

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Кафедра строительных конструкций, оснований и фундаментов
имени профессора Борисова Ю. М.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов специальности
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
и направления 08.03.01 «Строительство» всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 691.3(07)
ББК 38.3я7

Составители: А. Э. Поликутин, П. А. Зябухин

Конструкционные свойства строительных композитов: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и направления 08.03.01 «Строительство» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. Э. Поликутин, П. А. Зябухин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 40 с.

В методических указаниях дается методика проведения, выполнения и оформления результатов лабораторных работ по исследованию механических характеристик основных конструкционных материалов, широко используемых в строительстве. Приводятся необходимые справочные и нормативные сведения.

Предназначены для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и направления 08.03.01 «Строительство» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КССК_ЛР.

Ил. 16. Табл. 11. Библиогр.: 8 назв.

УДК 691.3(07)
ББК 38.3я7

Рецензент – Ю. В. Иванов, канд. техн. наук, доц. кафедры
металлических и деревянных конструкций ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технологического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Испытания физико-механических свойств конструкционных материалов, применяемых в строительстве, развитие физических и механических методов контроля основных конструкционных материалов имеют большое значение для развития строительной науки и техники. Результаты испытаний дают возможность проверить эксплуатационную пригодность, надежность, качество уже используемых для строительных конструкций и вновь разрабатываемых материалов, а также правильность технологии изготовления строительных материалов. Испытания имеют особое значение для важнейшего конструкционного компонента – бетона, теория сопротивления которого строится на опытных данных и исходит из действительного напряженно-деформированного состояния под нагрузкой.

Настоящие методические указания призваны ознакомить студентов с основами испытаний важнейших конструкционных материалов, а также основными физическими и механическими методами разрушающего и неразрушающего контроля механических характеристик, включая статистическую обработку результатов измерений.

Методическими указаниями предусмотрено выполнение лабораторных испытаний бетонных образцов с целью определения прочности разрушающими и неразрушающими методами, определение механических характеристик арматурной стали, испытание кирпича. Предлагается выполнить четыре лабораторные работы. В первой работе исследуется прочность стандартных бетонных образцов с применением неразрушающих методов контроля (ультразвукового, пластических деформаций, упругого отскока, ударного импульса) во второй прочность образцов, использованных в первой работе, определяется разрушающими методами, выполняется анализ и сравнение результатов по первой и второй работам. В третьей механические свойства арматурной стали определяют путем ее испытания на растяжение с построением диаграммы деформирования. В четвертой определяется предел прочности кирпича при сжатии и изгибе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

1.1. Цель работы

Определить прочность бетона при сжатии путем испытания образцов в форме кубиков неразрушающими методами.

1.2. Задание

- Выполнить визуальный осмотр образцов с целью отбраковки и подготовки их поверхности для проведения испытаний;
- обозначить на боковых гранях образцов места для приведения испытаний;
- определить прочность бетонных образцов ультразвуковым методом по ГОСТ 17624–2012 [2] с помощью ультразвукового прибора УК-14ПМ;
- определить прочность бетонных образцов по ГОСТ 22690-2015 [1] с использованием молотка Кашкарова;
- определить прочность бетонных образцов по ГОСТ 22690-2015 [1] с помощью склерометра ОМШ-1;
- определить прочность бетонных образцов по ГОСТ 22690-2015 [1] с помощью измерителя ИПС-МГ4;
- выполнить статистическую обработку результатов измерений;
- сравнить результаты определения прочности бетона;
- рассчитать прочность бетона при растяжении;
- оформить отчет;
- ответить на контрольные вопросы.

1.3. Краткие теоретические сведения

Неразрушающие методы позволяют наиболее оперативно и экономически выгодно по косвенным характеристикам определить прочность бетона и другие его параметры. Различают механические и ультразвуковые методы определения прочности и других параметров бетона.

Прочность бетона определяют по предварительно установленным градуировочным зависимостям между прочностью бетонных образцов и косвенными характеристиками прочности.

В зависимости от применяемого метода косвенными характеристиками прочности являются:

- при использовании метода пластических деформаций (молоток Кашкарова) – соотношение диаметров отпечатков на бетоне и стандартном образце;

- при использовании метода упругого отскока – значение отскока бойка от поверхности бетона (склерометр ОМШ-1);
- метод ударного импульса на связи прочности бетона с энергией удара и ее изменениями в момент соударения бойка с поверхностью бетона (ИПС-МГ4).

Использование ультразвукового метода основано на известных зависимостях параметров механических колебаний упругой среды от ее физико-механических характеристик плотности – ρ ; модуля упругости – E , модуля сдвига – G и коэффициента Пуассона – μ .

Важнейшей характеристикой волны является скорость ее распространения c

$$c = \frac{\sqrt{E}}{\rho} * K \quad (1.1)$$

где K – коэффициент, зависящий от формы среды:

$$K = \sqrt{\frac{1 - \mu}{(1 + \mu) * (1 - 2\mu)}} \quad (1.2)$$

– для объемных (трехмерных) сред – массивов;

$$K = \sqrt{1 - \frac{1}{\mu^2}} \quad (1.3)$$

– для плоских (двухмерных) сред – пластин;

$$K \cong 1 \quad (1.4)$$

– для линейных (одномерных) сред – стержней.

Контроль прочности осуществляют по скорости прохождения через бетон переднего фронта продольной ультразвуковой волны (скорости ультразвука) исходя из градуировочной зависимости (рис. 1.1).

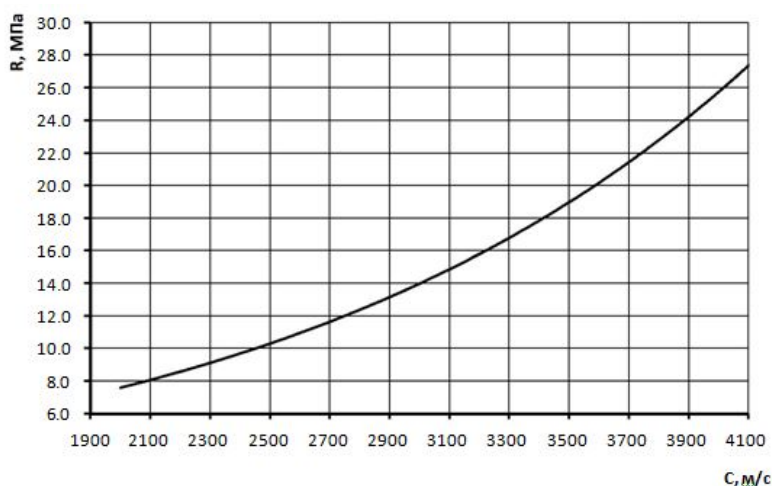


Рис. 1.1. Зависимость напряжения от скорости прохождения ультразвуковой волны

Скорость ультразвука определяют по времени t (мкс) его прохождения на участке определенной длины L (мм), называемой базой прозвучивания, по формуле

$$C = 10^3 * \frac{1}{t} \left(\frac{м}{с} \right) \quad (1.5)$$

Для генерации и приема ультразвуковых колебаний применяются пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП), действие которых основано на пьезоэлектрических эффектах – прямом и обратном. Прямой эффект состоит в появлении электрических зарядов на границах некоторых кристаллов при их сжатии или растяжении. Обратный эффект – в возникновении деформаций при внесении подобных кристаллов в электрическое поле.

1.4. Выполнение работы

1.4.1. Определение прочности бетона с помощью ультразвукового прибора УК-14ПМ (рис. 1.2).

Для надежного контакта между преобразователем и поверхностью бетона в местах прозвучивания наносится тонкий слой технического вазелина, машинного масла или других вязких материалов. Если на поверхности бетона в месте установки преобразователей имеются мелкие трещины, раковины или поры глубиной и диаметром более 2 мм, их заделывают гипсовым раствором. Различные неровности обрабатывают механическим путем.

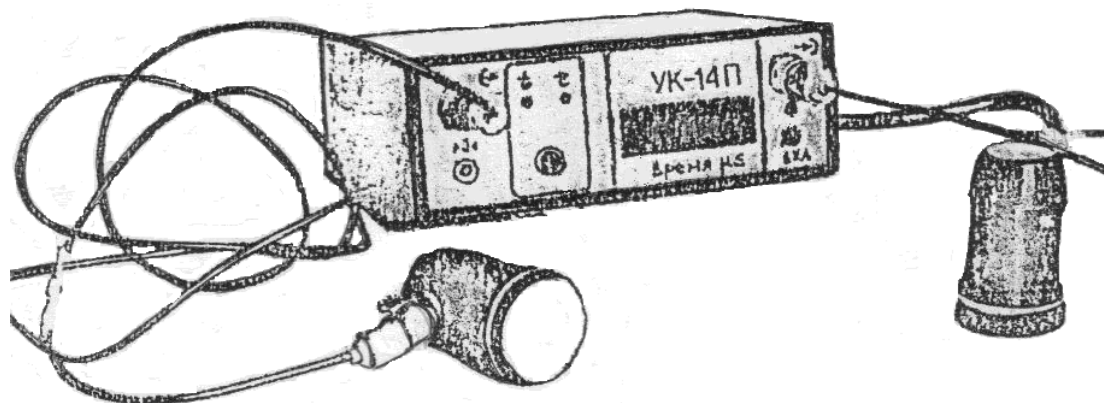


Рис. 1.2. прибор УК-14ПМ

Для приведения прибора УК-14ПМ в рабочее состояние необходимо:

- включить в сеть шнур блока питания и включить кнопку сетевого питания «сеть», которая находится на верхней стенке прибора;
- подключить преобразователи к разъемам;
- включить прибор нажатием на кнопку «ВКЛ», при этом должен загореться индикатор включения и индикатор «РЕЖИМ».

Далее необходимо произвести коррекцию систематической погрешности прибора с помощью комплекта отраслевых стандартных образцов (рис. 1.3), для

чего установить преобразователи соосно на торцевых поверхностях образца МД 19-0-1 (входит в комплект поставка УК-14ПМ), предварительно смазанных контактной жидкостью и произвести измерение времени распространения УЗК по цифровому индикатору "ВРЕМЯ" (+); произвести аналогичные измерения времени распространения УЗК в образцах МД 19-0-1 и МД 19-0-2,

установленных друг на друга через контактную среду; вычислить истинное время распространения УЗК в образце МД 19-0-2 по формуле

$$t_{2n} = t_3 - t_1 \quad (1.6)$$

где t_{2n} – истинное время распространения УЗК в образце МД 19-0-2;
 t_3 – время распространения УЗК в образцах МД 19-0-1 и МД 19-0-2;
 t_1 – то же, в образце МД 19-0-1.

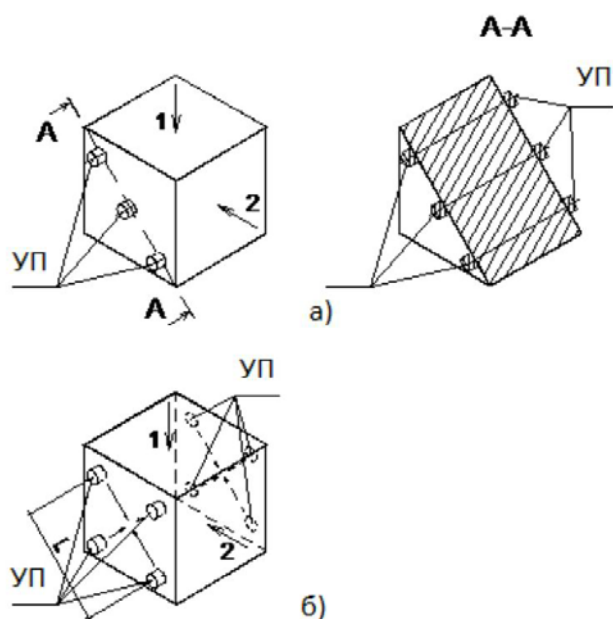


Рис. 1.3. Схемы испытания кубов бетона прибором УК-14ПМ:

а – схема испытания кубов способом сквозного прозвучивания; б – схема испытания кубов способом поверхностного прозвучивания; УП – ультразвуковые преобразователи; 1 – направление формования; 2 – направление испытания при сжатии; L – база прозвучивания

Далее, установив преобразователи соосно на торцевых поверхностях образца МД-0-2, предварительно смазанных контактной жидкостью, необходимо с помощью регулировки добиться равенства измеренного t_2 и истинного времени распространения УЗК.

Для измерения времени распространения УЗК в образцах и изделиях преобразователи устанавливаются соосно на образце материала или контролируемом изделии, также предварительно смазанных контактной жидкостью, и при наличии устойчивых показаний результат фиксируется по цифровому индикатору «ВРЕМЯ» (t).

Прочность бетона в образце или конструкции определяется по градуировочной кривой 1.1. в зависимости от измеренной скорости прохождения УЗК. Результаты измерения времени t , базы прозвучивания L и вычисления скорость c записываются в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений

Испытания	База прозвучивания L , м	Время УЗК t , мкс	Скорость УЗК c , м/с	Прочность при сжатии R , МПа	Прочность при сжатии $R_{ср}$, МПа
1					
2					
n					

Прочность бетона определяют по градуировочной кривой, проводя перпендикуляр от оси абсцисс к найденным значениям скорости УЗК до пересечения с графиком (рис. 1.1) и отыскивая проекцию точки пересечения на ось ординат.

1.4.2. Определение прочности бетона механическим методом с помощью молотка Кашкарова, склерометра ОМШ-1 и измерителя ИПС-МГ4.

Общее число измерений на каждом образце для метода упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации при ударе должно быть не менее установленного числа испытаний на участке по табл. 1.2, а расстояние между местами ударов - не менее 30 мм (15 мм для метода ударного импульса). Для метода пластической деформации при вдавливании число испытаний на каждой грани должно быть не менее двух, а расстояние между местами испытаний - не менее двух диаметров отпечатков.

Таблица 1.2

Общее число измерений на каждом образце для метода упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации

Наименование метода	Общее число измерений на участке	Минимальное расстояние между местами измерений на участке, мм	Минимальное расстояние от края конструкции до места измерения, мм	Минимальная толщина конструкции, мм
Упругий отскок	9	30	50	100
Ударный импульс	10	15	50	50
Пластическая деформация	5	30	50	70

После каждого испытания передвигается стальной эталонный стержень на 10 мм. Граница участка испытания должна быть не ближе 50 мм от края образца. Удары молотком Кашкарова (рис. 1.4, 1.5) или склерометром (рис. 1.7) наносятся перпендикулярно поверхности бетона.

Для удобства измерений полученных отпечатков на бетоне удары рекомендуется наносить через листы белой и копировальной бумаги. Для этого на испытываемую поверхность образца (конструкции) кладут копировальную бумагу черной стороной вверх, а на нее белую бумагу. При ударе на бумаге остается черный отпечаток.

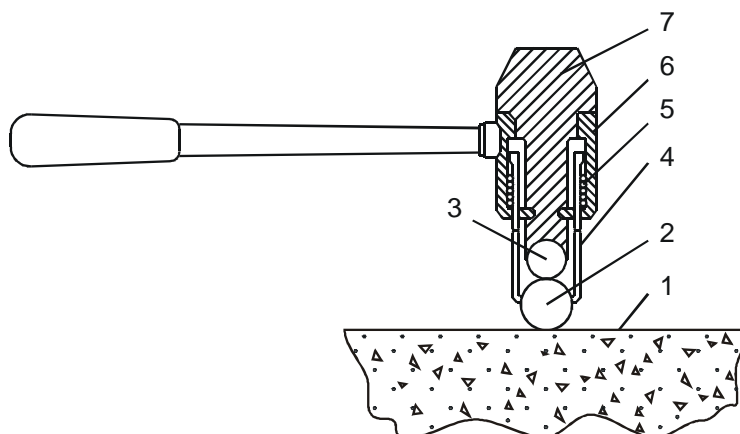


Рис. 1.4. Конструкция эталонного молотка Кашкарова:

1 – испытываемый бетон; 2 – дентор (шарик); 3 – эталонный стержень;
4 – стакан; 5 – пружина; 6 – корпус; 7 – головка

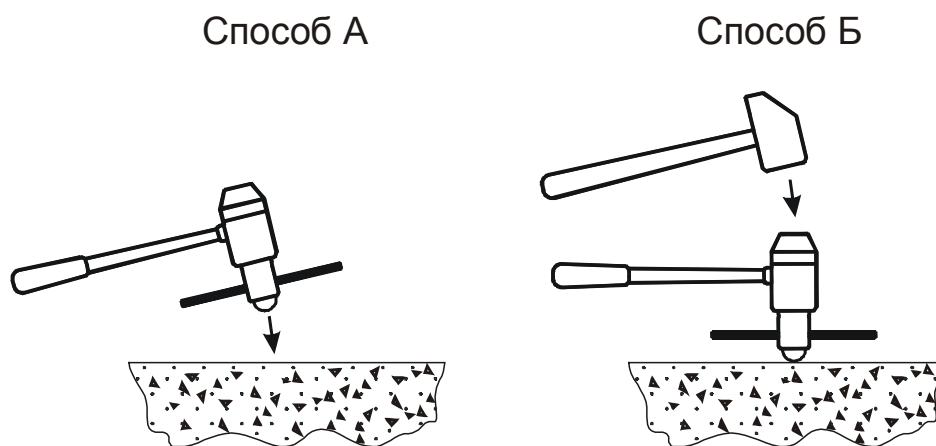


Рис. 1.5. Способы испытания бетона: А – нанесение ударов эталонным молотком; Б – нанесение ударов на узких ребрах конструкций.

На эталонном стержне отпечатки измеряются по образующей стержня. За диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение результатов двух взаимно-перпендикулярных измерений, вычисленных с погрешностью не более 0,5 мм

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (1.7)$$

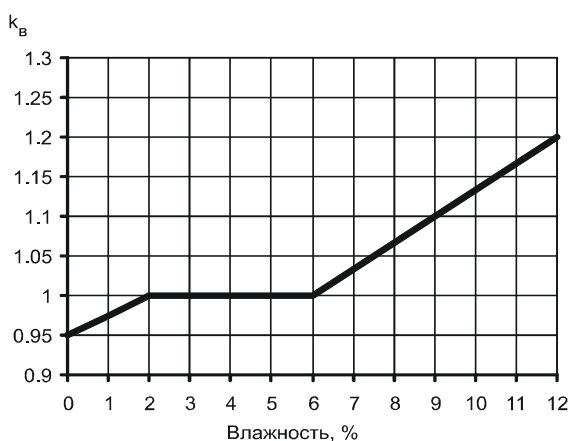
где d_1, d_2 – диаметры отпечатков по двум перпендикулярным направлениям.

Прочность бетона на сжатие определяется по формуле

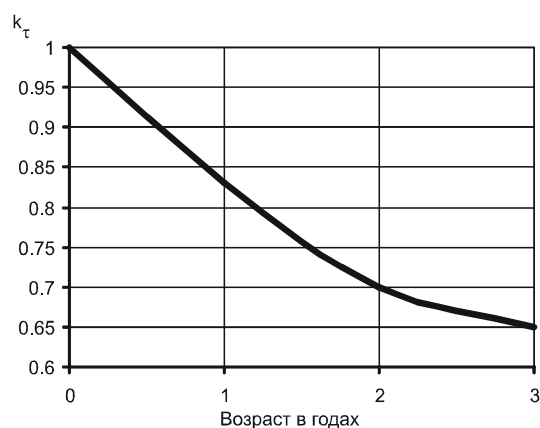
$$R = k_B * k_T * \bar{R} \quad (1.8)$$

где k_B, k_T – коэффициенты, учитывающие соответственно влажность и возраст бетона, определяемые по графикам рис. 1.6 (а, б);

\bar{R} – средняя прочность бетона (МПа), определяемая по градуировочной табл. 1.3 или графику на рис. 1.8.



а)



б)

Рис. 1.6. Коэффициенты, учитывающие влажность (а) и возраст бетона (б)

1. Ударник;
2. Испытываемый бетон;
3. Комплектный кожух;
4. Указатель (стрелка) со штангой;
5. Нажимная кнопка в комплекте;
6. Подвижный шток;
7. Направляющий диск;
8. Колпачок;
9. Разделенное на две части кольцо;
10. Крышка;
11. Пружина сжатия;
12. Защелка;
13. Шток;
14. Пружина отдачи;
15. Ударная пружина;
16. Втулка;
17. Войлочное кольцо;
18. Плексигласовое окошко со шкалой;
19. Болта;
20. Контргайка;
21. Штифт;
22. Пружина защелки.

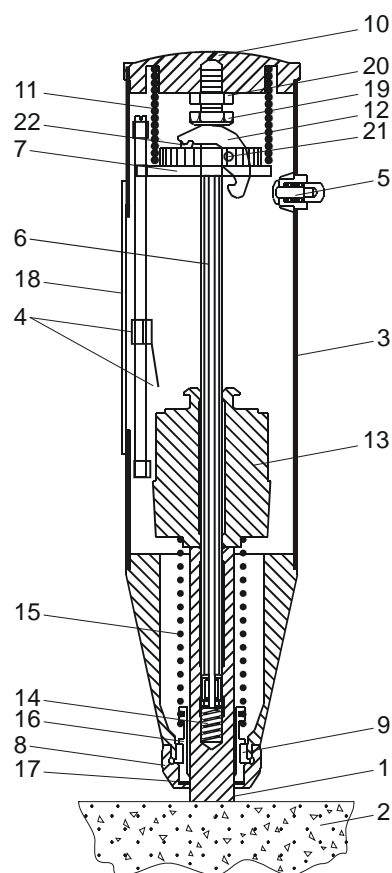


Рис. 1.7. Продольный разрез склерометра ОМШ-1

Таблица 1.3

Кубиковая прочность бетона (R) при сжатии в зависимости от соотношения диаметров отпечатков ($H=d_6/d_3$)

H	$R^{H, y}$		H	$R^{H, y}$		H	$R^{H, y}$		H	$R^{H, y}$	
	МПа	кгс/см ₂		МПа	кгс/см ₂		МПа	кгс/см ₂		МПа	кгс/см ₂
1,10	55,6	567	1,58	23,1	235	2,06	13,5	138	2,54	8,1	83
1,12	54,3	554	1,60	22,4	228	2,08	13,3	136	2,56	8,0	82
1,14	52,6	536	1,62	21,8	222	2,10	13,1	134	2,58	7,8	80
1,16	50,7	517	1,64	21,2	216	2,12	12,9	131	2,60	7,5	76
1,18	49,1	501	1,66	20,3	207	2,14	12,7	129	2,62	7,3	74
1,20	47,5	484	1,68	20,1	205	2,16	12,4	126	2,64	7,2	73
1,22	45,6	465	1,70	19,4	198	2,18	12,3	125	2,66	6,9	70
1,24	44,8	457	1,72	18,9	193	2,20	12,1	123	2,68	6,7	68
1,26	41,9	427	1,74	18,3	187	2,22	11,9	121	2,70	6,5	66
1,28	40,1	409	1,76	17,9	182	2,24	11,7	119	2,72	6,4	65
1,30	38,1	388	1,78	17,6	179	2,26	11,5	117	2,74	6,1	62
1,32	36,9	376	1,80	17,2	175	2,28	11,2	114	2,76	5,9	60
1,34	34,9	356	1,82	16,8	171	2,30	10,9	111	2,78	5,7	58
1,36	33,8	345	1,84	16,4	167	2,32	10,8	110	2,80	5,5	56

H	R ^{H, y,}		H	R ^{H, y,}		H	R ^{H, y,}		H	R ^{H, y,}	
	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
1,40	30,8	314	1,88	15,8	161	2,36	10,3	105	2,84	5,0	51
1,42	29,6	302	1,90	15,5	158	2,38	10,1	103	2,86	4,8	49
1,44	28,4	290	1,92	15,1	154	2,40	9,9	101	2,88	4,6	47
1,46	27,6	281	1,94	14,9	152	2,42	9,6	98	2,90	4,4	45
1,48	26,6	271	1,96	14,5	148	2,44	9,4	96	2,92	4,1	42
1,50	25,8	263	1,98	14,2	145	2,46	9,1	93	2,94	3,8	39
1,52	24,9	254	2,00	14,1	144	2,48	8,8	90	2,96	3,6	37
1,54	24,2	247	2,02	13,8	141	2,50	8,6	88	2,98	3,4	35
1,56	23,7	242	2,04	13,6	139	2,52	8,3	85	3,00	3,2	33

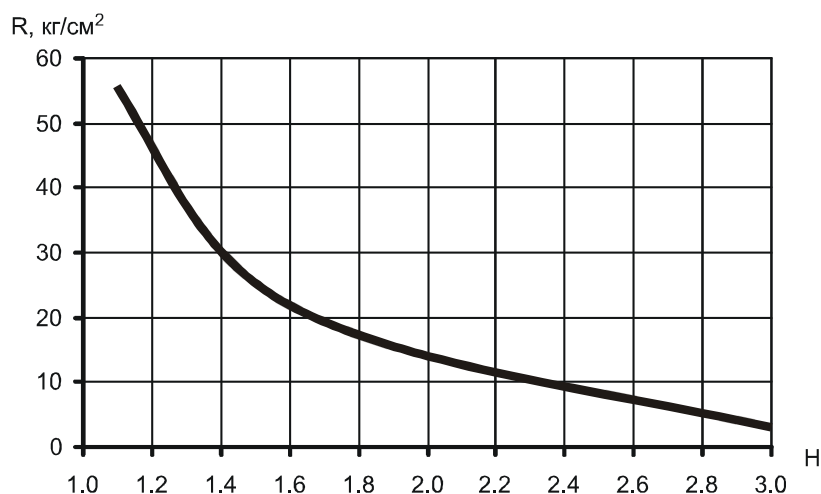


Рис. 1.8. Кубиковая прочность бетона при сжатии (R) в зависимости от величины отскока (H)

Таблица 1.4

Кубиковая прочность бетона при сжатии (R) в зависимости от величины отскока (r)

r	14 – 56 дней						7 дней					
	R _m			R _{min}			R _m			R _{min}		
	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/мм ²	psi
20	101	9,9	1440	54	5,3	770	121	11,9	1720	74	7,3	1050
21	113	11,1	1610	64	6,3	910	132	12,9	1880	83	8,1	1180
22	126	12,4	1790	75	7,4	1070	145	14,2	2060	94	9,2	1340
23	139	13,6	1980	86	8,4	1220	157	15,4	2230	104	10,2	1480
24	152	14,9	2160	98	9,6	1390	169	16,6	2400	115	11,3	1640
25	166	16,3	2360	110	10,8	1560	183	18	2600	127	12,5	1810
26	180	17,7	2560	122	12	1740	196	19,2	2790	138	13,5	1960
27	195	19,1	2770	135	13,2	1920	210	20,6	2990	150	14,7	2130

r	14 – 56 дней						7 дней					
	R _m			R _{min}			R _m			R _{min}		
	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/м м ²	psi	кг/с м ²	Н/мм ²	psi
28	210	20,6	2990	149	14,6	2120	225	22,1	3200	164	16,1	2330
29	225	22,1	3200	163	16	2320	239	23,4	3400	177	17,4	2520
30	241	23,6	3430	178	17,5	2530	254	24,9	3610	191	18,7	2720
31	257	25,2	3660	193	18,9	2750	269	26,4	3830	205	20,1	2920
32	274	26,9	3900	209	20,5	2970	285	28	4050	220	21,6	3130
33	291	28,5	4140	225	22,1	3200	300	29,4	4270	234	23	3330
34	307	30,1	4370	240	23,5	3410	315	30,9	4480	248	24,3	3530
35	324	31,8	4610	256	25,1	3640	331	32,5	4710	263	25,8	3740
36	342	33,5	4860	273	26,8	3880	348	34,1	4950	279	27,4	3970
37	360	35,3	5120	290	28,4	4120	365	35,8	5190	295	28,9	4200
38	377	37	5360	307	30,1	4370	381	37,4	5420	311	30,5	4420
39	395	38,7	5620	324	31,8	4610	398	39	5660	327	32,1	4650
40	413	40,5	5870	341	33,4	4850	416	40,8	5920	344	33,7	4890
41	432	42,4	6150	359	35,2	5110	434	42,6	6170	361	35,4	5130
42	450	44,1	6400	377	37	5360	451	44,2	6410	378	37,1	5380
43	469	46	6670	395	38,7	5620	470	46,1	6690	396	38,8	5630
44	488	47,9	6940	414	40,6	5890	488	47,9	6940	414	40,6	5890
45	507	49,7	7210	432	42,4	6140	507	49,7	7210	432	42,4	6140
46	526	51,6	7480	451	44,2	6410	526	51,6	7480	451	44,2	6410
47	546	53,5	7770	470	46,1	6690	546	53,5	7770	470	46,1	6690
48	565	55,4	8040	489	48	6960	565	55,4	8040	489	48	6960
49	584	57,3	8310	508	49,8	7230	584	57,3	8310	508	49,8	7230
50	604	59,2	8590	527	51,7	7500	604	59,2	8590	527	51,7	7500
51	623	61,1	8860	546	53,5	7770	623	61,1	8860	546	53,5	7770
52	643	63,1	9150	565	55,4	8040	643	63,1	9150	565	55,4	8040
53	663	65	9430	584	57,3	8310	663	65	9430	584	57,3	8310
54	683	67	9710	603	59,1	8580	683	67	9710	603	59,1	8580
55	703	68,9	10000	622	61	8850	703	68,9	10000	622	61	8850

Прибор ИПС-МГ4 (рис. 1.9) располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно испытываемой поверхности, при другом положении прибора необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. При определении прочности бетона по образцам измерения проводят на боковых поверхностях образцов (по направлению бетонирования). При этом образцы должны быть зажаты в прессе с силой (30 ± 5) кН (3000 кгс).



Рис. 1.9 Измеритель прочности бетона ИПС-МГ4:
 1 – преобразователь в виде ударного механизма, 2 – электронный блок, жидкокристаллический дисплей, 4 – клавиатура управления, 5 – соединительный разъем

Результаты испытаний и статистической обработки заносят в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты испытаний

Но- мера уча- стков	молоток Кашкарова					ОМШ 1			ИПС МГ4	
	отпе- чаток на бе- тоне d_6	отпеча- ток на эталоне d_3	$\frac{d_6}{d_3}$	R_i	$R_i - \bar{R}$	Величина отскока, мм	R_i	$R_i - \bar{R}$	R_i	$R_i - \bar{R}$
1										
2										
n										

Примечание: \bar{R} – среднее значение прочности бетона.

Средне квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n - 1}} \quad (1.9)$$

Коэффициент вариации:

$$v_m = \frac{\sigma}{\bar{R}} \quad (1.10)$$

1.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о применяемых при испытаниях приборах, принципах их работы. Приводят расчеты прочности бетона, заполняют табл. 1.1, 1.5.

Контрольные вопросы

1. На каких принципах основано определение прочности бетона неразрушающими методами: с помощью прибора УК14-ПМ; с помощью молотка Кашкарова, с помощью склерометра Шмидта, с помощью ИПС-МГ4?
2. Правила подготовки поверхности бетонных образцов в местах испытаний?
3. Порядок выполнения работы по определению прочности бетона с помощью прибора УК14-ПМ, молотка Кашкарова, склерометра Шмидта, ИПС-МГ4?
4. Из какой стали изготавливают эталонный стержень?
5. Как измеряют отпечатки на бетонной поверхности и эталонном стержне?
6. Какие характеристики бетона могут быть определены по результатам испытаний бетонных образцов?

Литература

[1, с.1-26; 2, с.1-20; 3, с.1-23]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ, РАСТЯЖЕНИИ И ИЗГИБЕ ПО КОНТРОЛЬНЫМ ОБРАЗЦАМ

2.1. Цель работы

Определить прочность бетона при сжатии, растяжении и изгибе путем испытания образцов в форме кубиков на сжатие и раскалывание. Определить прочность бетона на растяжение при изгибе путем испытания образцов в форме призм.

2.2. Задание

- выполнить визуальный осмотр образцов с целью отбраковки или устранения дефектов;
- определить рабочую площадь сечения образцов;
- нанести на боковые грани образцов центральные линии;
- выполнить нагружение образцов до разрушения;

- проверить схему разрушения образцов при сжатии и изгибе, сравнить с дефектными схемами, при необходимости испытание повторить;
- определить прочность бетона при сжатии, растяжении и изгибе;
- оформить отчет;
- ответить на контрольные вопросы.

2.3. Краткие теоретические сведения

В железобетонных конструкциях бетон преимущественно используется для восприятия сжимающих напряжений. Поэтому за основную характеристику прочностных свойств бетона принята его прочность на осевое сжатие. Все другие характеристики (прочность на растяжение, местное сжатие и др.) могут быть определены по эмпирическим формулам с помощью экспериментальных коэффициентов. Наиболее простым и надежным способом оценки прочности бетона в реальных конструкциях является раздавливание на прессе кубов бетона, изготовленных в тех же условиях, что и конструкция. Поскольку конструкции по форме отличаются от кубов, кубиковая прочность непосредственно в расчетах не используется, а служит только для контроля качества бетона. За стандартные лабораторные образцы принимают кубы размерами 15×15×15 см (базовый размер). При испытаниях образцов других размеров их прочность должна быть пересчитана на прочность бетона в образцах базового размера.

Прочность бетона при растяжении зависит от прочности цементного камня и сцепления его с заполнителем. При осевом растяжении прочность бетона в 10-20 раз меньше прочности при сжатии. Из-за трудностей центрирования растягивающей силы истинное временное сопротивление бетона на осевое растяжение получить трудно, поэтому на практике определяют его косвенными методами – по результатам испытаний кубов или цилиндрических образцов на раскалывание или изгиба бетонных балочек.

2.4. Выполнение работы

2.4.1. В лабораторной работе выполняют испытания образцов по схемам 1-4 на рис.2.1., 2.3. По каждой схеме испытывают два образца. Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а так же следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси испытанию не подлежат. Наплывы бетона на ребрах опорных граней образцов должны быть удалены напильником или образивным камнем. Выполняют нумерацию образцов. На образцах выбирают и отмечают грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. При испытаниях на сжатие опорные грани выбирают таким образом, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки

бетонной смеси в формы. Рабочая площадь сечения образца определяется как среднее арифметическое значение площадей опорных граней образца с точностью до 1 мм^2 .

2.4.2. При выполнении испытаний, перед установкой образцов на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах прессы. Нагружение образцов производят непрерывно, до их полного разрушения со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в бетоне в пределах: $0,6 \pm 0,4 \text{ МПа/с}$ – при сжатии и $0,05 \pm 0,01 \text{ МПа/с}$ – при изгибе. За разрушающее принимают максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания. Характер разрушения образца при испытании на сжатие следует сравнить с возможными дефектными схемами разрушения (рис. 2.2). В случае разрушения образца по одной из дефектных схем, результаты испытаний не учитывают.

2.4.3. При испытаниях на раскалывание подготовку образцов и устранение дефектов выполняют, как и для образцов при испытании на сжатие. Опорные грани при испытании по схеме 2 (рис. 2.1) выбирают таким образом, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена перпендикулярно слоям укладки бетонной смеси в формы. Рабочая площадь образца определяется также как и при испытаниях на сжатие.

При испытаниях по схеме 3 направление сжимающей силы должно совпадать с диагональной плоскостью образца, а ось образца должна проходить через центр шарнира прессы. Длину ребра куба определяют как среднее арифметическое длин ребер с точностью до 1 мм . Для равномерного распределения нагрузки между плитами прессы и испытываемым образцом помещают прокладки (рис. 2.1) из трехслойной фанеры. Длина прокладок должна быть не менее длины образца а ширина должна составлять $1/3$ длины ребра куба.

При испытаниях по схеме 4, одна из опор, на которую образец устанавливают в испытательную машину (установку), является шарнирно-неподвижной, обеспечивающей только поворот образца, а вторая - шарнирно-подвижной, обеспечивающей поворот образца и его смещение в плоскости изгиба. Нагрузка от испытательной машины (установки) передается на образец через распределительную траверсу, выполненную в виде однопролетной балки. Длина траверсы должна быть не менее половины длины образца, а ее прогиб под нагрузкой - не более $1/500$ ее пролета. Траверсу устанавливают на образец центрально относительно его осей и опирают на образец в двух сечениях в третях пролета. Шарнирно-неподвижная опора траверсы выполнена так же, как и соответствующая опора образца. Шарнирно-подвижная опора траверсы выполнена в виде цилиндрического катка, устанавливаемого между опорными пластинами, размеры которых должны соответствовать размерам опорных подушек.

Длина опорных пластин и подушек должна быть не менее размера поперечного сечения образца.

2.4.4. Испытание образцов на раскалывание силой, направленной в продольном (схема 2) и диагональном (схема 3) направлениях, выполняется аналогично испытаниям образцов при сжатии с фиксацией максимального значения раскалывающей силы, достигнутой в процессе испытаний.

2.4.5.

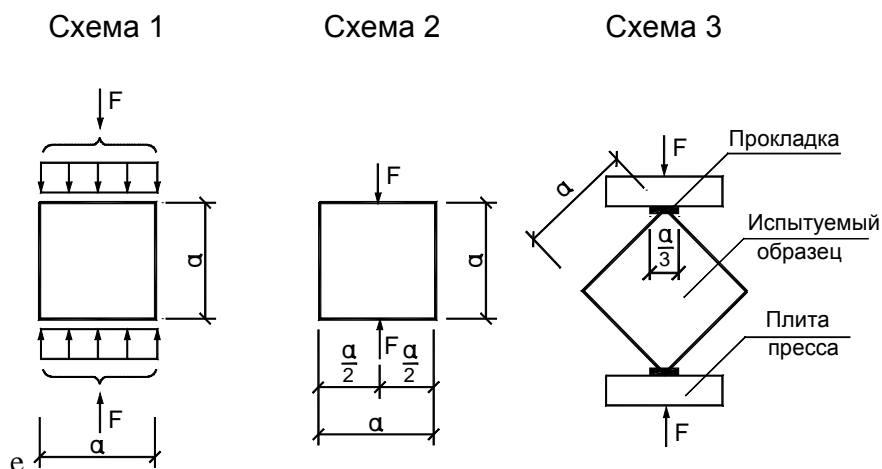


Рис. 2.1. Схемы испытания образцов: схема 1 – на сжатие; схема 2 – на раскалывание силой, действующей в продольном направлении; 3 – на раскалывание силой, действующей в диагональном направлении

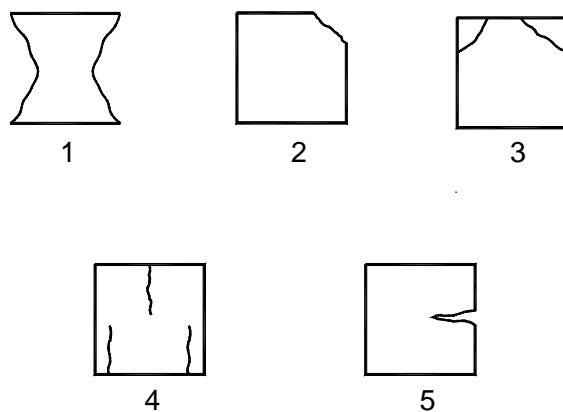


Рис. 2.2. Возможные схемы разрушений образцов при испытаниях на сжатие: 1 – нормальное разрушение; 2 – 5 – дефектные разрушения

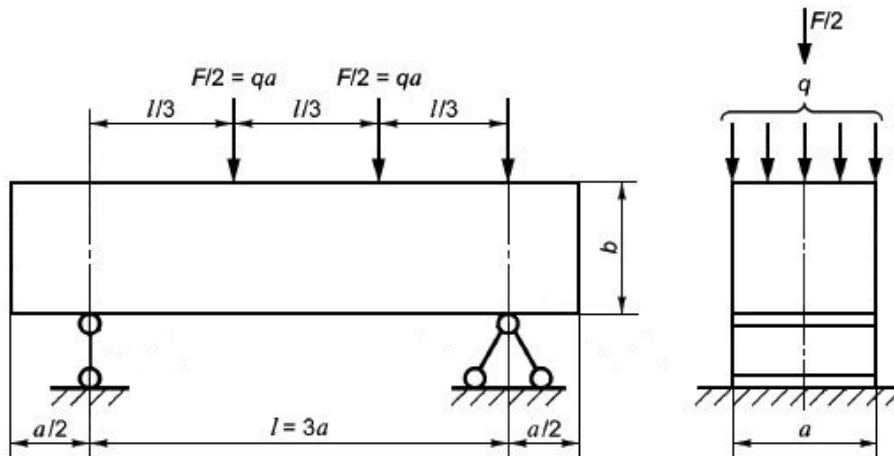


Рис. 2.3. Схемы испытания образцов на изгиб по схеме 4

2.4.6. Прочность бетона для каждого образца следует вычислять с точностью: до 0,1 МПа - при испытаниях на сжатие; до 0,01 МПа - при испытаниях на растяжении при раскалывании и растяжении при изгибе по формулам:

на сжатие

$$R = \beta * \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

на растяжение при раскалывании по схеме 2 (рис.2.1)

$$R_{tt} = \gamma * \frac{2 * F}{\pi * A} \quad (2.2)$$

на растяжение при раскалывании по схеме 3 (рис 2.1)

$$R_{tt}^* = \frac{0.5187 * F}{a^2} \quad (2.3)$$

на растяжение при изгибе по схеме 4 (рис 2.3)

$$R_{tb} = \delta * \frac{F * l}{a * b^2}, \quad (2.4)$$

где F – разрушающая нагрузка; A – площадь рабочего сечения образца; a – длина ребра куба, призмы; δ , β , γ – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона испытанных образцов к прочности в образцах базового размера (табл. 2.1).

Прочность бетона, определяется как среднее арифметическое в серии: из двух образцов – по двум образцам, из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам.

Таблица 2.1

Масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона

Размеры ребра куба, мм	Масштабные коэффициенты			
	Сжатие, β	Растяжение при раскалывании, γ		Растяжение при изгибе, δ
		всех видов бетонов, кроме ячеистого	тяжелого бетона	
70	0,85	0,78	0,87	0,86
100	0,95	0,88	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15

Результаты определения прочности бетона образцов при сжатии и растяжении представляют в табличной форме (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Результаты определения прочности бетона образцов при сжатии и растяжении

Номер образца	Испытание на сжатие (схема 1)			Испытание на раскалывание (схема 2)			Испытание на раскалывание (схема 3)			Испытание на изгиб (схема 4)		
	$A, \text{см}^2$	F, кН	R, МПа	$A, \text{см}^2$	F, кН	$R_{tt}, \text{МПа}$	a, см	F, кН	$R_{tt}^*, \text{МПа}$	a, см	F, кН	$R_{tb}, \text{МПа}$
1												
2												
Среднее \bar{R}												

По среднему значению прочности \bar{R} из табл.2.2 определяется класс бетона при сжатии и нормативные и расчетные сопротивления по (2.4)...(2.9).

Класс бетона по прочности на сжатие определяется по формуле

$$B = \bar{R} - \chi * \sigma \quad (2.4)$$

или
$$B = \bar{R} * (1 - \chi * v_m) \quad (2.5)$$

где $v_m = \frac{\sigma}{\bar{R}}$ — средний коэффициент вариации прочности бетона;

σ — среднее квадратическое отклонение (стандарт);

χ — показатель надежности (число стандартов).

Коэффициент вариации прочности бетона принимается по результатам испытаний, выполненных в лабораторной работе № 1 (табл. 1.4), а показатель надежности $\chi=1,64$, что соответствует обеспеченности нормативной кубиковой прочности бетона не менее 0,95. Нормативная призмная прочность бетона определяется по эмпирической формуле

$$R_{bn}=B(0,77-0,00125B) \text{ но не менее } 0,72B \quad (2.6)$$

Нормативное сопротивление бетона осевому растяжению определяется по формуле

$$R_{btн}=0,5*K*\sqrt[3]{B^2} \quad (2.7)$$

где $K=0,8$ – для бетонов класса В35 и ниже, $K=0,7$ – для бетонов класса В40 и выше.

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию определяют по формуле

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_{bc}} \quad (2.8)$$

где $\gamma_{bc} = 1,3$ - коэффициент надежности по бетону при сжатии.

Расчетное сопротивление бетона растяжению:

$$R_{bt} = \frac{R_{btн}}{\gamma_{bt}} \quad (2.9)$$

где $\gamma_{bt} = 1,5$ - коэффициент надежности по бетону при растяжении.

2.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о качестве поверхности образцов, наличии сколов ребер и раковин, о размерах дефектов, дают результаты измерений образцов, расчеты рабочей площади сечения; указывают величины максимального усилия, достигнутого в процессе испытания образцов, приводят расчеты прочности бетона при сжатии и растяжении, находят средние значения прочности в каждой партии образцов, заполняют табл. 2.2, определяют класс бетона, нормативные и расчетные характеристики бетона.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к качеству поверхности образцов, предназначенных для испытаний?
2. Почему кубиковая прочность бетона не используется в расчетах конструкций непосредственно?
3. По какой причине прочность бетона при растяжении чаще определяется косвенными методами?
4. Каким образом изменяется кубиковая прочность при сжатии с уменьшением размеров образцов?
5. Как выполняется контроль схемы разрушения бетонных образцов при испытании на сжатие?
6. Показать схему нормального разрушения бетонного куба при сжатии.
7. Как определяется рабочая площадь сечения образца?
8. Каково соотношение прочности бетона при сжатии и растяжении?

9. По каким схемам выполнялись испытания образцов в лабораторной работе?
10. Почему прочность бетона при сжатии является базовой характеристикой?
11. От каких факторов зависит прочность бетона при растяжении?

Литература
[4, с.1-17]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

3.1. Цель работы

Определение механических свойств арматурной стали круглого и периодического профиля, предназначенной для армирования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций.

3.2. Задание

Провести испытание арматурной стали на растяжения с целью определения:

- 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 условного;
- модуля упругости (начального).

3.3. Краткие теоретические сведения

Механические свойства арматурной стали определяют путем ее испытания на растяжение с построением диаграммы, отражающей зависимость удлинения образца Δl от величины нагрузки p . По характеру диаграмм "P- Δl " стали разделяют на три группы:

1. Стали с явно выраженной площадкой текучести (мягкие стали);
2. Стали с неявно выраженной площадкой текучести ("твердые стали");

3. Стали с линейной зависимостью "р-Δl" почти до разрыва (высокопрочная проволока).

Основной механической характеристикой арматурной стали является модуль упругости и предел текучести – физический или условный, по величине которого устанавливают нормативное и расчетное сопротивление арматуры растяжению. Пластические свойства стали характеризуются ее относительным удлинением при максимальной нагрузке и после разрыва. Малые предельные удлинения могут послужить причиной хрупкого обрыва арматуры под нагрузкой и разрушения конструкции. Высокие предельные удлинения свидетельствуют о пластичности стали, что благоприятно сказывается на работе железобетонных конструкций при динамических и циклических нагрузках. Умение определять механические характеристики стали имеет большое значение для проверки соответствия ее требованиям ГОСТа [5], а также при выполнении расчетов связанных с выявлением резерва несущей способности железобетонных конструкций. Механические свойства арматурной стали определяют путем ее испытания на растяжение при температуре $(20^{+15}_{-10})^{\circ}\text{C}$.

3.4. Выполнение работы

3.4.1. Подготовка опытных образцов

Для испытания на растяжение отбирают образцы арматуры круглого или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром от 3,0 до 12 мм.

Полная длина образца арматуры выбирается в зависимости от рабочей длины образца и конструкции захвата испытательной машины, при этом рабочая длина образца должна составлять не менее 200 мм.

Перед испытанием допускается проводить правку образца плавным давлением на него или легкими ударами молотка по образцу, лежащему на подкладке. Подкладка и молоток должны быть из более мягкого материала, чем образец.

Начальную площадь поперечного сечения образцов арматуры периодического профиля F_0 , мм², вычисляют по формуле

$$F_0 = \frac{m}{\rho * l} \quad (3.1)$$

где m – масса испытуемого образца, кг;

l – длина испытуемого образца, м;

ρ – плотность стали, 7850 кг/м³.

Начальную расчетную длину l_0 измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Диаметры круглых образцов арматуры номинальным диаметром от 3,0 до 40,0 мм измеряют штангенциркулем или микрометром.

Массу испытываемых образцов арматуры периодического профиля номинальным диаметром менее 10 мм определяют с погрешностью не более 1,0 г,

образцов арматуры диаметром от 10 до 20 мм – с погрешностью не более 2,0 г, а образцов диаметром более 20 мм – с погрешностью не более 1 % от массы образца.

Образцы арматурной стали взвешивают на весах, а длину образца измеряют металлической линейкой.

При проведении испытаний должны соблюдаться требования:

- надежное центрирование образца;
- плавность нагружения;
- средняя скорость нагружения при испытании до предела текучести не должна быть более 10 МПа (1 кгс/мм²) в секунду; за пределом текучести скорость нагружения может быть увеличена так, чтобы скорость перемещения подвижного захвата машины не превышала 0,1 рабочей длины испытываемого образца в минуту; шкала силоизмерителя испытательной машины не должна превышать пятикратного ожидаемого значения наибольшей нагрузки P для испытываемого образца арматуры.

При определении условного предела текучести с помощью тензометра относительная длина деления шкалы тензометра не должна превышать 0,05 % базы тензометра.

3.4 2. Проведение испытаний и обработка результатов

Величину относительного удлинения δ , % вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{l_n - l_0}{l_0} * 100\% \quad (3.2)$$

В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к букве добавляют индекс. Например, при начальной расчетной длине, равной $5d - \delta_5$, при 100 мм – δ_{100} и т. д.

Конечную расчетную длину образца l_k , включающую место его разрыва, определяют следующим способом.

Перед испытанием образец на длине, большей его рабочей длины, размечается на n равных частей при помощи меток, наносимых делительной машиной, скобками или керном. Расстояние между метками для арматуры диаметром 10 мм и более не должно превышать величину d и быть кратным 10 мм. Для арматуры диаметром менее 10 мм расстояние между метками принимается равным 10 мм. Допускается при разметке образцов расстояние между метками принимать более 10 мм и превышающим величину d , но не более величины начальной расчетной длины l_0 .

Если число интервалов n , соответствующее начальной длине образца, получается дробным, его округляют до целого в большую сторону.

После испытания части образца тщательно складывают вместе, располагая их по прямой линии. От места разрыва в одну сторону откладывается $n/2$ интервалов и ставят метку a . Если величина $n/2$ оказывается дробной, то ее ок-

ругляют до целого числа в большую сторону. Участок от места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал.

От метки a откладывают в сторону разрыва n интервалов и ставят метку b (рис. 3.1). Отрезок ab равен полученному по месту разрыва конечной расчетной длине l_k .

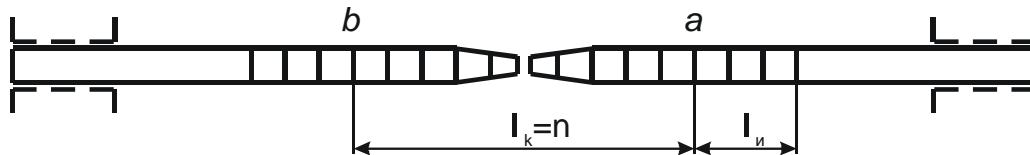


Рис. 3.1. Испытанный образец арматурной стали

Если место разрыва ближе к краю захвата машины чем величина $\frac{n}{2}$ (рис. 3.2), то полученную после разрыва конечную расчетную длину l_k определяют следующим образом: от места разрыва до крайней метки q у захвата определяют число интервалов, которое обозначают $\frac{m}{2}$. От точки q к месту разрыва откладывают m интервалов и ставят метку c. Затем от метки c откладывают $\frac{n}{2} - \frac{m}{2}$ интервалов и ставят метку e.

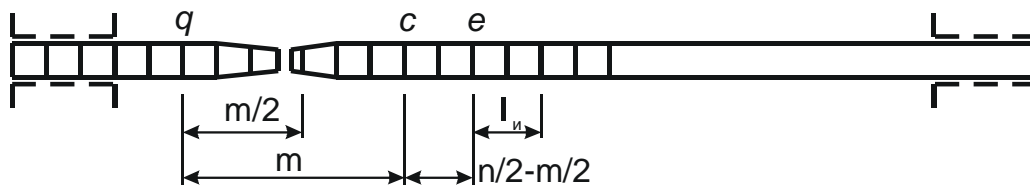


Рис. 3.2. Испытанный образец арматурной стали

Конечную расчетную длину образца l_k , мм, вычисляют по формуле

$$l_k = cq + 2 * ce \quad (3.3)$$

где cq и ce - соответственно длина участка образца между точками c и q и c и e.

Если место разрыва находится на расстоянии от захвата, меньшем чем длина двух интервалов или $0,3 l_0$ - для образцов диаметром менее 10 мм, величина расчетной длины не может быть достоверно определена и проводят повторное испытание.

Относительное, равномерное удлинение δ_p определяется во всех случаях вне участка разрыва на начальной расчетной длине, равной 50 или 100 мм. При этом расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины для арматуры диаметром 10 мм и более не должно быть менее $3d$ и более $5d$, а для арматуры диаметром менее 10 мм - от 30 до 50 мм.

Для определения величины относительного равномерного удлинения δ_p конечная расчетная длина l_u определяется по меткам (рис. 3.1 и 3.2).

Величину относительного, равномерного удлинения δ_p , %, вычисляют по формуле

$$\delta_p = \frac{l_n - l_0}{l_0} * 100\% \quad (3.4)$$

Конечные расчетные длины l_k и l_n измеряют с погрешностью не более 0,5 мм.

Относительное удлинение и относительное, равномерное удлинение после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 %. При этом доли до 0,25 % отбрасывают, а доли 0,25 % и более принимают за 0,5 %.

Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} может быть определено одним из способов:

– с помощью тензометров или иных специальных приборов позволяющих измерять деформации образца вплоть до разрушения;

– суммированием остаточной деформации после разрушения образца с упругими деформациями при максимальной нагрузке по формуле

$$\delta_{max} = \delta_p + \frac{\sigma_B}{E_H} * 100\% \quad (3.5)$$

Временное сопротивление σ_B , МПа (кгс/мм²), вычисляют с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм²) по формуле

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0} \quad (3.6)$$

Предел текучести σ_T , МПа (кгс/мм²), вычисляют с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм²) по формуле

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad (3.7)$$

Условные предел текучести может быть определен аналитическим и графическим способами.

Тензометр на образец устанавливают после приложения начальной нагрузки, соответствующей 0,05-0,10 ожидаемой величины временного сопротивления σ_B .

Нагрузка прикладывается равными или пропорциональными этапами, так чтобы до нагрузки, соответствующей искомому пределу, было не менее 8-10 этапов нагружения, считая от начальной нагрузки.

При достижении суммарной нагрузки, соответствующей 0,7-0,9 искомого предела, рекомендуется уменьшить величину этапа нагружения в два или четыре раза.

Выдержка при постоянной нагрузке на каждом этапе нагружения без учета времени приложения нагрузки должна быть не более 10 с.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ определяют аналитическим способом. Вычисляют величину остаточной деформации $\Delta l = 0,2$ % базы тензометра; затем определяют среднюю величину упругой деформации Δl_y на одном этапе нагрузки, исходя из величины средней деформации, найденной на этапах нагружения в интервале 0,10-0,40 предполагаемого усилия, соответствующего пре-

делу текучести, а для арматурных канатов в интервале 0,10-0,40 временного сопротивления.

Нагрузка $P_{0,2}$, при которой будет обеспечено равенство $\Delta l = \sum \Delta l_y + \Delta l_T$ соответствует условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$ в МПа (кгс/мм²), который вычисляется с погрешностью не более 5 МПа (0,5 кгс/мм²) по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \quad (3.8)$$

Графический способ определения условного предела текучести: строится диаграмма растяжения "нагрузка – удлинение". По оси ординат откладывают нагрузку, а по оси абсцисс – соответствующее удлинение (рис. 3.4).

На диаграмме проводится прямая, параллельная участку пропорциональной зависимости $P-\Delta l$ на расстоянии от прямой части диаграммы вправо по оси абсцисс в направлении, равном заданной величине допуска на условно-мгновенную пластическую деформацию для условного предела текучести. Сила, соответствующая пределу текучести, определяется точкой пересечения этой прямой с диаграммой растяжения.

При определении условного предела текучести графическим способом диаграмму растяжения $P-\Delta l$ строят в таком масштабе, при котором 0,1 % деформации образца соответствует участок оси ординат длиной не менее 10 мм, а нагрузке, примерно соответствующей условному пределу текучести, – участок оси абсцисс не менее 100 мм.

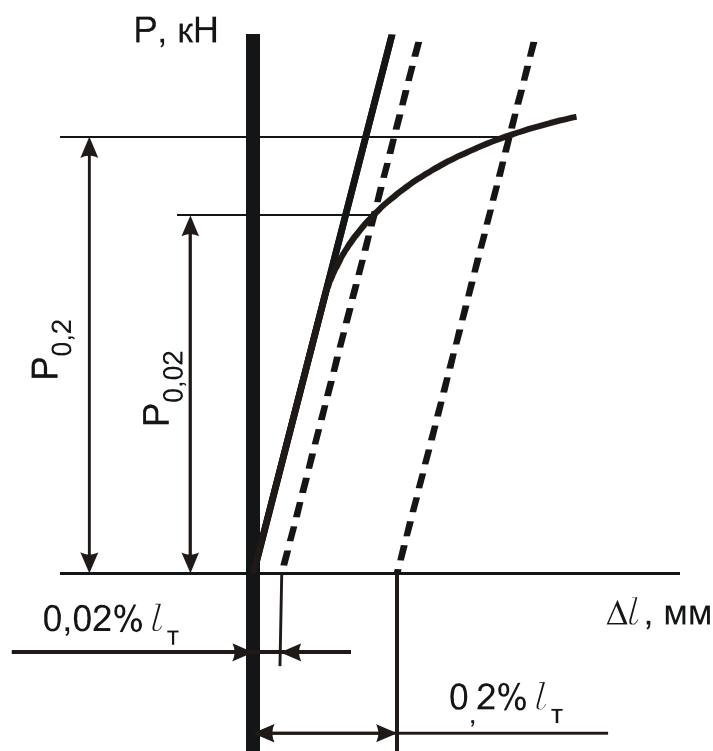


Рис. 3.4. Диаграмма растяжения «нагрузка – удлинение»

Допускается определение условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ по машинной диаграмме с проведением периодических контрольных испытаний с помощью тензометров.

Примеры определения условного предела текучести приведены в прил. 2.

Для стержней и проволоки начальный модуль упругости принимают равным отношению приращения напряжений в интервале от $0,1$ до $0,35P_{\max}$ к относительному удлинению образца в том же интервале нагружения.

Начальный модуль упругости E_H определяется с погрешностью не более 1 % по формуле

$$E_0 = \frac{(P_{0,35} - P_{0,10}) * l_0}{(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,10}) * F_0} \quad (3.9)$$

При этом в интервале от $0,1$ до $0,35P_{\max}$ должно быть не менее трех последовательных этапов нагружения.

За результат испытания принимаются механические свойства, полученные при испытании каждого образца. Количество образцов для испытаний указывается в нормативно-технической документации на арматурную сталь.

Результаты испытаний не учитываются в следующих случаях:

- при разрыве образца по нанесенным меткам, если при этом какая-либо характеристика механических свойств по своей величине не отвечает установленным требованиям;
- при разрыве образца в захватах испытательной машины;
- при обнаружении ошибок в проведении испытаний или записи результатов испытаний.

3.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения об образцах для испытаний, результаты измерений геометрических размеров, массы образцов, порядок приложения нагрузки, диаграммы деформирования, результаты испытаний и расчетов.

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование используется для испытаний образцов?
2. Как определяется начальная площадь образцов?
3. Как определяется начальный модуль упругости по диаграмме деформирования образцов?
4. Какой порядок определения условного и физического пределов текучести по диаграмме деформирования образцов?

Литература
[5, с.1-15]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

4.1. Цель работы

Определить прочность силикатного кирпича при сжатии и изгибе, определить прочность раствора при сжатии, расчетное сопротивление каменной кладки.

4.2. Задание

- измерить линейные размеры образцов, нанести на боковые поверхности вертикальные осевые линии;
- выполнить нагружение образцов при сжатии и изгибе согласно схемам испытаний;
- определить прочность силикатного кирпича при сжатии и изгибе;
- определить марку силикатного кирпича;
- определить прочность раствора на сжатие;
- определить марку раствора;
- определить расчетное сопротивление кирпичной кладки;
- оформить отчет;
- ответить на контрольные вопросы.

4.3. Краткие теоретические сведения

Кирпич при работе в составе каменной кладки находится в условиях сложного напряженного состояния – подвергается одновременно внецентренному сжатию, изгибу, растяжению, срезу, смятию. Причинами этого являются: неоднородность растворной постели, различия между деформационными свойствами кирпича и раствора, наличие вертикальных швов в каменной кладке, неоднородность кирпича, а также отклонения геометрической формы камней от правильной.

Появление первых трещин в каменной кладке происходит в кирпиче под или над вертикальными швами, что вызвано изгибом и срезом кирпича, а также концентрацией напряжений. Нагрузка, при которой появляются первые трещины, зависит от физико-механических свойств камня и раствора, качества выполнения горизонтальных швов, возраста кладки. Таким образом, определение прочности кирпича имеет важное значение при проектировании каменных конструкций.

4.4. Выполнение работы

4.4.1. Испытание образцов на изгиб

Образец устанавливают на двух опорах пресса. Нагрузку прикладывают посередине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рисунку. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытаний.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа (кгс/см²), образца вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (4.1)$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца МН (кгс);
 l – расстояние между осями опор, м (см); b – ширина образца, м (см);
 h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, м (см).

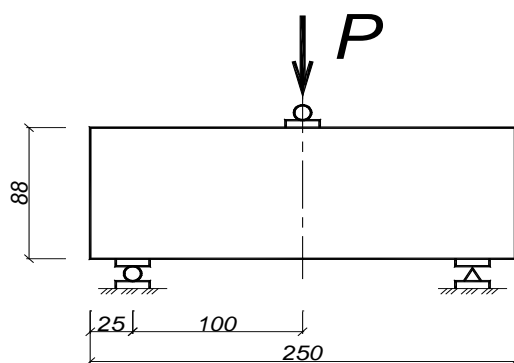


Рис. Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе образцов вычисляют с точностью 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

4.4.2. Испытание образцов на сжатие

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах, состоящих из двух целых кирпичей или из двух его половинок. Кирпич делят на половинки распиливанием или раскалыванием. Допускается определять предел прочности при сжатии на половинках кирпича, полученных после испытания его на изгиб. Кирпичи или его половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны.

На боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со ско-

ростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытания. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа (кгс/см²), образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \quad (4.2)$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН (кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, м² (см²).

При вычислении предела прочности при сжатии образцов из двух целых кирпичей толщиной 88 мм или из двух их половинок результаты испытаний умножают на коэффициент 1,2.

Предел прочности при сжатии образцов вычисляют с точностью до 0,1 МПа (1 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

Предел прочности при изгибе определяют по фактической площади изделия без вычета площади пустот.

Результаты определения прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе представляют в табличной форме (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Результаты определения прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе

Номер образцов	Испытания при сжатии		Испытания при изгибе	
	Разрушающая нагрузка P , МН (кгс)	Прочность $R_{изг}$, МПа (кгс/см ²)	Разрушающая нагрузка P , МН (кгс)	Прочность $R_{сж}$, МПа (кгс/см ²)
1				
2				
3				
4				
5				

Марку кирпича по прочности устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе, указанных в табл. 4.2.

Определение марки кирпича по результатам испытаний

Марка изделия	Предел прочности, не менее МПа (кгс/см ²)					
	при сжатии		при изгибе			
	всех изделий		всех изделий		всех изделий	
	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов	средний для 5 образцов	наименьший для 5 образцов
300	30,0 (300)	25,0 (250)	4,0 (40)	2,7 (27)	2,4 (24)	1,8 (18)
250	25,0 (250)	20,0 (200)	3,5 (35)	2,3 (23)	2,0 (20)	1,6 (16)
200	20,0 (200)	15,0 (150)	3,2 (32)	2,1 (21)	1,8 (18)	1,3 (13)
175	17,5 (175)	13,5 (135)	3,0 (30)	2,0 (20)	1,6 (16)	1,2 (12)
150	15,0 (150)	12,5 (125)	2,7 (27)	1,8 (18)	1,5 (15)	1,1 (11)
125	12,5 (125)	10,0 (100)	2,4 (24)	1,6 (16)	1,2 (12)	0,9 (9)
100	10,0 (100)	7,5 (75)	2,0 (20)	1,3 (13)	1,0 (10)	0,7 (7)
75	7,5 (75)	5,0 (50)	1,6 (16)	1,1 (11)	0,8 (8)	0,5 (5)

4.4.3. Определение прочности раствора

Прочность раствора на сжатие определяется на трех образцах-кубах размерами 70,7×70,7×70,7 мм через 28 суток твердения. Перед испытанием образец измеряют штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм.

Образец устанавливают на нижнюю плиту пресса по центру относительно его оси так, чтобы основанием служили грани, соприкасавшиеся со стенками формы при его изготовлении.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью (0,6 ± 0,4) МПа [(6 ± 4) кгс/см²] в секунду до его разрушения.

Предел прочности раствора на сжатие R вычисляют для каждого образца с погрешностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²) по формуле

$$R = \frac{P}{A} \quad (4.3)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; A – рабочая площадь сечения образца, см².

Рабочую площадь сечения образцов определяют по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней. Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов. Результаты определения прочности раствора при сжатии представляют в табличной форме (табл.4.3). Марку кирпича по прочности устанавливают по пределам прочности при сжатии и изгибе, указанных в табл. 4.4.

Таблица 4.3

Результаты определения прочности раствора при сжатии

Номер образца	Разрушающая нагрузка P , МН (кгс)	Рабочая площадь сечения образца A , см ²	Прочность $R_{изг}$, МПа (кгс/см ²)
1			
2			
3			

Таблица 4.4

Предел прочности раствора при сжатии

Марка изделия	Предел прочности раствора при сжатии, не менее МПа (кгс/см ²)	
	средний для 3 образцов	наименьший для 3 образцов
200	20,0 (200)	15,0 (150)
150	15,0 (150)	12,5 (125)
100	10,0 (100)	7,5 (75)
75	7,5 (75)	5,0 (50)
50	5,0 (50)	3,75 (37,5)
25	2,5 (25)	1,75 (17,5)
10	1,0 (10)	0,75 (7,5)
4	0,4 (4)	0,3 (3)

4.4.4. Определение расчетного сопротивления кладки

Расчетные сопротивления R сжатию кладки из кирпича всех видов на тяжелых растворах определяют по табл. 4.5.

Таблица 4.5

Расчетные сопротивления сжатию кладки из кирпича

Марка кирпича	Расчетные сопротивления R , МПа (кгс/см ²), сжатию кладки из кирпича всех видов на тяжелых растворах									
	при марке раствора								При прочности раствора	
	200	150	100	75	50	25	10	4	0,2(2)	нулевой
300	3,9(39)	3,6(36)	3,3(33)	3,0(30)	2,8(28)	2,5(25)	2,2(22)	1,8(18)	1,7(17)	1,5(15)
250	3,6(36)	3,3(33)	3,0(30)	2,8(28)	2,5(25)	2,2(22)	1,9(19)	1,6(16)	1,5(15)	1,3(13)
200	3,2(32)	3,0(30)	2,7(27)	2,5(25)	2,2(22)	1,8(18)	1,6(16)	1,4(14)	1,3(13)	1,0(10)
150	2,6(26)	2,4(24)	2,2(22)	2,0(20)	1,8(18)	1,5(15)	1,3(13)	1,2(12)	1,0(10)	0,8(8)
125	-	2,2(22)	2,0(20)	1,9(19)	1,7(17)	1,4(14)	1,2(12)	1,1(11)	0,9(9)	0,7(7)
100	-	2,0(20)	1,8(18)	1,7(17)	1,5(15)	1,3(13)	1,0(10)	0,9(9)	0,8(8)	0,6(6)
75	-	-	1,5(15)	1,4(14)	1,3(13)	1,1(11)	0,9(9)	0,7(7)	0,6(6)	0,5(5)

Марка кирпича	Расчетные сопротивления R , МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$), сжатию кладки из кирпича всех видов на тяжелых растворах									
	при марке раствора								При прочности раствора	
	200	150	100	75	50	25	10	4	0,2(2)	нулевой
50	-	-	-	1,1(11)	1,0(10)	0,9(9)	0,7(7)	0,6(6)	0,5(5)	0,35(3,5)
25	-	-	-	0,9(9)	0,8(8)	0,7(7)	0,6(6)	0,45(4,5)	0,4(4)	0,25(2,5)

4.5. Содержание отчета

В отчете приводят сведения о качестве поверхности образцов, наличии сколов и раковин, результаты измерений образцов, величину разрушающей нагрузки, полученной в процессе испытаний, описывают расчет прочности силикатного кирпича при сжатии и изгибе, прочности раствора при сжатии, определяют расчетное сопротивление кирпичной кладки. Результаты испытаний заносят в табл. 4.1 и 4.3.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к качеству поверхности образцов?
2. В каком напряженном состоянии находится кирпич в каменной кладке?
3. По каким схемам выполнялись испытания образцов?
4. Как определяется площадь сечения образцов при испытаниях на сжатие?
5. Как определяется предел прочности раствора на сжатие?
6. Как устанавливают марку кирпича по прочности?

Литература
[6, с.1-25; 7, с.1-20; 8, с.1-40]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 22690 – 2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Стандартинформ, 2019.
2. ГОСТ 17624-2012. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Издательство стандартов, 2014.
3. Рекомендации по определению прочности бетона эталонным молотком Кашкарова по ГОСТ 22690.2-77. – М.: Стройиздат, 1985.
4. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2018.
5. ГОСТ 12004 – 81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1981.
6. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М.: Издательство стандартов, 1986.
7. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1987.
8. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М.: ЦНИИСК, 1995.

Термины, обозначения и определения, используемые в лабораторных работах

Таблица П.1

Термин	Условное обозначение	Единица измерения	Определение
1. Номинальный диаметр образца	d	мм	Для стержневой арматуры равен номинальному диаметру равновеликих по площади поперечного сечения круглых стержней; для упрочненной вытяжки стержневой арматурной стали равен номинальному диаметру стержней до их вытяжки; для арматурной проволоки равен номинальному диаметру проволоки до нанесения на нее периодического профиля
2. Начальная площадь поперечного сечения образца	F_0	мм ²	Площадь поперечного сечения образца до его испытания
3. Рабочая длина образца	l_1	мм	Часть образца между зажимными устройствами испытательной машины
3а. Начальная расчетная длина	l_0	мм	Расчетная длина до начала испытания образца, на базе которой проводится измерение удлинений
4. Полная длина образца	l_n	мм	Длина образца, равная рабочей длине плюс участок для закрепления стержней в захватах
5. Конечная расчетная длина	l_k	мм	Расчетная длина, измеренная после разрыва образца на участке, включающем место разрыва
6. Конечная расчетная длина, не включающая место разрыва	l_n	мм	Расчетная длина, измеренная после разрыва образца на участке, не включающем место разрыва
7. Расчетная длина по тензомеру	l_T	мм	Участок рабочей длины образца, равный базе тензометра
8. Осевая растягивающая нагрузка	P	Н (кгс)	Нагрузка, действующая на образец в данный момент испытания
9. Напряжение	σ	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Напряжение, определяемое отношением нагрузки P к площади поперечного сечения F_0
10. Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке	δ_{max}	%	Отношение приращения расчетной длины образца определяемое в момент начала снижения наибольшей нагрузки предшествующей разрушению к начальной расчетной длине выраженное в процентах от начальной расчетной длины
11. Относительное удлинение после разрыва	δ	%	Отношение приращения расчетной длины образца, в пределах которой произошел разрыв, к начальной расчетной длине, выраженное в про-

Термин	Условное обозначение	Единица измерения	Определение
			центах от начальной расчетной длины
13. Относительно сужение после разрыва	ψ	%	Отношение разности начальной и минимальной площадей поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах
14. Временное сопротивление	σ_b	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_{max} , предшествующей разрушению образца
15. Предел текучести (физический)	σ_T	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Напряжение, соответствующее наименьшей нагрузке P_T , при которой образец деформируется без заметного ее увеличения
16. Предел упругости (условный)	$\sigma_{0,02}$	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Напряжение, при котором условно-мгновенная пластическая деформация достигает заданной величины расчетной длины по тензометру
17. Предел текучести (условный)	$\sigma_{0,2}$	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Напряжение, при котором условно-мгновенная пластическая деформация достигает 0,2 % расчетной длины по тензометру
18. Модуль упругости (начальный)	E_0	Н/мм ² (кгс/мм ²)	Отношение приращения напряжения к соответствующему приращению упругой деформации на начальном этапе нагружения

Пример определения предела текучести $\sigma_{0,2}$ для стержневой арматуры и проволоки

1. Аналитический метод

1.1. Образец горячекатаной арматурной стали марки А-IV периодического профиля номинальным диаметром 14 мм. Полная длина образца 400 мм. Начальная площадь сечения $F_0 = 150 \text{ мм}^2$.

1.2. Испытание проводят с измерением тензOMETрами деформаций по двум диаметрально противоположным ребрам образца. База одного тензOMETра $l_T = 100 \text{ мм}$, а сумма баз двух тензOMETров $2l_T = 200 \text{ мм}$.

1.3. Величина остаточной деформации при определении условного предела текучести равна 0,2 % от суммарной базы тензOMETров или 0,4 мм при длине 200 мм. Величина остаточной деформации при определении предела упругости равна 0,02 % от суммарной базы тензOMETров или 0,04 мм при длине 200 мм.

1.4. На образец после его установки в захваты испытательной машины прикладывается начальная нагрузка, равная 1000 кг, которая составляет примерно $0,08R_{\text{max}}$. Устанавливают тензOMETры и проводят дальнейшее нагружение образца этапами по 1000 кг до 7000 кг, что составляет $0,7R_{0,2}$, и далее по 500 кг до общего удлинения образца порядка 1,0 %, что в данном случае соответствует нагрузке 11500 кг.

Результаты замеров нагрузок и деформаций записывают в табл. П.2 испытаний.

Как видно из табл. П.2, в диапазоне от 1000 до 4000 кг одному этапу нагрузки в 1000 кг соответствует суммарная деформация $6 \times 10 \text{ мм}$. Определение условного предела текучести аналитическим способом проводится с помощью данных, приведенных в табл. П.2.

Величина остаточной деформации, соответствующая условному пределу текучести, в данном случае составляет 0,4 или $40 \times 10^{-2} \text{ мм}$.

Как видно из табл. П.2, величина остаточной деформации 0,4 мм несколько больше величины деформации при нагрузке 1000 кгс и меньше, чем $\Sigma(\Delta l - \Delta l_y)$ при нагрузке 10500 кгс. Поэтому $R_{0,2}$ определяем по интерполяции

$$m_{0,2} = 10000 + \frac{500(40,0 - 23,0)}{50,0 - 23,0} = 10000 + \frac{500 \cdot 17,0}{27,0} = 10000 + 315 = 10315 \text{ кг}$$

$$\sigma_{0,2} = \frac{m_{0,2}}{F_0} = \frac{10315}{150} = 68,8 \approx 69 \text{ кгс/см}^2$$

Нагрузка Р, (кгс)	Отсчет по шкале тензо- метра, мм		Суммарная деформация, $\Sigma \Delta l * 10^{-2}$, мм	Приращение де- формации на од- ном этапе 10^{-2} , мм	Упругая де- формация $\Sigma \Delta l_y * 10^{-2}$, мм	Условно- мгновенная де- формация $\Sigma(\Delta l - \Delta l_y) * 10^{-2}$, мм
	левый	правый				
9800 (1000)	0	0	0	0	0	0
19600 (2000)	2,5	3,0	5,5	5,5	6,0	0,5
29400 (3000)	6,0	6,0	12,0	6,5	12,0	0
39200 (4000)	9,0	9,0	18,0	6,0	18,0	0
49000 (5000)	12,0	12,0	24,0	6,0	24,0	0
58800 (6000)	15,0	15,0	30,0	6,0	30,0	0
68600 (7000)	18,0	18,0	36,0	6,0	36,0	0
73500 (7500)	20,0	19,0	39,0	3,0	39,0	0
78400 (8000)	22,0	21,0	43,0	4,0	42,0	1,0
83300 (8500)	24,0	23,5	47,5	4,5	45,0	2,5
88200 (9000)	26,5	25,5	52,0	4,5	48,0	4,0
93100 (9500)	28,0	29,0	57,0	5,0	51,0	6,0
98000 (10000)	37,0	40,0	77,0	20,0	54,0	23,0
102900 (10500)	52,0	55,0	107,0	30,0	57,0	50,0
107800 (11000)	74,0	77,0	151,0	44,0	60,0	91,0
112700 (11500)	98,0	102,0	200,0	49,0	63,0	137,0
117600 (12000)	-	-	-	-	-	-

2. Графический метод

2.1. По данным измерений деформаций, приведенным в таблице, строим график $P-\Delta l$. По оси ординат откладываем нагрузку, а по оси абсцисс – соответствующее удлинение Δl (рис. 3.4). На графике проводим прямые, параллельные участку пропорциональной зависимости диаграммы $P-\Delta l$, на расстоянии от прямой части диаграммы в направлении оси абсцисс, равном для условного предела текучести 0,4 мм. В точках пересечения этих линий диаграммой растяжения определяем нагрузки $P_{0,2}$, соответствующие условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$

$$m_{0,2}=10300 \text{ кгс}$$

$$\sigma_{0,2} = \frac{10300}{150} = 68,7 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \approx 69,0 \text{ кгс/см}^2$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Определение прочности бетонных образцов неразрушающими методами	4
Лабораторная работа № 2. Определение прочности бетона при сжатии, растяжении и изгибе по контрольным образцам	15
Лабораторная работа № 3. Определение механических характеристик арматурной стали.....	22
Лабораторная работа № 4. Определение расчетного сопротивления каменной кладки.....	29
Библиографический список	35
Приложение 1. Термины, обозначения и определения, используемые в лабораторных работах.....	36
Приложение 2. Пример определения предела текучести $\sigma_{0,2}$ для стержневой арматуры и проволоки	38

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов специальности
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»,
08.03.01 «Строительство» всех форм обучения

Составители:

Поликутин Алексей Эдуардович

Зябухин Павел Алексеевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 10.02.2022.

Уч.-изд. л. 2,5.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84