

# 1053

## **МОСТЫ И СООРУЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

*Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов 4 курса, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автомобильные дороги» и «Автодорожные мосты и тоннели»*

Воронеж 2015

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра проектирования автомобильных дорог и мостов

## **МОСТЫ И СООРУЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

*Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов 4 курса, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автомобильные дороги» и «Автодорожные мосты и тоннели»*

Воронеж 2015

УДК 625.745.1 (07)  
ББК 39.112 я 7

*Составители*

*В.Г. Ерёмин, А.В. Андреев, В.П. Волокитин*

**Мосты и сооружения на автомобильных дорогах** : метод. указания к вып. лабораторных работ для студ. 4 курса, обуч. по направ. 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» и «Автодорожные мосты и тоннели»/ Воронежский ГАСУ ; сост.: В.Г. Ерёмин, А.В. Андреев, В.П. Волокитин. - Воронеж, 2015. - 25 с.

Приводится описание лабораторных установок и моделей искусственных сооружений. Излагаются цели и задачи по каждой лабораторной работе и описывается порядок их выполнения. Даются указания по обработке результатов выполненных экспериментов.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» и «Автодорожные мосты и тоннели»

Ил. 11. Табл. 12. Библиогр.: 5 назв.

**УДК 625.745.1 (07)**  
**ББК 39.112 я 7**

*Печатается по решению учебно-методического совета  
Воронежского ГАСУ*

*Рецензент – Вл.П. Подольский, д.т.н., проф. кафедры строительства  
и эксплуатации автомобильных дорог Воронежского ГАСУ*

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы организации и проведения обследований и испытаний мостовых сооружений рассматриваются в курсах лекций по дисциплинам «Эксплуатация и реконструкция мостовых сооружений» для студентов специализации «Автомобильные дороги» и «Эксплуатация и реконструкция инженерных сооружений на дорогах» для студентов специализации «Автомобильные дороги».

Теоретический курс может быть глубоко усвоен только в том случае, когда чтение лекций дополняется лабораторными работами, выполняя которые студенты знакомятся с методами испытаний мостов и сооружений на дорогах, с применяемыми приборами и оборудованием, а также приобретают навыки обработки результатов испытаний и анализа особенностей работы конструкций под нагрузкой.

В лабораторных работах используются натурные модели круглых и прямоугольных звеньев водопропускных труб, разрезных балочных пролётных строений при различных углах опирания, выполненные из органического стекла, а также модель фермы, изготовленная из стальных уголков.

Принципы моделирования широко используются в проектировании мостовых конструкций:

- при изучении новых конструкций мостов;
- при проверке достоверности теоретических расчётов, допущений и предпосылок, положенных в их основу;
- при сравнении напряжений в отдельных элементах, определённых экспериментально с их теоретическими значениями;
- при прогнозировании остаточного ресурса и долговечности при воздействии сверх нормативных нагрузок;
- при разработке способов и методов усиления конструкции.

Исследование процессов изменения напряжённого состояния на моделях позволяет студенту глубже понять работу сооружения в натуре, а также ознакомиться с основами научных исследований при изучении различных процессов.

По каждой работе составляется отчет, в который вносятся результаты испытаний, расчеты, схемы, таблицы и приводятся обобщающие выводы.

Перед выполнением очередной лабораторной работы студент должен отчитаться (в часы консультаций) за предыдущую работу, ответить на контрольные вопросы, а также подготовиться к следующей работе, используя для этой цели рекомендованную литературу.

Сводный отчет по всем лабораторным работам оформляется в отдельной тетради и сдается преподавателю перед зачетом.

## Лабораторная работа №1

### Приборы, применяемые при статических испытаниях искусственных сооружений

*Цель работы:* ознакомление с устройством и принципом действия приборов, применяемых при статических испытаниях мостов и сооружений на дорогах и освоение приемов работы с ними.

*Состав работы:*

В процессе выполнения лабораторной работы студенты должны ознакомиться с приборами, обратив внимание на следующие вопросы.

#### 1. Механические приборы

1.1. Проволочный прогибомер (инж. Н.Н. Максимова).

1.2. Рычажный клинометр (ЛИСИ).

1.3. Уровневый клинометр (Стоппани).

1.4. Рычажно-механический тензомер (Гугенберга).

1.5. Тензомер индикаторного типа (ВИСИ).

Назначение. Устройство и принципы работы. Кинематические схемы. Цена деления. Понятие о точности. Схемы размещения. Способы крепления. Снятие отчетов.

#### 2. Электротензометрические приборы

2.1. Принцип измерения неэлектрических величин электрическими.

2.2. Типы тензорезисторов (угольные, индукционные, сопротивления и др.).

2.3. Конструкция проволочных датчиков сопротивления.

2.4. Техника наклейки датчиков.

2.5. Четырехплечевой балансировочный мост.

2.6. Нулевой метод балансировки моста.

2.7. Устройство автоматического измерителя статических деформаций (АИД-2М).

Прибор АИД-2М – электронный измеритель деформаций с автоматической балансировкой моста. Прибор предназначен для измерения статических и медленно меняющихся деформаций.

Основные характеристики:

- сопротивление тензодатчиков  $R = 50 \div 500$ ;
- тензочувствительность датчиков  $\eta = 1,8 \div 2,25$ ;
- диапазон измеряемых величин  $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-7}$ ;
- питание от сети переменного тока  $\vartheta = 127 \div 220$ .

Коммутирующее устройство, позволяет подключать по групповой схеме 102 датчика.

АИД-2М, также как и все приборы такого типа, работают по принципу четырехплечевого мостика Уитсона (рис.1.1).

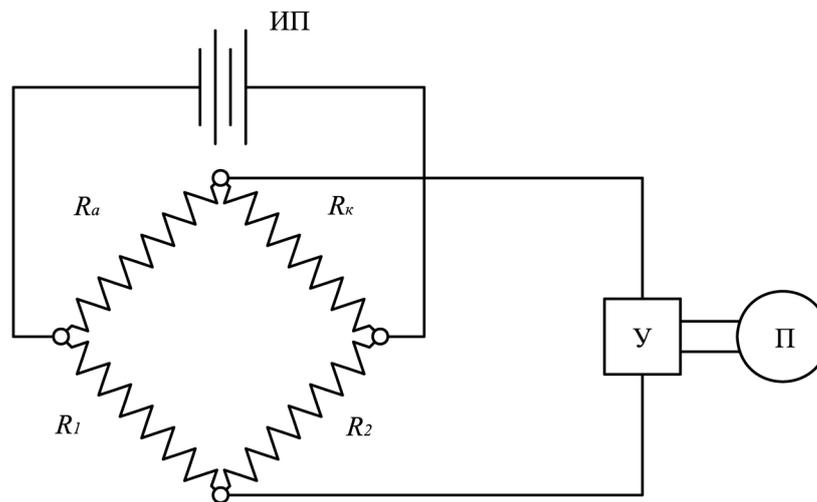


Рис. 1.1. Электрическая схема прибора АИД-2М

В уравновешенном мостике соблюдается следующее равенство (баланс моста):

$$R_a \times R_2 = R_k \times R_1, \quad (1.1)$$

где  $R_a$  – сопротивление активного (работающего) датчика;  
 $R_k$  – сопротивление компенсационного (температурного) датчика, наклеенного на отдельную деталь, из того же материала, что и испытываемый элемент;

$R_1; R_2$  – сопротивления, вмонтированные в самом приборе.

При балансе на контрольном приборе – (П) (гальванометре или микроамперметре) наблюдается значение тока. В результате деформирования элемента конструкции изменяется сопротивление активного датчика  $R_a$ , происходит разбалансировка моста (не выполнение условия (1.1)), что фиксируется по показанию контрольного прибора (П) (стрелка отклоняется от нулевого значения). Для балансировки моста следует изменить сопротивления  $R_1$  или  $R_2$ , что легко выполняется при использовании реохорда. Величина изменения сопротивления характеризует величину деформации элемента конструкции. Усилитель (У) – показывает чувствительность прибора. Данный принцип работы называется нулевым методом балансировки моста.

В приборе АИД-2М (рис.1.2) балансировка моста производится автоматически при помощи реверсионного двигателя.

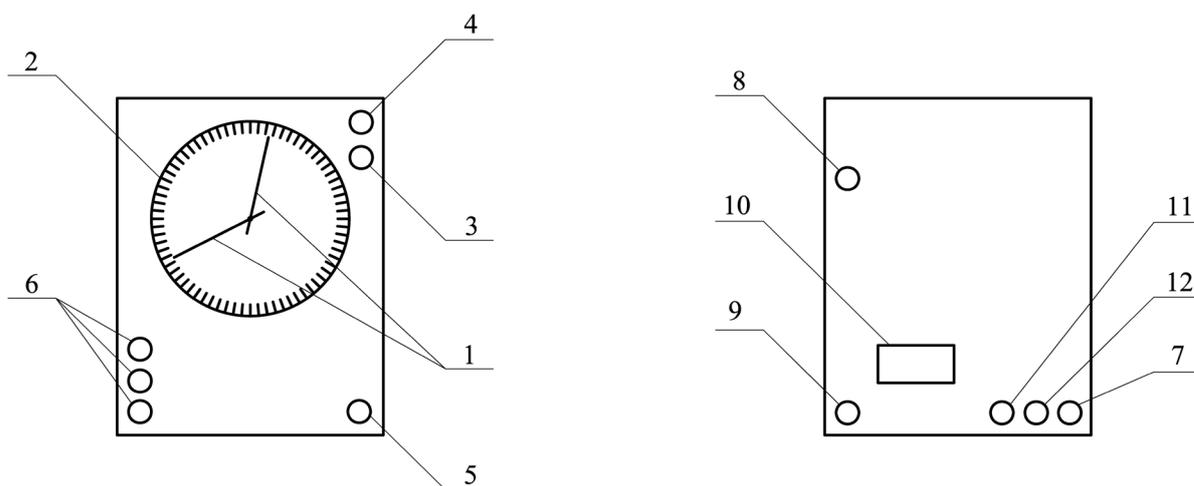


Рис.1.2. Автоматический измеритель деформаций АИД-2М:

1-стрелки; 2-шкала; 3-рукоятка балансировки; 4-сектор индикатора фазировки; 5-выключатель; 6-клеммы; 7-заземление; 8-регулятор масштаба; 9-шнур включения в сеть; 10-переключатель напряжения и предохранитель; 11-переключатель напряжения питания датчиков; 12-регулятор усиления

Через зубчатую передачу с реохордом связаны стрелки (1), показывающие отсчеты по шкале (2). Цена деления шкалы соответствует деформации  $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-5}$ . Малая стрелка отсчитывает сотни делений, средняя – десятки, а большая – единицы. На передней панели прибора имеются клеммы для подключения датчиков (6), выключателя (5). Перед испытанием производится балансировка моста с помощью рукоятки (3). При сбалансированном мосте освещенный сектор индикатора фазировки (4) должен раскрываться на максимальную ширину. Для сохранения постоянной цены деления прибора при использовании датчиков разной чувствительности имеются регулятор масштаба (8) и переключатель напряжения питания датчиков на 2 и 4 В (11), ручки которых расположены на задней панели прибора. Кроме того, на задней панели имеются: регулятор усиления (12), клемма для заземления прибора (7), предохранитель и переключатель напряжения (10), шнур для включения в сеть (9).

В процессе выполнения работы необходимо изучить устройство приборов, составить и оформить отчет, в котором дать принципиальные схемы приборов и привести их основные характеристики.

## Лабораторная работа №2

### Испытание модели звена круглой трубы

*Цель работы:* выявить напряженно-деформированное состояние круглой трубы при загрузке двумя линейно-сосредоточенными нагрузками и оценить соответствие принятой расчетной схеме.

*Состав работы:*

#### 2.1. Испытательная установка и модель звена трубы

Испытательная установка представляет собой рычажно-механическое устройство с отношением плеч рычага  $a : b = 1 : 10$ . Модель звена трубы выполнена из органического стекла. Схема установки и модели представлена соответственно на рис. 2.1 и 2.2.

#### 2.2. Применяемые приборы и аппаратура

Для измерения местных (фибровых) деформаций используется проволочные датчики с базой  $l = 10$  мм и номинальным сопротивлением  $R = 100$  Ом. Общие деформации по вертикальному и горизонтальному диаметрам кольца фиксируются индикаторами часового типа с точностью 0,01 мм. Схема расположения применяемых приборов приводится на рис. 2.2. Показания датчиков регистрируются с помощью автоматического измерителя деформаций АИД-2М, снабженного специальным коммутаторным устройством.

#### 2.3. Методика проведения испытаний

При испытании модели используется схема загрузки двумя линейно-сосредоточенными силами, расположенными в плоскости вертикального диаметра. Схема загрузки показана на рис. 2.2.

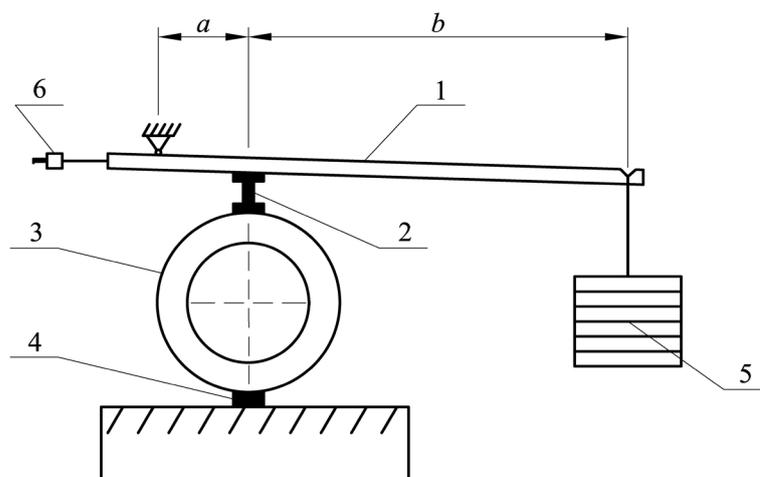


Рис. 2.1. Рычажно-механическое устройство:  
1-рычаг; 2-штанга; 3- модель; 4-брусок; 5- груз; 6- противовес

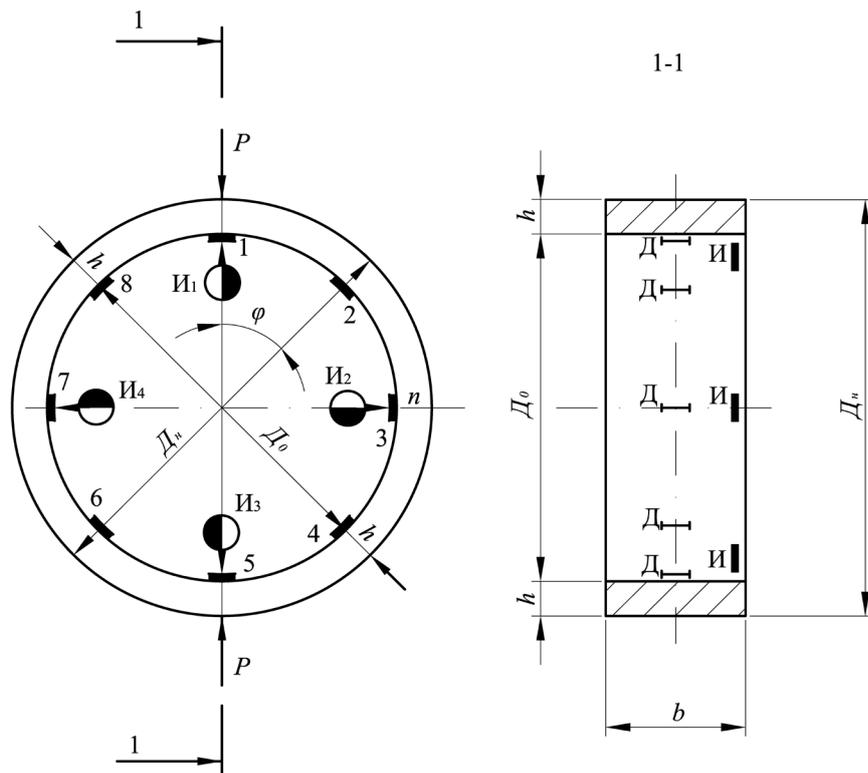


Рис. 2.2. Схема загрузки звена круглой трубы

Загрузка модели осуществляется ступенями до заданной величины нагрузки  $P$ . Показания датчиков и индикаторов регистрируются при  $P_0=0$ ;  $P_H=$  и после разгрузки при  $P_P=0$ . Снятие показаний приборов производится после полного затухания деформаций, о чем можно судить по устойчивому положению стрелок реохорда измерителя деформаций и индикаторов.

#### 2.4. Результаты испытаний и их обработка

Результаты испытаний заносятся в табл. 2.1 и 2.2, формы которых приводятся ниже.

Таблица 2.1

№ датчиков	Отсчеты по шкале реохорда при нагрузке			Разность отсчетов		Средняя разность отсчетов	Экспериментальные напряжения $\sigma_3$ , МПа
	$P_0=0$	$P_H=$	$P_P=0$	$\Delta C_H$	$\Delta C_D$		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_2 - C_1$	$C_2 - C_3$		
1	2	3	4	5	6	7	8

Таблица 2.2.

№ датчиков	Отсчеты по шкале индикатора при нагрузке			Разность отсчетов		Средняя разность отсчетов	Общие деформации вертикального и горизонтального диаметров
	$P_0=0$	$P_H=$	$P_P=0$	$\Delta C_H$	$\Delta C_D$		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_2 - C_1$	$C_2 - C_3$		
1	2	3	4	5	6	7	8

В процессе обработки результатов испытаний, прежде всего, необходимо убедиться в надежности работы, как датчиков, так и индикаторов. Для чего следует сопоставить их показания до загрузки (при  $P_0=0$ ) и после разгрузки ( $P_P=0$ ). Если разница между соответствующими отсчетами не превышает 5 %, можно считать результаты достоверными. После этого подсчитываются соответствующие разности отсчетов при нагрузке ( $\Delta C_H$ ) и при разгрузке ( $\Delta C_0$ ) и их среднее значение ( $\bar{\Delta C}$ ). Величины экспериментальных напряжений вычисляются по формуле:

$$\sigma_3 = \frac{\bar{\Delta C} \cdot E}{\bar{\epsilon}}, \quad (2.1)$$

где  $\bar{\epsilon}$  - коэффициент чувствительности прибора,  $\bar{\epsilon} = 1 \times 10^{-5}$ ;

$E$  - модуль упругости оргстекла,  $E = 3 \times 10^3$  МПа.

Общие деформации кольца по вертикальному диаметру подсчитываются как суммы средних разностей отсчетов соответствующих индикаторов. При этом перемещения, направленные к центру кольца, считаются положительными, а от центра - отрицательными.

### 2.5. Вычисление теоретических напряжений и деформаций

Значения теоретических изгибающих моментов  $M_T$  в сечениях с текущей координатой  $\varphi$  (рис.2.2) вычисляются по формуле:

$$M_T = (0,318 - 0,5 \times \cos \varphi) \times P \times R^2, \quad (2.2)$$

а соответствующее напряжение по формуле:

$$\sigma_T = \frac{M_T}{I}, \quad (2.3)$$

Расчетные величины общих деформаций испытываемой модели звена трубы по вертикальному и горизонтальному диаметрам определяются по следующим формулам:

$$\Delta D_{\text{верт}} = 0,149 \times \frac{P \times R^2}{E \times I}; \quad (2.4)$$

$$\Delta D_{\text{гориз}} = -0,137 \times \frac{P \times R^2}{E \times I}. \quad (2.5)$$

Здесь момент инерции расчетного сечения равен  $I = \frac{b \times h^3}{12}$ .

### 2.6. Сравнение экспериментальных и расчетных напряжений

Сравнение экспериментальных и расчетных напряжений необходимо занести в табл. 2.3.

Так как загрузка принята симметричным относительно вертикального диаметра, то напряжения можно обобщить и принять как среднее попарно - симметричным сечениям (датчики 2 и 12; 4 и 10 и т.д.). Далее вычисляются коэффициенты адекватности ( $\xi$ ), представляющие собой отношение экспериментальных данных к расчетным (теоретическим) и отражающее соответствие принятой расчетной схеме фактическому характеру работы конструкции. Результаты считаются хорошими, если  $\xi \approx 0,8 \div 0,9$ , т.е. если эта величина близка к единице.

Таблица 2.3

Напряжения и коэффициент адекватности	Угловые координаты сечений $\varphi^\circ$							
	0	45	90	135	180	225	270	315
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma_3$								
$\sin \varphi$								
$M_T$								
$\sigma_T$								
$\xi = \frac{\sigma_3}{\sigma_T}$								

В соответствующем масштабе строятся эпюры экспериментальных и расчетных напряжений.

Положительные напряжения (растяжение) откладываются с внешней стороны осевой линии кольца, а отрицательные напряжения (сжатие) - с внутренней. Экспериментальные точки соединяются прямыми, а теоретические - плавной кривой. Эпюры вычерчиваются различными цветами на отдельном листе миллиметровки.

Аналогично предыдущему подсчитываются коэффициенты адекватности по перемещениям.

### 2.7. Выводы по результатам испытаний

Заключение по результатам выполненного исследования излагается в форме логического обобщения - выводов, отражающих содержание поставленной цели. Для этого должен быть проведен как качественный, так и количественный анализ полученных данных. После всего следует обратить внимание на соответствие характера эпюр напряжений по знакам, описать наблюдающиеся закономерности, отражающие напряженное состояние модели звена трубы. Количественная оценка принятой расчетной схемы выполняется по анализу величин коэффициентов адекватности.

В сжатой форме приводится вывод, раскрывающий сущность цели всей работы.

## Лабораторная работа №3

### Испытание модели звена прямоугольной трубы

*Цель работы:* оценить влияние стыкового соединения на напряженно-деформированное состояние плитных элементов сборной прямоугольной трубы.

*Состав работы:*

### 3.1. Испытательная установка и модель звена трубы

Испытание модели звена трубы производится на рычажной установке, аналогичной той, которая применялась в лабораторной работе №2 (рис. 2.1).

Модель трубы выполнена из органического стекла. Звено состоит из четырех плитных элементов, сопрягаемых между собой стыком в форме ласточкина хвоста. В горизонтальных элементах имеются пазы, а в вертикальных - соответствующие шипы. Схема модели приведена на рис. 3.1.

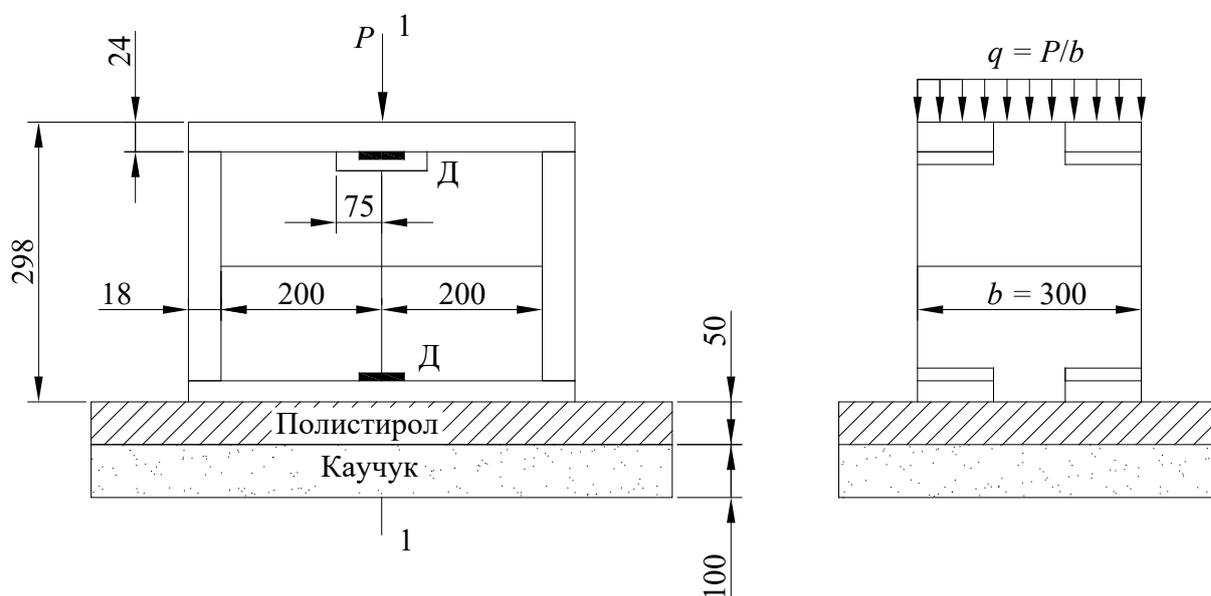


Рис. 3.1. Схема модели звена прямоугольной трубы

### 3.2. Применяемые приборы и измерительная аппаратура

Для измерения фибровых деформаций используются проволочные датчики с базой  $l = 20$  мм и номинальным сопротивлением  $R = 200$  Ом. Схема расположения датчиков показана на рис. 3.2. Показания датчиков регистрируются измерителем статических деформаций АИД-2М.

### 3.3. Методика проведения испытаний

При оценке влияния стыкового сопряжения на работу плитных элементов трубы следует исходить из особенностей их взаимного опирания. Так, горизонтальные плиты опираются на вертикальные по краевым участкам, а вертикальные в свою очередь - на горизонтальные по среднему участку.

Модель устанавливается на упругое основание, состоящее из слоя каучука толщиной 10 см и слоя полистирола толщиной 5 см. Загружение модели осуществляется одной линейно - сосредоточенной по длине звена нагрузкой. Соответствующие схемы загрузки показаны на рис.3.1.

Показания датчиков снимаются до загрузки ( $P_0=0$ ), при нагрузке ( $P_n=$  ) и после разгрузки. Снятие показаний производится после затухания деформаций.

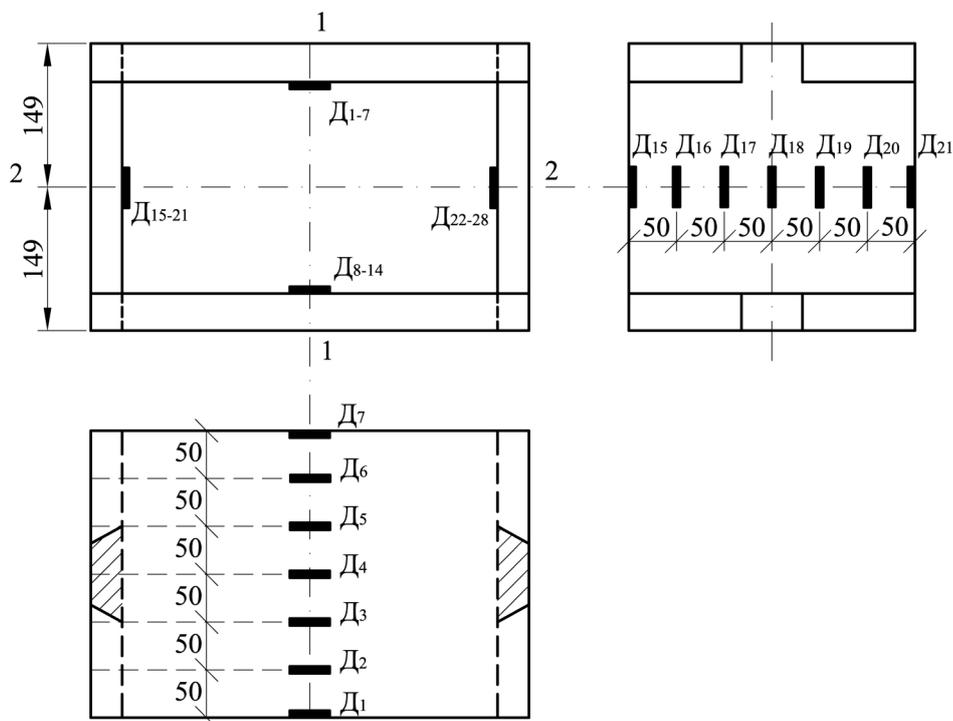


Рис. 3.2. Схема расположения датчиков

#### 3.4. Результаты испытаний и их обработка

Запись результатов испытаний (в форме таблиц) и методика их обработки выполняется аналогично тому, как это сделано в лабораторной работе №2.

#### 3.5. Определение теоретических напряжений

Теоретические напряжения плиты перекрытия определяются для отсеков прямоугольного сечения, заключённого между датчиками сопротивлений.

Изгибающий момент для отсека определяется как для свободно опертой плиты по формуле:

$$M_T = \frac{q \times b' \times l}{4}, \quad (3.1)$$

где  $b'$  - ширина отсека, принимается равной  $b'=25$  мм – для крайнего отсека и  $b'=50$  мм – для среднего отсека;

$l$  - расчётный пролёт плиты,  $l=418$  мм.

Напряжения в отсеке определяется по формуле:

$$\sigma_T = \frac{M_T}{W}, \quad (3.2)$$

где  $W$ - момент сопротивления отсека прямоугольного сечения:

$$W = \frac{b \times h^2}{6}, \quad (3.3)$$

где  $h$  –высота отсека, принята равной толщине плитного элемента,  $h=18$  мм.

### *3.6. Анализ результатов испытаний*

По данным результатов испытаний, необходимо построить эпюры теоретических и экспериментальных напряжений по исследуемым сечениям. Эпюры вычерчиваются на миллиметровой бумаге в соответствующих масштабах. Теоретические и экспериментальные точки соединяются прямыми различного цвета. Допускается совмещение эпюр для плиты перекрытия и лотковой плиты.

При анализе результатов испытаний следует обратить внимание на характер распределения напряжений по рассматриваемым сечениям в отдельности (1-1 и 2-2). Сопоставить абсолютные значения напряжений по краям плит и в середине. Кроме того, нужно сравнить полученные данные для плит, нагруженных сосредоточенными нагрузками, и опирающихся на упругое основание.

### *3.6. Выводы по результатам испытаний*

Выводы должны содержать рекомендации по определению расчетных усилий в плитных элементах сборной прямоугольной трубы с учетом влияния стыкового соединения, содержащего паз и шип, выполненных в форме параллелепипеда с трапециевидальным основанием.

## **Лабораторная работа №4**

### **Испытание модели пролетного строения балочного моста**

*Цель работы:* ознакомление с методикой экспериментального определения коэффициентов поперечной установки.

*Состав работы:*

#### *4.1. Испытательная установка*

Испытание модели балочного пролетного строения выполняется на рычажно-механической установке, схема которой приводится в лабораторной работе №2.

#### *4.2. Модель балочного пролетного строения*

Модель выполнена из органического стекла по типу пятибалочного бездиафрагменного пролетного строения прямоугольного очертания в плане. Схе-

ма испытываемой модели с указанием ее геометрических размеров приведена на рисунке. 4.1.

### 4.3. Приборы и измерительная аппаратура

Для определения напряжений по фибровым деформациям используются проволочные датчики с базой  $l = 20$  мм и номинальным сопротивлением  $R = 200$  Ом. Показания датчиков регистрируются прибором АИД-2М. Прогибы балок измеряются индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Датчики и индикаторы располагаются в сечении 1-1 посередине пролета. Нумерация приборов приведена на рис. 4.1. С целью оценки возможных перемещений опорных сечений 2-2 и 3-3, установлено четыре контрольных индикатора по концам крайних балок.

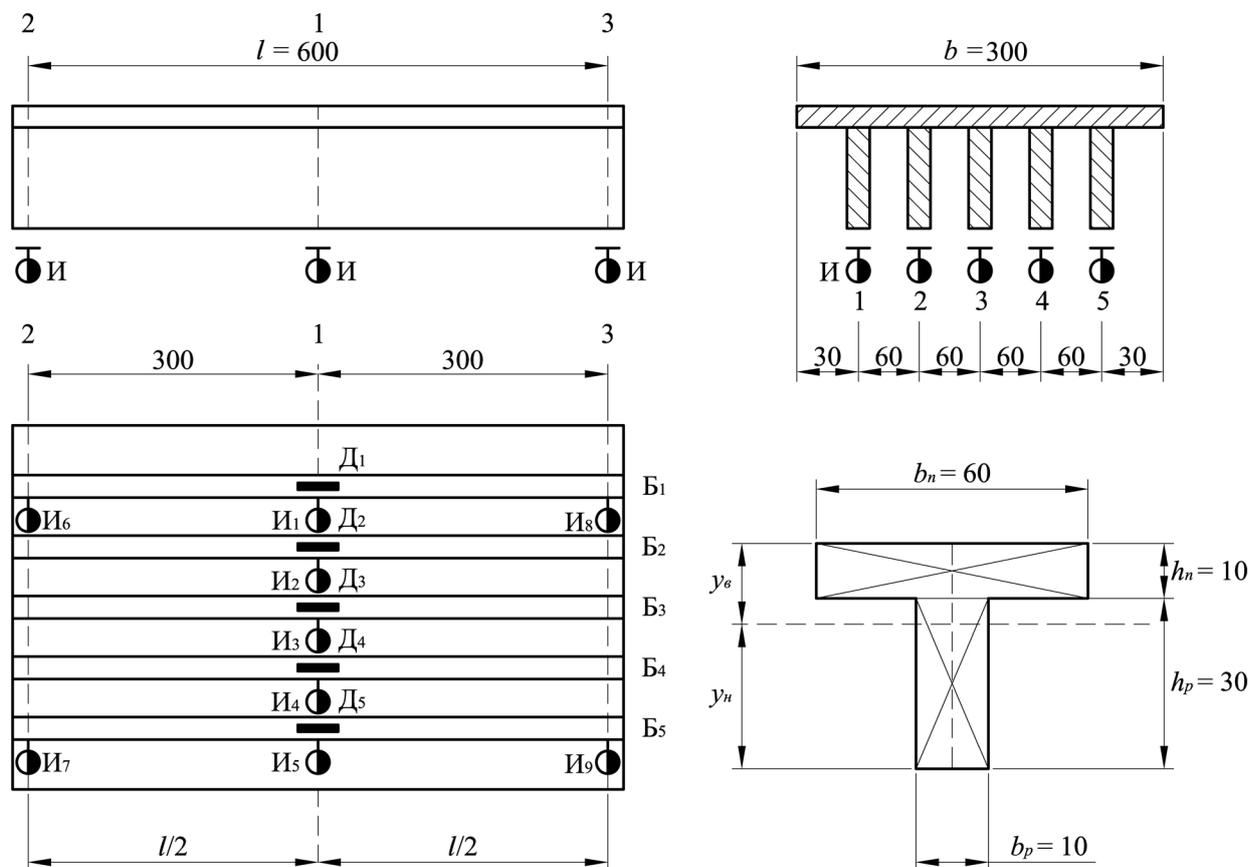


Рис. 4.1. Схема модели пролётного строения

### 4.4. Методика проведения испытаний

Загружение осуществляется сосредоточенной нагрузкой  $P$ , прикладываемой в середине пролета соответствующих балок. Вначале нагружение производится по схеме 1, а затем - по схеме 2 (см. рис. 4.2). В первом случае эксцентриситет приложения нагрузки равен  $l_1 = 120$  мм, во втором  $l_2 = 0$ . Показания датчиков и индикаторов регистрируются до приложения нагрузки, при нагрузке и после разгрузки.

#### 4.5. Результаты испытаний и их обработка

Результаты испытаний по напряжениям заносятся в табл.4.1, а результаты испытаний по прогибам в табл.4.2.

Таблица 4.1

Схема загрузки	№ датчиков	Отсчеты по реохорду			Разность отсчетов		Средняя разность отсчетов	Экспериментальные напряжения $\sigma_{\text{э}} = \Delta E$
		$P_0=0$	$P = P_i$	$P_p=0$	$\Delta C_{\text{H}}$	$\Delta C_{\text{D}}$		
		$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_2 - C_1$	$C_2 - C_3$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Схема I

Схема II

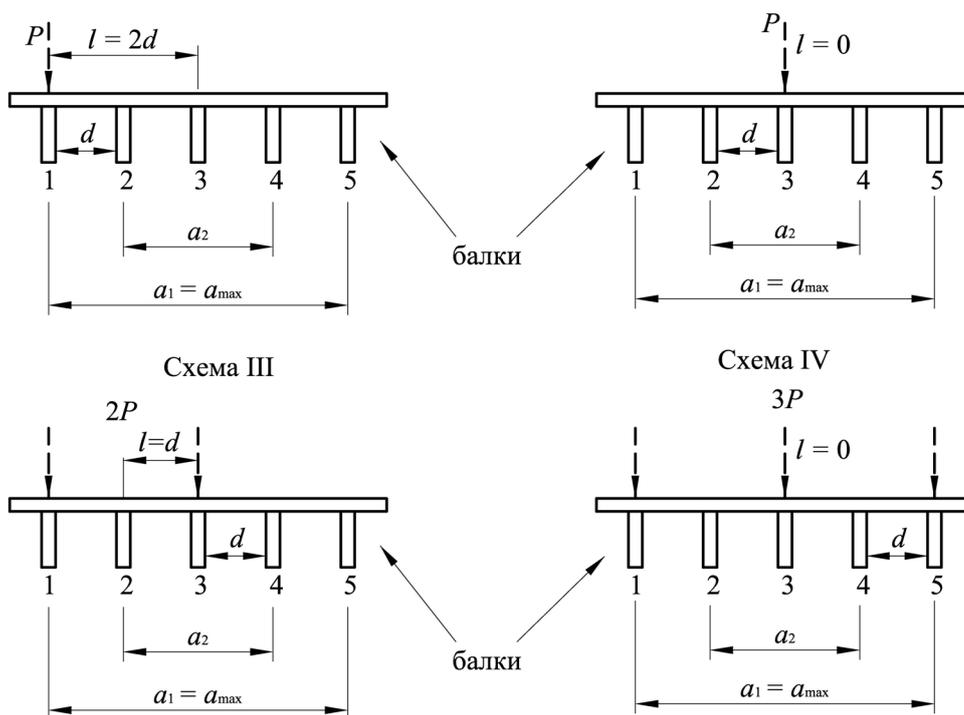


Рис. 4.2. Схемы загрузки пролётного строения сосредоточенной нагрузкой

Таблица 4.2

Схема загрузки	№ датчиков	Отсчеты по индикаторам			Разность отсчетов		Средняя разность отсчетов	Экспериментальные прогибы $f_{\text{э}} =$
		$P_0=0$	$P = P_i$	$P_p=0$	$\Delta C_{\text{H}}$	$\Delta C_{\text{D}}$		
		$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_2 - C_1$	$C_2 - C_3$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Здесь  $\delta$  - поправка (к прогибам балки) на величину просадки опорных сечений, которая вычисляется по линейной интерполяции между показаниями соответствующих индикаторов.

Данные результатов испытаний, соответствующие загрузению по схемам 3 и 4, получают, используя принцип независимости действия линейных сил. При этом столбцы 3÷8 не заполняются.

#### 4.6. Определение коэффициентов поперечной установки

Экспериментальные значения коэффициентов поперечной установки по напряжениям  $K_\sigma$  и прогибам  $K_f$  определяются для каждой схемы загрузки по следующим формулам:

$$K_\sigma = \frac{\sum \sigma_i}{n \cdot \sigma_{\text{ср}}}; \quad (4.1)$$

$$K_f = \frac{\sum f_i}{n \cdot f_{\text{ср}}}; \quad (4.2)$$

где  $\sigma_i$  и  $f_i$  - экспериментальные величины напряжений и соответствующих прогибов для  $i$  рассматриваемой балки;

$n$  - сумма экспериментальных напряжений и прогибов всех балок в рассматриваемом сечении.

Теоретические коэффициенты поперечной установки вначале определяются по методу внецентренного сжатия с использованием следующей рабочей формулы, дающей численные значения КПУ без построения линий влияния давлений для соответствующих балок:

$$K_{T_1} = \frac{\sum y_i}{n \cdot l}; \quad (4.3)$$

где  $l$  - эксцентриситет приложения равнодействующей испытательной нагрузки;

$n$  - количество балок в поперечном сечении пролетного строения (модели);

$a_{\text{max}}$  - расстояние между крайними балками.

Здесь  $w_i = 1, 3, 5, 7$  и т.д. - нечетные численные коэффициенты для первой (крайней слева или справа) и последующих за ней балок.

В качестве второго варианта определения теоретических значений коэффициентов поперечной установки, можно воспользоваться следующей эмпирической формулой, по которой определяются ординаты линий влияния давлений для крайних балок:

$$y_{1,2} = \frac{1}{n} \times \left( 1 \pm \frac{a_{\text{max}}^2}{2 \sum a_i^2} \right); \quad (4.4)$$

где  $a_i$  - расстояние между соответствующей парой симметрично расположенных балок, для одной из которых определяется КПУ.

По схеме загрузки 1 и 2 расчетные значения коэффициентов поперечной установки равны величинам ординат линии влияния, вычисленным по формуле (4.2), под местом приложения соответствующих сил, т.е.  $K_{T_2} = y_i$ , а по

схемам 3 и 4  $K_{T_2} = \sum y_i / 2$  и  $K_{T_2} = \sum y_i / 3$ .

Результаты определения коэффициентов поперечной установки заносятся в табл.4.3.

Таблица 4.3

Схема загрузки	№ балок	Экспериментальное КПУ		Теоретическое КПУ		Примечания
		$K_{\sigma}$	$K_T$			
1	2	3	4	5	6	7

По данным таблицы 4.3 строятся соответствующие графики для каждой схемы загрузки. Графики рекомендуется вычерчивать различными цветами на листе миллиметровой бумаги формата А2. Значения коэффициентов поперечной установки откладываются по оси ординат, полученные точки соединяются прямыми.

#### 4.7. Определение теоретических напряжений в наиболее загруженных балках

Определение теоретических напряжений проводится в следующей последовательности:

- сначала определяются геометрические характеристики (см. рис. 4.3)

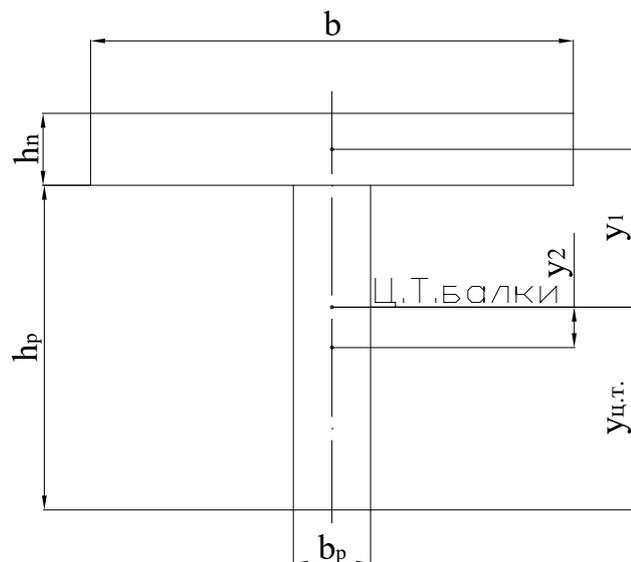


Рис. 4.3. Расчётное сечение балок

по формулам (4.5), (4.6), (4.7) и (4.8)

$$S_{1-1} = b \times h_n \times (h_p + 0,5h_n) + b_p \times h_p \times 0,5h_p ; \quad (4.5)$$

$$; \quad (4.6)$$

$$A = b \times h_n + b_p \times h_p ; \quad (4.7)$$

$$J = \frac{b \times h_n^3}{12} + b \times h_n \times y_1^2 + \frac{b_p \times h_p^3}{12} + b_p \times h_p \times y_2^2; \quad (4.8)$$

- затем значения моментов и напряжений по формулам:

$$M_T = K_T \times P \times \frac{l}{4}; \quad (4.9)$$

$$(4.10)$$

#### 4.8. Анализ результатов испытаний

При анализе полученных данных необходимо вначале оценить соответствие экспериментальных коэффициентов поперечной установки, полученных по напряжениям и по прогибам. Как правило, результаты должны быть достаточно близкими и отличаться в пределах не более 10-15 %.

Необходимо обратить внимание на характер распределения КПУ между балками в зависимости от эксцентриситета равнодействующей. Определенный интерес может представить сравнение результатов испытаний по схемам 2-3 при  $l = 0$ . Здесь следует учитывать не только величину эксцентриситета, но и равномерность распределение временной нагрузки по ширине пролетного строения.

Давая оценку соответствия теоретических методов определения КПУ, необходимо использовать данные для наиболее нагруженных балок, исключая из рассмотрения малые и отрицательные величины. При этом можно воспользоваться понятием о «коэффициенте адекватности» либо отклонения от эксперимента выразить в процентах.

По наиболее загруженным балкам в табличной форме производится сравнение теоретических и экспериментальных напряжений с оценкой по «коэффициенту адекватности».

В заключении должен быть сделан вывод, обобщающий выполнение поставленной цели.

### Лабораторная работа №5

#### Испытание модели косоуго пролетного строения

*Цель работы:* оценить влияние «косины» пролетного строения на напряженное состояние балок  $\alpha = 60^\circ$ .

*Состав работы:*

##### 5.1. Испытательная установка

В качестве загрузочного приспособления используется рычажно-механическая установка, описанная в лабораторной работе № 2.

### 5.2. Модель косоугольного пролетного строения

Модель выполнена из оргстекла по типу пятибалочного бездиафрагменного пролетного строения с косоугольным контуром в плане. Угол между продольной осью и опорным сечением модели  $\alpha = 60^\circ$ . Схема модели приведена на рисунке 5.1.

### 5.3. Приборы и измерительная аппаратура

Для определения напряжений (по нижним полкам балок) используются проволочные датчики с базой  $l = 20$  мм и сопротивлением  $R = 200$  Ом.

Датчики в количестве 5 штук располагаются посередине пролета балок в сечении 1-1, параллельно скошенным торцам испытываемой модели. Номера датчиков приведены на рис.5.1. Показания датчиков регистрируются прибором АИД-2М.

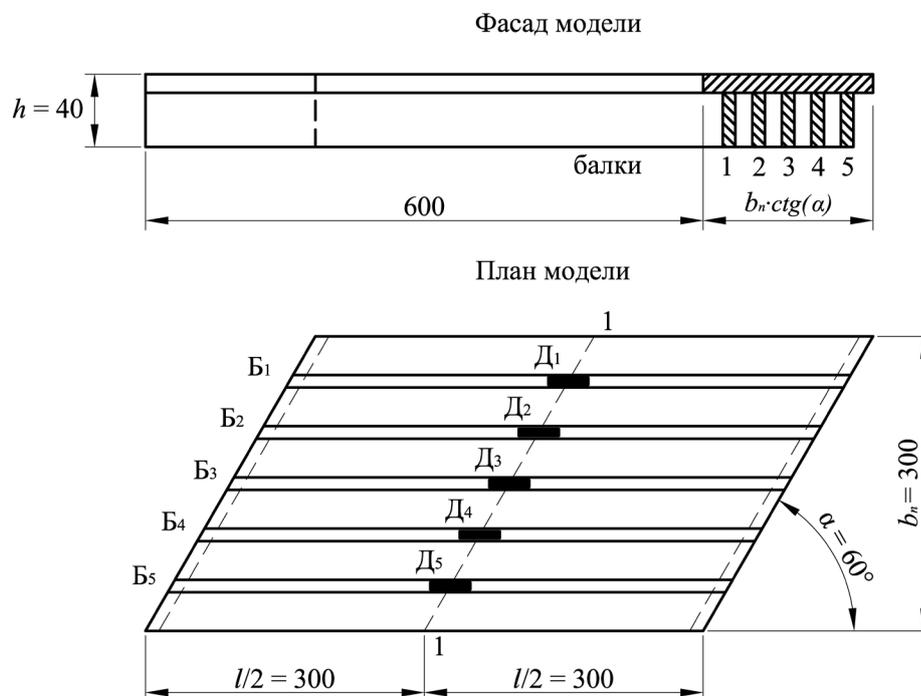


Рис. 5.1. Схема модели косоугольного пролетного строения

### 5.4. Методика проведения испытаний

Методика эксперимента, включая схемы загрузки, аналогична описанной в лабораторной работе №4, с той лишь разницей, что в данном случае исключены испытания по прогибам.

### 5.5. Результаты испытаний и их обработка

Результаты испытаний заносятся в табл. 5.1 и обрабатываются аналогично тому, как это сделано в лабораторной работе № 4 (п.4.5, табл.4.1).

### 5.6. Анализ результатов испытаний

В процессе анализа результатов испытаний рассматривать два самостоятельных вопроса:

1. В какой степени влияет косина пролетного строения на напряженное состояние балок.
2. Влияет ли косина пролетного строения на величину коэффициентов поперечной установки.

Для решения поставленной задачи следует воспользоваться данными испытаний по напряжениям нормального пролетного строения с  $\alpha = 90^\circ$ , полученным в лабораторной работе № 4.

Экспериментальные напряжения ( $\sigma_3$ ) для всех четырех схем загрузки моделей при  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 60^\circ$  заносятся в табл. 5.2. и подсчитываются соответствующие отклонения в процентах.

Таблица 5.2.

Схема загрузки	№ балок	Экспериментальные нагрузки		Отклонения $\Delta = \frac{\sigma_3^k - \sigma_3^n}{\sigma_3^n} \cdot 100\%$
		При $\alpha = 90^\circ$ $\sigma_3^n$	При $\alpha = 60^\circ$ $\sigma_3^k$	
1	2	3	4	5

По данным таблицы фиксируют величину наибольшего отклонения по каждой схеме загрузки и устанавливают общий интервал этого отклонения в процентах. На данном этапе должны быть даны рекомендации по учету влияния «косины» пролетного строения на напряженное состояние балок по сравнению с расчетом нормального балочного пролетного строения с прямоугольным в плане контуром.

Для решения второго вопроса следует построить график распределения экспериментальных напряжений между балками по одной из схем загрузки, например, для схемы 3 (табл. 5.2). Затем нужно вычислить соответствующие значения коэффициентов поперечной установки, которые заносят в табл. 5.3

Таблица 5.3.

Схема загрузки	№ балок	Коэффициенты поперечной установки		Отклонения $\Delta = \frac{K_{\sigma n} - K_{\sigma k}}{K_{\sigma n}} \cdot 100\%$
		$K_{\sigma n}$	$K_{\sigma k}$	
1	2	3	4	5

По данным табл. 5.3. делается соответствующий вывод.

### Лабораторная работа №6

Испытание модели мостовой фермы статической нагрузкой

*Цель работы:* ознакомление с методикой испытаний ферм пролетных строений статической нагрузкой, приемами обработки и анализом результатов испытаний.

*Состав работы:*

### *6.1. Модель фермы и проведение испытания*

Лабораторная работа выполняется на модели металлической фермы (см. рис. 6.1), изготовленной из уголков  $40 \times 40 \times 4$  и установленной на испытательном стенде 2. На одном конце опирание фермы неподвижное, а на другом - подвижное, что обеспечивается шарнирным сопряжением стойки 3 со стендом.

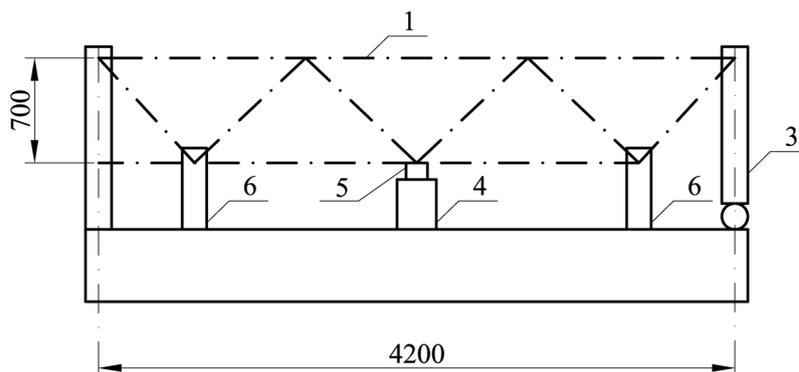


Рис. 6.1. Схема модели фермы

Загружение фермы осуществляется с помощью гидравлического домкрата 4, давление от которого передается снизу на средний узел. Усилие, величина которого не должна превышать 30 кН, контролируется динамометром ДЭС-35Б. Пространственная устойчивость модели обеспечивается стойками 6, прикрепленными к стенду и препятствующими выпучиванию нижнего пояса из плоскости действия сил.

### *6.2. Приборы и измерительная аппаратура*

Для измерения местных деформаций в элементах фермы используются рычажные тензометры Гугенберга. Схемы размещения рычажно-механических тензометров приведена на рис. 6.2. Прогибы конструкции измеряются тремя прогибомерами системы Максимова, из которых два расположены над опорами, а один посередине пролета (рис. 6.2).

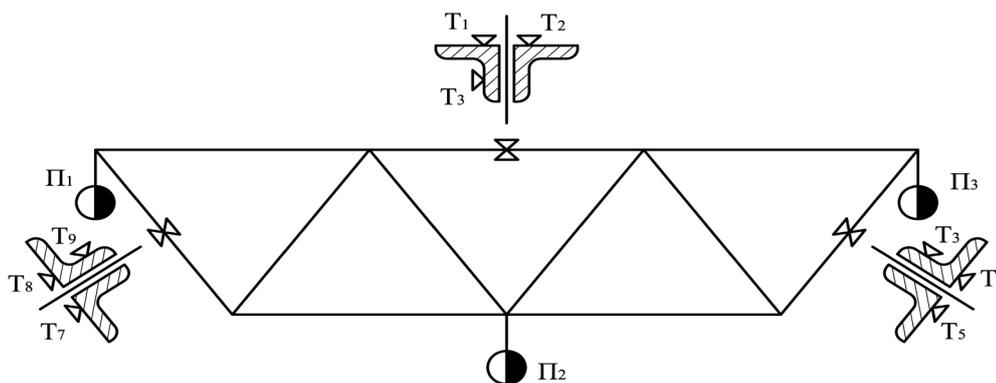


Рис. 6.2. Схема размещения рычажно-механических тензометров

Отсчеты по прогибам снимаются перед загрузением, во время нагрузки и после разгрузки.

### 6.3. Обработка результатов

Полученные в процессе испытания данные заносятся в табл.6.1.

Таблица 6.1.

№ приборов	Отсчеты по шкале тензометра			Разность отсчетов		Средняя разность отсчетов
	$P_0=0$	$P_H=$	$P_p=0$	$\Delta C_H$	$\Delta C_D$	
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_2-C_1$	$C_2-C_3$	
1	2	3	4	5	6	7

По разности отсчетов показаний тензометров вычисляются фактические напряжения в крайних волокнах элементов фермы.

$$\sigma_i = \frac{\Delta C_i \cdot E}{m \cdot l_T} \quad (6.1)$$

где  $\Delta C_i$  - средняя разность отсчетов;

$l_T$  - база тензометра, мм;

$m$  - масштаб увеличения тензометра,  $m = 1000$ ;

$E$  - модуль упругости стали,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

Получив напряжения в трех точках, находим среднее напряжение в сечении:

$$\sigma_{ср} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (6.2)$$

Вычисления рекомендуется выполнять в табличной форме (табл. 6.2)

Таблица 6.2

Элемент	№ тензометров	База тензометров	Средняя разность отсчетов	Напряжение, МПа	Среднее напряжение в элементе, МПа
		$l_T$			

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Чтобы найти стрелу прогиба фермы  $f$ , надо вычислить среднее арифметическое разностей отсчетов по прогибомерам при нагрузке и разгрузке (табл.6.3.).

Таблица 6.3

Момент снятия отсчета	Разности отсчетов по приборам		
	Крайним П <sub>1</sub> и П <sub>3</sub>		Среднему П <sub>2</sub>
	a	b	c
При нагрузке			
При разгрузке			
Среднее			

Полученные величины следует подставить в формулу:

$$f = c - \dots \quad (6.3)$$

#### 6.4. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

Теоретические напряжения определяются для элементов, в которых установлены тензометры. В качестве расчетной схемы принимается ферма с шарнирным опиранием в узлах. Усилия в стержнях определяются методами строительной механики. Определив усилия в элементах и зная площади их поперечных сечений, находит напряжения, которые сравнивают с напряжениями, полученными экспериментально. Сопоставление результатов испытания с расчетом показывает насколько действительная работа конструкции отличается от принятой расчетной схемы. Критерием служат коэффициенты адекватности (л.р. №2).

Результаты вычислений заносятся в табл.6.4.

Таблица 6.4

Элемент	Сечение	Площадь поперечного сечения, См <sup>2</sup>	Усилие, кН	Напряжение, МПа		Коэффициенты адекватности по напряжениям $\xi = \frac{\sigma_3}{\sigma_T}$
				Теоретические $\sigma_T$	Экспериментальные $\sigma_3$	
1	2	3	4	5	6	7

Для данного случая прогиб посередине фермы может быть определен по формуле:

$$f_T = \alpha \cdot P, \text{ мм}, \quad (6.4)$$

где  $P$  - нагрузка на узел, кН;

$\alpha$  - коэффициент, численно равный прогибу от сил в 1 кН, приложенных в каждом узле:  $\alpha = 0,547$  мм/кН.

Сравнивают результаты испытаний с расчетом и вычисляют коэффициент адекватности по прогибу.

Примечание: Для одного уголка 40×40 площадь поперечного сечения  $F = 3,08$  см<sup>2</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аистов Н.Н. Испытание сооружений: Учебн. для вузов по спец. ПГС./ Н.Н. Аистов. -М.-Л.: Стройиздат, 1960.-316 с.
2. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений: Учебн.для вузов для спец. ПГС. / Д.Е. Долидзе.-М.: Высш. шк. 1975.-252 с.
3. Почтовик Г.Я. Методы и средства испытания строительных конструкций/ Г.Я. Почтовик, А.Б. Злочевский, А.И. Яковлев. - М.: Высш. шк., 1973. - 153 с.
4. Крылов Н.А. Испытание конструкций сооружений/ Н.А. Крылов, К.А. Глуховский.-Л.: Стройиздат, 1970.-270 с.
5. Новгородский М.А. Испытание материалов, изделий и конструкций/ М.А. Новгородский.– М.: Высшая школа, 1971.- 326 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
<b>Лабораторная работа №1</b> Приборы, применяемые при статических испытаниях искусственных сооружений.....	5
<b>Лабораторная работа №2</b> Испытание модели звена круглой трубы....	8
<b>Лабораторная работа №3</b> Испытание модели звена прямоугольной трубы.....	11
<b>Лабораторная работа №4</b> Испытание модели пролетного строения балочного моста.....	14
<b>Лабораторная работа №5</b> Испытание модели косоугольного пролетного строения.....	19
<b>Лабораторная работа №6</b> Испытание модели мостовой фермы статической нагрузкой.....	21
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>24</b>

# МОСТЫ И СООРУЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

*Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов 4 курса, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Автомобильные дороги» и «Автодорожные мосты и тоннели»*

Составители: к.т.н., проф. Ерёмин Владимир Георгиевич,  
к.т.н., доц. Андреев Андрей Владимирович,  
к.т.н., доц. Волокитин Владимир Павлович

Подписано в печать \_\_\_\_\_.2015. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 1,6  
Усл.-печ. л. 1,7.

---

Воронежский ГАСУ  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84