

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРОЧНОСТИ БЕТОНА,
НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов 3 и 4 курсов специальности 08.03.01.01
«Строительство» всех форм обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2024

УДК 624
ББК 38.53
Э41

Рекомендовано Методическим советом университета

Рецензент

Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»

ФГБОУ ВО «ТГТУ»

К. А. Андрианов

Э41 **Экспериментальное** определение прочности бетона, нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов [Электронный ресурс] : методические указания / сост. : А. Н. Николукин, А. В. Худяков. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 1,68 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены методические указания по экспериментальному и теоретическому определению прочности бетона разрушающим и неразрушающим методами, прочности нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов.

Предназначены для студентов 3 и 4 курсов специальности 08.03.01.01 «Строительство» всех форм обучения.

УДК 624
ББК 38.53

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

ВВЕДЕНИЕ

Студенты 3 и 4 курсов дневной и вечерне-заочной форм обучения специальности 08.03.01.01 «Строительство» выполняют цикл лабораторных работ по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции».

Для успешного выполнения лабораторных работ студентам необходимы знания, полученные при изучении дисциплин: «Сопротивление материалов», «Строительная механика», «Железобетонные и каменные конструкции».

При проведении лабораторных работ студенты должны определить различными методами прочность бетонных образцов, экспериментальную и теоретическую несущие способности, прочность нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных балок.

Правильно оформленные лабораторные работы защищаются по вопросам, приведенным в конце каждой лабораторной работы.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ
БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ РАЗРУШАЮЩИМ
И НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ**

Цель работы: изучение различных методов определения прочностных характеристик бетона.

Приборы и материалы: молоток Кашкарова; измеритель времени распространения ультразвука «ПУЛЬСАР-1»; измеритель прочности бетона отрывом со скалыванием «ОНИКС-ОС»; склерометр RGKSK-60; гидравлический пресс; вспомогательные таблицы для определения прочности бетона; бетонные кубы со стороной ребер 100 мм.

**А) Определение прочности бетона эталонным молотком Кашкарова
(неразрушающий метод)**

Порядок выполнения

В местах испытания поверхность бетона конструкции должна быть ровной без пор и раковин. При шероховатой поверхности и при наличии краски она зачищается металлической щеткой.

1. На подготовленную поверхность бетона наносят серию ударов (5 – 10) средней силы через копировальную и белую листы бумаги. Удар наносят перпендикулярно к испытываемой поверхности. После каждого удара эталонный металлический стержень передвигают в отверстия корпуса молотка не менее, чем на 10 мм так, чтобы отпечатки располагались на одной линии (рис. 1).

2. Измерить два отпечатка диаметров – один на поверхности бетона, другой на эталонном металлическом стержне. Отпечатки на бумаге и эталонном стержне измеряются угловым масштабом с точностью до 0,1 мм. Результаты измерений заносят в табл. 1.

3. Для каждой выполненной серии отпечатков одного места выполняют сумму диаметров всех полученных отпечатков отдельно на бетоне и на эталонном стержне и их отношение d_{β}/d_c .

4. Определить прочность бетона на сжатие по табл. 2 «отношение величин отпечатков на бетоне и эталоне–прочность».

1. Результаты измерения диаметров отпечатков

Номер измерения	Диаметры отпечатков на эталонном стержне d_c , мм	Диаметры отпечатков на поверхности бетона d_{β} , мм	Отношение d_c/d_{β}	Примечание
1	2	3	4	5

2. Унифицированная зависимость $H = d_c/d_{\beta}$ к прочности бетона

H	R_i		H	R_i		H	R_i		H	R_i	
	МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²
1,1	55,6	570	1,58	23,1	235	2,06	13,5	138	2,54	8,1	83
1,12	54,3	555	1,6	22,4	228	2,08	13,3	135	2,56	8,0	82
1,14	52,6	536	1,62	21,8	222	2,1	13,1	133	2,58	7,8	79
1,16	50,7	517	1,64	21,2	216	2,12	12,9	132	2,6	7,5	77
1,18	49,1	501	1,66	20,3	210	2,14	12,7	129	2,62	7,3	75
1,2	47,5	484	1,68	20,1	204	2,16	12,4	127	2,64	7,2	73
1,22	45,6	465	1,7	19,4	198	2,18	12,3	126	2,66	6,9	70
1,24	44,8	446	1,72	18,9	193	2,2	12,1	123	2,68	6,7	68
1,26	41,9	427	1,74	18,3	187	2,22	11,9	122	2,7	6,5	66
1,28	40,1	407	1,76	17,9	183	2,24	11,7	119	2,72	6,4	65
1,3	38,1	389	1,78	17,6	179	2,26	11,5	117	2,74	6,1	62
1,32	36,9	375	1,8	17,2	175	2,28	11,2	114	2,76	5,9	60
1,34	34,9	356	1,82	16,8	171	2,3	10,9	111	2,78	5,7	58
1,36	33,8	342	1,84	16,4	167	2,32	10,8	110	2,8	5,5	56

H	R_i		H	R_i		H	R_i		H	R_i	
	МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²		МПа	кгс/см ²
1,38	32,2	328	1,86	16,0	163	2,34	10,4	106	2,82	5,2	53
1,4	30,8	314	1,88	15,8	161	2,36	10,3	105	2,84	5,0	51
1,42	29,6	302	1,9	15,5	158	2,38	10,1	103	2,86	4,8	49
1,44	28,4	290	1,92	15,1	154	2,4	9,8	100	2,88	4,6	47
1,46	27,6	281	1,94	14,9	152	2,42	9,6	98	2,9	4,4	45
1,48	26,6	271	1,96	14,5	148	2,44	9,4	96	2,92	4,1	42
1,5	25,8	263	1,98	14,2	145	2,46	9,1	93	2,94	3,8	39
1,52	24,9	254	2	14,1	143	2,48	8,8	90	2,96	3,6	37
1,54	24,2	247	2,02	13,8	141	2,5	8,6	88	2,98	3,4	35
1,56	23,7	241	2,04	13,6	139	2,52	8,3	85	3	3,2	33

Примечание. При промежуточных значениях H определяют R_i интерполяцией.

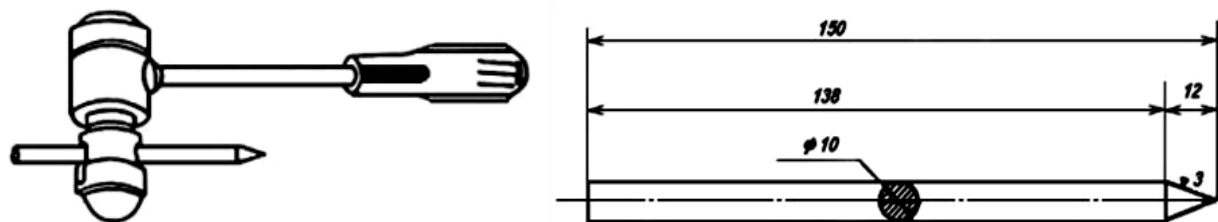


Рис. 1. Эталонный молоток Кашкарова

Б) Определение прочности бетона ультразвуковым прибором – Пульсар 1.2 (неразрушающий метод)

Работа прибора основана на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником на измеренное время. Для повышения достоверности в каждом измерительном цикле автоматически выполняется 6 измерений, и результат формируется путем их статистической обработки с отбраковкой выбросов. Оператор

выполняет серию измерений (задается в серии от 1 до 10 измерений), которая также подвергается математической обработке с отбраковкой выбросов и определением среднего значения, коэффициента вариации, коэффициента неоднородности. Скорость распространения ультразвуковой волны в материале зависит от его плотности и упругости, от наличия дефектов (трещин и пустот), определяющих прочность и качество.

Порядок выполнения

1. Зачистить поверхность и по возможности смазать участки приложения датчиков сквозного прозвучивания;
2. Настроить прибор для необходимых измерений;
3. Провести замер в режиме работы прибора – «сквозное прозвучивание» (рис. 2).

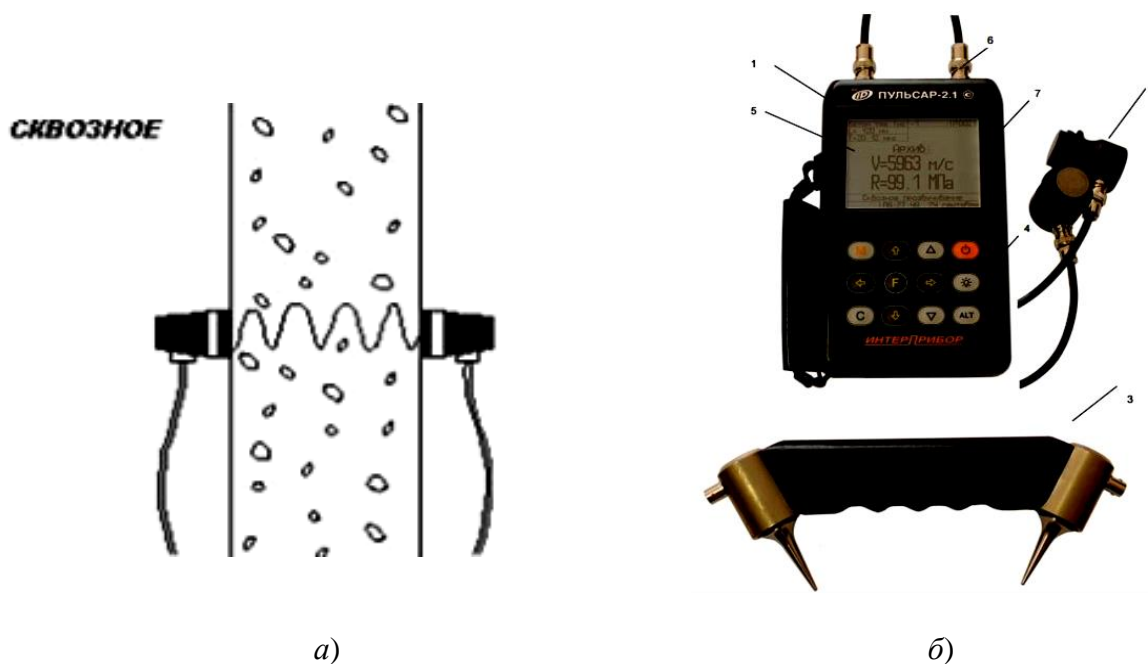


Рис. 2. Ультразвуковой прибор «Пульсар-1.2»:

а – сквозное прозвучивание бетонного образца:

б – Пульсар 1.2; 1 – электронный блок; 2 – ультразвуковой преобразователь – датчики сквозного прозвучивания; 3 – ультразвуковой преобразователь – датчик поверхностного прозвучивания; 4- и 12-клавишная клавиатура; 5 – графический дисплей; 6 – разъемы для подключения датчика поверхностного прозвучивания или датчиков сквозного прозвучивания; 7 – разъем USB-интерфейса

В) Определение прочности бетона склерометром RGKSK-60 (неразрушающий метод)

Принцип работы склерометра (рис. 3) основан на ударе бойка о верхний слой бетона, с последовательным измерением величины его отскока в единицах измерения на шкале. Полученные данные указывают на косвенные характеристики прочности, стойкости и крепости бетона на сжатие.

- 1 Измеряемая тестовая поверхность
- 2 Индентор
- 3 Пыльник
- 4 Полукольца
- 5 Рабочая пружина
- 6 Корпус
- 7 Фиксатор 1
- 8 Шкала
- 9 Скалка
- 10 Центральный стержень
- 11 Поводок бегунка
- 12 Бегунок
- 13 Держатель собачки
- 14 Пружина собачки
- 15 Фиксатор 2
- 16 Задняя крышка
- 17 Компрессионная пружина
- 18 Контр. гайка
- 19 Упорный болт
- 20 Кнопка-стопор
- 21 Блокиратор кнопки
- 22 Пружина кнопки
- 23 Собачка
- 24 Корпус
- 25 Боёк
- 26 Кольцо пружины
- 27 Демпферная пружина
- 28 Блокиратор пружины
- 29 Колпачок

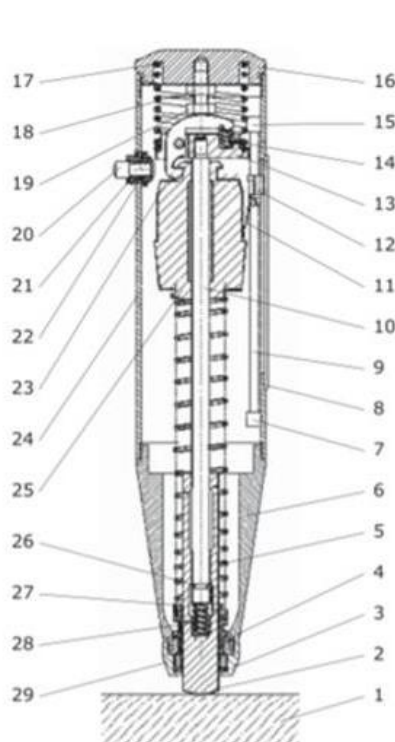


Рис. 3. Склерометр RGKSK-60

Порядок выполнения

1. Разблокировать прибор нажатием кнопки-стопора 20. Индентатор 2 выдвинется из корпуса 6 прибора.

2. Расположить прибор перпендикулярно (можно под углом) тестируемой поверхности бетона.

3. Медленно надавить (индентатор 2 войдет в корпус 6) до щелчка. Скалка 9 поднимется вверх. По шкале 8 отметить показания силы отскока.

Если значения увидеть затруднительно, то зафиксировать показания нажатием кнопки-стопора 20.

Повторить измерения не менее 10 раз при расстоянии между точками приложения не менее 3 см.

По полученным показаниям определить прочность бетона по табл. 3.

3. Зависимости величины отскока на склерометры к прочности бетона при разных углах наклонах

Величина отскока на приборе R_m	Прочность на сжатие R (Н/мм ² = МПа)									
	положение склерометра к поверхности бетона (+) α				горизонталь	положение склерометра к поверхности бетона (+) α				
	+90°	+60°	+45°	+30°		0°	-30°	-45°	-60°	-90°
20	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	13,1	13,7	14,3	14,9	
21	10,3	10,3	10,3	10,3	11,4	14,3	14,9	15,5	16,2	
22	10,3	10,3	10,3	10,3	12,5	15,4	16,0	16,7	17,4	
23	10,3	10,3	10,3	10,4	13,7	16,7	17,4	18,0	18,8	
24	10,3	10,3	10,5	11,6	14,9	17,9	18,6	19,3	20,0	
25	10,3	10,8	11,6	12,7	16,2	19,2	20,0	20,8	21,5	
26	11,0	12,0	12,8	14,0	17,5	20,6	21,4	22,1	22,8	
27	11,9	13,3	14,0	15,3	18,9	22,1	22,8	23,6	24,5	
28	13,4	14,6	15,4	16,7	20,3	23,5	24,3	25,0	25,9	
29	14,8	16,0	16,7	18,0	21,8	25,0	25,9	26,7	27,6	
30	16,2	17,5	18,2	19,6	23,3	26,5	27,4	28,2	29,1	
31	17,6	18,9	19,6	21,0	24,9	28,2	29,1	30,0	30,9	
32	19,1	20,8	21,2	22,7	26,5	29,8	30,7	31,6	32,5	
33	20,8	22,0	22,7	24,3	28,2	31,6	32,5	33,5	34,4	

Величина отскока на приборе R_m	Прочность на сжатие R (Н/мм ² = МПа)								
	положение склерометра к поверхности бетона (+) α				горизонталь	положение склерометра к поверхности бетона (+) α			
	+90°	+60°	+45°	+30°		0°	-30°	-45°	-60°
34	22,4	23,6	24,5	26,0	30,0	33,3	34,2	35,2	36,1
35	24,1	25,2	26,0	27,8	31,8	35,2	36,1	37,1	38,2
36	25,9	27,1	27,9	29,6	33,6	36,9	37,9	38,9	39,9
37	27,8	28,8	29,6	31,4	35,5	38,9	39,9	41,0	42,0
38	29,6	30,7	31,6	33,5	37,5	40,7	41,8	42,8	43,9
39	31,6	32,5	33,5	35,4	39,5	42,8	43,9	45,0	46,1
40	33,6	34,6	35,5	37,5	41,6	44,8	45,9	47,0	48,1
41	35,5	36,5	37,5	39,5	43,7	47,0	48,1	49,2	50,4
42	37,7	38,7	39,7	41,8	45,9	49,0	50,2	51,3	52,5
43	39,7	40,7	41,8	43,9	48,1	51,3	52,5	53,6	54,8
44	42,0	43,0	44,1	46,3	50,4	53,4	54,6	55,8	57,0
45	44,1	45,2	46,3	48,5	52,7	55,8	57,0	58,2	59,5
46	46,5	47,6	48,7	51,0	55,0	58,0	59,2	60,0	—
47	48,7	49,9	51,0	53,4	57,5	—	—	—	—
48	51,3	52,5	53,6	56,0	60,0	—	—	—	—
49	53,6	54,8	56,0	58,5	—	—	—	—	—
50	56,8	57,5	58,8	60,0	—	—	—	—	—

Г) Определение прочности бетона прибором «ОНИКС-ОС» (неразрушающий метод)

Принцип работы прибора заключается в измерении усилия вырыва анкера из тела бетона. Анкер устанавливается в предварительно подготовленный шпур (просверленное отверстие в теле конструкции) или бетонируется при изготовлении конструкции. Затем анкер соединяется тягой с гидропрессом, с помощью которого осуществляется его вырыв из тела бетона. В процессе нагружения прессы усилие на анкере растет до экстремального значения, при котором происходит вырыв фрагмента бетона, после чего усилие падает до нуля. Электронный блок автоматически отслеживает процесс нагружения и запоминает экстремальные точки разрушения бетона (рис. 4).

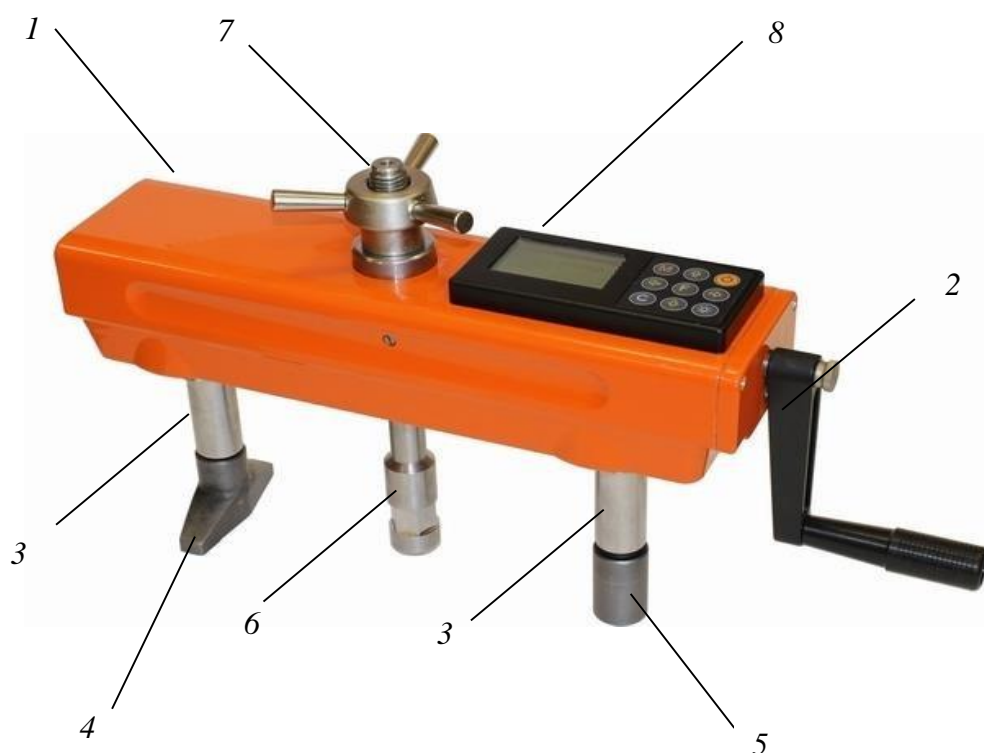


Рис. 4. Внешний вид приборов исполнения ОНИКС-1.ОС.050:

1 – корпус, в котором смонтированы датчик силы; 2 – поршневой насос с рукояткой с дисплея нажатием кнопки привода; 3 – рабочие гидроцилиндры; 4 – опоры; 5 – механизм вырыва анкера; 6 – анкер; 7 – штурвал; 8 – электронный блок

Порядок выполнения

Подготовку объекта к испытаниям проводить в соответствии с ГОСТ 22690–2015.

1. Провести визуальный осмотр конструкции в целях определения внешних дефектов: трещин, расслоений, раковин и др.

2. Выполнить разбивку объекта однородных зон на контролируемые участки и наметить точки выполнения испытания. Отверстия выполнять в центрах арматурных ячеек на расстоянии не менее 150 мм от края или границ ярусов бетонирования при условии, что в радиусе 90 мм от центра шпура нет видимых дефектов, а в радиусе 70 мм нет арматуры и закладных деталей. Расстояние между шпурами должно быть не менее 200 мм.

3. Отверстия выполнить сверлильным или ударно-вращательным инструментом. Допускаемое отклонение от перпендикулярности не более 1/25 (не более 4 мм на высоте 100 мм). Шпур после бурения необходимо тщательно очистить от пыли и бетонной крошки, например, продувкой сжатым воздухом, а при необходимости откалибровать по диаметру, например, шлямбуром. Для образования отверстий при изготовлении конструкций допускается применять закладные пробки.

Размеры анкерного устройства должны соответствовать параметрам шпура. Диаметр шпура не должен превышать диаметр анкера более чем на 1 мм, глубина шпура H (начальная глубина заделки) выбирается в соответствии с рабочей глубиной заделки (захвата) анкера h и толщиной b вставочные кольца (табл. 4).

4. Рекомендуемые параметры глубины шпура

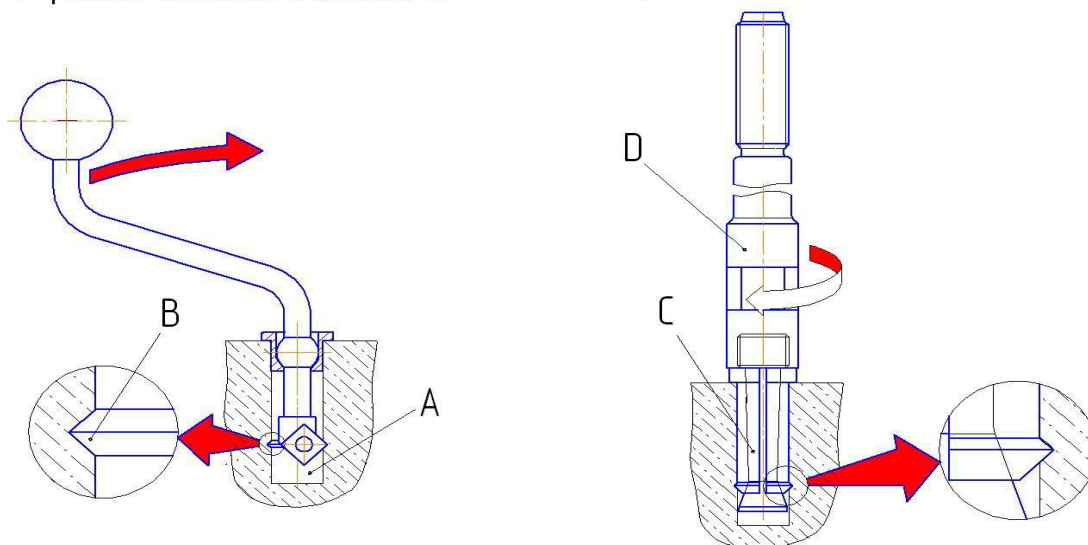
Параметры отверстия (заделки), мм	H	37	42	47	60
	h	25	30	35	48
Состав анкерного устройства	Анкер	Ø16×35			Ø24×48
	3 сегмента	Ø16×35			Ø24×48
	Кольцо	$b = 10$ мм	$b = 5$ мм	–	–

С помощью специального расточного устройства (рис. 5) выполнить кольцевую проточку в шпуре для надежного сцепления бетона с анкером. Проточка выполняется на заданной глубине захвата режущей твердосплавной кромкой.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1-сверление отверстия А
2- расточивание канавки В

3-установка анкерного устройства С
4-закрепление тяги D



5-предварительное натяжение анкера штурвалом E
6-нагрузка до разрушения бетона при вращении рукоятки F

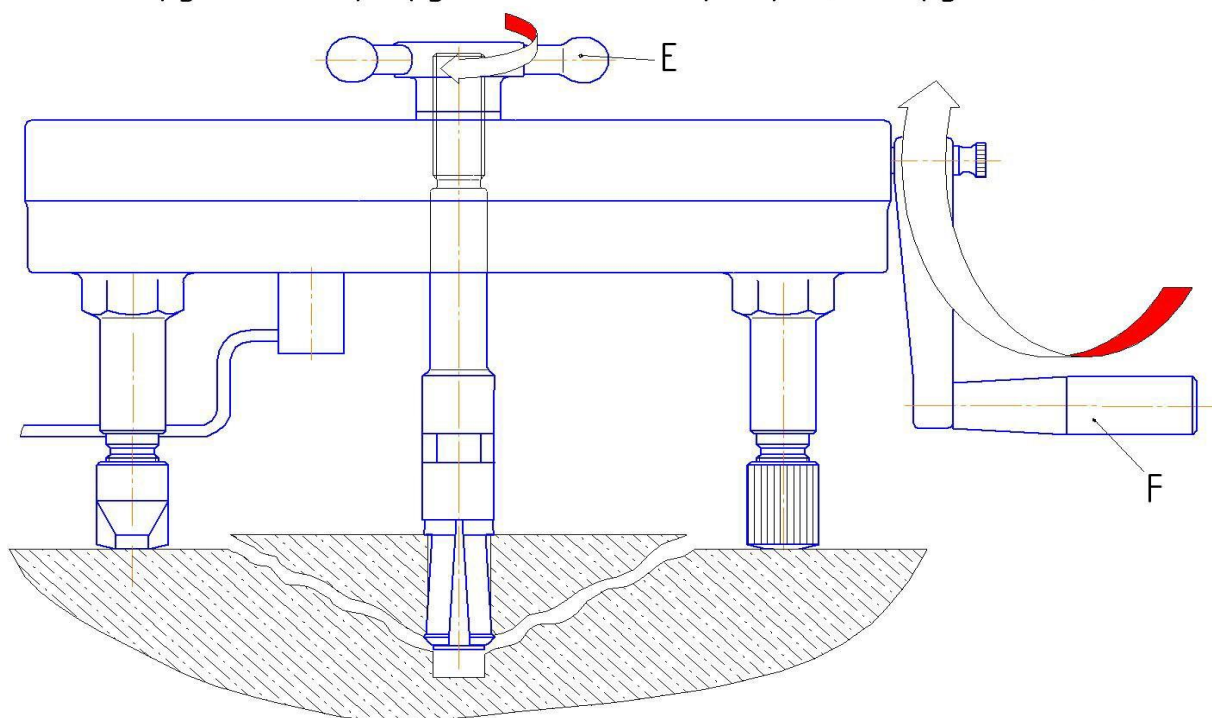


Рис. 5. Подготовка и установка прибора «ОНИКС-ОС» для испытаний

4. Подготовить гидропресс и провести испытания. Для чего:

4.1. Установить прибор в сборе с сегментами в шпур таким образом, чтобы выступы сегментов анкера попали в проточку. Убедиться в надежности фиксации анкера в шпуре покачиванием тяги в стороны.

4.2. Привести пресс в исходное состояние, соответствующее его полной разгрузке, вращая рукоятку привода против часовой стрелки до упора.

4.3. Завернуть опору 5 до отказа. Затянуть рукой штурвал 7, создавая предварительное натяжение тяги с анкером, необходимое для надежного базирования пресса на поверхности бетона в трех опорных точках.

При затягивании штурвала 7 не должно происходить проскальзывания анкера в шпуре. В противном случае следует переустановить анкер после дополнительного углубления проточки для обеспечения надежного сцепления бетона с сегментами.

4.4. После выполнения вышеуказанных подготовительных операций приступить к измерениям. При работе в ручном режиме:

– нажать клавишу – прибор из главного меню перейдет в режим измерений;

– повторно нажать клавишу и, равномерно вращая рукоятку привода по часовой стрелке, обеспечить скорость нагружения в пределах 1,5...3 кН/с, отмеченных верхней темной линейкой на линейном индикаторе нагружения;

– произвести нагружение анкера до контрольного усилия по прочности бетона или до отрыва фрагмента бетона;

– снять показания с дисплея нажатием кнопки «М»;

– нажать на клавишу «М» и на дисплее появится результат (рис. 6).

Полученные результаты зафиксировать и повторить измерения в другой точке.



Рис. 6. Результаты измерений на экране дисплея

Д) Лабораторный способ определения прочности бетона (разрушающий метод)

Метод основан на испытаниях до разрушения под прессом заранее изготовленных образцов.

Порядок выполнения

1. Измерить размеры основания образца и определить площадь поперечного сечения.
2. Установить образец на нижней опорной плите прессы.
3. Нагрузку на образец подавать непрерывно с постоянной скоростью $0,6 \pm 0,2$ мм/с до разрушения.
4. По полученному значению разрушающего усилия найти предел прочности при сжатии.

Предел прочности для тяжелого бетона при сжатии (R [кгс/см², МПа]) определяется по формуле

$$R_{сж} = \frac{\alpha k_w P_{\max}}{F},$$

где P_{\max} – разрушающая нагрузка, Кн; F – площадь поперечного сечения образца, см²(м²); α – масштабный коэффициент к прочности на сжатие эталонного образца в зависимости от размеров образцов с учетом крупности заполнителя (при стороне образца 100 мм – $\alpha = 0,91$); $k_w = 1$ – коэффициент, принимаемый для тяжелого бетона.

По всем полученным результатам прочности бетона сделать вывод.

Е) Обработка полученных результатов (определение фактической прочности в партии)

Оценка однородности бетона по прочности должна проводиться изготовителем железобетонных конструкций по анализу разброса результатов прочности бетона, выпускаемого за срок от одной недели до 2 месяцев.

В нашем случае за анализируемый период принят 1 месяц, в течение которого осуществлялось изготовление контрольных образцов-кубов. Получив данные по единичной прочности образцов в своих сериях, а в целом по потоку, можно получить фактическую прочность бетона в партии – R_m . Эта прочность определяется как среднее значение прочности по всем испытанным сериям

Среднее значение прочности бетона R_m данного состава, произведенного за контролируемый период, определяют по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^N R_{сж} n_i}{\sum_{i=1}^N n_i},$$

где $R_{сж}$ – прочности бетона в каждой из каждого лабораторного испытания, проконтролированных в течение анализируемого периода; n_i – число единичных значений прочности бетона в каждой i -й из N партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода; $\sum_{i=1}^N n_i$ – общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период

Данные о фактической прочности бетона, полученные при исследовании образцов, заносятся в табл. 5.

Значения среднего квадратичного отклонения для партии S_{mi} в табл. 5 получают по формуле

$$S_{mi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}}.$$

5. Результаты измерений и определение коэффициента вариации

№	Число испытаний, шт	Прочность $R_{сж}$, МПа	Прочность R_m , МПа	Среднее квадратичное отклонение S_{mi} , МПа	Коэффициент вариации, V_{mi} , %	Примечания
1						
2						
3						

Коэффициент вариации прочности партии в процентах вычисляют по формуле

$$V_n = \frac{S_{mi}}{R_m} \cdot 100\% .$$

При изготовлении конструкции в заводских условиях максимально допустимый коэффициент вариации прочности партии составляет не более 8%. В противном случае, в соответствии с требованиями нормативных документов, требуется внеплановая аттестация лаборатории (или завода), где проводилось изготовление конструкций.

Вопросы для проверки

1. Способы определения прочности бетона.
2. Классификация бетона.
3. Классы и марки бетона.
4. Кубиковая и призмная прочности бетона.
5. Влияние сил трения на прочность и характер разрушения бетона.
6. Начальный модуль упругости бетона.

Список используемых источников: [1, с. 34 – 46], [2, с. 28 – 38], [4, с. 22 – 28].

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ
НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ
ПРИ ИЗГИБЕ С РАЗРУШЕНИЕМ
ПО РАСТЯНУТОЙ АРМАТУРЕ**

Цель работы: экспериментальное определение фактической прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента с одиночным армированием и сравнение ее с расчетным значением прочности балки.

Приборы и материалы: железобетонная ненапрягаемая балка; пресс П-50; линейка; штангенциркуль.

Балку испытывают как однопролетную шарнирно опертую конструкцию в условиях чистого изгиба (рис. 7).

Порядок выполнения работы

1. Установить балку на шарнирные опоры.
2. Измерить поперечное сечение балки, расстояние между опорами и до точек приложения сил.
3. Довести балку до разрушения с фиксацией разрушающего усилия F по показанию контрольной стрелки силоизмерителя прессы.
4. Измерить диаметр продольной рабочей арматуры и толщину защитного слоя бетона.
5. Определить диаметр штангенциркулем, класс арматуры по виду насечки и толщину защитного слоя бетона.
6. Класс бетона установить одним из способов, показанных в лабораторной работе 1.

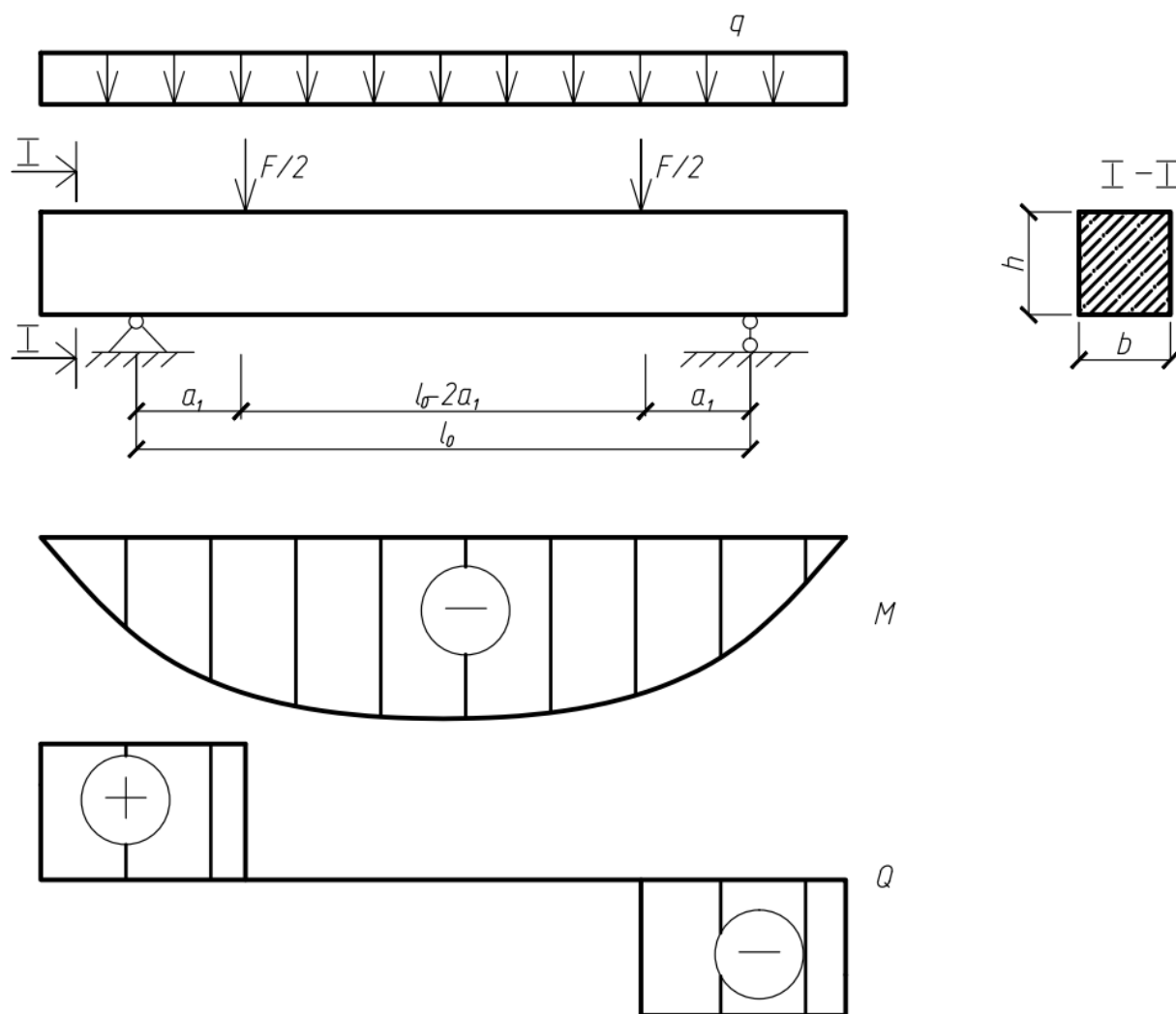


Рис. 7.

a – схема испытания балки может сделать эпюры без учета собственного веса;

б – эпюры изгибающих моментов и перерезывающих сил

без учета собственного веса балки

Методические указания

Балку загружают двумя сосредоточенными равными по величине силами $F/2$ и равномерно распределенной нагрузкой от собственного веса. Изгибающий момент в середине пролета балки определяют по формуле

$$M_{cr} = \frac{F a_1}{2} + \frac{g l_0^2}{8},$$

где $g = b h \gamma'$ – собственный вес 1 м.п. балки в кН/м; $\gamma' = 25 \text{ кН/м}^3$ – плотность железобетона; a_1 – в метрах; F – разрушающее усилие в кН.

Определение расчетной прочности нормального сечения балки

Несущая способность нормального сечения балки с одиночным армированием:

$$M_{bs} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right);$$
$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b},$$

где x – высота сжатой зоны.

Относительная высота сжатой зоны $\xi = x/h_0$, R_s и R_b – расчетные сопротивления арматуры и бетона. Результаты измерений и схему армирования балки показаны на рис. 8.

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны вычисляют по формуле 3.15 [3] или по табл. 3.2 [3]. Сравнивают ξ и ξ_R . Если $\xi \leq \xi_R$, то разрушение произойдет по растянутой зоне; если не выполняется это условие, то по сжатой зоне.

Оценка прочности балки

Прочность балки оценивают путем сравнения величин фактической M_{st} и расчетной M_{bs} значений изгибающих моментов. По результатам оценки составляют заключение по работе.

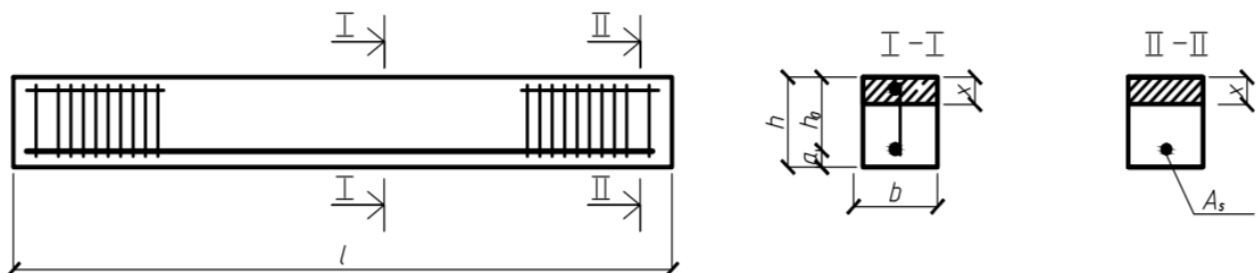


Рис. 8. Геометрические размеры и схема армирования балки

Вопросы для проверки

1. Какие задачи решались в процессе испытания и после его окончания?
2. Арматура. Назначение и виды.
3. Механические свойства арматуры.
4. Сцепление арматуры с бетоном.
5. Какие прочностные и геометрические характеристики влияют на несущую способность балки?
6. Какая стадия напряженно-деформированного состояния положена в основу расчета на прочность изгибаемых железобетонных элементов?
7. Нормативные и расчетные сопротивления бетона и арматуры.
8. В каком случае начинается разрушение по растянутой зоне балки?
9. Пояснить схему приложения нагрузок на балку.

Список используемых источников: [1, с. 155 – 169], [4, с. 47 – 49, 59 – 61].

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ
НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ
ПРИ ИЗГИБЕ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЖАТОЙ ЗОНЕ БЕТОНА**

Цель работы: экспериментальное определение фактической прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента с одиночным армированием и сравнение ее с расчетным значением прочности балки.

Приборы и материалы: железобетонная ненапрягаемая балка и пресс П-50. Условия испытания см. в лабораторной работе 2.

Порядок выполнения работы

1. Установить балку на шарнирные опоры.
2. Измерить поперечное сечение балки, расстояние между опорами и до точек приложения сил.
3. Довести балку до разрушения с фиксацией разрушающего усилия F по показанию контрольной стрелки силоизмерителя прессы.
4. Измерить диаметр продольной рабочей арматуры и толщину защитного слоя бетона.
5. Определить класс арматуры по виду насечки.
6. Класс бетона установить одним из способов, показанных в лабораторной работе 1.

Методические указания

Различают два расчетных случая для изгибаемых элементов в зависимости от положения высоты сжатой зоны бетона (x): при $x \leq x_R$ (где x_R – граничная высота сжатой зоны бетона), сначала разрушается растянутая арматура, а затем раздавливается сжатая зона бетона (случай – 1); при $x > x_R$ (случай – 2)

сначала разрушается сжатая зона бетона с последующим достижением напряжения в растянутой арматуре предела текучести. Железобетонные элементы, разрушение которых происходит по сжатой зоне бетона, считаются перearмированными, однако в практике они встречаются.

Изгибающий момент в середине пролета балки определяют как в лабораторной работе 2:

$$M_{cr} = \frac{F a_1}{2} + \frac{g l_0^2}{8}.$$

Определение расчетной прочности нормального сечения балки:

высота сжатой зоны

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b};$$

относительная величина сжатой зоны

$$\xi = x/h_0,$$

при $\xi > \xi_R$ разрушение происходит по сжатой зоне бетона.

Расчетная несущая способность нормального сечения балки:

$$M = a_R R_b h_0^2,$$

см. табл. 3.2 [3] в зависимости от класса арматуры [3].

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны вычисляют по формуле 3.15 [3] или по табл. 3.2 [3]. Оценка прочности балки определяется сравнением фактического и теоретического значений изгибающих моментов.

Вопросы для проверки

1. Какие задачи решались в процессе испытания и после его окончания?
2. Арматура. Назначение и виды.
3. Механические свойства арматуры.
4. Сцепление арматуры с бетоном.
5. Какие прочностные и геометрические характеристики влияют на несущую способность балки.

6. Какая стадия напряженно-деформированного состояния положена в основу расчета на прочность изгибаемых железобетонных элементов?
7. Нормативные и расчетные сопротивления бетона и арматуры.
8. В каком случае начинается разрушение по сжатой зоне балки?
9. Пояснить схему приложения нагрузок на балку.
10. Почему при разрушении по сжатой зоне изгибаемые элементы менее экономичны.

Список используемых источников: [1, с. 155 – 169], [4, с. 47 – 49, 59 – 61].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ

Цель работы: экспериментальное определение прочности наклонных сечений железобетонной балки без поперечного армирования на опирных участках и сравнение их с теоретическим значением максимальной поперечной силы, а также выяснить характер разрушения.

Приборы и материалы: пресс П-50 и железобетонная балка. Условия испытания см. в лабораторной работе 3. Схема армирования балки представлена на рис. 9.

Порядок выполнения работы

1. Установить балку на шарнирные опоры.
2. Измерить поперечное сечение балки, расстояние между опорами и до точек приложения сил.
3. Довести балку до разрушения с фиксацией разрушающего усилия F по показанию контрольной стрелки силоизмерителя прессы и характера разрушения.
4. Измерить толщину защитного слоя бетона.
5. Класс бетона установить одним из способов, показанных в лабораторной работе 1.

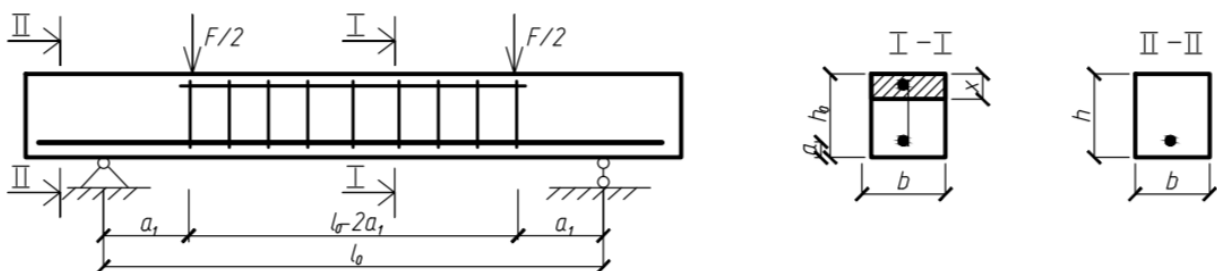


Рис. 9. Геометрические размеры и схема армирования балки

Методические указания

При расчете по первой группе предельных состояний необходимо обеспечить прочность не только нормальных сечений, но и наклонных. Прочность нормальных сечений при изгибе проверяется по максимальному изгибающему моменту, а наклонных – по максимальной поперечной силе, действующей на приопорных участках. На приопорных участках наблюдается плоское напряженное состояние, в котором действует не только главные сжимающие, но и главные растягивающие усилия, действующие. Наличие достаточно больших главных растягивающих усилий может привести к разрушению железобетонного элемента на приопорных участках.

Разрушение балки по наклонному сечению ожидается от действия поперечной силы, так как вся продольная арматура балки доведена до опор и надежно заанкерена.

Поперечная сила у опор $Q_{\max} = F/2 + gl/2$, где g – определяют по формуле $g = bh\gamma'$, где $\gamma' = 25 \text{ кН/м}^3$ – для тяжелого бетона; F – разрушающее усилие в кН.

Расчетная прочность балки по наклонным сечениям

Минимальная поперечная сила, воспринимаемая бетоном без поперечной арматуры $Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_0$, где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению, МПа.

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном $Q_b = 1,5R_{bt}b h_0^2/c$, где c – длина проекции наиболее опасного наклонного сечения на продольную ось элемента, принимаемая равной расстоянию от опоры до точки приложения силы $c = a$.

При $Q_{\max} > Q_b$ разрушение произойдет по наклонному сечению на действие поперечной силы. При испытании особое внимание уделяется на обра-

зование и развитие наклонных трещин. Усилие разрушения балки F устанавливают по показанию контрольной стрелки силоизмерительного прибора прессы.

Вопросы для проверки

1. Какие задачи решались в процессе испытания и после его окончания?
2. Какие прочностные и геометрические характеристики влияют на несущую способность балки?
3. В каком случае разрушение балки происходит от действия поперечной силы?
4. В каком случае разрушение балки происходит от действия изгибающего момента силы?
5. Условие прочности при расчете изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечной силы.
6. Описать схему испытания балки и ее армирование.
7. Правила установки поперечной арматуры в изгибаемых железобетонных элементах.

Список используемых источников: [1, с. 169 – 180], [2, с. 38 – 40].

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МАРКИ КИРПИЧА**

Цель работы: ознакомление с методами определения марки кирпича.

Материалы и приборы: кирпичи и пресс П-50.

Порядок выполнения работы

1. Измерить площадь поперечного сечения образца (с точностью до 1 см^2).

2. Установить образец на нижнюю опору гидравлического пресса так, чтобы геометрический центр совпал с центром опоры. Образец установить на пресс той гранью, которая при изготовлении была снизу.

3. Отпустить верхнюю опору на образец, доведя его до разрушения. Нагрузку подавать непрерывно и равномерно со скоростью подачи 6 кгс/см^2 в секунду.

4. Определить предел прочности при сжатии $R(\text{МПа})$ по разрушающей нагрузке F .

Опыт повторить. Данные заносятся в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики прочности	Опыт 1	Опыт 2	Примечание
Предел прочности при сжатии (МПа)			
Марка кирпича (МПа)			
Среднее значение			

Методические указания

Марку кирпича определяют по пределу прочности на осевое сжатие подготовленных и испытанных на гидравлическом прессе образцов.

Для определения предела прочности при сжатии отобранные для испытания кирпичи распиливают по ширине на две равные части. Затем обе половинки постелями накладывают одна на другую так, чтобы поверхности распила были направлены в противоположные стороны, склеивают цементным тестом из портландцемента. Толщина слоя цементного теста должна быть не более 5 мм. Кроме того, цементным слоем 3 мм выравнивают обе внешние поверхности параллельные соединительному шву.

Изготовленные таким образом образец должен быть близок по форме к кубу. Нормы допускают испытание кирпича в образцах из двух целых кирпичей, уложенных постелями один на другой.

После изготовления образцов для испытаний проверяют параллельность и перпендикулярность плоскостей куба с помощью угольника.

Для испытания следует выдержать в лаборатории во влажных условиях в течение 3–4 суток для затвердевания теста, после чего их испытывают на сжатие.

При определении прочности при сжатии образец устанавливают на нижнюю опору гидравлического пресса так, чтобы геометрический центр совпал с центром опоры. Затем верхнюю опору опускают на образец, доводя его до разрушения. Значение разрушающего усилия фиксируется по показанию контрольной стрелки силоизмерителя пресса.

Предел прочности при сжатии определяется по формуле

$$R = F/A,$$

где F – разрушающая нагрузка, кН; A – рабочая площадь, см²;
1 кН/см² = 10 МПа.

Среднее значение предела прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое из результатов испытаний.

Вопросы для проверки

1. Способы определения марки кирпича.
2. Марки кирпича и раствора.
3. Прочность кирпичной кладки.
4. Деформативность кирпичной кладки.
5. Стадии напряженно-деформируемого состояния кирпичной кладки.
6. Факторы, влияющие на прочность кирпичной кладки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, В. М. Железобетонные и каменные конструкции: учебник для вузов / В. М. Бондаренко и др. – М. : Высшая школа, 2008. – 887 с.
2. Проектирование железобетонных конструкций : справочное пособие / А. Б. Голышев, В. Я. Бачинский и др. ; под ред. А. Б. Голышева. – Киев : Будивельник, 1990. – 554 с.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101–2003) ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. – М. : ОАО ЦНИИПромзданий, 2003. – 144 с.
4. Попов, Н. Н. Проектирование и расчет железобетонных конструкций : учебное пособие для строительных специальных вузов / Н. Н. Попов, А. В. Забегаев. – М. : Высшая школа, 1985.
5. СП 52-101–2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного натяжения арматуры Госстрой России. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 41 с.

Учебное электронное издание

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРОЧНОСТИ БЕТОНА,
НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Методические указания

Составители:

**НИКОЛЮКИН Алексей Николаевич
ХУДЯКОВ Александр Владимирович**

Редактирование И. В. Калистратовой
Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная
Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

Подписано к использованию 18.03.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 32

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru