

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

# ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ

Лабораторные работы для студентов 5 и 6 курсов дневной и заочной формы обучения  
специальности 653501

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2002

УДК 624.01(075)  
ББК Н5я 73-5  
Е156

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

**Рецензент**

Кандидат технических наук, доцент кафедры АиСЗ  
*П. В. Монастырев*

Е156      **Обследование и испытание сооружений:** Лаб. работы / Сост. О. В. Ев-  
докимцев. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 24 с.

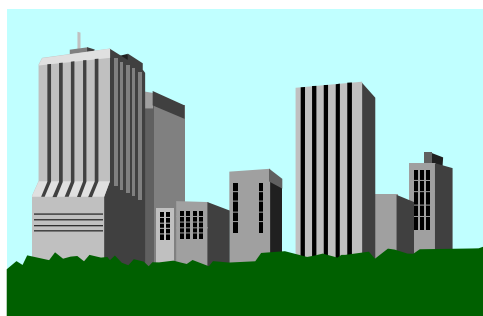
В лабораторных работах излагается цель, приводится описание лабораторного оборудования, измерительной техники, испытываемых конструкций, дается порядок выполнения работы.

Лабораторные работы предназначены для студентов 5 и 6 курсов  
дневной и заочной формы обучения, специальности 653501.

УДК 624.01(075)  
ББК Н5я 73-5

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ),  
2002

# ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ



**Издательство ТГТУ**

Учебное издание

# ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ

Лабораторные работы

Составитель  
**Евдокимцев Олег Владимирович**

Редактор В. Н. Митрофанова  
Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

ЛР № 020851 от 13.01.99 г. Плр № 020079 от 28.04.97 г.

Подписано к печати 5.02.2002.

Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.

Объем: 1,39 усл. печ. л.; 1,28 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 83.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Испытание строительных конструкций является важным элементом проверки их качества. Инженер-строитель должен уметь правильно выбрать методы и средства проведения инженерного эксперимента, обработать результаты и оценить их с точки зрения прогноза эксплуатации сооружения, что дает возможность проверить методику расчета и правильность технологии изготовления конструкций.

В данных лабораторных работах студент должен ознакомиться с методами разрушающего и неразрушающего контроля, способами создания нагрузки, типами и устройством приборов для измерения деформаций и перемещений.

Перед выполнением лабораторных работ студент должен тщательно изучить требования техники безопасности и инструкции по эксплуатации приборов и оборудования.

После каждой работы помещены контрольные вопросы, на которые необходимо ответить при подготовке к защите работы.

## Лабораторная работа 1

### Контроль качества арматурных стале

**Цель работы:** ознакомиться с методами лабораторного контроля качества арматурных стале

**Оборудование и приборы:** разрывная машина (при предполагаемой максимальной нагрузке 50 кН – ИР-50, при 1000 кН – Р-100), штангенциркуль, линейка, микрометр, весы (для арматуры периодического профиля), индикатор часового типа ИЧ-10, образцы арматуры (не менее трех).

Испытание арматурной стали, с целью определения ее механических свойств, выполняют в следующих случаях:

- при отсутствии сертификатов;
- если приведенные в сертификате данные вызывают сомнения;
- при применении стали в качестве напрягаемой арматуры;
- если эти испытания специально оговариваются в проектах и соответствующих нормативных документах по технологии изготовления конструкций или по применению отдельных видов арматурных стале.

Стержневую арматуру испытывают на растяжение и изгиб в холодном состоянии. При контроле проволочной арматуры вместо испытания образцов на изгиб их испытывают на перегиб.

### ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Испытания арматурной стали на растяжение проводятся в соответствии с ГОСТ 12004-81 для определения следующих механических свойств:

- полного относительного удлинения при максимальной нагрузке;
- относительного удлинения после разрыва;

- относительного равномерного удлинения после разрыва;
- относительного сужения сечения после разрыва;
- временного сопротивления;
- предела текучести (физического);
- предела текучести и упругости (условных);
- модуля упругости (начального).

Образцы арматурной стали подвергают действию осевой растягивающей силы до их разрыва. При этом регистрируется зависимость между деформацией образца и действующими на него нагрузками.

## ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для испытания на растяжение применяют образцы арматуры круглого или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром от 3,0 до 80 мм. Для горячекатаной арматурной стали диаметром свыше 20 мм допускается применение выточенных образцов. При искривлении образца перед испытанием его выправляют плавным давлением на него или легкими ударами молота. Полная длина образца арматуры выбирается в зависимости от рабочей длины образца ( $l_0$ ) и конструкции захвата испытательной машины. Рабочая длина образца должна составлять:

- для образца с номинальным диаметром до 20 мм включительно – не менее 200 мм;
- для образца с номинальным диаметром свыше 20 мм не менее  $10d$  ( $d$  – диаметр арматуры);
- для арматурных канатов всех диаметров – не менее 350 мм.

Количество образцов назначается исходя из класса испытываемой арматурной стали и принимается не менее трех.

Для обточенных и круглых образцов арматуры площадь поперечного сечения определяют измерением диаметра (штангенциркулем или микрометром) по длине образца в трех сечениях, в каждом сечении в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Начальную площадь поперечного сечения необработанных образцов арматуры периодического профиля  $A_0$  вычисляют по формуле, мм<sup>2</sup>

$$A_0 = \frac{m}{\rho l},$$

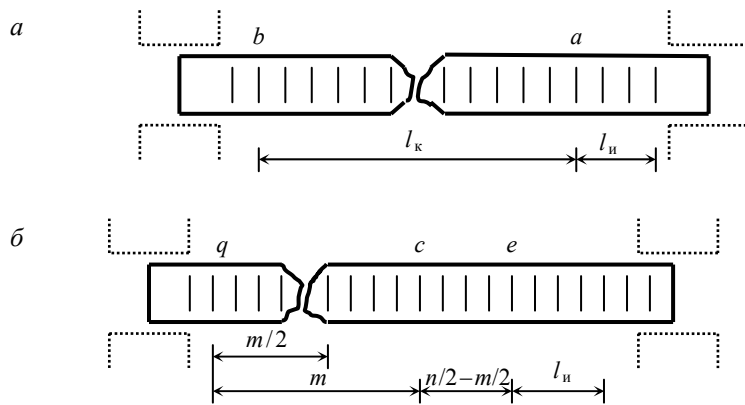
где  $m$  – масса образца, г;  $\rho$  – плотность стали, равная 0,00785 г/мм<sup>3</sup>;  $l$  – длина образца, мм.

Перед испытанием образец на длине большей рабочей длины образца размечается на  $n$  равных частей. Расстояние между метками для арматуры с  $d \geq 10$  мм не должно превышать  $d$  и быть кратным 10 мм. Для арматуры  $d < 10$  мм – 10 мм (рис. 1).

Таблица 1

$F$ , кН									
$\sigma$ , МПа									
$\Delta l$ , мм									
$\varepsilon = \Delta l / l_0$									

Закрепленный в захватах разрывной машины образец нагружают растягивающей силой со скоростью не более 10 МПа/с (до предела текучести). За пределом текучести скорость может быть увеличена до 0,1 рабочей длины испытуемого образца в минуту. На каждой ступени нагружения регистрируют абсолютное удлинение образца (при испытании на разрывной машине ИР-50 строится диаграмма зависимости  $F - \Delta l$  на графопостроителе). Результаты испытаний заносят в табл. 1 и протокол испытания. Конечную расчетную длину образца ( $l_k$ ) включающую место его разрыва определяют следующим образом. После испытания части образца тщательно складывают вместе располагая их по прямой линии. От места разрыва в одну сторону откладывается  $n/2$  интервалов ( $n/2$  округляют в большую сторону) и ставят метку  $a$  (рис. 1,  $a$ ). Участок от места разрыва



**Рис. 1** Схема для определения конечной расчетной длины при положении места разрыва в середине образца (а), в крайней части образца (б)

до первой метки считается за целый интервал. От метки *a* откладывают *n* интервалов и ставят метку *b*. Длина *ab* равна *l<sub>k</sub>*. Если место разрыва ближе к краю захвата машины, чем величина *n/2*, то определяют число интервалов от места разрыва до метки *q* (крайняя метка) и обозначают его *m/2* (рис. 1, б). От точки *q* откладывают *m* интервалов и ставят метку *c*. От метки *c* откладывают *n/2 – m/2* интервалов и ставят метку *e*. Конечную начальную длину вычисляют по формуле

$$l_k = cq + 2ce.$$

Относительное равномерное удлинение определяют вне участка разрыва на длине равной 50 или 100 мм (расстояние от места разрыва до ближайшей метки при *d < 10* мм – от *3d* до *5d*, при *d ≥ 10* мм от 30 до 50 мм) по формуле

$$\delta_p = \frac{l_u - l_0}{l_0} 100,$$

где *l<sub>u</sub>* – расчетная длина, не включающая место разрыва.

Относительные расчетные значения определяют по следующим формулам:

– относительное удлинение, %

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100;$$

– относительное сужение сечения после разрыва, %

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} 100;$$

– временное сопротивление, МПа

$$\sigma_u = F_{\max} / A_0;$$

– предел текучести, МПа

$$\sigma_y = F_y / A_0;$$

– полное относительное удлинение, %

$$\delta_{\max} = \delta_p + \frac{\sigma_u}{E_n} 100;$$

– начальный модуль упругости, МПа

$$E_n = \frac{(F_{0,35} - F_{0,10}) l_0}{(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,10}) A_0},$$

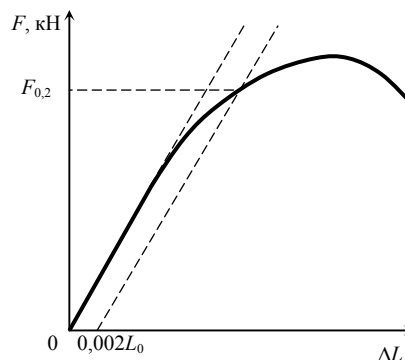
где *F<sub>0,35</sub>* и *F<sub>0,10</sub>* – нагрузка, которая соответствует удлинению равному 0,35 и 0,10 % начальной расчетной длины *l<sub>0</sub>*.

Для арматуры не имеющей текучести определяют условный предел текучести или графическим способом (рис. 2)

$$\sigma_{0,2} = F_{0,2} / A_0,$$

где *F<sub>0,2</sub>* – нагрузка, соответствующая

Все полученные данные заносят в Для оценки качества арматуры следует денными в табл. 3.



четко выраженного предела текучести  $\sigma_{0,2}$  определяется аналитическим по формуле

0,2 % остаточной деформации. протокол журнала испытаний (табл. 2). руководствоваться данными приве-

**Рис. 2** Схема для определения условного предела текучести

## Протокол испытания образцов арматуры на растяжение

Тип и номер заводской машины:

Рабочая шкала:

Тип, цена деления измерительных приборов и инструментов:

Марка образца	Начальные размеры		Нагрузка, кН соответствующая моменту разрушения		Расчетные размеры после испытания		Предел, МПа		Относительное удлинение образца, %		Начальный модуль упругости, МПа	Относительное сужение шейки, %
	$l_0$ , мм	$d_0$ , мм	пределу текучести	моменту разрушения	$l_k$ , мм	$d_k$ , мм	текучести	прочности	при разрыве	равномерное		

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2002 год

Испытание провел:

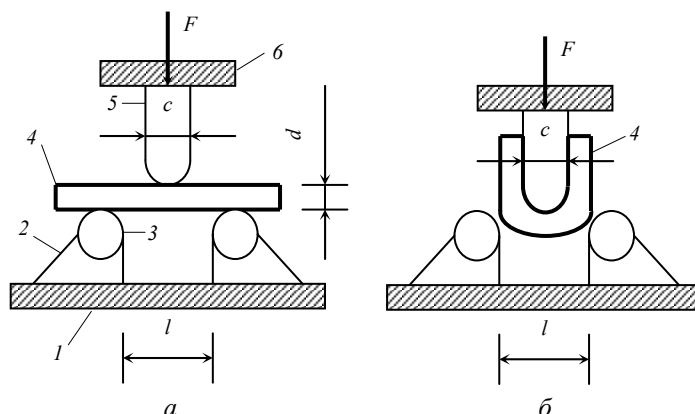
Таблица 3

Класс арматуры	Номинальный диаметр, мм	Временное сопротивление разрыву, не менее, МПа	Предел текучести, не менее, МПа	Относительное удлинение после разрыва, %	Угол загиба в холодном состоянии вокруг оправки толщиной $C$ при диаметре стержня $b$	Число перегибов на $180^\circ$ при диаметре валиков 30 мм
A-I	6-40	380	240	25	$180^\circ, C = 0,5b$	-
A-II	10-80	500	300	19	$180^\circ, C = 3b$	-
A-III	6-40	600	400	14	$90^\circ, C = 3b$	-
A-IV	10-22	900	600	6	$45^\circ, C = 5b$	-
A-V	10-22	1050	800	7	$45^\circ, C = 5b$	-
AT-IV	10-40	900	600	8	$45^\circ, C = 5b$	-
AT-V	10-40	1000	800	7	$45^\circ, C = 5b$	-
AT-VI	10-22	1200	1000	6	$45^\circ, C = 5b$	-
AT-VII	10-32	1400	1200	5	$45^\circ, C = 5b$	-
B-1	3	550-850	-	-	$180^\circ, C = b$	Проба на загиб
	4					
	5					
	6	450-700			$180^\circ, C = b$	
	7					
	8					
	9					
10						
B-2	3	1862	1489	4	$180^\circ, C = b$	9
	4	1764	1411	4		7
	5	1715	1372	4		5
	6	1672	1294	5		Испытание на загиб
	7	1519	1215	6		
	8	1421	1137	6		
Bp-1	4	690	-	2,5	-	4
	5	1030	-	3	-	4
	3	1800	1440	4	-	4
	4	1700	1360	4	-	3

Вр-2	5	1600	1280	4	180°, C = b	3
	6	1500	1200	5		
	7	1400	1120	6		
	8	1300	1040	6		

### Испытание на изгиб

Этим испытанием определяют способность арматуры принимать заданный по размерам и форме загиб. Длину образцов принимают в пределах 150 – 300 мм. Испытание на изгиб состоит из операций указанных на рис. 3. Расстояние между центрами опор принимается равным:  $l = c + 2,1d$ . Отсутствие на образце трещин, надрывов, расслоений или излома считается признаком того, что образец выдержал испытание.



**Рис. 3** Схема испытания арматуры на изгиб:

*a* – положение в начале испытания; *б* – изгиб на 180°;

*l* – нижняя плита; *2* – опоры; *3* – ролик; *4* – образец; *5* – оправка; *б* – верхняя плита

### Контрольные вопросы

- 1 Как производится отбор образцов и какие предъявляются требования к приборам, применяемым при испытании?
- 2 Каковы причины и каков порядок испытания арматуры?
- 3 Какие существуют методы лабораторных испытаний арматуры?
- 4 Как происходит испытание арматурных канатов?
- 5 Как происходит испытание арматуры при повышенных и пониженных температурах?

### Лабораторная работа 2

## Определение коэффициента тензочувствительности проволочных тензорезисторов

**Цель работы:** ознакомиться с принципами электротензометрии. Экспериментально определить коэффициент тензочувствительности тензорезисторов.

**Оборудование и приборы:** разрывная машина ИР2167Р-50, тарировочная планка с наклеенными тензорезисторами, тензостанция АИД-4, индикатор ИЧ-10.

Приборы, измеряющие линейные деформации (укорочения или удлинения), называют тензометрами. Электрические тензометры измеряют деформации с помощью электрических параметров (омическое сопротивление, емкость, индуктивность и др.). Электрические тензометры омического сопротивления состоят в основном из двух элементов: тензорезистора и регистрирующей аппаратуры (АИ-1, АИД-4, ТК-2, ЦТМ-5, ИДЦ и др.).

В основу работы тензорезистора положена зависимость омического сопротивления  $R$  проводника от его длины  $l$ , удельного сопротивления  $\rho$  и сечения  $A$

$$R = \rho \frac{l}{A}.$$



Изменение удельного сопротивления проводника под действием растягивающих или сжимающих сил называют тензоэффектом. Он характеризуется коэффициентом тензочувствительности тензорезистора

$$S = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}.$$

Проводниковый тензорезистор состоит из чувствительного элемента, который выполняется в виде петлеобразной решетки из тонкой проволоки или фольги, и располагается на подложке (основе тензорезистора). В качестве чувствительного элемента в полупроводниковых тензорезисторах используется монокристаллический полупроводник. Основные характеристики проводниковых тензорезисторов приведены в табл. 4.

Для определения коэффициента тензочувствительности производится тарировка тензорезисторов. Для этого из партии берется от 4 до 30 штук, которые наклеиваются на эталонный упругий элемент. Полученный после испытания коэффициент тензочувствительности принимается постоянным для всей партии.

Таблица 4

Характеристики тензорезисторов	Проволочные петлевые	Проволочные беспетлевые	Фольговые
			
Способ образования тензочувствительного элемента	Намоткой проволоки в виде плоской или объемной спирали	Замыканием плоского пучка проволоки низкоомными перемычками	Травлением или штампованием из фольги
Основа	Бумажная, пленочная, комбинированная	Бумажная, пленочная, комбинированная	Бумажная, пленочная, комбинированная
Размеры базы $l$ , мм: технологически допустимые рекомендуемые	2...100 5...50	1...300 3...100	0,3...200 3...30
Пределы значений $S$	1,8...5,6	2,0...5,6	2,0...2,3
Коэффициент относительной поперечной чувствительности	0,02...0,05	около 0	0,01...0,02
Измерительный диапазон $\epsilon$ , %	$\pm 0,3$ до $\pm 5$	$\pm 1$ до $+15$	$\pm 0,3$ до $\pm 5$
Ползучесть, %	До 1	До 0,1	До 0,5

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

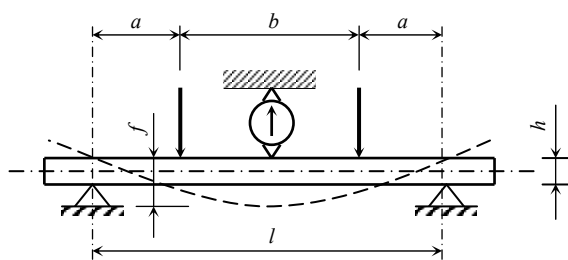


Рис. 4 Схема установки для тарирования тензорезисторов

Упругий элемент в виде планки постоянного сечения подвергается изгибу по схеме представленной на рис. 4. Между точками приложения силы планка подвергается чистому изгибу, который вызывает равномерную деформацию рабочего участка длиной  $b$ . Производится 2-3 цикла приложения нагрузки. На каждом этапе регистрируются показания тензорезисторов по прибору АИД-4 и измеряется стрела прогиба  $f$  с помощью индикатора часового типа ИЧ-10. Результаты измерений заносятся в табл. 5. Относительную деформацию наружных волокон определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{12h}{3l^2 - 4a^2} f .$$

Таблица 5

Этап нагрузки	Показания ИЧ-10, мм	Прогиб $f$ , мм	Показания тензорезисторов						$(\Delta R / R)_{\text{ср}} \cdot 10^{-5}$	Коэффициент $S_{\text{ср}}$
			1	2	3	4	5	6		
			отсчеты $\times 10^{-5}$	Разность отсчетов $\times 10^{-5}$						
$F = 0$ кН										
$F =$ кН										

Коэффициент тензочувствительности тензорезистора вычисляют по результатам измерения  $\Delta R / R$  по формуле

$$S = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon} .$$

Определенный средний коэффициент тензочувствительности считается равным для всей партии используемых тензорезисторов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какие существуют приборы для определения фибровых деформаций?
- 2 Перечислите основные виды тензорезисторов и их основные характеристики.
- 3 Как происходит тарировка тензорезисторов?
- 4 Каковы правила подбора и установки тензорезисторов?

### Лабораторная работа 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ И ДИАМЕТРА АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

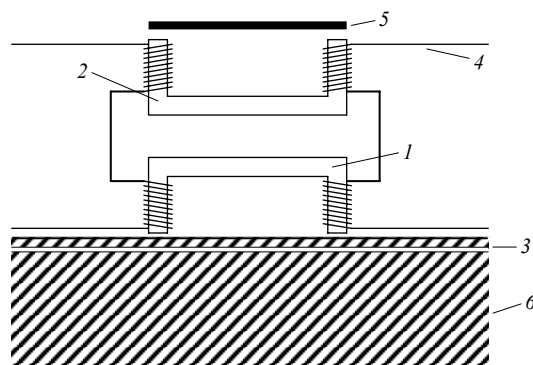
**Цель работы:** ознакомиться с неразрушающими методами контроля качества и испытания строительных конструкций. С помощью прибора ИЗС-10М определить толщину защитного слоя и диаметр арматуры контролируемого железобетонного изделия.

**Приборы и оборудование:** измеритель защитного слоя ИЗС-10М, железобетонная конструкция.

Толщину защитного слоя и диаметр арматуры железобетонных конструкций можно определить радиационными и магнитными методами. Радиационные методы основаны на ослаблении потока излучения при прохождении через материал, при этом арматура ослабляет поток значительно сильнее, чем бетон. Применение магнитных методов основано на том, что арматура является ферромагнитным материалом, а бетон неферромагнитным.

**Рис. 5** Схема прибора ИЗС-10М:

1 – электромагнит; 2 – феррозонд; 3 – арматура;



4 – выводы; 5 – эталонный стержень; 6 – исследуемый железобетон

Прибор ИЗС (измеритель защитного слоя) основан на использовании индуктивного сбалансированного моста 1, 2 (рис. 5), половина которого 1 является чувствительным датчиком. Чувствительный элемент 1 передвигают по исследуемой железобетонной конструкции. В корпусе прибора помещен феррозонд 2 с ферромагнитным смещаемым элементом 5, предназначенным для изменения индуктивного сопротивления при балансировке схемы. При приближении датчика к стальной арматуре разбаланс, зависящий от диаметра арматуры, расстояния до нее, расположения ее относительно датчика будет уменьшаться.

### Порядок работы

1 При известном диаметре арматуры необходимо переключатель "Диаметр, мм" установить в положение соответствующее диаметру стержней в контролируемом объекте.

2 Плавно перемещая датчик, по поверхности конструкции, и поворачивая его вокруг вертикальной оси необходимо добиться минимума показаний индикатора прибора. Для определения расположения стержня нужно поставить отметки под центром узких сторон преобразователя. Соединив эти отметки, получим линию, показывающую положение стержня.

3 Для определения толщины защитного слоя необходимо расположить преобразователь таким образом, чтобы поперечный арматурный стержень проходил под центром длинной оси преобразователя, и произвести отчет показаний индикатора прибора по верхней шкале.

4 При контроле конструкции с арматурой неизвестного диаметра следует произвести измерение толщины защитного слоя бетона при любом положении переключателя "Диаметр, мм". Затем поместить прокладку из любого немагнитного материала (оргстекло, текстолит и др.) между датчиком и конструкцией и произвести новый отсчет. Эту операцию повторить при всех положениях переключателя "Диаметр, мм". Искомый диаметр арматуры будет соответствовать той из шкал, разность отсчетов по которой, будет наиболее близка к толщине прокладки.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какие существуют неразрушающие методы испытания строительных конструкций?
- 2 На чем базируются радиационные методы определения наличия, положения и диаметра арматуры?
- 3 Какой принцип действия у прибора ИЗС ?
- 4 Как определить диаметр и толщину защитного слоя?

### Лабораторная работа 4

## Испытание грунтов статическими нагрузками

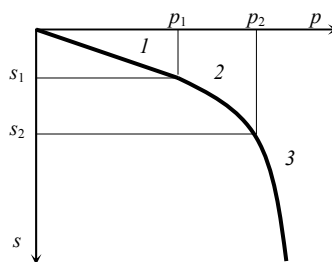
**Цель работы:** ознакомиться с полевыми методами исследования грунтов, провести штамповые испытания основания и определить модуль деформации.

**Оборудование и приборы:** установка для испытания оснований и фундаментов, гидравлический домкрат (ДГО-63, ДГ-100), насосная станция, прогибомеры (ИЧ-10, ИЧ-25, ПАО-6), металлический штамп.

В процессе испытания грунтов статическими нагрузками моделируется работа основания под фундаментами. Общий характер процессов, происходящих в грунте под жестким фундаментом, показан на рис. 6. Н. М. Герсеванов выделял три характерных участка: 1 – фаза уплотнения; 2 – дальнейшее уплотнение и развитие местных сдвигов; 3 – фаза разрушения.

Испытание грунтов штампами ГОСТ 12374-77 "Грунты. Метод полевого участка 1 (рис. 6) служит для вычисления результатам этих испытаний можно опре-

- упругую деформацию грунта;
- развитие осадки грунта во времени;
- предельную нагрузку;
- просадку.

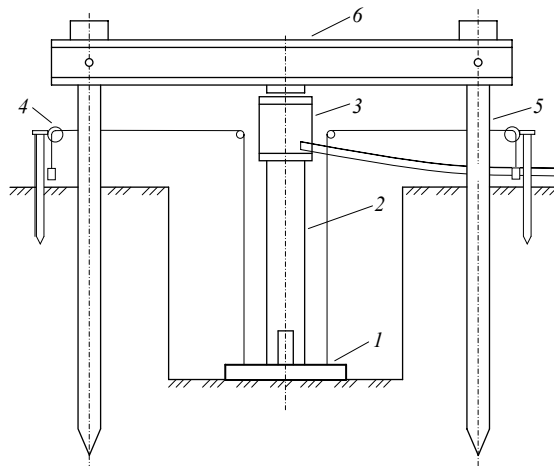


происходит в соответствии с исследованием". Прямолинейный модуль деформации. Поделить:

Рис. 6 Зависимость осадки от нагрузки

Схема установки для  
представлена на рис. 7. При  
внимание на горизонтальность  
соприкасается с грунтом. Для  
(подготовке) штамп два-три ра  
После проверки горизонтал  
нагрузочное устройство и репер

## ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ



**Рис.7 Схема испытания грунтов штампами:**  
1 – штамп; 2 – стойка; 3 – домкрат; 4 – прогибомер;  
5 – анкерная свая; 6 – упорная балка

Испытание статической нагрузкой заключается в приложении к штампу начального давления и последующего нагружения его ступенями давления, общее число которых должно быть не менее 4. Начальное давление принимается равным природному давлению  $p_0$  вышележащих слоев грунта на отметке испытания.

Таблица 6

Грунты	Степень влажности	Величина $\Delta p$ , кПа, при плотности грунтов			$t$ , ч
		плотные $e$	средней плотности	рыхлые	
Крупнообломочные	$\leq 1,0$		1,0		0,5
Пески:					
крупные	$\leq 1,0$	1,0	0,5	0,25	0,5
средней крупности	$\leq 0,5$	1,0	0,5	0,25	0,5
мелкие	0,5 – 1,0	1,0	0,5	0,25	1,0
пылеватые	$\leq 0,5$	0,5	0,25	0,1	1,0
	0,5 – 1,0	0,5	0,25	0,1	2,0

Величины ступеней давления принимаются в зависимости от вида грунта (табл. 6 и 7). Каждую ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации. За условную стабилизацию нагрузки принимают ее приращение за время  $t$ , указанное в табл. 6 и 7. Заданная ступень нагружения контролируется по показаниям манометра и динамометра. Частота подкачек масла в домкрат должна обеспечивать поддержание заданного давления с точностью 10 % от величины ступени. Осадка определяется не менее чем в двух диаметрально противоположных точках штампа и измеряется для песчаных грунтов через 10 мин в течении первого получаса, через 15 мин в течении второго получаса и далее через 30 мин до условной стабилизации; для глинистых грунтов – соответственно 15 и 30 мин и далее каждый час. Результаты измерений стабилизированной осадки заносят в табл. 8.

Таблица 7

Глинистые грунты при консистенции, $I_L$	Величина $\Delta p$ , кПа, при значениях коэффициента пористости $e$				$t$ , ч*
	$\leq 0,5$	0,5 – 0,8	0,8 – 1,1	$> 1,1$	
$\leq 0,25$	1,0	1,0	0,5	0,5	1(2)
0,25 – 0,75	1,0	0,5	0,5	0,25	2(3)
0,75 – 1	0,5	0,25	0,25	0,1	2(3)
$> 1$	0,5	0,25	0,1	0,1	3(4)

\*Значения времени условной стабилизации осадки, указанные в скобках, принимают при коэффициенте пористости  $e \geq 1,1$ .

Таблица 8

Давление $P$ , кПа	Показания первого прогибомера, мм	Осадка, $S_1$ , мм	Показания второго прогибомера, мм	Осадка $S_2$ , мм	Средняя осадка $S_{cp}$ , мм

При необходимости испытания могут выполняться до наступления предельного состояния. Этому состоянию сопутствует выпирание грунта или образование видимых на глаз трещин, резкое увеличение осадки (по сравнению с осадкой за предыдущую ступень нагрузки) или осадка не затухающая в течение длительного времени.

Для построения графика  $S = f(p)$  по оси абсцисс откладывают значения ступеней нагрузки (в масштабе 1 см – 25; 12,5 кПа), по оси ординат – осадку (в масштабе 1 см – 1; 0,5 мм).

Модуль деформации грунта вычисляется для прямолинейного участка зависимости  $S = f(p)$  по формуле

$$E = (1 - \mu^2) \omega b \frac{\Delta p}{\Delta s}, \text{ МПа}$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона (0,27 – для крупнообломочных грунтов; 0,3 – для песков и супесей; 0,35 – для суглинков и 0,42 – для глин);  $b$  – диаметр круглого или сторона квадратного штампа, м;  $\Delta p$  – изменение давления в пределах прямолинейного участка, МПа;  $\Delta s$  – изменение осадки штампа, соответствующее изменению  $\Delta p$ , м;  $\omega$  – коэффициент, учитывающий форму штампа (0,79 – для круглого; 0,88 – для квадратного).

Полученное значение модуля деформации следует округлить с точностью 1 МПа при  $E > 10$  МПа; 0,5 МПа при  $E = 2 - 10$  МПа и 0,1 МПа при  $E < 2$  МПа.

### Контрольные вопросы

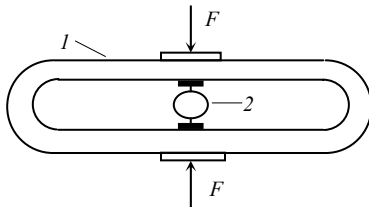
- 1 Какие существуют методы полевого исследования грунтов?
- 2 Как происходит испытание грунтов в шурфах и скважинах?
- 3 Для чего производятся статическое и динамическое зондирование грунтов?
- 4 Что такое прессиометрия?

## Лабораторная работа 5

### СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ

**Цель работы:** ознакомиться с задачами и методикой проведения статических испытаний строительных конструкций. Провести статические испытания модели металлической фермы и сравнить полученные экспериментальные данные с расчетными значениями.

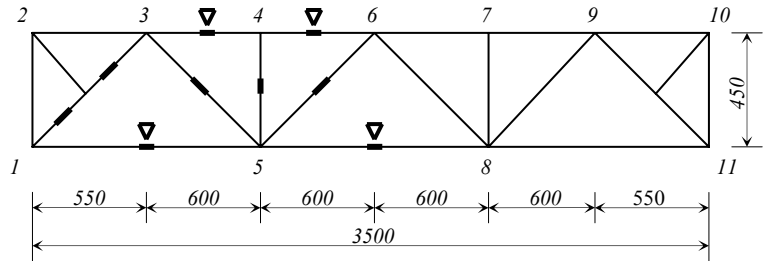
**Оборудование и приборы:** стенд для испытания ферм, модель металлической фермы, образцовые динамометры ДОСМ 3-3, ДОСМ 3-1, тензометры ТА-2М, тензостанция АИД-4.



**Рис. 9 Образцовый динамометр:** 1 – упругий

Основной задачей испытания строительных конструкций и сооружений является выявление их напряженно деформированного состояния, оценка несущей способности, жесткости и трещиностойкости. При статических испытаниях измеряются, как действующие нагрузки, так и основные деформации: прогибы, продольные фибровые деформации, углы поворота конструкции или ее элементов, сдвиги отдельных элементов конструкции или их волокон.

**Рис. 8 Схема модели фермы**



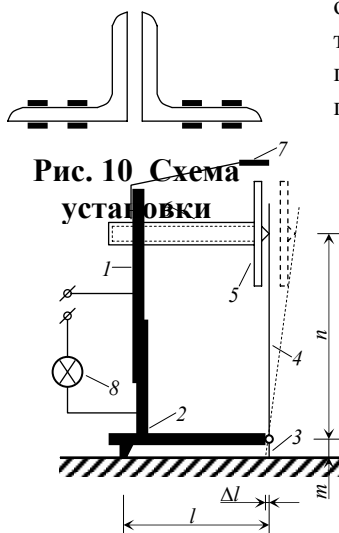
В данной лабораторной работе проводятся испытания модели металлической фермы (рис. 8). Материал фермы – сталь С-235 ( $R_s = 230$  МПа). Пояса, раскосы и стойки фермы выполнены из парных уголков. Геометрические размеры и характеристики элементов фермы представлены в табл. 8.

Таблица 8

№ стержня	Сечение, уголки	$A_0, \text{см}^2$	$i_x, \text{см}^2$	$l, \text{см}$	$\mu$	$l_0, \text{см}$	$\lambda$
23				55		55	50,5
34	35×3	5,5	1,09	60	1,0	60	55
46				60		60	55
15	35×3	5,5	1,09	115			
58				120			
13	25×3	3,72	0,74	71,06	0,5	35,53	48
35	25×3	3,72	0,74	75	0,8	60	81
56				75			
12	25×3	3,72	0,74	45	0,8	36	61
45				45			

Сопряжение фермы со стойками силового пола шарнирное. Нагрузка передается на узлы фермы с помощью винтового устройства или гидравлического домкрата. Величина нагрузки определяется с помощью образцового динамометра ДОСМ-3. Принцип действия динамометра основан на зависимости между прикладываемым усилием и деформацией упругого элемента (рис. 9). Величину деформации измеряют индикатором часового типа и по тарифической таблице, имеющейся в паспорте прибора, определяют усилие.

Деформацию стержней фермы измеряют с помощью тензорезисторов, наклеенных на полки уголков (рис. 10), и электромеханических тензометров системы Аистова ТА-2М (рис. 11). На рис. 8 показаны места установки тензорезисторов (утолщения на стержнях) и тензометров (треугольники над стержнями). Величина



**Рис. 10 Схема установки**

**Рис. 11 Тензометр ТА-2М:**

1, 2 – Верхняя и нижняя часть станины;

3 – призма; 4 – перо; 5 – лимб;

относительной деформации, измеряемой тензорезисторами, регистрируется тензостанцией АИД-4. Определение деформаций в верхнем и нижнем поясах дублируется тензометрами ТА-2М. В данном приборе использован принцип неравноплечего рычага для увеличения небольших перемещений верхнего слоя испытываемого элемента ( $m/n = 1/5$ ). Схема устройства прибора приведена на рис. 11. Тензометр прикрепляют к элементам фермы с помощью струбины. Для взятия начального отсчета  $C_1$  выдвигают микрометрический винт 6 вращением лимба 5 пока его острие не коснется пера 4, что определяется по электросигналу. Отсчет берут по лимбу 5 пользуясь указателем 7. После взятия отсчета острие отводят от пера. Приложение нагрузки вызовет изменение длины базы прибора  $l$  на  $\Delta l$ . Взяв конечный отсчет  $C_2$  и определив разницу отсчетов  $\Delta C = C_2 - C_1$  можно определить абсолютную



Далее загружают ферму испытательной нагрузкой и снимают конечные отсчеты по приборам. Относительную деформацию исследуемых сечений находят по формулам:

для тензорезисторов

$$\varepsilon_i = \delta_i \cdot 10^{-5} S / 2 ,$$

где  $S$  – коэффициент тензочувствительности;  
для тензометров

$$\varepsilon_i = \delta_i \cdot 10^{-3} / l ,$$

где  $l$  – база тензометра.

Нормальные напряжения в каждом элементе фермы определяют по закону Гука

$$\sigma_i = \varepsilon_i E .$$

где  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа.

Все полученные результаты заносят в приведенные таблицы. В заключении сравнивают теоретические и экспериментальные данные ( $K = \sigma_{\text{теор}} / \sigma_{\text{эксп}}$ ) и делают выводы.

Таблица 11

№ стержня	Показания тензометра при		Разность показаний, $\delta_i$	$\varepsilon \cdot 10^{-5}$	$\sigma_{\text{эксп}}$ , МПа	$\sigma_{\text{теор}}$ , МПа	$K$
	$F = 0$	$F = \text{кН}$					
58							
15							
46							
38							

### Контрольные вопросы

- 1 Каковы основные задачи статических испытаний строительных конструкций?
- 2 Каков порядок проведения статических испытаний строительных конструкций?
- 3 Какие существуют методы создания статических нагрузок?
- 4 Какие приборы применяют при статических испытаниях?
- 5 Перечислите основные причины расхождения экспериментальных и расчетных данных.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лужин О. В., Злочевский А. Б., Горбунов И. А., Волохов В. А. Обследование и испытание сооружений: Учеб. для вузов / Под ред. О. В. Лу-жина М.: Стройиздат, 1987. 263 с.
- 2 Леденев В. В., Ярцев В. П. Испытание материалов и конструкций зданий и сооружений: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1994, 220 с.
- 3 Трофименков Ю. Г., Воробков Л. Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981. 215 с.
- 4 Попов Л. Н. Лабораторный контроль строительных материалов и изделий: Справочник. М.: Стройиздат, 1986. 349 с.
- 5 Золотухин Ю. Д. Испытание строительных конструкций: Учеб. пособие. Минск: Вышайшая школа, 1983. 208 с.