

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

# **МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания к курсовому проекту  
по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство»

Пенза 2016

УКД 69.059.32:624.1.5

ББК38.683

М54

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, профессор  
кафедры строительных конструкций  
ПГУАС В.А. Комаров

**М54** **Методы** экспериментальных исследований строительных конструкций: методические указания к курсовому проекту по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» / И.С. Гучкин, И.А. Белюсева. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 24 с.

Содержится информация об этапах экспериментальных исследований опытной железобетонной конструкции, рассматривается методика исследований прочностных и деформативных характеристик бетона, обосновываются расчет опытной конструкции по двум группам предельных состояний и назначение контрольных нагрузок, необходимых при испытании конструкции.

Методические указания подготовлены на кафедре «Строительные конструкции» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», при изучении дисциплины «Методы экспериментальных исследований строительных конструкций».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016

© Гучкин И.С., Белюсева И.А., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания к выполнению курсового проекта подготовлены в соответствии с программой дисциплины «Методы экспериментальных исследований строительных конструкций» по направлению 08.04.01 «Строительство» и предназначены для использования студентами, обучающимися по программе магистратуры, при изучении теоретической части курса и ознакомлении с особенностями экспериментальных исследований опытных железобетонных конструкций.

Акцент делается на особенностях экспериментального исследования железобетонных конструкций, изготавливаемых из материалов, прочностные и деформативные показатели которых отличаются от нормируемых СНиП значений.

Методические указания содержат информацию по подготовке и проведению испытаний, а также по вероятностной оценке их результатов на базе математической статистики.

Методические указания помогут студентам в разработке программ экспериментальных исследований широкого класса конструкций (балка, плита, колонна, опора ЛЭП и пр.). Варианты конструкций даются в индивидуальных заданиях на выполнение курсового проекта.

Процесс выполнения курсового проекта направлен на формирование следующих компетенций:

- готовности к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

- способности разрабатывать методы, планы и программы проведения научных исследований, готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их.

В результате освоения учебного материала студент должен:

*Знать:* принципы, а также методы и приемы экспериментальных исследований, методы и приемы расчета опытных конструкций при различных силовых воздействиях.

*Уметь:* грамотно составлять расчетные схемы опытных конструкций, назначать величины контрольных нагрузок, анализировать результаты испытаний и формулировать выводы.

*Владеть* навыками:

- расчета опытных конструкций по двум группам предельных состояний;

- организации и проведения испытаний конструкций;

- анализа результатов испытаний и использования параметров математической статистики.

## ВВЕДЕНИЕ

К несущим конструкциям зданий и сооружений предъявляются достаточно жесткие требования, что гарантирует их долговечность и эксплуатационную безопасность. Прежде чем допустить конструкцию в массовое производство, она подвергается всесторонней проверке в несколько этапов [1]:

- На первом этапе в лабораторных условиях исследуются физико-механические свойства материалов бетона и арматуры. При этом определяются прочность, модуль упругости, предельные деформации сжатия и растяжения. Затем методами математической статистики устанавливается разброс опытных значений и вводятся показатели надежности результатов прочности материала, а также средневзвешенного (нормативного) и расчетного сопротивлений материала.

- На втором этапе выполняется расчет конструкции по двум группам предельных состояний в соответствии с принятой расчетной схемой, которая должна максимально приближаться к действительной схеме работы конструкции при эксплуатационных нагрузках.

- На третьем этапе конструкция подвергается лабораторным испытаниям, по результатам которых оценивается действительная работа конструкции под нагрузкой. Определяется погрешность расчета прочности, жесткости, трещиностойкости и ширины раскрытия трещин. Из анализа картины образования трещин и характера разрушения устанавливается наиболее слабое звено конструкции, на которое обращается особое внимание. Важной составляющей экспериментальных исследований является статическая обработка полученных результатов на основе вероятностных принципов. При этом устанавливаются отдельные опытные значения, выпадающие из серии испытаний и проверяется условие, удовлетворяющее сходимости результатов испытаний и расчета.

На основе полученных результатов, включая картину разрушения, достигнутые деформации бетона и арматуры, назначаются величины контрольных нагрузок, используемые в дальнейшем для оценки прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций.

# 1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА

## 1.1. Опытные образцы

На первом этапе испытания изготавливают не менее 9 образцов призм размером  $150 \times 150 \times 600$  мм, из которых 3 образца испытывают на осевое сжатие, 6 образцов – на внецентренное сжатие при эксцентриситетах  $e_0 = 1$  см и  $e_0 = 2,5$  см (по 3 образца на каждый вид). По результатам испытания призм находят величины  $R_b, E_b, \varepsilon_R, \varepsilon_0, \omega_0$ .

На втором этапе изготавливают железобетонные балки размером  $3800 \times 300 \times 150$  мм двух серий (по 2 балки в каждой серии), различающихся содержанием продольной растянутой арматуры. Сечение растянутой арматуры подбирается таким образом, чтобы напряжение в ней в стадии разрушения для первой серии превышало предел текучести, а для второй серии его не достигало. По результатам испытаний находят величины  $\omega_0, \varepsilon_0, \beta_0, \varepsilon_R$ , где:

$\omega_0$  – параметр, численно равный полноте эпюры сжимающих напряжений;

$\varepsilon_0$  – предельная деформация крайнего сжатого волокна;

$\beta_0$  – параметр, характеризующий положение равнодействующей в бетоне сжатой зоны;

$\varepsilon_R$  – предельная деформация укорочения бетона при центральном сжатии.

На третьем этапе, непосредственно перед внедрением конструкций в производство, испытывают бетонные образцы-кубики, прошедшие термовлажностную обработку или твердеющие в естественных условиях. По результатам испытаний находят среднее значение кубиковой прочности (сопротивление) бетона  $R$ , а затем, если требуется, аналитически величины сопротивлений бетона на сжатие  $R_0$  и растяжение  $R_{bt}$ .

## 1.2 Испытание образцов-призм на сжатие

Испытание призматических образцов производится на гидравлическом прессе.

Установка и центрирование образцов из плоскости эксцентриситета осуществляется при нагрузках до  $0,2P_p$ , при этом необходимо, чтобы продольные деформации на противоположных гранях призм различались между собой не более чем на  $\pm 10\%$ .

Нагружение производится с постоянной скоростью, равной 8 кН/с, ступенями, величина которых зависит от величины разрушающей нагрузки  $P_p$ , а именно: до нагрузки, равной  $0,2P_p$ , загрузка выполняется ступенями

по  $0,05P_p$ ; в области от  $0,2P_p$  до  $0,8P_p$  – до разрушения ступенями по  $0,1P_p$ ; в области от  $0,8P_p$  – до разрушения ступенями по  $0,05P_p$ . На каждой ступени следует делать выдержку нагрузки в течение 4-5 мин для снятия показаний с приборов в начале и в конце ступени.

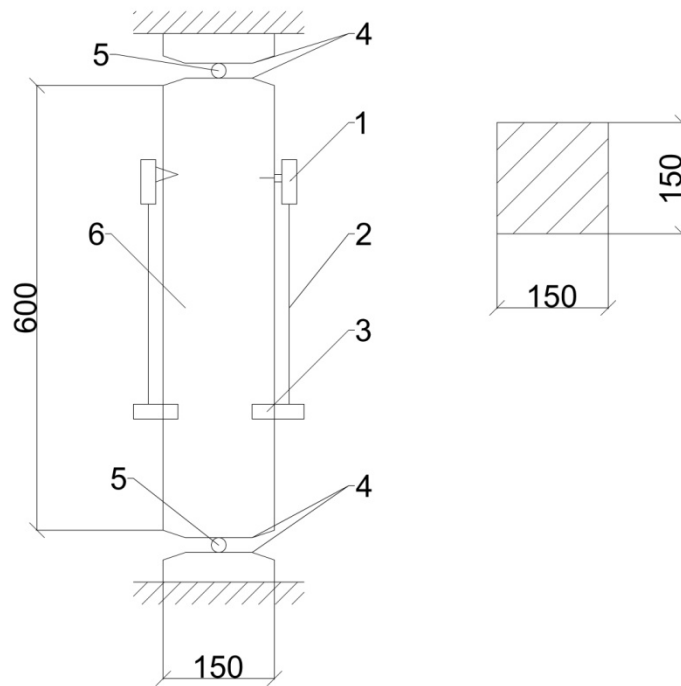


Рис. 1. Схема расстановки измерительных приборов при испытании призм на сжатие:  
 1 – индикатор; 2 – удлинитель; 3 – анкер;  
 4 – опорные пластины; 5 – шарнир; 6 – призма

### 1.3. Испытание образцов-балочек на изгиб

Испытание балочных образцов производится на гидравлическом прессе либо на силовой установке по схеме, указанной на рис.2.

Нагрузка на образец передаётся в третях пролета через металлическую траверсу. Опорные устройства изготавливаются из металлических пластин размером  $150 \times 100 \times 20$  мм, укладываемых на растворе, и металлических катков диаметром не менее 50 мм. Нагрузка на балку передается ступенями с выдержкой на каждой ступени в течение 4-5 мин для снятия показаний приборов. Величина ступени нагружения до ожидаемой нагрузки образования нормальных трещин  $P_T$  составляет  $0,2P_T$ , в области от  $P_T$  до  $0,8P_p$  величина ступени принимается равной  $0,1P_p$ , а от  $0,8P_p$  до разрушения –  $0,05P_p$ .

Обработку результатов испытаний и нахождение параметров  $\omega_0, \xi_0, \beta_0, \xi_R$  выполняют в соответствии с рекомендациями [3].

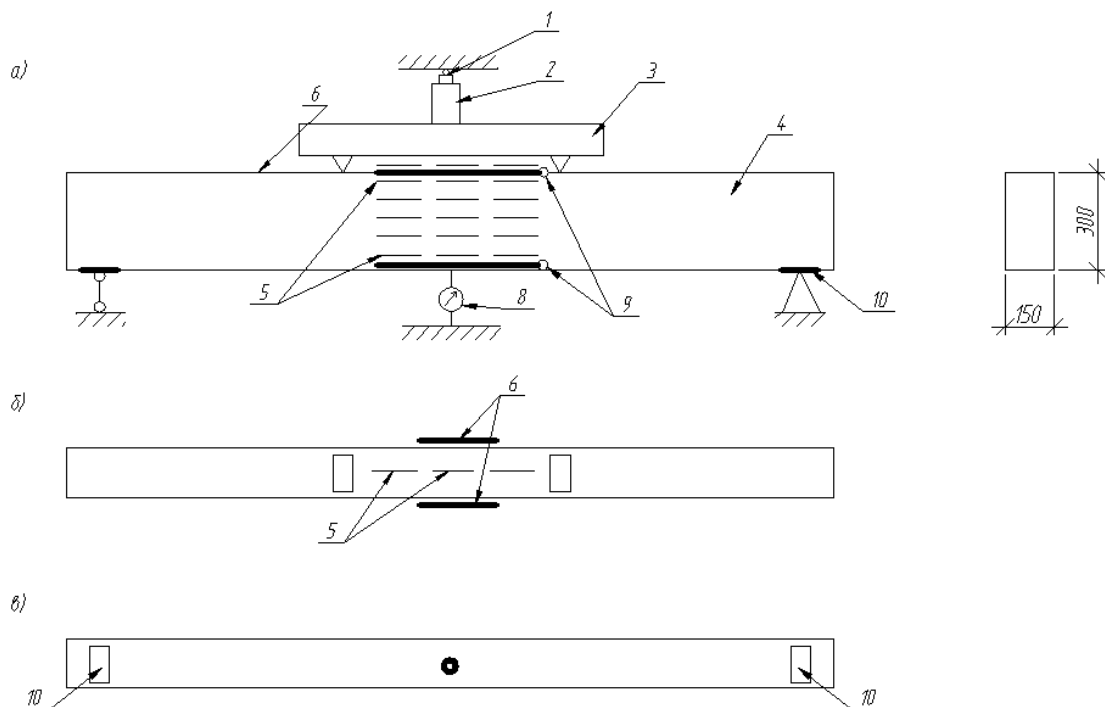


Рис.2. Схема испытания балки на изгиб:  
 1– силоизмеритель, 2 – гидравлический домкрат, 3 – распределительная траверса, 4 – испытываемая балка, 5 – тензодатчики, 6 – индикатор часового типа для измерения краевых деформаций бетона, 7 – специальное приспособление для измерения деформаций арматуры, 8 – прогибомер, 9 – металлические пластины для установки индикаторов, 10 – опорные пластины

#### 1.4. Испытание образцов-кубиков на сжатие

Испытание контрольных образцов выполняют в соответствии с ГОСТ 10180-90 (СТСЭВ 3978–83). Размеры контрольных образцов (кубов или цилиндров) принимаются в зависимости от максимальной величины зерен крупного заполнителя (табл. 1).

Образцы изготавливаются из бетонной смеси не позднее чем через 20 мин после ее перемешивания. Формование производится в металлических формах. Изготавливается три серии образцов по три образца в каждой серии.

Уплотнение бетона осуществляется на виброплощадке с амплитудой  $(0,5 \pm 0,05)$  мм и частотой  $(2800 \pm 100)$  колеб/мин или вручную – штыкованием стальным стержнем  $\varnothing 16$  мм.

Укладка бетона при штыковании либо в один прием на всю высоту образца (при высоте образцов до 15 см), либо в два приема (при высоте образцов  $\geq 20$  см).

Условия хранения образцов следующие: температура  $(+20 \pm 2)$  °С и влажность 0-95%. При заводской технологии условия хранения образцов должны соответствовать режиму твердения реальных конструкций.

При твердении бетона в естественных условиях образцы испытывают в возрасте 3; 7 и 28 суток.

Т а б л и ц а 1

Размеры образцов для определения прочности бетона

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Номинальный размер образца, мм		
	Ребро куба или диаметр цилиндра (при $h = 2d$ )	Масштабный коэффициент	
		куб	цилиндр
10	70	0,85	1,16
20	100	0,91	1,16
40	150	1,00	1,20
70	200	1,05	1,24
100	300	1,10	1,28

При заводской технологии первая серия (из трех образцов) испытывается после термовлажностной обработки, вторая серия – в день отгрузки изделий с завода, третья серия – резервная на тот случай, если испытания в день отгрузки показали недостаточную прочность бетона (меньше 70%).

Перед испытанием производится обмер образцов. Допустимо отклонение от перпендикулярности смежных граней до 1 мм и отклонение от плоскости в опорных гранях до 0,05 мм. При больших отклонениях образцы отбраковываются.

Для испытания образцов могут использоваться прессы либо с гидравлическим, либо с механическим приводом. Мощность пресса должна выбираться таким образом, чтобы ожидаемая разрушающая нагрузка находилась в пределах 0,2...0,8 от максимально допустимого усилия пресса.

Нагружение образцов ведется равномерно и непрерывно со скоростью (0,6±0,4) МПа/с. Образец на опорные плиты пресса должен устанавливаться так, чтобы усилие передавалось в направлении, параллельном слоям укладки бетона в форме.

Предел прочности бетона на сжатие определяется как среднеарифметическое по результатам испытаний трех образцов. По каждому из образцов прочность вычисляется по формуле

$$R = \alpha \cdot K_{\omega} \cdot \frac{P_p}{A},$$

где  $\alpha$  – масштабный коэффициент (табл. 1);

$K_{\omega}$  – коэффициент, учитывающий влажность бетона (для тяжелого бетона  $K_{\omega} = 1$ );

$A$  – площадь поперечного сечения куба;

$P_p$  – разрушающая нагрузка.

Результаты испытаний опытных образцов подвергаются статистической обработке и в дальнейшем используются в расчете опытной конструкции по предельным состояниям в соответствии с указаниями СНиП 52-01-2003 [4].



## 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ОПЫТНОЙ КОНСТРУКЦИИ (ПЛИТЫ) ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

### 2.1. Расчет прочности нормального сечения

#### Исходные данные:

Бетон тяжелый класса В30.

Состав бетона:

- цемент Вольский, М-500;
- крупный заполнитель – гранит, ФР – 5-15 мм;
- мелкий заполнитель – песок,  $M_{кр} = 3,1$ ;
- пластифицирующая добавка (суперпластификатор) марки С-3;
- подвижность смеси 1-3 см.

#### Опытные данные:

- Кубиковая прочность бетона (среднее значение результатов испытаний 5 образцов-кубиков):

$$\bar{R} = 38,46 \text{ МПа} \left( \bar{R} = \frac{B30}{0.78} = 38,46 \text{ МПа, где } B - \text{класс бетона} \right).$$

- Призменная прочность бетона (среднее значение результатов испытаний 5 образцов-кубиков):

$$\bar{R}_b = 28,85 \text{ МПа} \left( \bar{R}_b = 0,75 \cdot \bar{R} = 0,75 \cdot 38,46 = 28,85 \text{ МПа} \right).$$

- Модуль упругости бетона

$$E_b = 32,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}.$$

- Прочность на растяжение

$$\bar{R}_{bt} = 3,69 \text{ МПа} \left( \bar{R}_{bt} = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\bar{R}^2} = 0,5 \cdot \sqrt[3]{38,4^2} = 3,69 \text{ МПа} \right).$$

Арматура стержневая горячекатаная класса А400.

- Физический предел текучести арматуры:

$$\sigma_y = 390 \text{ МПа} \left( \sigma_y = R_{sn} = 390 \text{ МПа} \right).$$

- Модуль упругости арматуры  $E_s = 19 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .

#### Параметры плиты:

- Плита балконная сплошная.
- Расчетная длина  $l_0 = 1,1 \text{ м}$ .
- Размеры сечения  $h \times b = 0,11 \times 3,4 \text{ м}$ ,  $h_0 = 0,08 \text{ м}$ ,  $a = h - h_0 = 0,03 \text{ м}$ .

- Рабочая продольная арматура  $5\varnothing 16$  класса А400;  $A_s = 10,05 \text{ см}^2$ .
- Конструктивная арматура  $\varnothing 6$  класса А240, шаг – 100 мм.

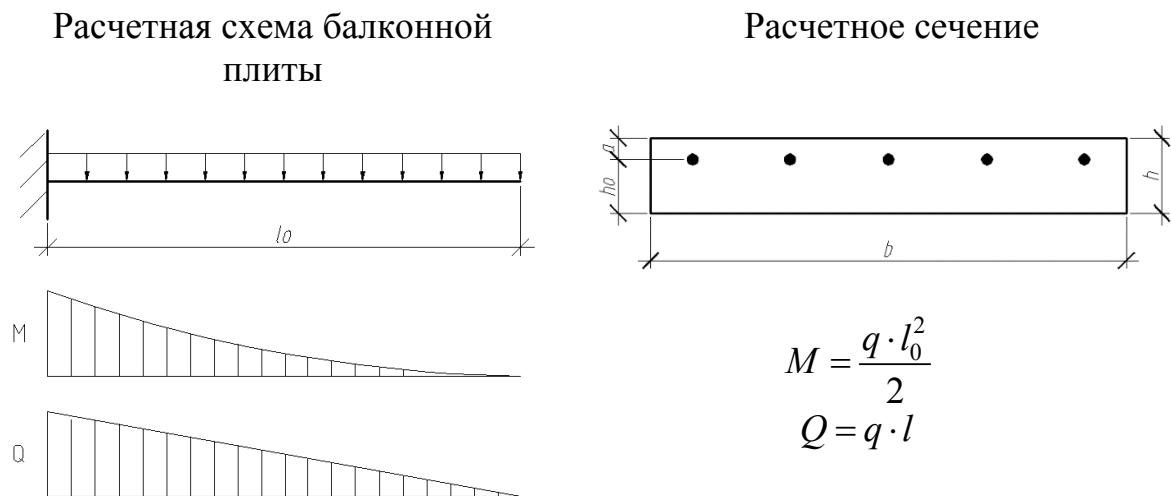


Рис. 3. Расчетные параметры плиты

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{\sigma_y \cdot A_s}{\bar{R}_b \cdot b} = \frac{390 \cdot 10,05}{28,85 \cdot 340} = 0,4 \text{ см} = 0,004 \text{ м}.$$

Теоретический момент, воспринимаемый сечением плиты непосредственно перед разрушением:

$$\begin{aligned} M_T &= \bar{R}_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) = \\ &= 28,85 \cdot 10^3 \cdot 3,4 \cdot 0,004 (0,08 - 0,5 \cdot 0,004) = 30,6 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Теоретическая разрушающая нагрузка:

$$q_p^T = \frac{2 \cdot M_T}{l_0^2} = \frac{2 \cdot 23,4}{1^2} = 46,8 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

## 2.2. Расчет прочности наклонного сечения

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_{b,\min} = 0,5 \cdot \bar{R}_{bt} \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 3,69 \cdot 10^3 \cdot 3,4 \cdot 0,08 = 501,84 \text{ кН}.$$

Теоретическая разрушающая нагрузка:

$$q_{p(\text{нс})}^T = \frac{Q_{b,\min}}{l_0} = \frac{501,84}{1,1} = 456,22 \frac{\text{кН}}{\text{м}};$$

$q_{p(нс)}^T > q_p^T = 46,8$  кН/м, следовательно, разрушение произойдет по нормальной трещине.

### 2.3 Определение теоретического значения нагрузки, соответствующей началу трещинообразования

Расчетные коэффициенты:

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} = \frac{10,05}{340 \cdot 80} = 0,00036;$$

$$\mu_1 = \frac{A_s}{b \cdot h} = \frac{10,05}{340 \cdot 110} = 0,00027;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{19 \cdot 10^4}{32,5 \cdot 10^3} = 5,85;$$

Упругопластический момент сопротивления приведенного сечения:

$$\begin{aligned} W_{pl} &= (0,292 + 1,5 \cdot \mu_1 \cdot \alpha) \cdot b \cdot h_0^2 = \\ &= (0,292 + 1,5 \cdot 0,00027 \cdot 5,85) \cdot 3,4 \cdot 0,08^2 = 0,0064 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Теоретический изгибающий момент при появлении трещин:

$$M_T^T = W_{pl} \cdot \bar{R}_{bt} = 0,0064 \cdot 3,69 \cdot 10^3 = 23,6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Теоретическая нагрузка, соответствующая появлению трещин:

$$q_T^T = \frac{2 \cdot M_T^T}{l_0^2} = \frac{2 \cdot 23,6}{1,1^2} = 39,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

### 2.4. Определение теоретического значения прогиба плиты

Задается условная контрольная нагрузка:

$$q_k = \frac{q_p^T}{1,5} = \frac{39,1}{1,5} = 26,07 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Изгибающий момент:

$$M_k = \frac{q_k \cdot l_0^2}{2} = \frac{26,07 \cdot 1,1^2}{2} = 15,77 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетные коэффициенты:

$\varphi_{ls} = 1,1$  – по [4, табл. 36];

$$\Psi_b = 0,9 \text{ – см. [4, п. 4.27]; } \varphi_m = \frac{R_{bt} \cdot W_{pl}}{M_k} = \frac{3,69 \cdot 10^3 \cdot 0,0064}{15,77} = 1,5 > 1,0$$

принимаем  $\varphi_m = 1$ ;

$$\Psi_s = 1,25 - \varphi_{ls} \cdot \varphi_m = 1,25 - 1,1 \cdot 1,0 = 0,15;$$

$\eta = 1$  – см. [4, п. 4.14];

$$\delta = \frac{M_k}{b \cdot h_0^2 \cdot \bar{R}_b} = \frac{15,77}{3,4 \cdot 0,08^2 \cdot 28,85 \cdot 10^3} = 0,025;$$

$\varphi_f = 0$ ;  $\lambda = 0$ ;

$\nu = 0,45$  – по [4, табл. 35].

Относительная высота сжатой зоны в сечении с трещиной:

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5 \cdot (\delta + \lambda)}{10 \cdot \mu \cdot \alpha}} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,025 + 0)}{10 \cdot 0,00036 \cdot 5,85}} = 0,018.$$

Плечо внутренней пары сил:

$$z = h_0 \left( 1 - \frac{\xi^2}{2(\varphi_f + \xi)} \right) = 0,08 \left( 1 - \frac{0,018^2}{2(0 + 0,018)} \right) = 0,07928 \text{ м.}$$

Кривизна плиты:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} &= \frac{M_k}{h_0 z} \left( \frac{\Psi_s}{E_s A_s} + \frac{\Psi_b}{\xi b h_0 E_b \nu} \right) = \\ &= \frac{15,77}{0,08 \cdot 0,07928} \left( \frac{0,15}{19 \cdot 10^4 \cdot 10^3 \cdot 10,05 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,9}{0,018 \cdot 3,4 \cdot 0,08 \cdot 32,5 \cdot 10^6 \cdot 0,45} \right) = \\ &= 486,44 (-0,0000008 + 0,0000126) = 0,033 \frac{1}{\text{м}}. \end{aligned}$$

Прогиб плиты:

$$f = s l_0^2 \frac{1}{r} = \frac{1}{4} \cdot 1,1^2 \cdot 0,033 = 0,01 \text{ м,}$$

где  $s$  – коэффициент, зависящий от расчетной схемы плиты, определяется по прил.1.

## 2.5. Определение теоретического значения ширины раскрытия трещин

Находим напряжение в рабочей арматуре:

$$\sigma_s = \frac{M_k}{A_s z} = \frac{15,77}{10,05 \cdot 10^{-4} \cdot 0,07928} = 19,79 \cdot 10^4 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 197,9 \text{ МПа.}$$

Ширина раскрытия нормальных трещин:

$$\begin{aligned} a_{cr} &= \eta \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100\mu) \cdot \sqrt[3]{d} = \\ &= 1 \cdot \frac{197,9}{19 \cdot 10^4} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \cdot 0,00036) \cdot \sqrt[3]{16} = 0,182 \text{ мм.} \end{aligned}$$

## 3. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОЙ КОНСТРУКЦИИ (ПЛИТЫ)

Опытная конструкция (плита) испытывается на стенде в соответствии с указаниями ГОСТ 8829–94 [2].

Нагрузка – равномерно распределенная, создается кирпичом или мелкогабаритными блоками.

Опорные устройства изготавливаются из металлических пластин размерами 150×100×20 мм, укладываемых на растворе, металлических катков (шаров) диаметром не менее 50мм и уголка № 50..100.

Нагрузка на плиту передается ступенями с выдержкой на каждой ступени в течение 4-5 мин по схеме, изложенной в подразд. 1.3.

При испытании плиты, например балочной, нагрузка создается домкратами, подвеской груза или нагрузочными балками.

Способ нагружения плиты, схема расположения опор и измерительных приборов, а также образец «Ведомости испытания» показаны на чертежах (прил.2).

## 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ И НАЗНАЧЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРОВЕРКЕ ПРОЧНОСТИ

### 4.1. Статистическая оценка достоверности результатов испытаний конструкций на изгиб

Расчетное (теоретическое) значение изгибающего момента, воспринимаемого нормальным сечением, принимается постоянным для одной серии конструкций, изготовленных из арматурной стали одной партии и бетона одного замеса. Все конструкции одной серии проходят одинаковый цикл термовлажностной обработки.

Изменчивость опытных значений изгибающего момента в одной серии опытных конструкций является закономерной и объясняется изменчивостью физико-механических характеристик бетона и арматуры в связи с их неоднородностью.

Для оценки достоверности результатов испытаний вычисляются следующие характеристики:

- среднее арифметическое значение опытного разрушающего момента:

$$M_{\text{опытн}}^{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{\text{опытн}}^i}{n},$$

где  $M_{\text{опытн}}^i$  – отдельные частные результаты испытаний из одной серии образцов (плит);

$n$  – число опытных данных в одной серии;

- среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{опытн}}^{\text{ср}} - M_{\text{опытн}}^i)^2}{n-1}}.$$

Количество опытов для получения достоверных результатов средне-квадратических отклонений определяется по табл.2.

Условие, удовлетворяющее сходимости результатов испытаний и расчета, определяется по формуле

$$\left[ M_{\text{оп}}^{\text{ср}} - t_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] < M_{\text{рас}} < \left[ M_{\text{оп}}^{\text{ср}} + t_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента, устанавливается по табл. 3 в зависимости от количества испытанных образцов ( $n$ ) и показателя надежности результатов испытаний ( $N$ ).

Таблица 2

Количество опытов для получения достоверных результатов среднеквадратических отклонений					
N	Относительная ошибка среднеквадратического отклонения				
	±3%	±5%	±10%	±20%	±80%
0,5	254	92	28	6	4
0,75	737	266	38	18	8
0,9	1507	545	139	37	19
0,95	2138	774	198	55	27
0,99	3704	1341	347	97	50
0,999	-	2189	575	166	86

Таблица 3

Таблица по статистической оценке определяемых характеристик бетона					
n/N	Значения коэффициента Стьюдента $t_c(n)$				
	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	6,31	1271	31,82	63,66	636,62
3	2,92	4,30	6,96	9,92	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
5	2,18	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,90	2,36	3,00	3,5	5,40
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,73	2,26	2,82	3,25	4,78
20	1,83	2,09	2,54	2,86	3,88
30	1,70	2,05	2,46	2,76	3,66
50	1,68	2,00	2,40	2,68	3,50
∞	1,64	1,96	2,33	2,57	3,29

#### 4.2. Оценка опытной конструкции по результатам испытаний

Опытная конструкция удовлетворяет требованиям прочности, жесткости и трещиностойкости при соблюдении нижеследующих условий:

- Если разрушающая нагрузка составляет не менее 95% от теоретической разрушающей нагрузки.
- Если величина остаточного прогиба не превышает 1/3 от величины полного измеренного прогиба.
- Если наибольшая ширина раскрытия трещины, измеренная после выдерживания под условной (нормативной) нагрузкой, не превышает 20% от теоретической ширины раскрытия трещины.
- Если в конструкции, в которой не допускается появление трещин в условиях эксплуатации, первые трещины появляются при нагрузке ниже теоретической по образованию трещин.

В случае, когда вышеназванные условия не выполняются или когда имеет место чрезмерное (более 20%) превышение разрушающей нагрузки относительно теоретического значения, следует уточнить расчетную схему и расчетные формулы, а также величины вводимых в расчет сопротивлений материалов.

### 4.3. Назначение контрольной нагрузки при проверке прочности конструкций

В соответствии с ГОСТ 8829–94 величина контрольной нагрузки по проверке прочности конструкций определяется умножением на коэффициент безопасности  $C$  величины нагрузки, соответствующей несущей способности конструкции и определенной расчетом с учетом расчетных сопротивлений материалов и принятой схемы нагружения. При этом учитываются характер и картина разрушения опытной конструкции.

Рассматриваются два основных случая разрушения [4]:

- 1-й случай – разрушение от достижения в рабочей арматуре нормального или наклонного сечения напряжений, соответствующих пределу текучести (условному пределу текучести) стали, ранее раздробления сжатого бетона;
- 2-й случай – разрушение от раздробления бетона сжатой зоны над нормальной или наклонной трещиной в изделии до достижения предела текучести (условного предела текучести) стали в растянутой арматуре, что соответствует хрупкому характеру разрушения.

При анализе результатов испытаний в качестве контрольного должно учитываться то значение разрушающей нагрузки из числа указанных в стандарте или в проектной документации, которое соответствует фактическому характеру разрушения испытанного изделия.

Значения коэффициента безопасности  $C$  для изгибаемых и внецентренно сжатых изделий для 1-го случая разрушения определяют по табл. 4.

Таблица 4

Класс арматуры	Коэффициент $C$
A-I, A-II	1,25
A-III, Ат-III, A-IIIв с контролем удлинений и напряжений, Вр-I	1,30
A-IV, Ат-IV, A-V, Ат-V, A-IIIв с контролем только удлинений	1,35
A-VI, Ат-VI, Ат-VII, B-II, Вр-II, К-7, К-19	1,40



## Контрольные вопросы

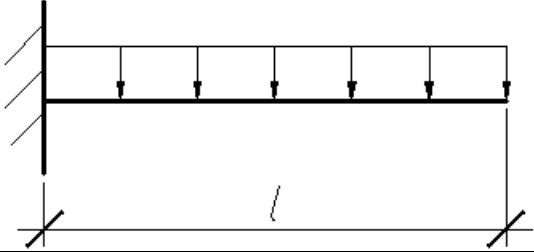
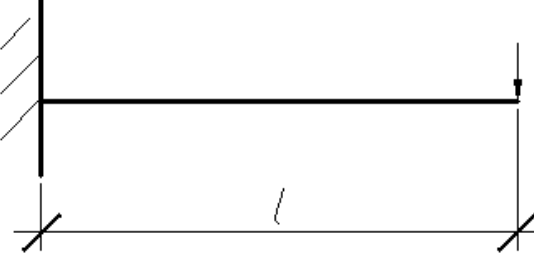
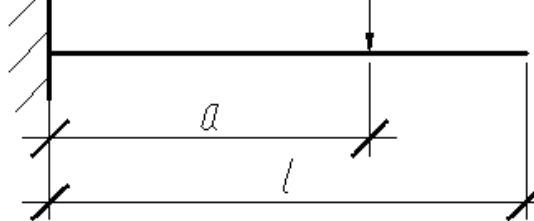
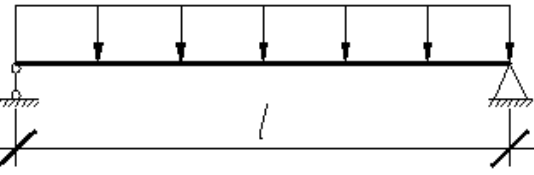
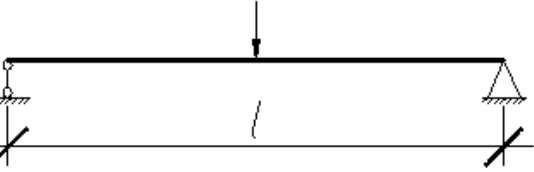
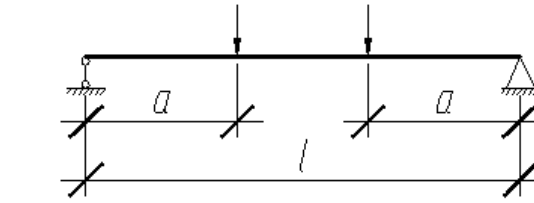
1. Цель экспериментальных исследований строительных конструкций.
2. Этапы экспериментально-теоретических исследований конструкций на стадии внедрения в производство.
3. Задачи, решаемые на первом этапе экспериментальных исследований.
4. Теоретические задачи, решаемые на втором этапе исследований.
5. Задачи, решаемые на третьем этапе экспериментально-теоретических исследований.
6. Методика испытаний бетонных образцов-призм на сжатие.
7. Методика испытаний железобетонных образцов-балочек на изгиб.
8. Какие физико-механические характеристики бетона устанавливаются по результатам испытаний призм и балочек?
9. В чем различие между средневзвешенным, нормативным и расчетным сопротивлением материала (бетона и арматуры)?
10. Какой вид сопротивления материала вводится в расчетные формулы при оценке прочности, жесткости и трещиностойкости опытной конструкции?
11. Методика испытания опытной конструкции (на примере плиты покрытия).
12. Назовите типы опорных устройств, используемых при испытании конструкций.
13. Каким способом можно нагрузить опытную плиту для создания равномерно распределенной нагрузки?
14. Какие задачи решаются при статистической обработке результатов испытаний опытной конструкции?
15. В каком случае результаты испытаний считаются достоверными?
16. Что влияет на показатель надежности  $N$  результатов испытаний?
17. Как учитывается характер разрушения железобетонных конструкций при назначении величины контрольной испытательной нагрузки?
18. Как назначается контрольная испытательная нагрузка при оценке жесткости и трещиностойкости?
19. В чем различие методик испытания опытной конструкции и рядовой, находящейся в производстве конструкции?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 15.901-91. Система разработки и постановки продукции на производство. Конструкции, изделия и материалы строительные [Текст]. – М., 1991.
2. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости [Текст]. – М., 1994.
3. Рекомендации по методике определения параметров, характеризующих свойства различных бетонов при расчете прочности нормальных сечений стержневых железобетонных элементов [Текст]. – М., 1984.
4. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М., 2003.
5. Еремеев, Б.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Железобетонные и каменные конструкции» [Текст]/ Б.И. Еремеев, А.А. Кондратчик, В.П. Бранцевич. – Брест, 1990.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Величины коэффициента s

Схема нагружения	Коэффициент s
	$\frac{1}{4}$
	$\frac{1}{3}$
	$\frac{a}{6 \cdot l} \cdot \left( 3 - \frac{a}{l} \right)$
	$\frac{5}{48}$
	$\frac{1}{12}$
	$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6 \cdot l^2}$

Приложение 3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА»  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
по дисциплине «Методы экспериментальных исследований строительных конструкций» (магистратура)

Выдано студенту \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

Разработать программу экспериментальных исследований конструкции, предназначенной к внедрению в производство

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Вид конструкции \_\_\_\_\_

Длина (м) \_\_\_\_\_

Размеры сечения (мм) \_\_\_\_\_

Характеристика материала (ов) \_\_\_\_\_

Бетон \_\_\_\_\_

Арматура \_\_\_\_\_

Ст.профиль \_\_\_\_\_

Древесина \_\_\_\_\_

Кирпич \_\_\_\_\_

Раствор \_\_\_\_\_

Прочие данные \_\_\_\_\_

**Содержание работы:**

1. Выполнить, используя показатели прочности материала(ов), расчет конструкции по двум группам предельных состояний.

2. По результатам расчета назначить величины контрольных нагрузок и исследуемых параметров конструкции: разрушающая нагрузка, деформация (прогиб), момент образования и ширина раскрытия трещин.

3. Разработать: схему нагружения конструкции, схему расстановки приборов, журнал испытаний.

4. Описать методику проведения эксперимента (этапы нагружения, время выдержки под нагрузкой и снятия отсчетов по приборам).

5. Изложить методику назначения нормативной и расчетной нагрузки на конструкцию, используя при этом результаты экспериментальных исследований.

6. Выполнить чертежи: опытной конструкции, схемы нагружений, схемы расстановки приборов, формы журнала испытаний.

Задание выдал \_\_\_\_\_

Учебное издание

Гучкин Игорь Сергеевич  
Белюсева Инна Александровна

## МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к курсовому проекту  
по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство»

Редактор                    М.А. Сухова  
Верстка                    Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 21.01.16.            Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 1,395.    Уч.-изд.л. 1,5.            Тираж 80 экз.  
Заказ № 73.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.