещения меньше, чем в тех же неизменяемых эквивалентных статически определимых системах. Это объясняется тем, что «лишняя» связь, препятствуя перемещению по ее направлению, повышает жесткость системы в целом. Если введенные в статически определимую систему «лишние» связи не работают и не испытывают напряжения, то перемещения статически неопределимой и статически определимой систем не отличаются (рисунок 2). Если в статически неопределимой системе с n «лишними» связями окажется n неработающих связей, то, исключив их, можно получить эквивалентную статически определимую систему с перемещениями и внутренними силами, равными значениям в статически неопределимой системе.

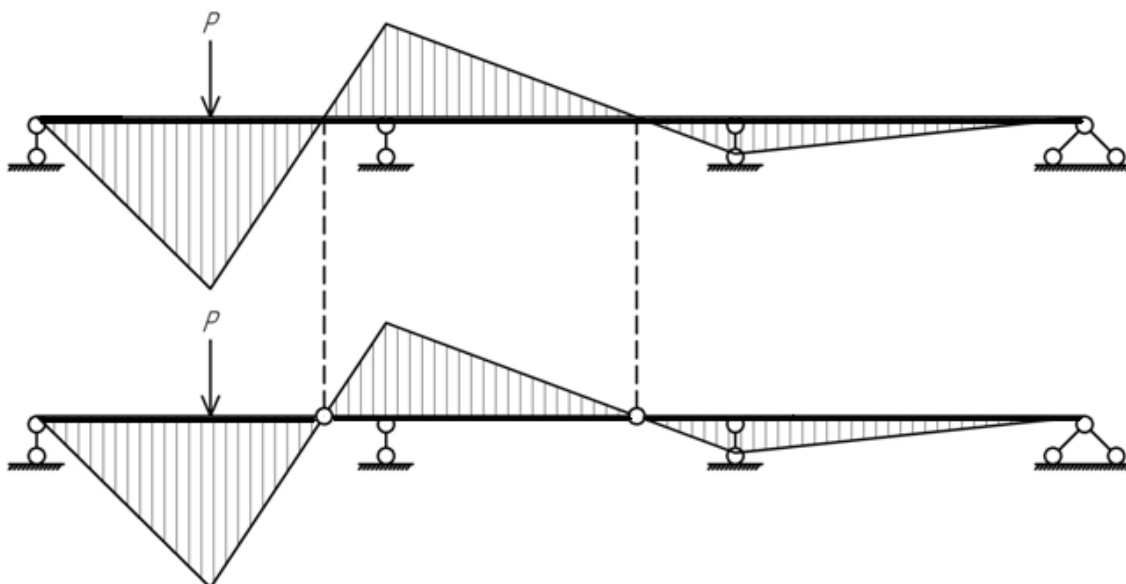


Рисунок 2 – Трехпролетная балка

3. От изменений температуры в статически неопределимых системах возникают дополнительные внутренние силы. Рассмотрим изменение внутренних сил на примере двухпролетной балки (рисунок 3, а). Пусть температура на балке изменилась сверху на t_1 , а снизу – на t_2 . После изменения температуры ось двухпролетной балки имеет два прогиба и займет положение abc . Без средней опоры b , балка имела бы один прогиб – ab_1c (рисунок 3, б). Для получения аналогичной деформации двухпролетной балки abc , необходимо приложить силу X_1 в однопролетной балке у опоры b .

4. От смещения опор в статически неопределимых системах, как правило, возникают дополнительные внутренние силы. Рассмотрим изменение внутренних сил на примере двухпролетной балки (рисунок 3, в). От смещения левой опоры однопролетная балка без изгиба поворачивается относительно опоры c (рисунок 3, г). Для получения аналогичной деформации двухпролетной балки abc , необходимо приложить силу X_1 в однопролетной балке у опоры b .

5. От неточно изготовленных элементов в статически неопределимых системах происходит изменение внутренних сил. Рассмотрим раму. Если диагональный стержень bc изготовлен с меньшей длиной, то его необходимо натянуть с силой X для присоединения к узлу c (рисунок 4), а также необходимо с силой X деформировать остальную часть системы, вызывающей изменение внутренних сил и в остальных стержнях рамы.

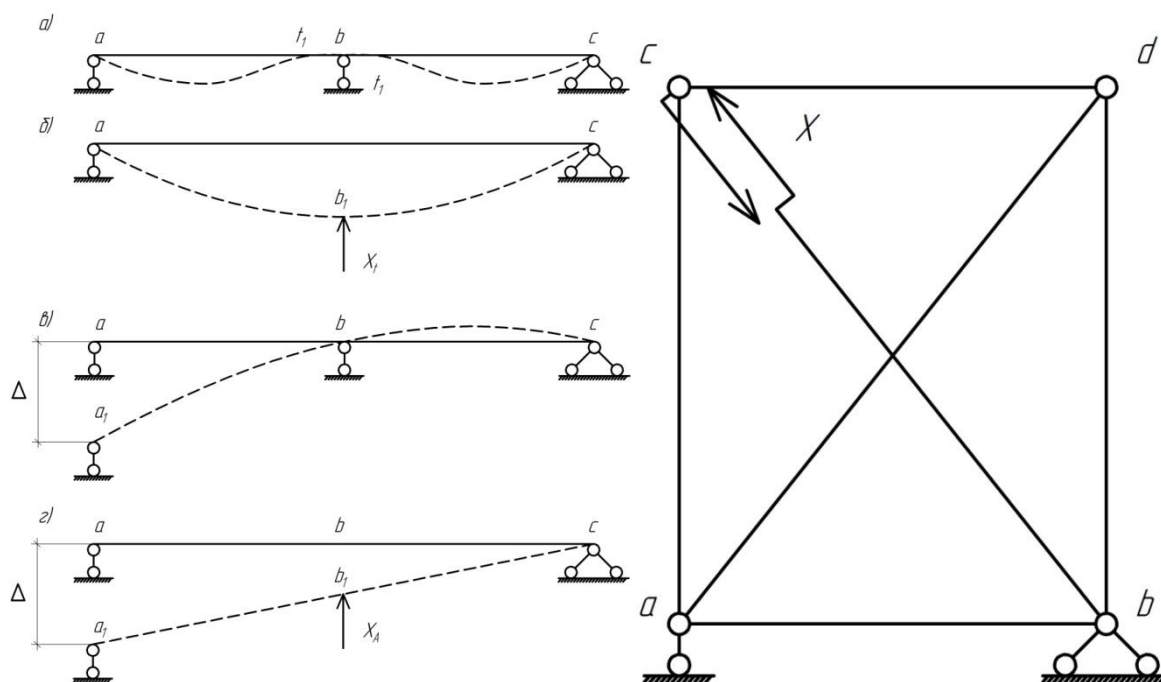


Рисунок 3 – Балка со смещающимися опорами

Рисунок 4 – Система с неработающими связями

6. Внутренние силы и напряжения в элементах статически неопределимых систем зависят от их жесткости, температуры и изменения

положения опор. Жесткость стержней определяется произведением геометрических характеристик сечений на модуль упругости материала.

7. Статически неопределимые системы больше сопротивляются разрушению, чем системы статически определимые. Статически определимая система имеет минимальное необходимое для неизменяемости число связей и устранение хотя бы одной связи приводит систему в изменяемую. Например, в статически определимой ферме разрушение одного элемента, ведет к ее потере несущей способности (рисунок 5, а).

В статически неопределимой системе исключение «лишней» связи не обращает систему в изменяемую. Разрушение одного из стержней в ферме на трех опорах еще не приводит к потере несущей способности фермы, поскольку она сохраняет свою неизменяемость (рисунок 5, б). Потеря несущей способности фермы произойдет только при разрушении еще одного стержня.

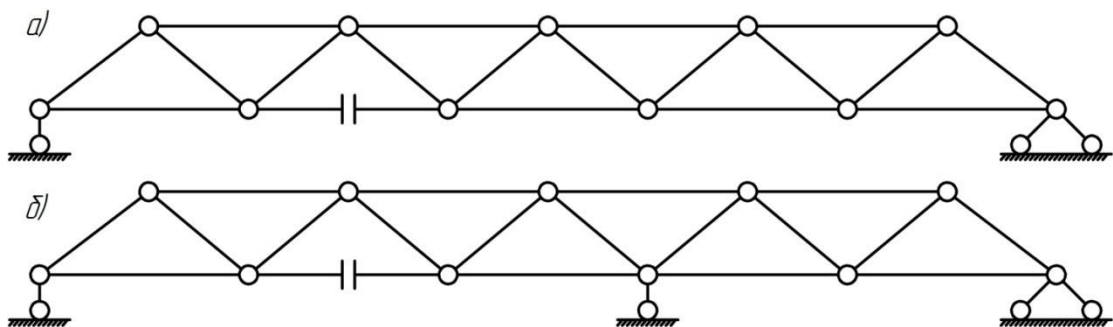


Рисунок 5 – Ферма на опорах

Чувствительность статически неопределимой системы к изменению температуры, неправильному изготовлению и смещению опор зависит от того, что испытывает ли сооружение упругую или упругопластическую деформацию. Если в статически неопределимой системе образуются пластические шарниры, при которых система превращается в статически определимую систему, то все побочные влияния исчезают, и предельная нагрузка не зависит от изменения температуры, от смещения опор и от неправильного изготовления элементов.

Все выше сказанное относится и к пространственным системам.

Основными методами расчета статически неопределимых систем принято считать метод сил, когда за неизвестные принимаются силы, и метод перемещений, когда за неизвестные принимаются линейные и угловые перемещения элементов системы. Для нахождения «лишних» неизвестных в статически неопределимых системах составляют дополнительные к уравнениям статики уравнения совместности деформаций. Расчет проводится на основной системе, получаемой из заданной статически неопределимой системы. В методе сил основная система получается путем исключения «лишних» связей так, чтобы получаемая система позволяла определить в ней усилия и перемещения. Основная система выбрана правильно, если она обеспечивает кинематическую неизменяемость вновь полученной системы. Перемещения точек основной системы по направлению лишних неизвестных должны совпадать с перемещениями этих точек в заданной системе. Такая система будет статически определимой системой (рисунок 6).

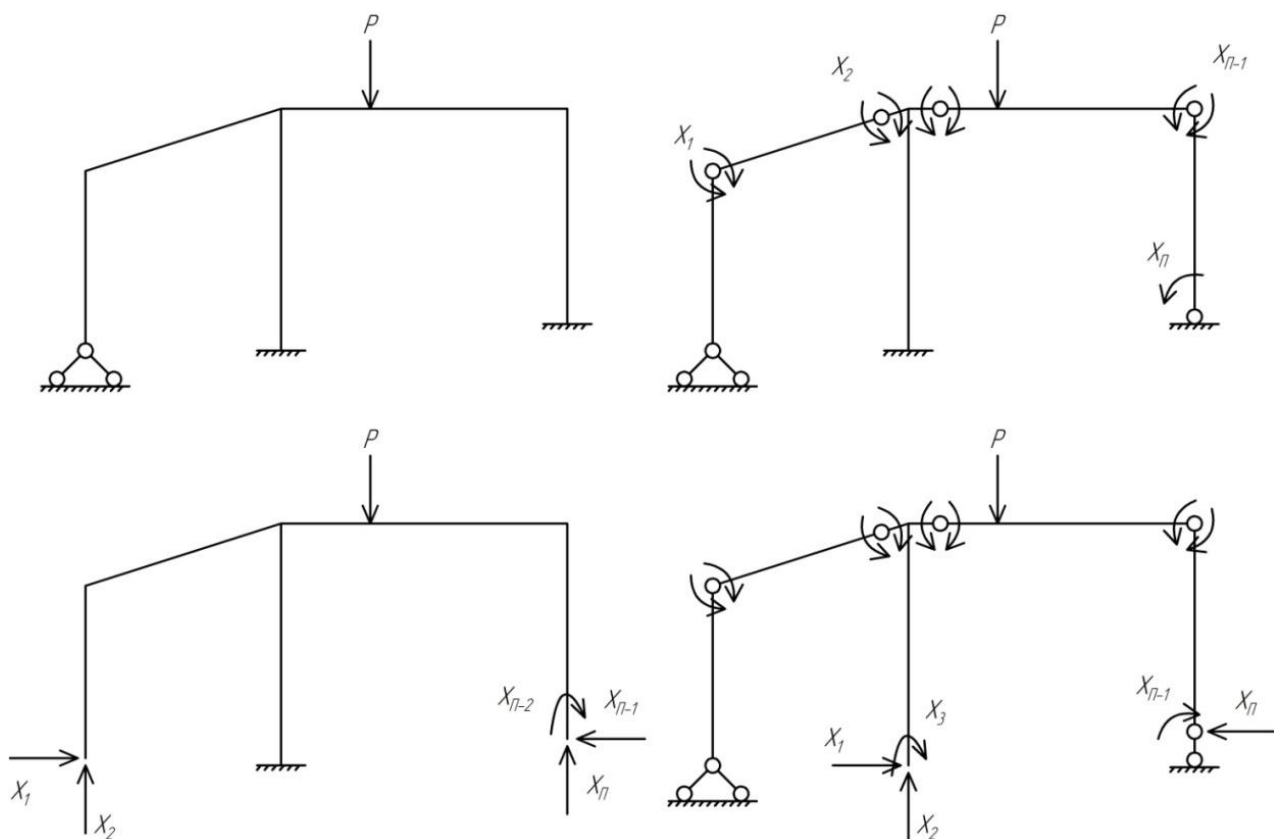


Рисунок 6 – Приемы получения основной системы метода сил

4.2 Измеритель деформаций

Измеритель деформации тензометрический цифровой ИДТЦ-01 (Учебный) (далее – прибор ИД) применяется для измерения деформаций при статическом напряжении и используется в составе универсальных стендов СМ-1 при выполнении практикумов по дисциплинам «Сопротивление материалов», «Прикладная механика», «Техническая механика».

Устройство и принцип работы:

1. Внешний вид изделия приведен на рисунке 7;
2. Прибор содержит следующие блоки: блок питания; блок измерительного устройства; блок индикации.



Рисунок 7 – Измеритель деформации ИДТЦ-01

На лицевой панели находятся индикатор, переключатели КАНАЛ, ДИАПАЗОН, переключатель сетевой с подсветкой. На задней стенке находится разъем для подключения к прибору соединительного кабеля, сетевой предохранитель, шнур электропитания;

3. Прибор позволяет измерять электрические сигналы с тензорезисторов и представлять результаты измерений в цифровом виде.

В блоке применен 4-х разрядный АЦП. В качестве индикаторов используются семисегментные светодиодные матрицы.

Порядок работы с прибором ИД:

1. Подключите прибор к объекту измерений с помощью кабеля, входящего в состав прибора;
2. Подключите сетевой шнур к сети переменного тока 220 В 50 Гц;
3. Включите переключатель сетевой с подсветкой. При этом индикатор высвечивает любое цифровое показание;
4. Переключателем КАНАЛ выберите нужный тензорезистор;
5. В случае разбаланса выбранного канала происходит переполнение индикатора (горит «-1» или «1» только в старшем разряде индикатора), необходимо в соответствии со знаком в старшем разряде, путем поворота переключателя ДИАПАЗОН в ту или иную сторону, добиться показаний в младших разрядах индикатора;
6. Измеряемое показание будет соответствовать алгебраической сумме показаний индикатора и положению переключателя ДИАПАЗОН. Данные значения могут быть как положительные, так и отрицательные;
7. Если в процессе измерений произойдет переполнение индикатора, то следует повторить действия по п. 3.

4.3 Блок измерения усилия

Блок измерения усилия – БИУ с датчиками применяется для измерения прикладываемых сил к конструкции.

Внешний вид изделия приведен на рисунке 8.

Прибор содержит следующие блоки:

- блок питания;
- блок измерительного устройства;
- блок индикации;
- датчики силы – 0,05 кН, 0,5 кН, 5 кН.

На лицевой панели находятся индикатор, переключатель датчика - разрядности, ручка регулировки начала отсчета, переключатель сетевой с подсветкой. На задней стенке находится разъем для подключения к прибору соединительного кабеля, сетевой предохранитель, шнур электропитания.



Рисунок 8 – Блок измерения усилия (БИУ) и датчики

Прибор позволяет измерять усилия с датчиков силы и представлять результаты измерений в цифровом виде.

В блоке применен 3-х разрядный АЦП. В качестве индикаторов используются семисегментные светодиодные матрицы.

4.4 Сборка наладки

Общий вид наладки в сборе показан на рисунке 9. Сборка наладки производится по схеме, приведенной на рисунке 10.

Установите на плите стола 1 раму в сборе с подшипниковыми опорными узлами 2 и закрепите болтовыми соединениями - болт 3, гайка 4, шайба 5 в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 9. Подвесьте на горизонтальную часть рамы в заданных по условию работы местах грузы - по две гири 10, используя подвесы 17 и серьги 9. Установите на плиту стола высокую индикаторную стойку 8 и закрепите болтовым соединением. Наденьте на стойку бобышку 14 и предварительно зафиксируйте. В отверстие бобышки 14 вставьте стержень 15, а в отверстие стержня - кронштейн 16 с закрепленной на ней индикаторной головкой 13. Выставьте систему так,

чтобы ножка индикаторной головки опиралась на раму и делила горизонтальную часть примерно пополам, и закрепите.

Выдвиньте шток кронштейна 6, вращая гайку 18, и закрепите к нему датчик усилий до 0,05 кН. Установите кронштейн 6 на плиту стола 1 так, чтобы винт датчика усилий своим шариком упирался на ось 11 подвижной опоры рамы, и закрепите болтовым соединением. В отверстие стойки корпуса подвижной опоры вставьте индикаторную головку 13. Выставьте систему так, чтобы ножка индикатора опиралась на планку оси подвижной опоры и закрепите.

Производите разборку наладки в обратной последовательности.

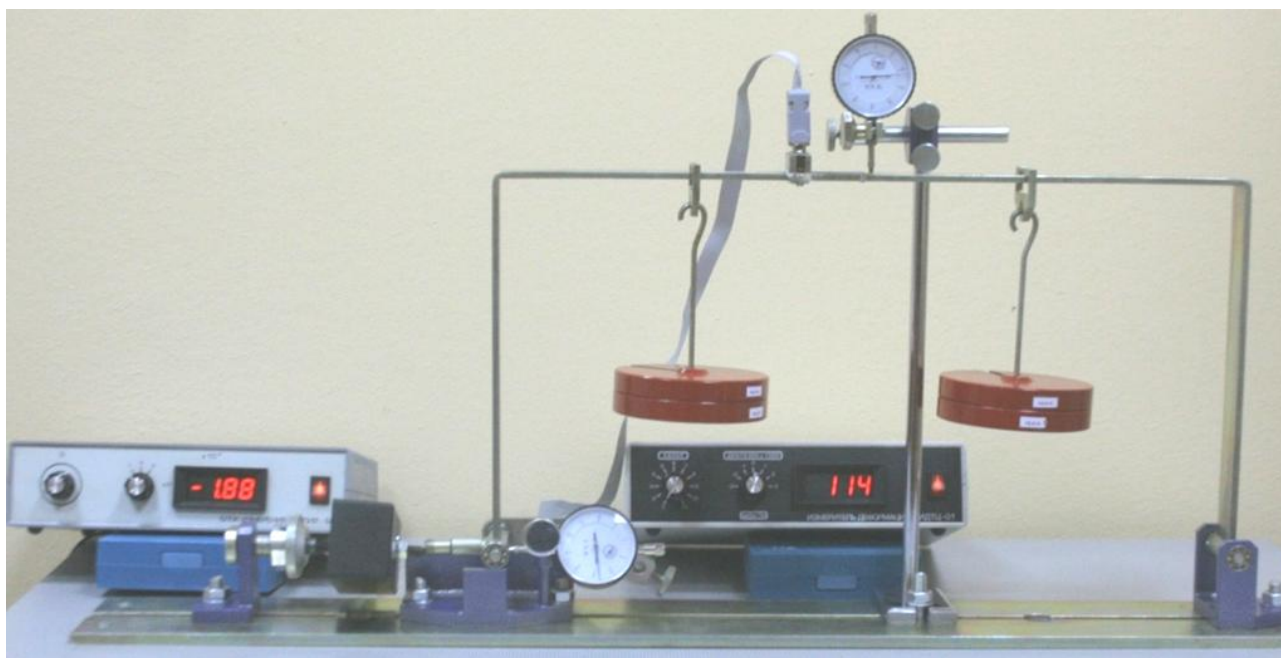


Рисунок 9 – Общий вид собранной наладки с подключенным блоком измерения усилия и прибором ИД

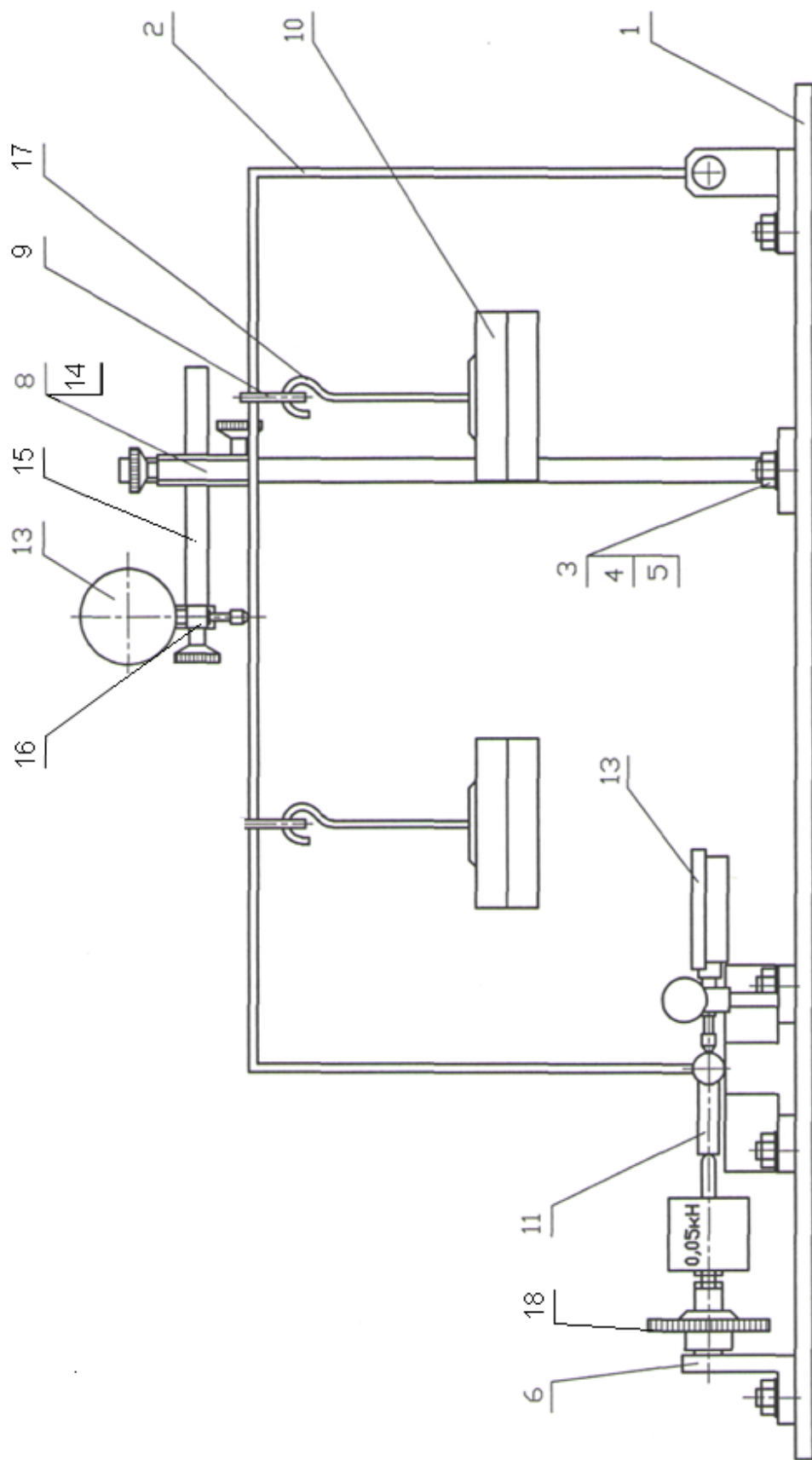


Рисунок 10 – Схема наладки

5 Порядок выполнения работы

Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния в плоской раме: определение перемещений в статически определимой раме; определение реакции опоры в статически неопределимой раме; сопоставление напряжений в среднем сечении горизонтального участка статически определимой и статически неопределимой рам; сравнение теоретических результатов с экспериментальными результатами. На рисунке 11 показана схема заданной статически неопределимой рамы.

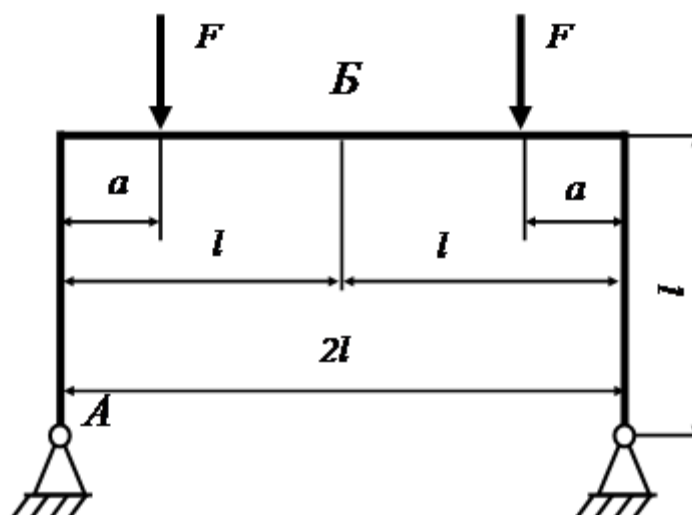


Рисунок 11 – Схема нагружения статически неопределимой рамы

Раскрытие статической неопределимости осуществляют методом сил. В статически определимой раме находятся перемещения сечений А и Б и напряжение в сечении Б.

В статически неопределимой раме определяют перемещение сечения Б, напряжение в сечении Б и реакцию опоры А. Сравниваются результаты, полученные теоретически и экспериментально для двух рам.

На рисунке 12 приведена эквивалентная система рамы с указанием направления лишнего неизвестного усилия (реакции опоры А).

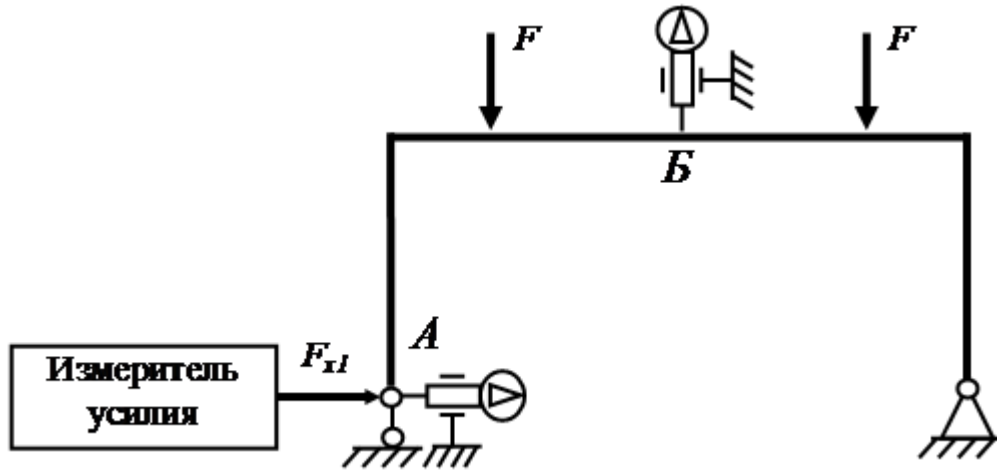


Рисунок 12 – Эквивалентная система

Порядок выполнения работы.

1. Соберите статически неопределимую раму в соответствии с рисунками 9 и 10.

2. Снимите показания индикаторов 13, закрепленных в сечениях А – δ_a^0 и Б – δ_b^0 ; показания ИД в сечении Б для верхнего тензорезистора R_{e0} и нижнего тензорезистора R_{n0} и блока измерения усилий (БИУ) F_{A0} в опоре А.

3. Нагрузите раму двумя силами 20 Н и снимите показания с указанных в пункте (2) индикаторов 13 – δ_a^F, δ_b^F и приборов: в сечении Б для верхнего тензорезистора R_{e20} и нижнего тензорезистора R_{n20} , (БИУ) F_{A20} в опоре А.

4. Вычислите горизонтальную составляющую реакции опоры А как разность показаний блока измерения усилий $F_{xA} = F_{A20} - F_{A0}$. Определите перемещения сечения Б $\delta_b^3 = \delta_b^F - \delta_b^0$ и опоры А $\delta_a^3 = \delta_a^F - \delta_a^0$ (если δ_a^3 не равно нулю, то выдвиньте шток кронштейна 6 вращением гайки 18).

5. Определите напряжение в сечении Б по показаниям ИД: для верхнего тензорезистора $\sigma_{e1} = R_{e20} - R_{e0}$ и нижнего тензорезистора $\sigma_{n1} = R_{n20} - R_{n0}$.

6. Разгрузите и превратите раму в статически определимую, отведя датчик усилий от подвижной опоры А вращением гайки 18.

7. Снимите показания индикаторов 13, закрепленных в сечениях А – δ_{a2}^0 и Б – δ_{b2}^0 ; показания ИД в сечении Б для верхнего тензорезистора R_{e02} и нижнего тензорезистора R_{n02} .

8. Нагрузите раму двумя силами 20 Н и снимите показания приборов, перечисленных в пункте (7) индикаторов 13 – $\delta_{a2}^F, \delta_{b2}^F$ и приборов: в сечении Б для верхнего тензорезистора R_{e202} и нижнего тензорезистора R_{n202} .

9. В сечении Б статически определимой рамы определите деформацию $\delta_b^3 = \delta_{b2}^F - \delta_{b2}^0$ и напряжение по показаниям ИД: для верхнего тензорезистора $\sigma_{e2} = R_{e202} - R_{e02}$ и нижнего тензорезистора $\sigma_{n2} = R_{n202} - R_{n02}$.

10. Определите горизонтальное перемещение подвижной опоры А, как разность показаний индикатора 13 и $\delta_{aF}^{эксн} = \delta_{a2}^F - \delta_{a2}^0$.

11. Определите отношение перемещений в сечении Б статически определимой и неопределимой рам полученных экспериментально $\frac{\delta_b^0}{\delta_b^3}$.

12. Определите отношение максимальных напряжений в сечении Б статически определимой и неопределимой рам, полученных экспериментально $\sigma_{e2} / \sigma_{e1}$ и $\sigma_{n2} / \sigma_{n1}$.

13. Вычислите теоретические значения измеренных величин и сравните их значения с данными, полученными экспериментально. Постройте эпюры изгибающих моментов для статически определимой и неопределимой рамы.

Все теоретические значения могут быть определены при решении соответствующей статически неопределимой рамы. Для раскрытия статической неопределимости используется метод сил, каноническое уравнение которого имеет вид:

$$X_1 \cdot \delta_{11} + \Delta_F = 0, \quad (1)$$

где X_1 – горизонтальная реакция в статически неопределимой раме, H («лишнее» неизвестное усилие);

δ_{11} – перемещение по направлению X_1 от единичной силы, $мм$;

Δ_{1F} – свободный член канонического уравнения – перемещение от заданной нагрузки F по направлению действия X_1 .

Вычисление коэффициентов канонического уравнения производится по известной из курса сопротивления материалов схеме, приведенной на рисунке 13.

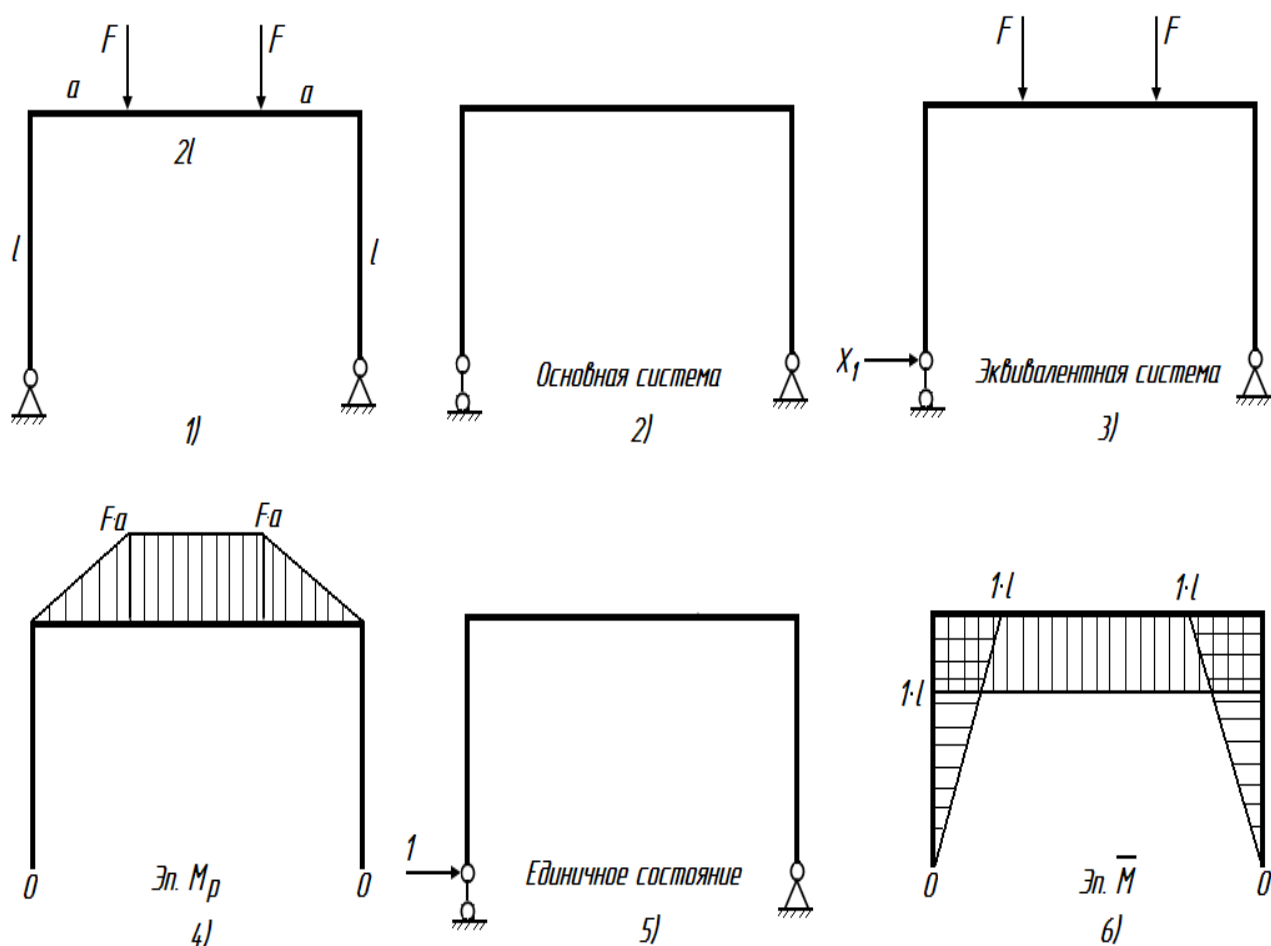


Рисунок 13 – Порядок раскрытия статической неопределимости:

1) – 6) пошаговый порядок действий

Горизонтальная реакция в статически неопределимой раме X_1, H , определяется по формуле:

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}} = \frac{3 \cdot F \cdot a \cdot l - a}{4 \cdot l^2}, \quad (2)$$

где $2l$ – длина горизонтального участка рамы, $2l = 520 \text{ мм}$;

l – длина вертикального участка рамы, $l = 260 \text{ мм}$;

a – расстояние от края рамы до точки приложения силы, мм

Перемещение $\delta_{11}, \text{мм}$, определяется по формуле:

$$\delta_{11} = \frac{8 \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_x}. \quad (3)$$

Коэффициент канонического уравнения перемещений Δ_{1F} определяется по формуле:

$$\Delta_{1F} = -\frac{2F \cdot a \cdot l \cdot l - a}{E \cdot I_x}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости 1 рода (модуль Юнга), $E = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

I_x – момент инерции поперечного сечения, мм^4 ;

b и h – ширина и высота прямоугольного сечения, $b = 30 \text{ мм}$,
 $h = 5,0 \text{ мм}$.

Изгибающий момент в среднем сечении горизонтального участка статически определимой рамы $M_x^0, H \cdot \text{м}$, определяется по формуле:

$$M_x^0 = F \cdot a. \quad (5)$$

Изгибающий момент в среднем сечении горизонтального участка статически неопределимой рамы M_x^n , $H \cdot m$, определяется по формуле:

$$M_x^n = \frac{F \cdot a \cdot 4l - 3(l - a)}{4 \cdot l}. \quad (6)$$

Таким образом, смещению $\delta_{aF}^{эксн}$ соответствует величина Δ_{1F} , силе F_{xA} соответствует X_1 и отношению $\frac{\delta_{\bar{b}}^o}{\delta_{\bar{b}}^3}$ – отношению $\frac{M_x^o}{M_x^n}$.

Сопоставьте опытные данные $\left(\delta_{\Delta F}^{эксн}; F_{xA}; \frac{\delta_{\bar{b}}^o}{\delta_{\bar{b}}^3} \right)$ с результатами теоретического расчета $\left(\Delta_{1F}; X_1; \frac{M_x^o}{M_x^n} \right)$ и вычислите погрешность эксперимента.

Результаты занесите в таблицу Б1, приложение Б.

Сделайте выводы.

6 Вопросы для самопроверки и контроля

8. Какие системы называются статически неопределимыми ?
9. Как определяется степень статической неопределимости ?
10. Каков порядок решения статически неопределимых задач методом сил ?
11. В какой форме записывается каноническое уравнение метода сил ? Каков физический (геометрический) смысл всего уравнения, его слагаемых и сомножителей каждого слагаемого члена уравнения ?
12. Какая система называется основной ? Какие необходимо выполнять условия при выборе основной системы ?
13. Изложите порядок определения лишней неизвестной опытным путем в выполняемой лабораторной работе.
14. Какие параметры отличают статически неопределимую систему от статически определимой системы ?
15. Какие приемы используют для решения статически неопределимой системы ?
16. Какова разница в моментах инерции поперечного сечения одного и того же элемента статически определимой и статически неопределимой системы ?
17. Как рассчитывают изгибающий момент в статически определимой и статически неопределимой раме ?
18. В каких случаях статически неопределимые системы могут быть эффективными ?

Список использованных источников

1. Сборник задач по сопротивлению материалов: учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений / под ред. В. К. Качурина. – 2-е изд., испр., стер. – Москва: Альянс, 2014. – 432 с.: ил. – ISBN 978-5-903034-39-1.
2. Степин, П. А. Сопротивление материалов / П. А. Степин. – С-Пб.: Лань, 2010. – 304 с.
3. Ромашов, Р. В. Сопротивление материалов: учеб. пособие для вузов / Р. В. Ромашов; М-во образования Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т». – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 286 с. – ISBN 978-5-7410-0948-2.
4. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / Р. В. Ромашов и [др.]. – Оренбург: Изд-во ИПК ГОУ ОГУ, – 2009. – 122 с.
5. Степин, П. А. Сопротивление материалов / П. А. Степин. – М.: Высшая школа, – 2007. – 312 с.
6. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник / В. И. Феодосьев. - 14-е изд., испр. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с. – (Механика в техническом университете; т. 2). – ISBN 978-5-7038-3024-6.
7. Александров, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М.: Высшая школа, 2004. – 560 с.

Приложение А

(рекомендуемое)

Содержание отчёта

Лабораторная работа

Исследование

напряженно-деформированного состояния в плоской раме

студент

группа

дата выполнения

проверил

1. Цель работы.
2. Схема и основные размеры рамы, прикладываемые нагрузки.
3. Эпюры моментов сил в статически определимой и статически неопределимой рамах.
4. Расчетные формулы.
5. Результаты эксперимента и теоретических расчетов.
6. Нагрузки, перемещения и напряжения в раме (таблица Б.1, приложение Б) (1 лист).
7. Выводы

Приложение Б

(рекомендуемое)

Нагрузки, перемещения и напряжения в раме

Таблица Б.1

| Заданная система – статически неопределимая | | | | | | Погрешность | |
|---|-------------|-----------------------|-----------|---|--|---|---|
| Экспериментальные значения | | | | Расчетные значения | | Абсолютная | % |
| Без нагрузки | С нагрузкой | | Результат | | | | |
| δ_a^0 | | δ_a^F | | δ_a^3 | | | |
| $\delta_{\bar{b}}^0$ | | $\delta_{\bar{b}}^F$ | | $\delta_{\bar{b}}^3$ | | | |
| F_{A0} | | F_{A20} | | F_{xA} | | X_1 | |
| $R_{\epsilon 0}$ | | $R_{\epsilon 20}$ | | $\sigma_{\epsilon 1}$ | | $\sigma_{\text{Втеор}}$ | |
| R_{n0} | | R_{n20} | | σ_{n1} | | $\sigma_{\text{Нтеор}}$ | |
| Основная система – статически определимая | | | | | | Погрешность | |
| Экспериментальные значения | | | | Расчетные значения | | Абсолютная | % |
| Без нагрузки | С нагрузкой | | Результат | | | | |
| δ_{a2}^0 | | δ_{a2}^F | | $\delta_{aF}^{\text{эксн}}$ | | Δ_F | |
| $\delta_{\bar{b}2}^0$ | | $\delta_{\bar{b}2}^F$ | | $\delta_{\bar{b}}^0$ | | | |
| $R_{\epsilon 02}$ | | $R_{\epsilon 202}$ | | $\sigma_{\epsilon 2}$ | | $\sigma_{\text{Втеор}}^0$ | |
| R_{n02} | | R_{n202} | | σ_{n2} | | $\sigma_{\text{Нтеор}}^0$ | |
| | | | | $\sigma_{\epsilon 2}/\sigma_{\epsilon 1}$ | | $\frac{\sigma_{\text{Втеор}}^0}{\sigma_{\text{Втеор}}}$ | |
| | | | | σ_{n2}/σ_{n1} | | $\frac{\sigma_{\text{Нтеор}}^0}{\sigma_{\text{Нтеор}}}$ | |
| | | | | $\frac{\delta_{\bar{b}}^0}{\delta_{\bar{b}}^3}$ | | $\frac{M_x^0}{M_x^n}$ | |