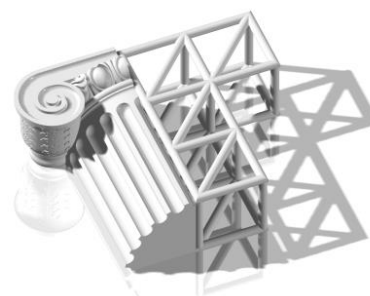


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра железобетонных и каменных конструкций



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ №1-3 по проведению испытаний конструкций

дисциплина: «Эксплуатация и реконструкция сооружений»  
специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Казань 2015

УДК 624.012

ББК 38.53

П 12

П12 Методические указания к выполнению лабораторных работ №1-3 по проведению испытаний конструкций  
дисциплина: «Эксплуатация и реконструкция сооружений»  
специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» / сост. В.В. Павлов, – Казань: КГАСУ,  
каф. ЖБиКК, 2015. – 26с.

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор кафедры  
МКиИС КГАСУ Шмелев Г.Н.

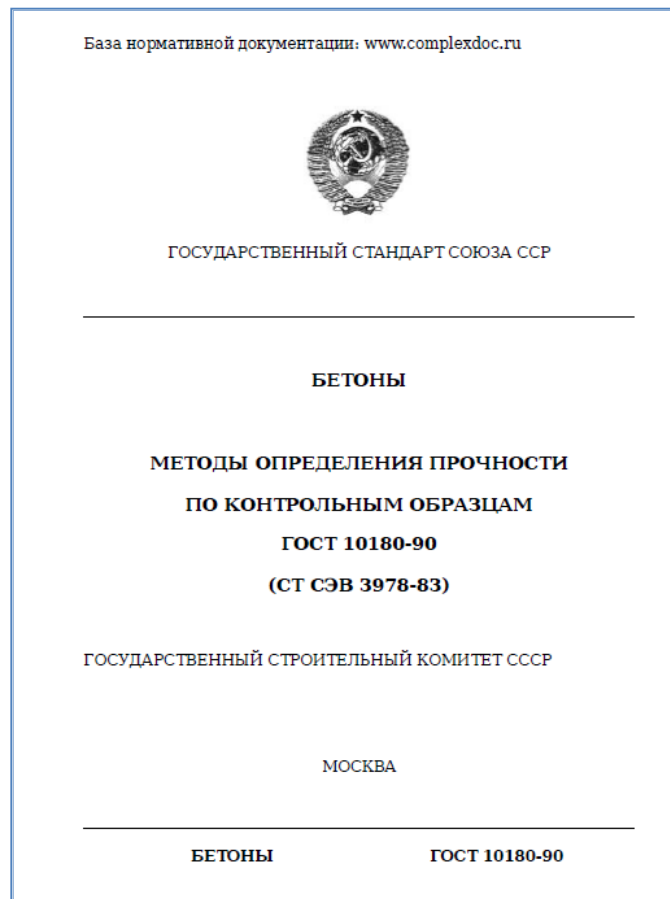
Цель работы – ознакомление с методами определения прочности бетона разрушающими методами

Задачи:

- ознакомление с нормативными требованиями;
- ознакомление со способами изготовления опытных образцов или отбора проб бетона;
- проведение обработки результатов испытаний образцов по индивидуальным данным;
- ответы на контрольные вопросы по тематике работы.

# Ознакомление с нормативными требованиями

## 1. Следует изучить положения ГОСТ10180-90 [1]



# Ознакомление со способами изготовления опытных образцов или отбора проб бетона

Правила изготовления опытных образцов – см. п. 2  
ГОСТ10180-90 (файл в папке ЛР-1).



Бетонные кубы с размерами  
100x100x100 мм



Бетонные цилиндры (керны)

# Ознакомление со способами отбора и испытания проб бетона



Горизонтальное бурение....



Вертикальное бурение....



Испытание образца в гидравлическом прессе

# Проведение обработки результатов испытаний образцов по индивидуальным данным

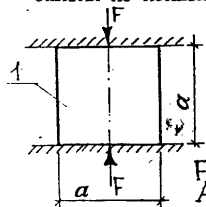
Индивидуальный номер варианта по списку группы	Форма, размеры образцов	Величины разрушающих нагрузок, кН
1	Кубы 100х100х100 мм	150, 126, 173, 142, 164
2	Цилиндры Ø80 мм, h=120 мм	125, 142, 170, 153, 134
3	Кубы 150х150х150 мм	240, 205, 218, 251, 220
4	Кубы 200х200х200 мм	726, 800, 740, 755, 785
5	Цилиндры Ø120 мм, h=150 мм	180, 200, 175, 158, 195
6	Кубы 100х100х100 мм	130, 126, 193, 142, 164
7	Цилиндры Ø80 мм, h=120 мм	145, 142, 170, 153, 134
8	Кубы 150х150х150 мм	260, 205, 218, 251, 220
9	Кубы 200х200х200 мм	736, 800, 740, 755, 785
10	Цилиндры Ø120 мм, h=150 мм	170, 200, 175, 158, 195
11	Кубы 100х100х100 мм	140, 126, 173, 142, 164
12	Цилиндры Ø80 мм, h=120 мм	155, 142, 170, 153, 134
13	Кубы 150х150х150 мм	270, 205, 218, 251, 220
14	Кубы 200х200х200 мм	716, 800, 740, 755, 785
15	Цилиндры Ø120 мм, h=150 мм	160, 200, 175, 158, 195
16	Кубы 100х100х100 мм	150, 146, 173, 142, 164
17	Цилиндры Ø80 мм, h=120 мм	125, 172, 170, 153, 134
18	Кубы 150х150х150 мм	240, 255, 218, 251, 220
19	Кубы 200х200х200 мм	726, 810, 740, 755, 785
20	Цилиндры Ø120 мм, h=150 мм	180, 210, 175, 158, 195
21	Кубы 100х100х100 мм	150, 126, 173, 142, 164
22	Цилиндры Ø80 мм, h=120 мм	125, 142, 170, 153, 134
23	Кубы 150х150х150 мм	240, 205, 218, 251, 220
24	Кубы 200х200х200 мм	726, 800, 740, 755, 785
25	Цилиндры Ø120 мм, h=150 мм	180, 200, 175, 158, 195

# Справочные материалы по тематике [2]

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПО ИСПЫТАНИЮ ОБРАЗЦОВ, ИЗВЛЕЧЕННЫХ ИЗ КОНСТРУКЦИЙ

ЛИСТ 42

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ ПО ИСПЫТАНИЮ КУБОВ (ГОСТ 10180-78)



Прочность бетона при сжатии ( $R$ ) определяется по формуле:

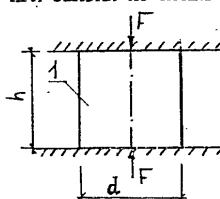
$$R = \alpha \frac{F}{A}, \text{ где}$$

$F$  - разрушающая нагрузка;  
 $A$  - средняя рабочая площадь куба;  
 $\alpha$  - переходной коэффициент к прочности стандартного куба  $150 \times 150 \times 150$  мм

1 - образец-куб, выпиленный карборундовыми дисками в менее напряженных местах конструкций (после извлечения образцов места выборки следует заделывать бетоном или цементно-песчаным раствором)

Размер куба, мм	$\alpha$
70,7×70,7×70,7	0,25
100×100×100	0,91
150×150×150	1,0
200×200×200	1,05
300×300×300	1,10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ ПО ИСПЫТАНИЮ ЦИЛИНДРОВ (ГОСТ 10180-78)



Прочность бетона при сжатии ( $R$ ) определяется по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A} \beta, \text{ где}$$

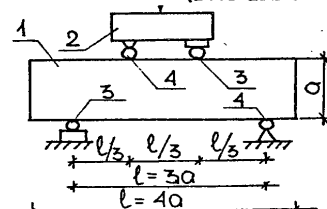
$F$  - разрушающая нагрузка;  
 $A$  - средняя рабочая площадь цилиндра;  
 $\alpha$  - переходной коэффициент к прочности стандартного куба  $150 \times 150 \times 150$  мм;  
 $\beta$  - переходной коэффициент

1 - образец-цилиндр, выбуренный коронками в менее напряженных местах конструкций (места выборки заделывать бетоном или цементно-песчаным раствором)

Размер цилиндра, $d \times h$ , мм	$\alpha$
70×140	1,16
100×200	1,17
150×300	1,20
200×400	1,24

$h/d$	1,8	1,6	1,4	1,2	1
$\beta$	1,18	1,14	1,12	1,09	1,07

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО ИСПЫТАНИЮ БАЛОЧЕК (ГОСТ 10180-78)



Прочность бетона на растяжение при изгибе  $R_{bt}$  определяется по формуле:

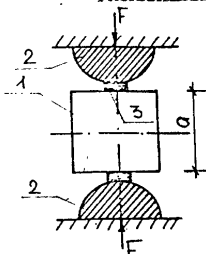
$$R_{bt} = \gamma \frac{F l}{a b^2}, \text{ где}$$

$F$  - разрушающая нагрузка;  $l$  - расстояние между нижними опорами;  $a, b$  - высота и ширина поперечного сечения;  $\gamma$  - переходной коэффициент к прочности стандартной балочки размером  $150 \times 150 \times 600$  мм.

Размер балочки, мм	$\gamma$
200×200×800	0,95
150×150×600	1,0
100×100×400	1,05

1 - образец-балочка, выпиленный из конструкции;  
 2 - траверса;  
 3 - каток;  
 4 - качающийся шарнир

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ПО ИСПЫТАНИЮ КУБОВ НА РАСКАЛЫВАНИЕ (ГОСТ 10180-78)



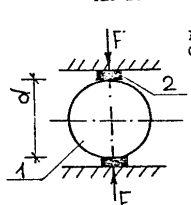
Прочность бетона на осевое растяжение  $R_{bt}$  определяется по формуле:

$$R_{bt} = \delta \frac{F}{a^2}, \text{ где}$$

$F$  - разрушающая нагрузка;  
 $a$  - длина ребра куба;  
 $\delta$  - масштабный коэффициент прочности бетона в образцах базового размера, определяемый экспериментально

1 - образец-куб, выпиленный карборундовыми дисками в менее напряженных местах конструкций (после извлечения образцов места выборки следует заделывать бетоном или цементно-песчаным раствором);  
 2 - стальные цилиндрические опоры диаметром 150 мм, длиной не менее  $a$ ;  
 3 - прокладки из трехслойной фанеры: ширина  $15 \pm 5$  мм, толщина  $4 \pm 1$  мм, длина не менее  $a$

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ПО ИСПЫТАНИЮ ЦИЛИНДРОВ НА РАСКАЛЫВАНИЕ (ГОСТ 10180-78)



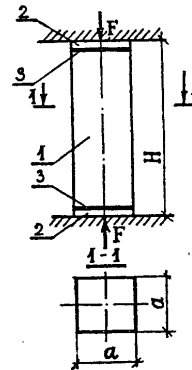
Прочность бетона на осевое растяжение  $R_{bt}$  определяется по формуле:

$$R_{bt} = 8 \frac{2F}{\pi d h}, \text{ где}$$

$F$  - разрушающая нагрузка;  
 $d$  - диаметр цилиндра;  
 $h$  - высота цилиндра;  
 $\delta$  - масштабный коэффициент прочности бетона в образцах базового размера, определяемый экспериментально

1 - образец-цилиндр, выбуренный коронками в менее напряженных местах конструкций (места выборки заделывать бетоном или цементно-песчаным раствором);  
 2 - прокладка из трехслойной фанеры: ширина  $15 \pm 5$  мм, толщина  $4 \pm 1$  мм, длина не менее  $l$

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЗМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ (ГОСТ 24452-80)



1 - бетонная призма высотой  $H = 4a$ , выпиленная из конструкции;  
 2 - стальные пластины толщиной не менее  $a/10$ ;  
 3 - слой гипсового раствора толщиной не более 0,5 мм

Призменную прочность бетона определяют по формуле:

$$R_{\delta} = \frac{F}{A},$$

где  $F$  - разрушающая нагрузка;  
 $A = a^2$  - среднее значение площади поперечного сечения образца



Цель работы – ознакомление с методами определения прочности бетона неразрушающими методами

Задачи:

- ознакомление с нормативными требованиями;
- ознакомление с существующими способами и приборами неразрушающего контроля;
- проведение обработки результатов определения прочности по индивидуальным данным;
- ответы на контрольные вопросы по тематике работы.

# Ознакомление с нормативными требованиями

## 1. Следует изучить положения ГОСТ22690-88 [1]



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

**БЕТОНЫ**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИМИ**  
**МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**  
ГОСТ 22690-88

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СССР  
Москва

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

**БЕТОНЫ**

Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля	ГОСТ 22690-88
Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing	

Дата введения 01.01.91

Настоящий стандарт распространяется на тяжелый и легкий бетоны и устанавливает методы определения прочности на сжатие в конструкциях по упругому отскоку, ударному импульсу, пластической деформации, отрыву, скалыванию ребра и отрыву со скалыванием.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетонных образцов по [ГОСТ 10180-90](#) и косвенным характеристикам прочности.

1.2. В зависимости от применяемого метода косвенными характеристиками прочности являются:

- значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);
- параметр ударного импульса (энергия удара);
- размеры отпечатка на бетоне (диаметр, глубина и т. п.) или соотношение диаметров отпечатков на бетоне и стандартном образце при ударе индентора или вдавливанием индентора в поверхность бетона;
- значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;
- значение усилия необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции;

# Ознакомление с существующими способами и приборами неразрушающего контроля



Склерометр «Молоток Шмидта»

Склерометр



Механические склерометры реализуют принцип упругого отскока. На проградуированной шкале отображается значение кубиковой прочности – МПа, которое необходимо уточнять коэффициентами в зависимости от вида бетона, направления удара – горизонтально, вертикально вверх или вниз.

# Ознакомление с существующими способами и приборами неразрушающего контроля



Характеристики прибора см. в файле «ОНИКС-2.5» в папке ЛР-2



Характеристики прибора см. в файле «ОНИКС-ОС» в папке ЛР-2

# Проведение обработки результатов определения прочности по индивидуальным данным

Индивидуальный номер варианта по списку группы	Отсчеты, фиксируемые прибором, МПа
1	15,0, 12,6, 17,3, 14,2, 16,4
2	12,5, 14,2, 17,0, 15,3, 13,4
3	24,0, 20,5, 21,8, 25,1, 22,0
4	72,6, 80,0, 74,0, 75,5, 78,5
5	18,0, 20,0, 17,5, 15,8, 19,5
6	13,0, 12,6, 19,3, 14,2, 16,4
7	14,5, 14,2, 17,0, 15,3, 13,4
8	26,0, 20,5, 21,8, 25,1, 22,0
9	73,6, 80,0, 74,0, 75,5, 78,5
10	17,0, 20,0, 17,5, 15,8, 19,5
11	14,0, 12,6, 17,3, 14,2, 16,4
12	15,5, 14,2, 17,0, 15,3, 13,4
13	27,0, 20,5, 21,8, 25,1, 22,0
14	71,6, 80,0, 74,0, 75,5, 78,5
15	16,0, 20,0, 17,5, 15,8, 19,5
16	15,0, 14,6, 17,3, 14,2, 16,4
17	12,5, 17,2, 17,0, 15,3, 13,4
18	24,0, 25,5, 21,8, 25,1, 22,0
19	72,6, 81,0, 74,0, 75,5, 78,5
20	18,0, 21,0, 17,5, 15,8, 19,5
21	15,0, 12,6, 17,3, 14,2, 16,4
22	12,5, 14,2, 17,0, 15,3, 13,4
23	24,0, 20,5, 21,8, 25,1, 22,0
24	72,6, 80,0, 74,0, 75,5, 78,5
25	18,0, 20,0, 17,5, 15,8, 19,5

Следует произвести обработку результатов контроля прочности в соответствии с требованиями ГОСТ22690-88 [1] (файл в папке ЛР-2).

Цель работы – ознакомление с методами определения класса арматуры по результатам испытаний образцов на растяжение

Задачи:

- ознакомление с нормативными требованиями;
- проведение обработки результатов определения прочности по индивидуальным данным;
- определение класса и характеристик арматурной стали;
- ответы на контрольные вопросы по тематике работы.

# Ознакомление с нормативными требованиями

## 1. Следует изучить положения ГОСТ12004-81 [1] и ТУ ГОСТ5781-82 [2]

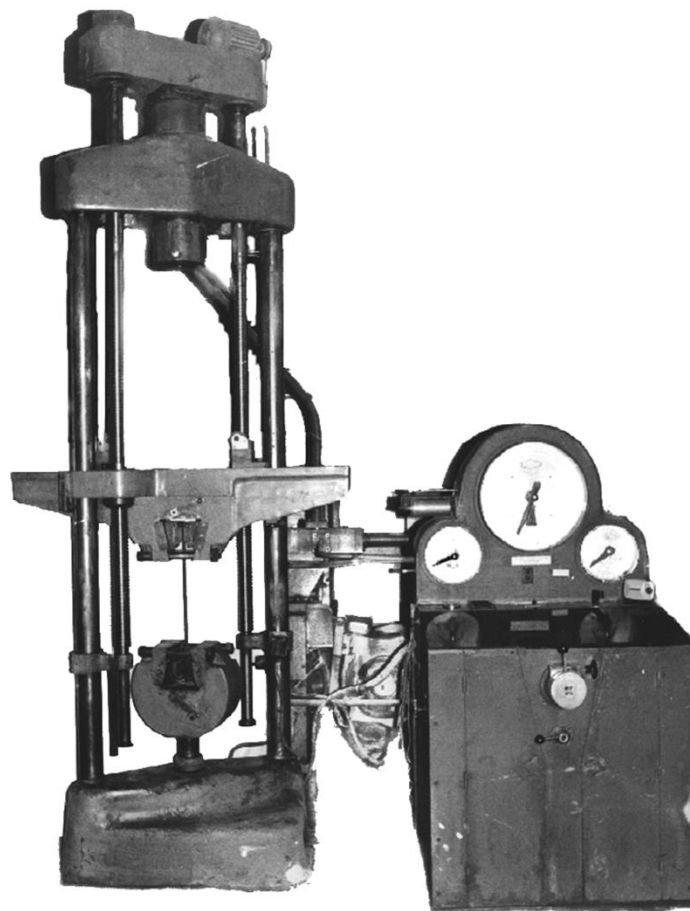
УДК 669.14.691.87:620.172:006.354		Группа В09	
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР			
<b>СТАЛЬ АРМАТУРНАЯ</b>			
<b>МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ</b>			
ГОСТ 12004-81			
ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ Москва			
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР		Группа В09	
<b>СТАЛЬ АРМАТУРНАЯ</b>			
<b>Методы испытания на растяжение</b>		<b>ГОСТ</b>	
Reinforcing-bar steel		12004-81	
Tensile test methods			
Дата введения 01.07.83			
<p>Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний на растяжение при температуре <math>(20 \pm 15)^\circ\text{C}</math> арматурной стали номинальным диаметром от 3,0 до 80 мм (проволоки, стержни и арматурные канаты) круглого и периодического профиля, предназначенной для армирования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций для определения механических свойств: полного относительного удлинения при максимальной нагрузке; относительного удлинения после разрыва; относительного равномерного удлинения после разрыва; относительного сужения после разрыва; временного сопротивления; предела текучести (физического); предела текучести и упругости (условного); модуля упругости (начального). Термины, обозначения и определения приведены в приложении 1.</p> <p style="text-align: center;"><b>1. МЕТОДЫ ОТБОРА ОБРАЗЦОВ</b></p> <p>Для испытания на растяжение применяются образцы арматуры круглой или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром от 3,0 до 80 мм. Допускается проводить испытания образцов гурьевской стержневой арматуры номинальным диаметром более 20 мм из обочинки образца цилиндрической формы с головками по возможности с сохранением их головной поверхности проката. Форма, размеры и требования к обработке рабочей части образцов по ГОСТ 1497-84.</p> <p>Вытачивать образцы следует так, чтобы продольные оси стержня и образца были параллельны. При диаметре стержня до 40 мм включительно продольные оси стержня и образца могут совпадать, при диаметре стержней от 45 до 60 мм и от 70 до 80 мм расстояние от оси стержня до оси образца должно соответственно составлять <math>1/8</math> и <math>1/4 d</math> (черт. 1).</p>			
		Черт. 1	
<p>(Именованная редакция, Изм. № 2).</p> <p>1.2. Допускается перед испытанием проводить правку образца плавным давлением на него или легким ударом молотка по образцу, лежащему на подкладке. Подкладка и молоток должны быть из более мягкого металла, чем образец.</p>			

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР			
<b>СТАЛЬ ГОРЯЧЕКАТАНАЯ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b>			
<b>Технические условия</b>			
ГОСТ 5781-82			
Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications.			
<p>Настоящий стандарт распространяется на горячекатаную круглую сталь гладкого и периодического профиля, предназначенную для армирования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций (арматурная сталь). В части нормы химического состава низколегированных сталей стандарт распространяется также на сыпучий, бивомес и злитомес.</p> <p>(Именованная редакция, Изм. № 4).</p> <p style="text-align: center;"><b>1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СОРТАМЕНТ</b></p> <p>1.1. В зависимости от механических свойств арматурная сталь подразделяется на классы А-I (A240), А-II (A300), А-III (A400), А-IV (A600), А-V (A800), А-VI (A1000).</p> <p>1.2. Арматурная сталь изготавливается в стержнях или мотках. Арматурную сталь класса А-I (A240) изготовляют гладкой, классов А-II (A300), А-III (A400), А-IV (A600), А-V (A800), А-VI (A1000) — периодического профиля. По требованию потребителей сталь классов А-II (A300), А-III (A400), А-IV (A600) и А-V (A800) изготовляют гладкой.</p> <p>1.1., 1.2. (Изменения в редакции, Изм. № 5).</p> <p>1.3. Номера профилей, площади поперечного сечения, масса 1 м длины арматурной стали гладкого и периодического профиля, а также предельные отклонения по массе для периодических профилей должны соответствовать указанным в табл. 1.</p>			
Таблица 1			
Номер профиля (номинальный диаметр стержня, 4.)	Площадь поперечного сечения стержня, см <sup>2</sup>	Масса 1 м профиля	
		теоретическая, кг	предельные отклонения, кг
6	0,283	0,222	+0,0
8	0,503	0,395	-7,0
10	0,785	0,617	
12	1,131	0,888	+5,0
14	1,540	1,210	-6,0
16	2,010	1,580	
18	2,540	2,000	
20	3,140	2,470	+3,0
22	3,800	2,980	-5,0
25	4,910	3,850	
28	6,160	4,830	
32	8,040	6,310	
36	10,180	7,990	+3,0
40	12,570	9,870	-4,0
45	15,000	12,480	
50	19,630	15,410	
55	23,760	18,650	+2,0
60	28,270	22,190	-4,0
70	38,480	30,210	
80	50,270	39,460	

# Ознакомление с существующими методами испытаний

Испытания образцов арматурной стали производятся на разрывных машинах.

Машина 1960-70 г.г.

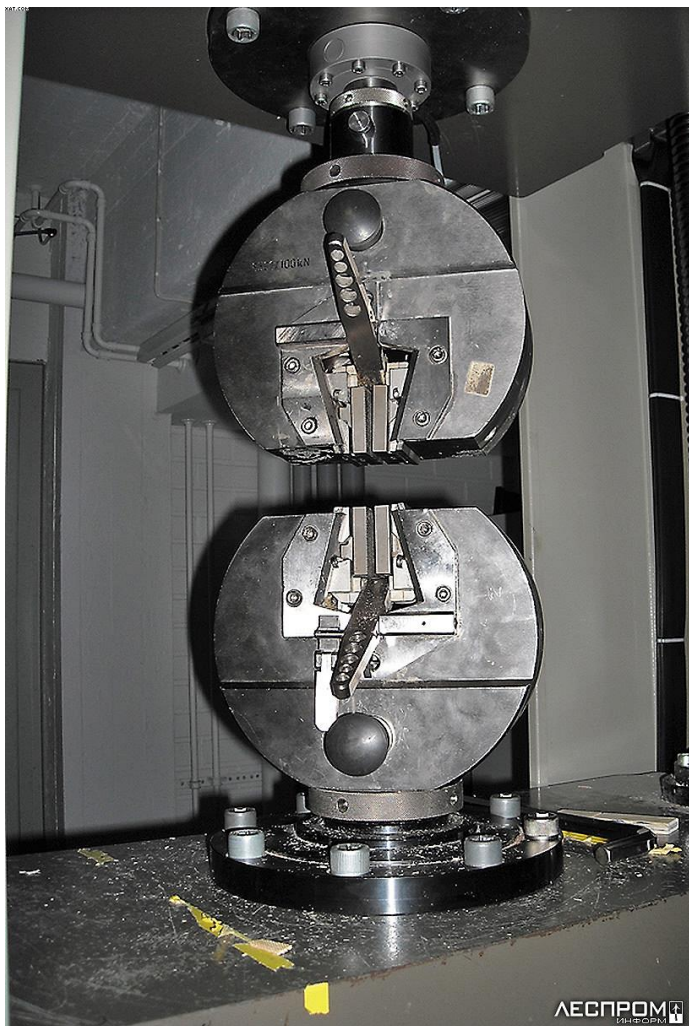


..... современная с возможностями автоматизированной записи результатов, построения диаграмм и т.п.....





# Ознакомление с существующими методами испытаний



Захватное приспособление.  
Концы образцов удерживаются в  
рифленых губках захватов с  
самоанкерровкой по мере роста  
растягивающего усилия,  
создаваемого гидравликой  
машины



Испытанные  
образцы

# Проведение обработки результатов определения прочности по индивидуальным данным

Индивидуальный номер варианта по списку группы	Характер поверхности/рифления арматуры, диаметр, разрушающее усилие $N_u$ , кН
1	Гладкая, 16, 77
2	Рифленая, 18, 155
3	Рифленая, 12, 70
4	Рифленая, 25, 310
5	Рифленая, 14, 98
6	Гладкая, 16, 140
7	Рифленая, 18, 124
8	Рифленая, 12, 62
9	Рифленая, 25, 230
10	Рифленая, 14, 78
11	Гладкая, 16, 73
12	Рифленая, 18, 350
13	Рифленая, 12, 210
14	Рифленая, 25, 520
15	Рифленая, 14, 300
16	Гладкая, 16, 84
17	Рифленая, 18, 198
18	Рифленая, 12, 180
19	Рифленая, 25, 240
20	Рифленая, 14, 200
21	Гладкая, 14, 95
22	Рифленая, 18, 300
23	Рифленая, 12, 120
24	Рифленая, 25, 220
25	Рифленая, 14, 148

Следует произвести обработку результатов испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ12004-81 [1] (файл в папке ЛР-3).  
Необходимо определить класс арматурной стали.

Цель работы – ознакомление с методами и обработки результатов испытаний конструкций

Задачи:

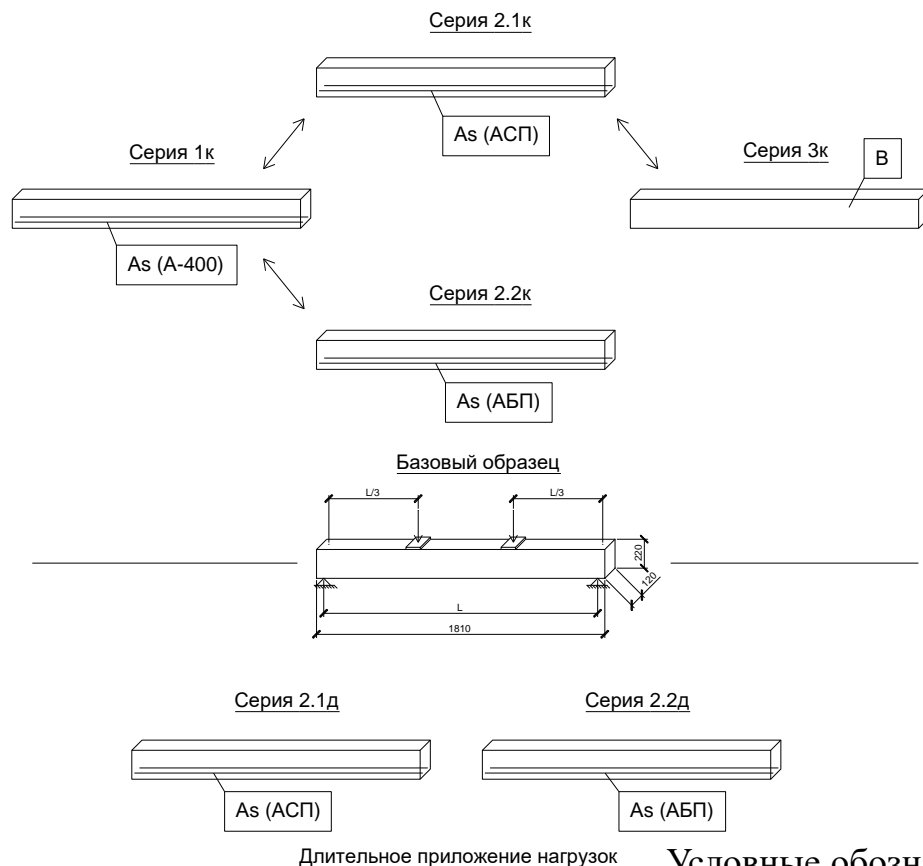
- ознакомление с нормативными требованиями;
- ознакомление результатами испытаний балок с композитной арматурой;
- обработка результатов измерений;
- ответы на контрольные вопросы по тематике работы.

## Определение несущей способности изгибаемых элементов бетонных конструкций, армированных ПКА

Россия – СП 52-101-2003	
<p>Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением элемента:</p> $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x)$ $x = \frac{R_s A_s}{R_b b}$	<p><math>b</math> – ширина поперечного сечения элемента;  <math>R_s</math> – расчетное значения сопротивления арматуры растяжению;  <math>R_b</math> – расчетные значения сопротивления бетона осевому сжатию;  <math>A_s</math> – площадь сечения растянутой арматуры;  <math>x</math> – высота сжатой зоны бетона;  <math>h_0</math> – рабочая высота поперечного сечения элемента.</p>

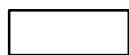
США - ACI 440.1R-06	
<p>Фактический процент армирования:</p> $\rho_f = \frac{A_f}{bd}$	<p><math>A_f</math> - площадь поперечного сечения армирования;  <math>b</math> – ширина поперечного сечения элемента;  <math>d</math> – рабочая высота поперечного сечения элемента.</p>
<p>Сбалансированный процент армирования:</p> $\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \frac{E_f \varepsilon_{cu}}{E_f \varepsilon_{cu} + f_{fu}}$	<p><math>\beta_1</math> - коэффициент принимаемый равным 0,85 для значений <math>f'_c</math> вплоть до 4 KSI. Свыше 4 KSI, значение уменьшается линейно с частотой 0,05 на каждый 1 KSI;  <math>f'_c</math> - расчетная прочность бетона на сжатие;  <math>f_{fu}</math> - расчетная прочность ПКА на растяжение;  <math>E_f</math> - модуль упругости ПКА;  <math>\varepsilon_{cu}</math> - предельные относительные деформации бетона при сжатии.</p>
<p>Если <math>\rho_f \geq \rho_{fb}</math></p>	
<p>Напряжение в арматуре:</p>	$f_f = \left( \sqrt{\frac{(E_f \cdot \varepsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{\rho_f} E_f \cdot \varepsilon_{cu}} - 0.5 \cdot E_f \cdot \varepsilon_{cu} \right) \leq f_{fu}$
<p>Допустимый изгибающий момент:</p>	$M_n = A_f \cdot f_f \left( d - \frac{a}{2} \right), \quad \text{где} \quad a = \frac{A_f \cdot f_f}{0.85 \cdot b \cdot f'_c}$
<p>Если <math>\rho_f &lt; \rho_{fb}</math></p>	
<p>Допустимый изгибающий момент:</p>	$M_n = A_f \cdot f_{fu} \left( d - \frac{\beta_1 \cdot c_b}{2} \right),$
<p>где</p>	$c_b = \left( \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{fu}} \right) d \quad \varepsilon_{fu} - \text{предельные относительные деформации арматуры.}$
<p>Минимальная площадь продольной рабочей ПКА:</p>	
$A_{f,min} = \frac{4.9 \sqrt{f'_c}}{f_{fu}} b_w d \geq \frac{330}{f_{fu}} b_w d$	

Программа экспериментальных исследований  
Кратковременное приложение нагрузок



Длительное приложение нагрузок

Условные обозначения:

 - Варьируемые параметры

Длительные испытания:

№ серии	Размеры балки, мм	Класс бетона	Диаметр стержней Ø, мм	№ серии	Размеры балки, мм	Класс бетона	Диаметр стержней Ø, мм
2.1д-1	Сечение 120x220, длина 1810	B25	2 Ø8 АСП	2.2д-1	Сечение 120x220, длина 1810	B25	2 Ø8 АБП
2.1д-2			2 Ø6 АСП	2.2д-2			2 Ø6 АБП

Кратковременные испытания:

№ серии	Размеры балки, мм	Класс бетона	Диаметр стержней Ø, мм
1к-1	Сечение 120x220, длина 1810	B25	2 Ø14 А-400
1к-2			2 Ø12 А-400
1к-3			2 Ø10 А-400
1к-4			2 Ø8 А-400

№ серии	Размеры балки, мм	Класс бетона	Диаметр стержней Ø, мм
2.1к-1	Сечение 120x220, длина 1810	B25	2 Ø10 АСП
2.1к-2			2 Ø8 АСП
2.1к-3			2 Ø6 АСП

№ серии	Размеры балки, мм	Класс бетона	Диаметр стержней Ø, мм
2.2к-1	Сечение 120x220, длина 1810	B25	2 Ø8 АБП
2.2к-2			2 Ø6 АБП
2.2к-3			2 Ø4 АБП

№ серии	Размеры балки, мм	Диаметр стержней Ø, мм	Класс бетона
3к-1	Сечение 120x220, длина 1810	2 Ø10 АСП	B15
3к-2			B25
3к-3			B30

## Результаты испытаний балок с композитной арматурой



Подготовленная к испытанию балка с армированием из 2-х стержней  $\varnothing 6$  стеклопластиковой арматуры

## Результаты испытаний балок с композитной арматурой



Нагрузка 24 кН – ширина раскрытия трещин достигает 2,2 мм

## Результаты испытаний балок с композитной арматурой



Нагрузка 33 кН – ширина раскрытия трещин достигает 2,8мм



## Результаты испытаний балок с композитной арматурой



Нагрузка 38 кН – разрушение от разрыва арматуры

## Результаты испытаний балок с композитной арматурой



Прогиб балки достигает 50 мм



Разрыв арматуры