

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра «Строительное производство»

М. Г. ОСМОЛОВСКАЯ

ОБЩЕЕ БЕТОНОВЕДЕНИЕ

**Лабораторный практикум для студентов специальности
«Производство строительных изделий и конструкций»**

Гомель 2010

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительное производство»

М. Г. ОСМОЛОВСКАЯ

ОБЩЕЕ БЕТОНОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум для студентов специальности
«Производство строительных изделий и конструкций»

*Одобрен методической комиссией факультета
«Промышленное и гражданское строительство»*

Гомель 2010

УДК 624.012.3/4(075.8)
ББК 38.626
О-74

Рецензент – начальник управления менеджмента качества СМТ № 27
Т. А. Клещева

Осмоловская, М. Г.

О-74 Общее бетоноведение : лаб. практ. / М. Г. Осмоловская ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. у-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 48 с.

ISBN 978-985-468-675-2

Представлены теоретические основы и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Общее бетоноведение».

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций».

УДК 624.012.3/4(075.8)
ББК 38.626

ISBN 978-985-468-675-2

© Осмоловская М. Г., 2010
© Оформление. УО «БелГУТ», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по курсу «Общее бетоноведение» предназначен для студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций».

Основной целью лабораторного практикума является более углубленное изучение ими отдельных вопросов курса применительно к данной специальности и приобретение ими навыков проведения исследовательских работ по приготовлению бетонных смесей.

При выполнении лабораторных работ студенты должны дополнительно изучить теоретическую часть темы по специальной литературе и в отчете привести литературный обзор.

Лабораторная работа № 1

РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО (ОРИЕНТИРОВОЧНОГО) СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО И ЛЕГКОГО БЕТОНОВ

Цель работы – развитие у студентов навыков самостоятельной исследовательской работы по подбору составов тяжелого и легкого бетонов, лабораторного замеса для освоения основных свойств бетонных смесей и бетонов в последующих лабораторных работах.

Задания: 1 Расчет ориентировочных составов тяжелого и легкого бетонов. 2 Приготовление пробных замесов с определением расхода материалов и средней плотности бетонной смеси. 3 Корректировка пробных замесов по результатам расчета составов бетонных смесей для определения основных свойств бетонных смесей и бетона.

Нормативные ссылки: 1 СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава. 2 ГОСТ 10181.2-81. Смесей бетонные. Методы определения плотности. 3 СТБ1035-96. Смесей бетонные. Технические условия. 4 ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. 5 СТБ 1187-99. Бетоны легкие. Технические условия. 6 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.

Краткие сведения из теории. Состав бетона выражается расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м³ уложенной и уплотненной бетонной смеси. Иногда состав бетона выражают отношением массы составляющих материалов бетонной смеси к массе цемента. За единицу принимают массу цемента, т. е. 1:Х:У [цемент : песок : щебень (гравий) при заданном (требуемом) количестве воды (В/Ц + Z)].

Различают лабораторный состав бетона, рассчитанный для составляющих

материалов [песок, щебень (гравий)] в сухом состоянии, и производственный состав – для материалов с естественной влажностью.

Из существующих методов расчета составов тяжелого бетона наиболее простым является метод расчета по «абсолютным объемам», в основу которого положено условие, что бетонная смесь после укладки в форму и уплотнения не будет иметь пустот. Состав бетона по методу «абсолютных объемов» подбирают в два этапа. На первом рассчитывают ориентировочный состав бетона; на втором по результатам пробных замесов расчеты проверяют и уточняют с учетом основных свойств бетонных смесей и бетонов.

1 Расчет ориентировочных составов тяжелого и легкого бетонов

1.1 Расчет ориентировочного состава тяжелого бетона

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо знать следующие исходные данные:

- 1) заданный класс бетона C или требуемую прочность $f = C / 0,7786$;
- 2) требуемую удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси ОК, см, или Ж, с;
- 3) вид и активность цемента $R_{ц}$;
- 4) насыпную плотность цемента $\rho_{ц}$;
- 5) насыпную плотность мелкого заполнителя $\rho_{нмз}$;
- 6) насыпную плотность крупного заполнителя $\rho_{нкз}$;
- 7) истинную плотность цемента $\rho_{иц}$;
- 8) плотность зерен мелкого заполнителя $\rho_{мз}$;
- 9) плотность зерен крупного заполнителя $\rho_{кз}$;
- 10) пустотность крупного заполнителя $\Pi_{кз}$;
- 11) наибольшую крупность зерен щебня или гравия;
- 12) влажность мелкого заполнителя W , %.

Исходные данные для подбора состава бетона приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Исходные данные для подбора состава бетона

Вариант	Средняя прочность, МПа	Подвижность (жесткость) бетонной смеси, см/(с)	Минимально допустимый расход цемента, кг/м ³	Насыпная плотность составляющих бетона, кг/м ³			Плотность зерен заполнителей, кг/м ³		
				заполнители		цемент	мелкого	крупного	истинная плотность цемента, кг/м ³
				мелкий	крупный				
1	7,5	3	220	1520	1540	1050	2560	2600	3050
2	10	5	250	1520	1540	1050	2560	2600	3060
3	15	4	300	1550	1580	1100	2580	2700	3070
4	20	3	325	1560	1400	1150	2600	2620	3080
5	25	2	350	1570	1420	1200	2620	2640	3090
6	30	10с	350	1580	1440	1250	2640	2660	3100
7	40	18с	350	1520	1410	1020	2520	2450	3060
8	50	15с	350	1590	1460	1300	2680	2680	3110
9	60	20с	350	1600	1480	1280	2700	2700	3120
10	7,5	4	300	1530	1550	1060	2540	2550	3070
11	12,5	3	325	1540	1590	1100	2560	2650	3080
12	4,5	2	350	1550	1410	1140	2580	2630	3090
13	5,5	1	325	1560	1430	1160	2600	2650	3100

Примечание – Максимальная крупность заполнителя – 20 мм.

Состав бетона для пробных замесов рассчитывают в следующей последовательности: вычисляют водоцементное отношение, расходы воды и цемента, определяют расходы крупного и мелкого заполнителей на 1 м³ бетонной смеси.

Определение водоцементного отношения. Водоцементное отношение В/Ц вычисляют, исходя из требуемой прочности бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

для бетона с водоцементным отношением В/Ц = 0,40 (т. е. для пластичных бетонов) –

$$R_b = AR_c (C/B - 0,5); \quad (1)$$

для бетона с водоцементным отношением В/Ц < 0,4 (для жестких бетонов)

$$R_b = A_1 R_c (C/B + 0,5), \quad (2)$$

где R_b – прочность бетона при сжатии, МПа;

R_c – активность цемента, МПа;

A, A_1 – коэффициенты, учитывающие качество материалов (таблица 2).

Т а б л и ц а 2 – Значение коэффициентов А и А₁

Качество заполнителей и цемента	А [формула(1)]	А ₁ [формула (2)]
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 К высококачественным материалам относятся щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности, портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки в его составе. Заполнители должны быть чистые и фракционированные.</p> <p>2 Рядовые материалы включают материалы среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности, высокомарочный шлакопортландцемент.</p> <p>3 Материалы пониженного качества подразделяются на крупные заполнители низкой прочности, мелкие пески, цементы низкой активности.</p>		

После преобразования относительно В/Ц формул (1) и (2) получим

$$В/Ц = \frac{AR_c}{R_b + 0,5AR_c}; \quad (3)$$

$$В/Ц = \frac{A_1 R_c}{R_b - 0,5AR_c}; \quad (4)$$

Определение расхода воды. Расход воды в литрах на 1 м³ бетонной смеси (водопотребность) определяют ориентировочно исходя из требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и с учетом вида и наибольшей

крупности зерен щебня или гравия по таблице 3.

При определении количества воды учитывается также нормальная густота цементного теста и модуль крупности песка (см. примечания к таблице 3).

Т а б л и ц а 3 – **Водопотребность бетонной смеси**

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды, л, на 1 м ³ бетонной смеси при наибольшей крупности заполнителя, мм					
Подвижность ОК, см	Жесткость, с	Гравий			Щебень		
		10	20	40	10	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8
0	31	150	135	125	160	150	135
0	30–20	160	145	130	170	160	145
0	20–11	165	150	135	175	165	150
-	10–5	175	160	145	185	170	155
1–2	-	185	170	155	195	180	165
3–4	-	195	180	165	205	190	175
5–6	-	200	185	170	210	195	180
7–8	-	205	190	175	215	200	185
9–10	-	215	200	185	225	220	195

Примечания
 1 Расход приведен для смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста (НГЦТ) 26-28 % и на песке с модулем крупности $M_{np} = 2$.
 2 При изменении НГЦТ на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 5 л, в большую сторону – увеличивается на 5 л/м³.
 3 При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 5 л, в большую сторону – уменьшается на 5 л.

Определение расхода цемента. Расход цемента на 1 м³ бетона

$$Ц = V(V / Ц), \quad (5)$$

где Ц – расход цемента, кг;

V – расход воды, л (кг);

V/Ц – водоцементное отношение.

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше минимально допустимого (например, 200–220 кг/м), то из условия получения плотной структуры бетона расход цемента увеличивают до требуемой нормы или вводят тонкомолотую добавку.

Определение расхода крупных заполнителей. Расход крупного и мелкого заполнителей вычисляют, исходя из двух условий:

– сумма абсолютных объемов всех компонентов бетона равна 1 м³

уплотненной смеси, следовательно,

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} + \frac{КЗ}{\rho_{кз}} = 1, \quad (6)$$

где Ц, В, МЗ, КЗ – расход цемента, воды и заполнителей, кг;

$\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{мз}, \rho_{кз}$ – истинная плотность этих материалов, кг/м³;

- объем цементно-песчаного раствора должен быть равен объему пустот в крупном заполнителе с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки зерен:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} = \Pi_{кз} \frac{КЗ}{\rho_{икз}} K_{разд}; \quad (7)$$

$$КЗ = \frac{1}{\frac{\alpha \Pi_{кз}}{\rho_{икз}} + \frac{1}{\rho_{икз}}}, \quad (8)$$

где $\Pi_{кз}$ – пустотность крупного заполнителя в рыхлом состоянии;

$\rho_{икз}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

$K_{разд}$ – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором. Для пластичных смесей $K_{разд}$ принимают по таблице 4, для жестких $K_{разд} = 1,05 \dots 1,2$;

$\rho_{икз}$ – истинная плотность щебня, кг/м³.

Таблица 4 – Значение коэффициентов $K_{разд}$ пластичных бетонных смесей

Расход цемента на 1 кг/м ³ бетона	При В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,3	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,4	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	-	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Примечание – При других значениях Ц и В/Ц коэффициент $K_{разд}$ находится интерполяцией.

Решая совместно уравнения (6) и (7), получаем формулу для определения расхода крупного заполнителя (щебня или гравия) в килограммах на 1 м³ бетона.

Определение расхода мелкого заполнителя. Расход мелкого заполнителя (песка) в килограммах на м³ бетона вычисляют как разность между проектным объемом бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя:

$$МЗ = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{КЗ}{\rho_{кз}} \right) \right] \rho_{мз}. \quad (9)$$

Определение расчетной (теоретической) средней плотности бетонной смеси.
 Определив расход всех компонентов (воды, цемента, крупного и мелкого заполнителей) на 1 м³ бетонной смеси, вычисляем ее расчетную среднюю плотность по формуле

$$\rho_{б.см}^{расч} = Ц + В + МЗ + КЗ. \quad (10)$$

Определение коэффициента выхода бетона. Коэффициент выхода бетона β равен объему бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} V_{МЗ} V_{КЗ}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{нц}} + \frac{МЗ}{\rho_{нМЗ}} + \frac{КЗ}{\rho_{нКЗ}}}, \quad (11)$$

где $V_{ц}$, $V_{МЗ}$, $V_{КЗ}$ – объемы сухих составляющих (цемента, мелкого и крупного заполнителей), затраченных на приготовление 1 м³ бетонной смеси, м³;

Ц, МЗ, КЗ – расход сухих материалов на 1 м³ бетона, кг;

$\rho_{нц}$, $\rho_{нМЗ}$, $\rho_{нКЗ}$ – насыпная плотность сухих материалов (цемента, мелкого и крупного заполнителей).

Численное значение коэффициента выхода бетона (β) находится обычно в пределах 0,55–0,75.

1.2 Расчет ориентировочного состава легкого бетона

Поскольку средняя плотность бетона зависит от свойств и содержания пористого заполнителя, при проектировании состава из условия получения требуемой средней плотности определяют расходы мелкого и крупного заполнителей. При заданном расходе цемента и воды, которые определяются требуемой прочностью бетона и удобоукладываемостью бетонной смеси, расходы крупного и мелкого заполнителей вычисляем решением двух уравнений:

$$\rho = 1,15Ц + П + К; \quad (12)$$

$$Ц/\rho_{ц} + П/\rho_{п} + К/\rho_{к.з.} + В/\rho_{в} = 1,0. \quad (13)$$

При подборе состава бетона необходимо:

- 1) определить расход цемента для приготовления 1 м³ бетона;
- 2) вычислить начальный расход воды на 1 м³ бетона;
- 3) установить абсолютную концентрацию крупного заполнителя в бетоне;
- 4) рассчитать расход крупного заполнителя на 1 м³ бетона;
- 5) вычислить расход песка на 1 м³ бетона;
- 6) определить общий расход воды в бетонной смеси;
- 7) вычислить расходы материалов на пробные замесы бетонной смеси, приготовить пробные замесы и определить удобоукладываемость бетонной смеси;
- 8) выявить среднюю плотность бетонной смеси и изготовить контрольные образцы;
- 9) установить среднюю плотность и прочность бетона;

- 10) построить график зависимости прочности бетона от расхода цемента;
 11) уточнить расход материалов на 1 м³ бетонной смеси.

Методика расчета. Расход цемента определяют по таблице 5 в зависимости от марки цемента, требуемой прочности бетона и прочности крупного заполнителя. Таблица составлена для бетонных смесей с жесткостью 5–8 с, изготовленных на плотном песке и заполнителях с крупностью зерен до 20 мм. При использовании цементов других марок, пористых песков, изменении предельной крупности заполнителей или подвижности бетонной смеси ориентировочные расходы цемента умножают на коэффициенты, приведенные в таблице 6.

Таблица 5 – Рекомендуемые расходы цемента

Марка бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расход цемента, кг/м ³ , при марке пористого заполнителя по прочности						
		75	100	125	150	200	250	300
C ⁸ / ₁₀	400	300	280	260	240	230	220	210
C ¹² / ₁₅	400	-	340	320	300	280	260	250
C ¹⁶ / ₂₀	400	-	-	390	360	330	310	290
C ²⁰ / ₂₅	500	-	-	-	390	390	360	330
C ²² / _{27,5}	500	-	-	-	-	450	410	380
C ²⁵ / ₃₀	500	-	-	-	-	-	480	450
C ³² / ₄₀	600	-	-	-	-	-	570	540

Таблица 6 – Коэффициенты изменения расхода цемента

Характеристики применяемых материалов	Значения коэффициентов изменения расхода цемента для бетона класса (марок)						
	C ⁸ / ₁₀ (150)	C ¹² / ₁₅ (200)	C ¹⁶ / ₂₀ (250)	C ²⁰ / ₂₅ (300)	C ²² / _{27,5} (350)	C ²⁵ / ₃₀ (400)	C ³⁰ / ₃₇ (450)
Цемент марки:							
300	1,15	1,2	-	-	-	-	-
400	1	1	1	1,15	1,2	1,25	-
500	0,9	0,8	0,85	1	1	1	1,1\
600	-	-	0,8	0,9	0,88	0,85	1
Песок:							
плотный	1	1	1	1	1	1	1
пористый	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Наибольшая крупность заполнителя, мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1	1	1	1	1	1	1
10	1,1	1,1	1,07	1,07	1,05	1,05	1,05
Жесткость смеси:							
5–8	1	1	1	1	1	1	1
8–12	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
12–20	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Подвижность смеси:							
1–2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

2–5 8–12	1,1 1,25	1,1 1,25	1,1 1,25	1,1 1,25	1,1 1,25	1,1 -	1,1 -
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	----------	----------

2 Начальный расход воды на 1 м³ бетона определяют в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, вида и предельной крупности применяемого заполнителя (таблице 7).

Таблица 7 – Начальный расход воды для приготовления бетонной смеси

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расходы воды, л/м ³ , при использовании в качестве заполнителя					
		пористого гравия с предельной крупностью, мм			пористого щебня с предельной крупностью, мм		
		10	20	40	10	20	40
8–12	-	235	220	205	265	250	235
3–7	-	220	205	190	245	230	215
1–2	3–5	205	190	175	225	210	195
-	5–8	195	180	165	215	200	185
-	8–12	185	170	160	200	185	175
-	12–20	175	160	150	190	175	165

3 Концентрацию крупного заполнителя устанавливают по таблице 8 в зависимости от выбранного расхода цемента и воды, средней плотности бетона, плотности зерен крупного заполнителя и водопотребности песка. Приведенные значения предельной концентрации крупного заполнителя справедливы при расходе цемента 300 кг/м³. При большем расходе цемента ее значения возрастают на 0,01 на каждые 100 кг цемента, а при снижении расхода цемента – сокращаются.

Концентрация крупного заполнителя не должна превышать более чем на 0,05 оптимальное значение, указанное в таблице 9. Если это условие не выполняется, то следует использовать более легкие заполнители.

Таблица 8 – Абсолютная концентрация заполнителя в бетоне

Средняя плотность бетона, кг/м ³	Плотность зерен заполнителя, кг/л	Абсолютная концентрация заполнителя при водопотребности, %								
		6			8			9		
		При расходе воды, л								
		160	200	240	160	200	240	160	200	240
1500	1,0	0,47	0,43	0,38	0,46	0,41	0,35	0,45	0,40	0,32
1500	1,2	0,50	0,46	0,42	0,50	0,45	0,40	0,48	0,44	0,38
1500	1,4	-	0,50	0,46	-	0,49	0,45	-	0,48	0,43
1600	1,0	0,43	0,38	0,32	0,42	0,35	0,25	0,39	0,32	-
1600	1,2	0,47	0,42	0,35	0,46	0,40	0,30	0,44	0,38	0,27
1600	1,4	0,50	0,46	0,41	0,50	0,45	0,39	0,48	0,43	0,36
1600	1,6	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43
1700	1,0	0,39	0,31	-	0,36	0,26	-	0,32	-	-
1700	1,2	0,43	0,38	0,27	0,41	0,33	-	0,38	0,28	-
1700	1,4	0,47	0,41	0,33	0,45	0,39	0,30	0,43	0,36	0,29
1700	1,6	0,50	0,46	0,40	0,49	0,44	0,37	0,48	0,42	0,31
1700	1,8	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,43	0,53	0,48	0,41
1800	1,2	0,37	0,30	-	0,33	-	-	-	-	-
1800	1,4	0,42	0,34	0,25	0,39	-	-	0,36	-	-
1800	1,6	0,45	0,40	0,26	0,45	0,37	0,25	0,42	0,30	-

1800	1,8	0,51	0,45	0,38	0,49	0,44	0,30	0,48	0,41	0,27
1800	2,0	-	0,50	0,44	-	0,49	0,42	-	0,48	0,44

4 Расход крупного пористого заполнителя в килограммах на 1 м³ бетона

$$K = \varphi_3 \rho_{к.з}, \quad (14)$$

где φ – абсолютная концентрация заполнителя;

$\rho_{к.з}$ – плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/м³.

5 Расход плотного песка в килограммах

$$\Pi = \rho_6 - 1,15Ц - K, \quad (15)$$

где ρ_6 – средняя плотность бетона, кг/м³;

Ц – расход цемента на 1 м³ бетона, кг.

Таблица 9 – Допустимая объемная концентрация крупного заполнителя

Межзерновая пустотность заполнителя	Объемная концентрация крупного заполнителя при		
	жесткости свыше 8 с	осадки конуса 1–2 см тили жесткости 3–8 с	осадки конуса 3 см и более
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,50	0,47	0,45
0,4	0,48	0,45	0,43
0,42	0,46	0,43	0,41
0,44	0,44	0,41	0,39
0,46	0,42	0,39	0,37
0,48	0,40	0,37	0,35
0,5	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

6 Общий расход воды определяют по начальному расходу с учетом поправок:

$$B = B_0 + B_1 + B_2 - B_3, \quad (16)$$

где B_0 – начальный расход воды, л;

B_1 – поправка на водопотребность плотного песка, л;

B_2 – поправка на расход цемента, л;

B_3 – поправка на объемную концентрацию крупного заполнителя, л.

Необходимость введения поправок в расчет расхода воды для бетона объясняется тем, что изменение водопотребности песка, расхода цемента в бетоне и объемной концентрации крупного заполнителя оказывает влияние на водопотребность легкобетонной смеси. За среднюю водопотребность плотного песка принимают значение, равное 7 %. При использовании песков с другой водопотребностью в расход воды следует вводить поправку, величину которой определяют по формуле

$$B = [20\Pi(B_{п} - 7)] / \rho_{п}, \quad (17)$$

где $B_{п}$ – водопотребность применяемого песка, %.

В конструкционном керамзитобетоне водопотребность бетонной смеси возрастает при высоких расходах цемента (низких значениях В/Ц). Предполагается, что при расходе цемента свыше 450 кг/м³ водопотребность возрастает примерно на 0,15 л на каждый 1 кг расхода цемента сверх критического значения. Поэтому поправка к расходу воды при больших расходах цемента может быть определена по формуле

$$B_2 = 0,15 (Ц - 450). \quad (18)$$

Для конструкционного керамзитобетона минимальная водопотребность бетонной смеси достигается обычно при объемной концентрации керамзита 0,35–0,4. При большем или меньшем значении объемной концентрации крупного заполнителя в расход воды вводят поправку, которую ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$B_3 = 2000(C_3 - 0,37)^2. \quad (19)$$

7 Порядок расчета расхода материалов и приготовления замесов бетонных смесей тот же, что и для тяжелых бетонов. В процессе приготовления опытных замесов определяют удобоукладываемость бетонных смесей.

8 После получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости определяют ее среднюю плотность и изготавливают серии образцов-кубов, которые подвергают тепловой обработке по режиму, принятому на производстве.

9 Среднюю плотность и прочность бетона при сжатии определяют, как и при испытании тяжелого бетона.

10 По результатам испытания образцов и соответствующим им значениям расхода цемента строят график и уточняют необходимый расход цемента, позволяющий получить требуемую прочность бетона при заданной его плотности.

11 Расходы материалов (песка и щебня) находят по интерполяции. Для этого используют формулу

$$M_0 = M_1 + (Ц_0 - Ц_1)(M_2 - M_1)/(Ц_2 - Ц_1), \quad (20)$$

где M_0 – уточненный расход песка или щебня, кг;

$Ц_0$ – уточненный расход цемента, кг;

$Ц_1$ и $Ц_2$ – расходы цемента в опытных замесах, между которыми находится установленный расход цемента, кг;

M_1 и M_2 – расходы материалов в тех же опытных замесах, кг.

Найденный состав бетона проверяют в лабораторных условиях.

2 Приготовление пробных замесов с определением расхода материалов и средней плотности бетонной смеси

Пробные замесы бетонной смеси готовят после выполнения расчета состава бетона и расхода составляющих на пробный замес. Объем бетонной смеси пробного замеса принимают 10 см³ (из расчета изготовления 4–6 контрольных образцов-кубов с ребром 100 мм), фракции крупного заполнителя – от

5 до 20 мм.

Приборы и материалы. Портландцемент, вода, песок кварцевый, щебень гранитный фр. 5–20 мм или гравий керамзитовый фр. 5–20 мм, металлическая форма-боек, весы лабораторные, мерный сосуд или формы металлические для образцов-кубов, виброплощадка.

Определение расхода материалов на замес.

Расход воды

$$B_1 = BV_3, \quad (21)$$

где B – расход воды на 1 м^3 бетонной смеси л;

V_3 – объем замеса, м^3 .

Расход цемента

$$Ц_1 = ЦV_3, \quad (22)$$

где $Ц$ – расход цемента на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Расход крупного заполнителя

$$KЗ_1 = KЗ \cdot V_3,$$

(23)

где $KЗ_1$ – расход крупного заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Расход мелкого заполнителя

$$MЗ_1 = MЗ \cdot V_3, \quad (24)$$

где $MЗ_1$ – расход мелкого заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Приготовление пробного замеса с определением средних плотностей бетонных смесей.

Цемент тщательно перемешивают и просеивают через сито № 08. Остаток на сите удаляют.

Заполнители предварительно высушивают до постоянной массы при температуре выше $80\text{--}90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Компоненты бетонной смеси дозируют с точностью взвешивания $\pm 0,1 \%$. Все составляющие перемешивают вручную или механическим способом (в бетономешалке). При перемешивании вручную используют предварительно увлажненную металлическую форму-боек размером в плане $1 \times 2 \text{ м}$. На поддон формы сначала высыпают отвешенное количество мелкого заполнителя, затем добавляют требуемое количество цемента. Компоненты перемешивают до получения смеси однородного состава, затем добавляют крупный заполнитель, и всю смесь тщательно перемешивают до тех пор, пока щебень или гравий не будет равномерно распределен в сухой смеси. После этого в середине перемешанной смеси делают углубление, вливают в него половину требуемого количества воды, осторожно перемешивают, собирают бетонную смесь в кучу и добавляют остальную часть воды. Затем энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ее однородности. Продолжительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять 5 мин.

В случае механического перемешивания в бетоносмеситель сначала

загружают песок, затем цемент, крупный заполнитель и воду. Продолжительность перемешивания должна составлять 2 мин с момента загрузки всех компонентов.

Средняя плотность бетонной смеси характеризуется отношением массы уплотненной смеси к ее объему. Ее определяют с целью фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Вычисляют среднюю плотность бетонной смеси (в кг/м³) по формуле

$$\rho_{б.см} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 100, \quad (25)$$

где m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, кг;

m_1 – масса мерного сосуда без бетонной смеси, кг;

V – объем мерного сосуда (формы), см³.

Для определения средней плотности бетонной смеси используют цилиндрический металлический сосуд, емкость которого зависит от наибольшей крупности зерен. Допускается вместо цилиндрического сосуда использовать формы, в которых изготавливают контрольные образцы бетона.

Мерный сосуд или форму взвешивают, заполняют бетонной смесью с избытком, устанавливают на лабораторную площадку, закрепляют зажимами. Затем включают виброплощадку и секундомером фиксируют время вибрирования. Оно должно продолжаться до полного уплотнения, когда прекращается оседание бетонной смеси, выравнивается ее поверхность и на ней появляется цементный раствор.

Поле уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями формы. Затем форму с бетоном взвешивают с погрешностью не более 0,1 % и вычисляют среднюю плотность бетонной смеси по формуле (25).

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 10 кг/м³ как среднее арифметическое значение результатов двух определений. Результаты испытаний заносят в таблицу 10.

Таблица 10 – Средняя плотность бетонной смеси

Показатель	Бетонная смесь на плотных заполнителях		Бетонная смесь на легких заполнителях	
	1	2	3	4
Масса формы без бетонной смеси m , г				
Масса формы с бетонной смесью m_1 , г				
Масса бетонной смеси, г				
Объем формы, вместимость V , см ³				
Средняя плотность бетонной смеси $\rho_{б.см}$, кг/м ³				

По результатам расчета составов бетонных смесей следует дать заключение о полученных пробных замесах и средних плотностях бетонных смесей в соответствии с требованиями нормативных документов.

Контрольные вопросы

- 1 Как выражается состав бетона и на какие виды он разделяется?
- 2 Каким образом определяется водоцементное отношение и необходимое количество цемента?
- 3 Как определяется количество крупного и мелкого заполнителей, входящих в состав данной бетонной смеси?
- 4 Каков порядок подбора состава бетона?
- 5 Как определить плотность бетонной смеси?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ПЛОТНЫХ И ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Цель работы – ознакомиться на практике с процессами определения удобоукладываемости (осадки конуса и жесткости), раствооротделения (расслаивания и водоотделения) и водоотделения бетонных смесей.

Задания: 1 Определение удобоукладываемости бетонных смесей (ОК и Ж). 2 Определение раствооротделения бетонных смесей. 3 Определение водоотделения бетонных смесей. 4 Заключение о соответствии испытанных свойств требованиям нормативных документов.

Нормативные документы: 1 СТБ 1035-96. Смесии бетонные. Технические условия. 2 СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава. 3 СТБ 1545-2005. Смесии бетонные. Методы. Методы испытаний.

Краткие сведения из теории. Наиболее важным свойством бетонной смеси является удобоукладываемость или формуемость, то есть способность смеси растекаться и принимать заданную форму, сохраняя при этом монолитность и однородность. Для полной оценки бетонной смеси и правильной организации производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций необходимо знать и другие свойства смеси: её уплотняемость, расслаиваемость, изменение объема в процессе затвердевания, воздухововлечение, первоначальную прочность (для жестких бетонных смесей при использовании немедленной распалубки изделий).

Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из частичек вяжущего, новообразований образующихся при воздействии вяжущего с водой, зерен заполнителя, воды, вводимых в ряде случаев специальных добавок, вовлечение воздуха.

Удобоукладываемость бетонной смеси оценивают показателем подвижности и жесткости в зависимости от марки смеси, подвижность характеризуется показателем осадки конуса (ОК) в сантиметрах и показателем диаметра рассекания конуса (РК) в сантиметрах, жесткость (Ж)

характеризуется временем вибрации в секундах, необходимым для уплотнения бетонной смеси в приборе И. М. Красного (далее – Красного) или техническом вискозиметре.

ОК определяют только для смесей марок П1-П4. Если по результатам испытания смеси показатель ОК = 21 см и более, то ее следует оценивать показателем РК.

Расслаиваемость бетонной смеси оценивают показателями раствоороотделения и водоотделения.

Бетонные смеси в зависимости от консистенции характеризуются марками по удобоукладываемости, приведенными в таблице 1 по СТБ 1035-96.

Расслаиваемость бетонной смеси (водоотделение и раствоороотделение) не должна превышать приведенных в таблице 2 по СТБ 1035-96.

Примечание – Предельную величину раствоороотделения для легких смесей с маркой РК1–РК6 устанавливают экспериментально при разработке состава (см. правила отбора смесей).

Таблица 1 – Марки по удобоукладываемости бетонных смесей в зависимости от консистенции

Удобоукладываемость по показателю		Удобоукладываемость по показателю подвижности		Удобоукладываемость по показателям расплыва конуса	
марка	жесткость (Ж), с	марка	осадка конуса (ОК), см	марка	расплыв конуса (РК), см
СЖ3	Более 100	П1	1-4	РК-1	≤34
СЖ2	51-100	П2	5-9	РК-2	35-41
СЖ1	41-50	П3	10-15	РК-3	42-48
Ж4	31-40	П4	16-20	РК-4	49-55
Ж3	21-30	П5	21-25	РК-5	56-62
Ж2	11-20			РК-6	≥62
Ж1	5-10				

Таблица 2 – Расслаиваемость бетонной смеси

Марка по удобоукладываемости	Показатели расслаиваемости, %, не более		
	водоотделение	раствороотделение бетонов	
		тяжелых	легких
СЖ3-СЖ1	0,1	2	3
Ж4-Ж1	0,2	3	4
П1-П2	0,4	3	4
П3-П5	0,8	4	6
РК1-РК6	0,8	4	См. примеч.

Правила отбора проб бетонной смеси:

1 Во время производственного контроля отбирают:

- при производстве монолитных изделий и конструкций – на месте укладки бетонной смеси не менее 1 раза в смену при непрерывном бетонировании конструкций и изделий отдельной партии;

- при отпуске товарной полностью затворенной смеси – на месте ее приготовления за 5–10 мин перед погрузкой в транспортную емкость не менее 1 раза в смену при непрерывном бетонировании и каждый раз при отпуске отдельной партии;

- при отпуске товарной частично затворенной бетонной смеси – на месте ее приготовления за 5–10 мин перед погрузкой в транспортную емкость не менее 1 раза в смену при непрерывном бетонировании и каждый раз при отпуске отдельной партии.

2 Отобранная проба перед проведением испытаний должна быть дополнительно перемешана.

1 Определение удобоукладываемости бетонной смеси (ОК и Ж)

Оборудования для определения ОК: конус нормальный (рисунок 1.); стальная линейка по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм; загрузочная воронка; кельма типа КБ по ГОСТ 9533; секундомер с делениями 0,5 с; стержень прямой металлический гладкий диаметром 16 ± 2 мм, длиной 600 ± 2 мм, с округленными концами; лист гладкий металлический 700×700 мм.

Порядок выполнения работы. Берут конус, протирают влажной тканью, и устанавливают на гладкий лист, заполняют бетонную смесь через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз. Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу. После уплотнения бетонной смеси воронку снимают, избыток смеси удаляют кельмой вровень с верхними краями конуса. Время на проведения работ не должно превышать 3 минут.

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в вертикальном направлении и ставят рядом. Время, затрачиваемое на снятие конуса, составляет от 3 до 5 секунд.

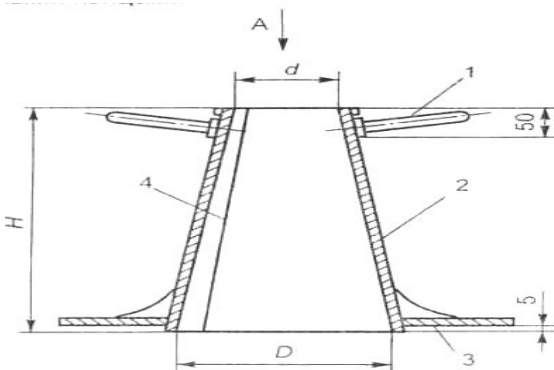


Рисунок 1 – Конус для определения показателей осадки и диаметра растекания конуса бетонной смеси:

1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упор;
4 – сварной шов

ОК бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до верхней поверхности конуса отборной смеси с погрешностью не более 5 мм. Если после снятия конуса бетонная смесь расслаивается, измерения не выполняют и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси. ОК бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания – 10 мин.

Вычисляют ОК бетонной смеси с округлением до 0,1 см как среднее арифметическое результатов двух определений осадки конуса из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 1 см – при $ОК \leq 9$, на 2 см – при $ОК = 10 \dots 15$ см, на 3 см – при $ОК \geq 16$ см. При большем расхождении результатов определения повторяются на новой пробе.

Результаты испытания заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты испытания

Определение	Бетонная смесь на плотных заполнителях		Бетонная смесь на пористых заполнителях	
	1	2	3	4
Осадка конуса, см				
Среднеарифметическая осадка конуса, см				
Марка удобоукладываемости				

Сделать вывод по результатам испытания.

Оборудования для определения жесткости: прибор Красного (рисунок 2); технический вискозиметр (рисунок 3); лабораторная виброплощадка с частотой колебания 2900 ± 100 кол/мин и амплитудой $0,50 \pm 0,05$ мм; секундомер с ценой деления 0,5 с; стержень прямой металлический гладкий диаметром 16 ± 2 мм, длиной 600 ± 2 мм, с округленными концами; загрузочная воронка; кельма типа КБ по ГОСТ 9533; конус.

Порядок выполнения работы. При определении жесткости (Ж) бетонной смеси при помощи прибора Красного с заполнителем крупностью зерен до 20 мм включительно его устанавливают в формах марок ФК-100, ФК-150, ФК-200.

Установленную на виброплощадке форму заполняют смесью доверху без уплотнения. Избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями формы. Прибор Красного погружают в бетонную смесь ножками вниз до соприкосновения диска 2 с поверхностью смеси. Включают одновременно виброплощадку и секундомер. Вибрирование проводят до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух любых отверстий диска 2

прибора. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку. Испытание проводят не менее двух раз.

За окончательное время принимают среднеарифметическое значение, полученное по результатам отдельных измерений с погрешностью не более 2 с. В случае расхождения отдельных результатов определений на величину свыше 15 % измерения повторяют.

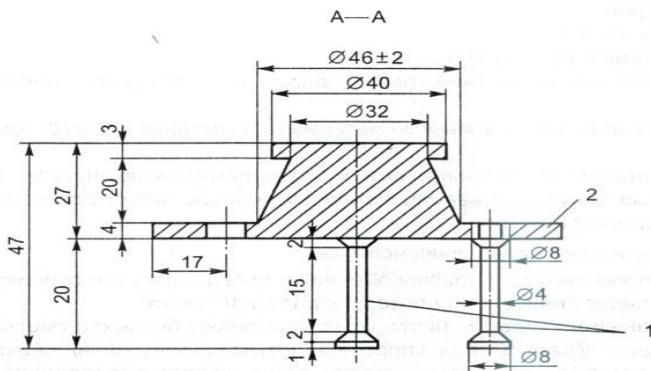
Измеренное время (в секундах) характеризует жесткость бетонной смеси (Ж).

Переходной коэффициент к прибору для определения жесткости техническим вискозиметром равен 1.

Результаты двух испытаний заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты испытания

Определение	Бетонная смесь на плотных заполнителях		Бетонная смесь на пористых заполнителях	
	1	2	3	4
Жесткость, с				
Среднеарифметическая жесткость, с				
Марка удобоукладываемости				



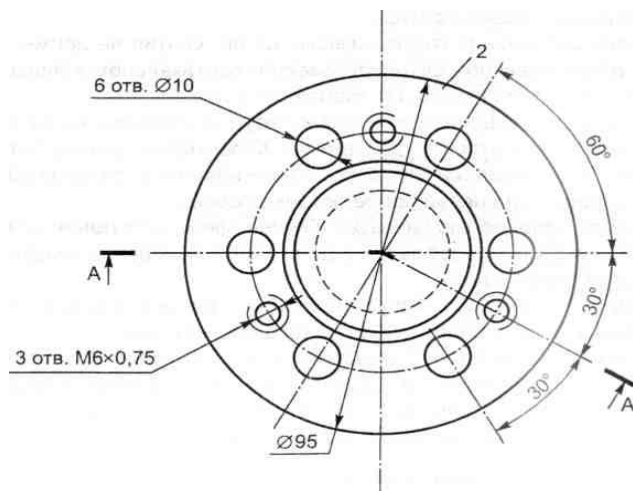


Рисунок 2 – Прибор Красного:
1 – ножи; 2 – диск

Определение жесткости бетонной смеси при помощи технического вискозиметра. Технический вискозиметр собирают и закрепляют на виброплощадке. Заполнение конуса прибора бетонной смесью, ее уплотнение и снятие конуса с отформованной смеси осуществляют в соответствии с ГОСТ 10180.

Поворотом штатива 5 устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси диск 8 (см. рисунок 3) и плавно опускают его до соприкосновения с поверхностью смеси. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием и уплотнением бетонной смеси.

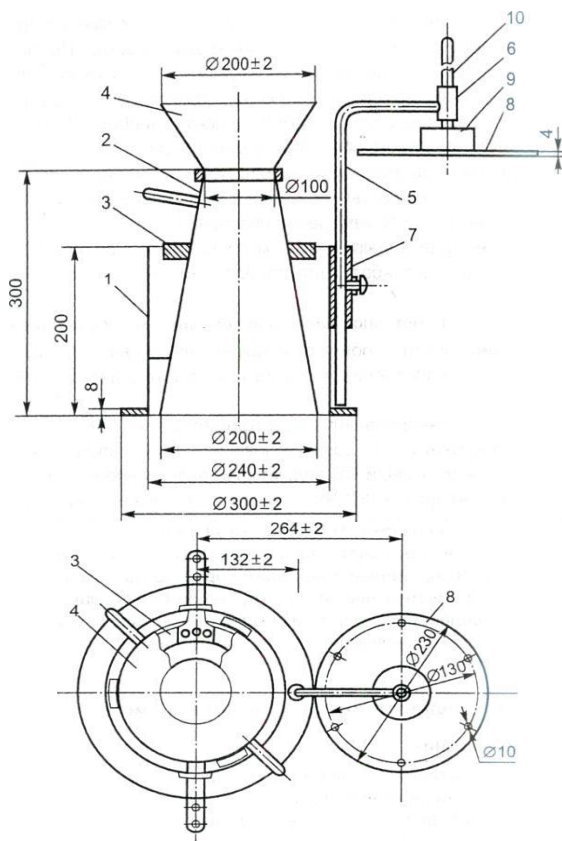


Рисунок 3 – Технический вискозиметр:

1 – цилиндр с фланцем в основании; 2 – конус (без упоров); 3 – кольцо-держатель с ручками; 4 – загрузочная воронка; 5 – штатив; 6 – направляющая втулка; 7 – фиксирующая втулка; 8 – диск с шестью отверстиями; 9 – стальная шайба; 10 – штанга

Вибрирование производят до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска 8. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку.

Измеренное время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси Ж. Её определяют дважды. Общее время испытания от начала заполнения формы при первом определении и до окончания вибрирования при втором определении не должно превышать 10 мин. Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднеарифметическое значение результатов двух определений жесткости из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % от меньшего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

По результатам испытаний следует сделать вывод.

2 Определение раствороотделения бетонной смеси (расслаиваемости и водоотделения)

Расслаиваемость бетонной смеси оценивают показателями раствороотделения и водоотделения.

Приборы и оборудование: формы стальные для изготовления контрольных образцов типа ФК-200 по ГОСТ 22685; сосуд объемом 5 л; виброплощадка лабораторная с частотой колебания (2900 ± 100) кол/мин и амплитудой $(0,50 \pm 0,05)$ мм; противень; линейка стальная по ГОСТ 427 с ценой деления 1 мм; сито с отверстиями диаметром 5 мм; сушильный электрошкаф, обеспечивающий поддержание температуры (105 ± 5) °С; посуда мерная стеклянная по ГОСТ 1770; весы лабораторные по ГОСТ 24104 с погрешностью измерения не более 2 г.

Определение раствороотделения бетонной смеси. Раствороотделение бетонной смеси, характеризующее ее расслаиваемость при динамическом воздействии, определяют путем сопоставления содержания растворной составляющей в нижней и верхней частях бетонной смеси, уплотненной в мерном сосуде или форме для изготовления контрольных образцов бетона.

Бетонную смесь укладывают в форму (сосуд) и уплотняют в соответствии с ГОСТ 10130. После этого уплотненную бетонную смесь дополнительно вибрируют на лабораторной виброплощадке: жесткие смеси марок СЖ1–СЖ3, Ж3, Ж4 – в течение времени, равного 10Ж (где Ж – жесткость смеси, определяемая по заданию 1); жесткую смесь марок Ж1, Ж2 – в течение времени, равного 5Ж. При этом считают, что время вибрирования испытуемой смеси, например при показателе 5Ж, равняется $T = 5 \cdot 30 = 150$ с, где Ж = 30 с; подвижную смесь марок П1 и П2 – в течение 25 с, марки П3 – в течение 10 с, марок П4 и П5 – в течение 0–7 с в зависимости от показателя диаметра РК с использованием данных таблицы 5.

Т а б л и ц а 5 – Зависимости от показателя диаметра РК

Показатель диаметра РК, мм	Время дополнительного виброуплотнения бетонной смеси, с
От 31 до 41 включ.	7
Св. 41	3
62	Нет
Более 62	Нет

После дополнительного вибрирования верхний слой бетонной смеси толщиной около половины высоты формы (сосуда) отбирают на

предварительно взвешенный противень, а оставшуюся в нижней части формы смесь вибрируют до выравнивания поверхности смеси.

Затем измеряют с погрешностью не более 5 мм высоту отобранного слоя смеси H_B и вычисляют толщину оставшегося в форме нижнего слоя смеси H_H . После этого оставшуюся в форме смесь выкладывают на второй взвешенный противень. Разделенную таким образом на две навески смесь из верхней и нижней частей формы разделяют взвешивают с погрешностью не более 2 г и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями диаметром 5 мм. При мокрому рассеве каждую навеску смеси, выложенную на сито, промывают струей чистой воды до полного удаления цементно-песчаного раствора с поверхности зерен крупного заполнителя. Промывку смеси считают законченной, когда из сита вытекает чистая вода. Отмытый крупный заполнитель из каждой навески смеси переносят на чистый противень и высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и взвешивают с погрешностью не более 2 г.

Содержание растворной составляющей в навесках верхнего и нижнего слоев смеси с учетом массы отобранной пробы определяют по формулам:

$$m_{рв} = (m_{бв} - m_{щв}) \cdot \frac{0,5H}{H_B}; \quad (1)$$

$$m_{рн} = (m_{бн} - m_{щн}) \cdot \frac{0,5H}{H_H}, \quad (2)$$

где $m_{рв}$, $m_{рн}$ – масса растворной смеси, находившейся соответственно в верхнем и нижнем слоях смеси, г;

$m_{бв}$, $m_{бн}$ – масса бетонной смеси, отобранной соответственно из верхней и нижней частей формы, г;

$m_{щв}$, $m_{щн}$ – масса высушенного крупного заполнителя, содержащегося в навесках соответственно из верхнего и нижнего слоев смеси, г;

H – высота формы (сосуда), мм;

H_B , H_H – фактическая высота соответственно верхнего и нижнего слоев смеси, мм.

Показатель растворотделения бетонной смеси Π_p , %, определяют по формуле

$$\Pi_p = \frac{m_{рв} - m_{рн}}{m_{рв} + m_{рн}} \cdot 100, \quad (3)$$

где $m_{рв}$, $m_{рн}$ — то же, что в формулах (1) и (2).

Показатель растворотделения для каждой пробы бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 1 % как

среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % от меньшего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Определение водоотделения бетонной смеси. Водоотделение бетонной смеси определяют после ее отстаивания в мерном сосуде или форме в течение определенного времени.

Бетонную смесь укладывают в сосуд (форму), вместимость и размер которого (ой) в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя принимают по таблице 6, и уплотняют на виброплощадке в зависимости от удобоукладываемости смеси. Уровень бетонной смеси должен быть на (10 ± 5) мм ниже верхнего края сосуда (формы).

Сосуд (форму) со смесью накрывают листом паронепроницаемого материала (стеклом, стальной пластиной и т. п.) размерами не менее 150x150 мм и оставляют в покое на 1,5 ч. После чего отделившуюся воду отбирают пипеткой каждые 15 мин, собирая ее в стакан с крышкой, и по окончании испытания взвешивают. Моментом окончания испытания считается прекращение отделения воды.

Таблица 6 -- Средняя плотность бетонной смеси на пористых заполнителях

Крупность зерен заполнителя, мм	Объем сосуда, см ³	Размер сосуда, мм	
		диаметр	высота
До 20 включительно	1000	108±2	108±2
40	5000	185±2	185±2
70	10000	234±2	234±2

Примечание – Среднюю плотность бетонной смеси на пористых заполнителях, предназначенной для приготовления бетонов классов В5 и менее, определяют в сосудах вместимостью 5000 см³ или в формах ФК-150 независимо от крупности заполнителя.

Показатель водоотделения бетонной смеси P_b , %, характеризуется отношением объема воды, выделившейся из бетонной смеси за 1,5 ч, к объему уплотненной бетонной смеси в сосуде (форме):

$$P_b = \frac{m_{ов}}{\rho_b V_{бс}} \cdot 100 \quad (4)$$

где $m_{ов}$ – масса отделившейся воды, г;

ρ_b – плотность воды, принимая равной 1 г/см³;

$V_{бс}$ – объем уплотненной бетонной смеси, см³.

Показатель водоотделения определяют дважды для каждой пробы бетонной смеси и вычисляют с округлением до 1 % как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 %

от меньшего значения. При большем расхождении результатов опытов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

Результаты испытания заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты испытания

Определения	Бетонная смесь на плотных заполнителях		Бетонная смесь на пористых заполнителях	
	1	2	3	4
Время виброуплотнения, с				
Масса бетонной смеси верхнего слоя $m_{обв}$, г				
Масса бетонной смеси нижнего слоя $m_{ан}$, г				
Масса щебня нижнего слоя $m_{щн}$, г				
Масса щебня верхнего слоя $m_{щв}$, г				
Высота верхнего слоя бетонной смеси H_v , мм				
Высота нижнего слоя бетонной смеси H_n , мм				
Масса растворной смеси верхнего слоя $m_{рв}$, г				
Масса растворной смеси нижнего слоя $m_{рн}$, г				
Раствороотделение P_r , %				
Масса пустого сосуда, г				
Масса сосуда с уплотненной бетонной смесью, г				
Объем уплотненной бетонной смеси $V_{бс}$, см ³				
Масса отделившейся воды, г				
Водоотделение P_v , %				

По полученным свойствам бетонной смеси следует сделать заключение на соответствие их требованиям СТБ 1035-96.

Контрольные вопросы

- 1) Что такое удобоукладываемость и чем она характеризуется?
- 2) Что такое расслаиваемость и чем она характеризуется?
- 3) Какими свойствами характеризуется бетонная смесь?
- 4) Как определяется расслаиваемость?
- 5) Как определяется водоотделение?
- 6) Назовите марки по удобоукладываемости бетонной смеси в зависимости от консистенции.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЁЛЫХ БЕТОНОВ НА ПЛОТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ И ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Цель работы – ознакомиться на практике: 1) с основными свойствами бетона – плотностью, прочностью, водопоглощением и пористостью; 2) со

структурными особенностями бетона, процентным содержанием цементного камня и крупного заполнителя; 3) с зависимостью прочности от $f(t, T)$ (функциональной зависимости времени и температуры).

Задания: 1 Установить основные свойства бетона: плотность, прочность, водопоглощение и пористость. 2 Определить и исследовать структурную особенность бетона (процентное содержание цементного камня, крупного заполнителя, прочность бетона); 3 По полученным результатам прочности исследовать функциональную зависимость $R_{сж} = f(t, T)$. 4 Дать заключение по результатам исследований о соответствии свойств бетона с требованиями СТБ 1187–99 и СТБ 1544-2005.

Нормативные документы: 1 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. 2 СТБ 1187–99. Бетоны лёгкие. Технические условия. 3 ГОСТ 10180–90 (СТСЭВ 3978–83). Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. 4 ГОСТ 12730. Бетоны. Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

Краткие сведения из теории. Плотность, прочность, влажность, водопоглощение и пористость бетона тяжелого и легкого определяют испытанием образцов, изготовленных из бетонной смеси рабочего состава либо выпиленных, выбуренных или выломанных из изделий и конструкций.

Прочность тяжелого бетона на плотных заполнителях в проектном возрасте характеризуют классами по прочности на сжатие и нормативными сопротивлениями бетона растяжению $f_{ctk,0,05}$.

Соотношение между классами и характеристиками бетона по прочности на сжатие и растяжения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение между классами и характеристиками тяжелого бетона по прочности на сжатие

по ГОСТ 26633-91	Класс бетона по СНБ 5.03.01-2			Требуемая прочность бетона при подборе состава R_b , МПа	Ближайша я марка бетона
	обозначение	характеристики прочности бетона, МПа			
		f_{ck}	f_{cube}^G		
B10	C ⁸ / ₁₀	8	10	12,9	150
B12,5	C ¹⁰ / _{12,5}	10	12,5	16,1	150
B15	C ¹² / ₁₅	12	15	19,3	200
B20	C ¹⁶ / ₂₀	16	20	25,7	250
B22,5	C ¹⁸ / _{22,5}	18	22,5	28,9	300
B25	C ²⁰ / ₂₅	20	25	32,2	300
B27,3	C ²² / _{27,5}	22	27,5	35,4	350
B30	C ²⁵ / ₃₀	25	30	38,6	400
B35	C ²⁸ / ₃₅	28	35	45,0	450
-	C ³⁰ / ₃₇	30	37	47,6	500
B40	C ³² / ₄₀	32	40	51,4	500

B45	C ³⁵ / ₄₅	35	45	57,8	600
B50	C ⁴⁰ / ₅₀	40	50	64,3	600
B55	C ⁴⁵ / ₅₅	45	55	70,7	700
B60	C ⁵⁰ / ₆₀	50	60	77,1	800

Плотность бетона определяют испытанием образцов в состоянии естественной влажности или нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном, насыщенном. Она составляет от D2000 до D2600 для тяжелых бетонов на плотных заполнителях.

Наиболее важными свойствами бетона являются плотность, прочность и пористость для легких бетонов. По средней плотности в сухом состоянии устанавливают следующие марки бетона: D200; D300; D400(D450); D500(D550); D600(D650); D(700)(D750); D800(D850); D900(D950); D1000; D1100; D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000 (таблица 2). Отклонения фактической средней плотности от проектной не должны превышать 5 %.

Таблица 2 – Марки по средней плотности и классы по прочности на сжатие бетонов на неорганических пористых заполнителях

Вид бетона по назначению	Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по средней плотности			
		керамзитобетона, бетона на зольном гравии	крупно-пористого бетона на керамзитовом гравии	шлакобетона, аглопоритобетона	перлитобетона
Теплоизоляционный	B0,35 /C ⁻ / _{0,35}	D400-D500	D450	-	D300-D400
	B0,75 /C ⁻ / _{0,75}	D400-D500	D550	-	D300-D400
	B1 /C ⁻ / ₁	D500-D600	D600	-	D400-D500
	B2 /C ⁻ / ₂	D500-D600	-	-	D400-D500
Конструктивно-теплоизоляционный	B2,5 /C ⁻ / _{2,5}	D600-D1000	-	D1000-D1200	D600-D900
	B3,5 /C ⁻ / _{3,5}	D700-D1000	-	D1100-D1300	D700-D1000
	B5 /C ⁻ / ₅	D800-D1200	-	D1200-D1400	D800-D1100
	B7,5 /C ⁻ / _{7,5}	D900-D1300	-	D1300-D1500	D900-D1200
	B 10/ C ⁸ / ₁₀	D1000-D1400	-	D1400-D1600	-
Конструкционный	B12,5/ C ¹⁰ / _{12,5}	D1100-D1500	-	D1500-D1700	-
	B15 /C ¹² / ₁₅	D1200-D1700	-	D1600-D1800	-
	B20 / C ¹⁶ / ₂₀	D1300-D1800	-	D1600-D1900	-
	B22,5/ C ¹⁸ / _{22,5}	D1300-D1800	-	D1700-D1900	-
	B25/ C ²⁰ / ₂₅	D1400-D1800	-	D1800-D1900	-
	B30/ C ²⁵ / ₃₀	D1500-D1800	-	D1900-D2000	-
	B35/ C ²⁸ / ₃₅	D1600-D1900	-	D1900-D2000	-
	B40/ C ³² / ₄₀	D1700-D1900	-	D1900-D2000	-

Класс бетона по прочности на сжатие – это количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие. Обозначается буквой «С» и числами: перед

чертой – выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона (f_{cude}^G , МПа), (f_{ck} , МПа), определяемой при испытании кубов с размерами ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95 (таблица 3).

Таблица 3 – Значения средней прочности бетонов на сжатие в зависимости от прочности на сжатие

Класс бетона по прочности на сжатие	Средняя прочность бетона на сжатие для данного класса R_{cp} , кгс/см ²	Ближайшая марка бетона по прочности на сжатие М	Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса $\frac{R_{cp} - M}{R_{cp}} \times 100 \%$
B0,35 /C ⁻ /0,35	5,01	М 5	+ 0,2
B0,75 C ⁻ /0,75	10,85	М 10	+ 7,8
B1 C ⁻ /1	14,47	М 15	- 0,2
B1,5 C ⁻ /1,5	20,85	М 20	+ 4,1
B2 /C ⁻ /2	28,94	М 25	+ 13,8
B2,5 C ⁻ /2,5	32,74	М 35	- 6,9
B3,5 C ⁻ /3,5	45,84	М 50	- 9,1
B5 C ⁻ /5	65,48	М 75	- 14,5
B7,5 C ⁻ /7,5	98,23	М 100	- 1,8
B 10/ C ⁸ /10	130,97	М 125	+ 4,6
B12,5/ C ¹⁰ /12,5	163,71	М 150	+ 8,4
B15 /C ¹² /15	196,45	М 200	- 1,8
B15 /C ¹² /15	261,93	М 250	+ 4,5
B22,5/ C ¹⁸ /22,5	296,05	М 300	- 1,3
B25/ C ²⁰ /25	327,42	М 350	- 6,9
B30/ C ²⁵ /30	392,90	М 400	- 1,8
B35/ C ²⁸ /35	458,39	М 450	+ 1,8
B40/ C ³² /40	523,87	М 550	- 5,1

Примечание – Среднюю прочность бетона каждого класса на сжатие определяют при нормативном коэффициенте вариации $v = 13,5 \%$ для конструкционных бетонов и $v = 18 \%$ для теплоизоляционных бетонов, по формуле $R_{cp} = B/[0,0980665 (1-1,64 v)]$, где B – значение класса бетона, МПа; 0,0980665 – переходной коэффициент от МПа к кН/см².

При испытании контрольных образцов – кубов на сжатие других размеров вводят поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Значение масштабных коэффициентов для тяжелого бетона

Кубы с ребром, мм	70	100	150	200	300
Значение масштабного коэффициента	0,85	0,95	1,0	1,03	1,1

При испытании бетона в другом возрасте (не менее 3 суток твердения) ориентировочно можно определить марку бетона по логарифмической зависимости:

$$R_{28} = R_n \left(\frac{\lg 28}{\lg n} \right), \quad (1)$$

где R_n – предел прочности бетона в возрасте n суток, МПа;

R_{28} – предел прочности бетона в возрасте 28 суток, МПа;

n – число суток твердения в бетоне.

Определение прочности, плотности, водопоглощения и пористости, а также нормы, порядок отбора проб для изготовления образцов и правила приемочного контроля должны указываться в стандартах или технических условиях на сборные бетонные и железобетонные изделия, а также в рабочих чертежах монолитных конструкций.

1 Определение основных свойств бетона – плотности, прочности, пористости

Оборудование: весы технические по ГОСТ 24104; шкаф сушильный по ГОСТ 13474; штангенциркуль по ГОСТ 166; стальные линейки по ГОСТ 427; эксикатор по ГОСТ 25336; гидравлический пресс; образцы бетона 10×10×10; гидростатические весы, емкость для насыщения образцов водой.

Порядок выполнения работ:

1 Вычисляем объём образцов правильной формы по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяем линейкой или штангенциркулем с погрешностью не более 1 мм по методике ГОСТ 10180. Массу образцов находим взвешиванием с погрешностью не более 0,1 %.

Плотность бетона образца ρ_b вычисляем по формуле

$$\rho_w = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (2)$$

где m – масса образца, г;

V – объём образца, см³.

Результаты испытаний заносим в таблицу 3.

2 Все образцы одной серии 10×10×10 должны быть испытаны в расчётном возрасте в течение не более 1 часа. Перед установкой образца на пресс его осматривают, удаляют частицы бетона. Нагружение образцов ведётся непрерывно со скоростью $(0,6 \pm 0,4)$ МПа/с до разрушения. Максимальные усилия, достигнутые в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку и заносят в таблицу 3.

При разрушающем методе испытаний контрольные образцы испытывают до разрушения на гидравлическом прессе.

Предел прочности при сжатии определяют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \alpha, \quad (3)$$

где F – разрушающая сила, Н;

A – площадь поперечного сечения, мм²;

α – масштабный коэффициент, учитывающий переход к прочности образцов базового размера.

Разрушенные образцы необходимо подвергнуть визуальному осмотру.

3 Определим объём открытых некапиллярных пор бетона (объём межзерновых пустот). Для этого образцы насыщаем в воде в течение 24 часов по ГОСТ 12730.3, затем выдерживаем 10 мин на решётке и взвешиваем на гидростатических весах. Находим *водопоглощение бетона* в процентах:

$$W_M = \frac{m_c - m_b}{m_c} \cdot 100, \quad (4)$$

где m_c – масса высушенного образца, г;

m_b – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение бетона образца по объёму в процентах

$$W_o = \frac{W_M \rho_o}{\rho_b}, \quad (5)$$

где ρ_o – плотность сухого образца, кг/м³;

ρ_b – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Водопоглощение бетона серий образцов определяем как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

Полный объём пор бетона серии образцов Π_n в процентах определяем с погрешностью до 0,1 %:

$$\Pi_n = \left(\frac{\rho_b - \rho_o}{\rho_b} \right) \cdot 100, \quad (6)$$

где ρ_b – плотность измельчённого в порошок бетона, определяемая при помощи вискозиметра или прибора Ле–Шателье по методике ГОСТ 8269, кг/м³;

ρ_o – плотность сухого бетона в серии образцов, определённая по ГОСТ 12730.1, кг/м³.

Объём открытых капиллярных пор бетона в серии образцов Π_o в процентах

$$\Pi_o = W_o, \quad (7)$$

где W_o – объемное водопоглощение бетона серии образцов, определенное по ГОСТ 12730,3, %.

Объём открытых некапиллярных пор бетона в отдельных образцах (объём межзерновых пустот) $\Pi_{мз}$ в процентах по объёму

$$P_{пз} = \frac{V - V_1}{V} \cdot 100, \quad (8)$$

где V – объём образца, определённый по ГОСТ 12730.1, см^3 ;

V_1 – объём образца, определённый в объёмомере по ГОСТ 12730.1.

Объём открытых некапиллярных пор бетона в серии образцов определяем как среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов в серии.

Объём условно-закрытых пор бетона в серии образцов P_3 в процентах

$$P_3 = P_{п} - P_{о} - P_{мз}. \quad (9)$$

Результаты испытаний заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

Наименование	Образцы бетонов					
	тяжелый		конструкции онно- теплоизо- ляционный		крупнопо- ристый	
	1	2	1	2	1	2
Размеры образцов, см						
длина						
ширина						
высота						
Масса образца, г						
Плотность бетона образца $\rho_w, \text{г/м}^3$						
Максимально разрушающее усилие $P_{пmax}, \text{кН}$						
Предел прочности образцов при сжатии						
$R_{сж}, \text{МПа}$						
Масса образца насыщенного водой, г						
Водопоглощение по массе $W_m, \%$						
Водопоглощение по объёму $W_o, \%$						
Среднее значение $W_o, \%$						
Плотность измельченного бетона $\rho_b, \text{г/м}^3$						
Полный объём пор $P_{п}, \%$						
Объём открытых пор $P_{о}, \%$						
Объём некапиллярных пор бетона $P_{мз}, \%$						
Среднее значение $P_{мз}, \%$						
Объём закрытых пор, %						

По результатам исследований необходимо дать заключение в соответствии с требованиями СТБ 1187–99 и СТБ 1544-2005.

Контрольные вопросы

- 1 Каковы стандартные условия твердения контрольных образцов бетона?

2 Как рассчитать предел прочности бетона, если образцы размерами 100×100×100 мм испытывали в возрасте 28 суток?

3 Как рассчитать прочность бетона в нормальном 28-суточном возрасте, если контрольные образцы – кубы с размерами 150×150×150 мм испытывали в возрасте 14 суток?

4 Сопоставить понятия класс и марка бетона по прочности. Какова их взаимосвязь?

5 Как определить плотность бетона?

6 Как определяется водопоглощение бетона по массе и объему?

7 Как определить пористость?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Цель работы: 1 Определить плотность, влажность и прочность ячеистого бетона. 2 Дать заключение о соответствии полученных результатов требованиям нормативных документов.

Нормативные документы: 1 СТБ 1117-98. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия. 2 ГОСТ 12852.0-77. Бетоны ячеистые. Общие требования к методам испытания. 3 ГОСТ 12852.6-77. Бетон ячеистый. Метод определения сорбционной влажности. 4 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия. 5 ГОСТ 27005-86. Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности. 6 ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

Краткие сведения из теории. Ячеистые бетоны представляют собой искусственные каменные материалы, состоящие из затвердевшего вяжущего вещества с равномерно распределенными в нем воздушными ячейками (порами).

В качестве порообразователя при производстве газобетонов и газосиликатов применяют алюминиевую пудру марок ПАК-3 и ПАК-4. В качестве мелкого заполнителя в ячеистых бетонах чаще всего применяют молотый кварцевый песок.

Теловлажностную обработку ячеистого бетона производят в автоклаве. Автоклавная обработка складывается из трех периодов: I – подъем температуры и давления; II – изотермическая выдержка при максимальных температуре и давлении; III – снижение давления до атмосферного. Режимы – 3–8–3 ч при максимальном давлении 0,9 МПа, при давлении 1,0–1,2 МПа – 3+3+3 ч. После термовлажностной обработки изделий ячеистого бетона выпиливают 6 образцов-цилиндров диаметром 100 мм и высотой 100 мм для испытаний их на плотность, влажность и прочность.

1 Определение плотности ячеистого бетона

Оборудование и материалы: весы технические, шкаф сушильный СНОЛ, линейка металлическая или штангельциркуль, образцы-цилиндры.

Методика выполнения работы. Отобранные 3 образца высушивают в

сушильном шкафу СНОЛ при температуре 100 ± 5 °С до постоянной массы, взвешивают и производят замеры диаметра и высоты образцов. Плотность ячеистого бетона вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m – масса образца, кг;
 V – объем образца, м³.

Результаты испытания заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Наименование	Образцы		
	1	2	3
Масса образца m , кг			
Диаметр \varnothing , мм			
Высота h , мм			
Объем V , м ³			
Плотность ρ , кг/м ³			
Средняя плотность $\rho_{ср}$, кг/м ³			

По полученным данным следует сделать вывод.

2 Определение влажности ячеистого бетона

Оборудования и материалы: весы технические, шкаф сушильный СНОЛ, образцы-цилиндры.

Методика выполнения работы. Отобранные 3 образца взвешивают, затем помещают в сушильный шкаф при температуре 100 ± 5 °С, выдерживают в течение 4 часов, высушивают до постоянного веса и взвешивают. Полученные результаты заносят в таблицу 2. Влажность определяют по формуле

$$W = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где m_n – масса образца в н.у., г;
 m_c – масса высушенного образца, г.

Таблица 2 – Результаты испытаний

Наименование	Образцы		
	1	2	3
Масса образца m_n , г			
Масса высушенного образца m_c , г			
Влажность W , %			
Средняя влажность W , %			

По полученным данным сделать вывод.

3 Определение прочности ячеистого бетона

Оборудование и материалы: гидравлический пресс, шкаф сушильный, металлическая линейка или штангельциркуль, образцы-цилиндры.

Методика выполнения работы. Отобранные образцы высушивают в сушильном шкафу СНОЛ при температуре 100 ± 5 °С. Две противоположные грани образцов, соответствующие верхней и нижней поверхностям изделия, выравнивают, шлифуя на абразивном круге. Образцы устанавливают на пресс таким образом, чтобы направление прилагаемой нагрузки было перпендикулярно отшлифованным поверхностям этих образцов. Давление на образец должно возрастать плавно, без толчков, со скоростью не более 0,1 МПа/с, вплоть до разрушения образца.

Величина предела прочности при сжатии, МПа,

$$R_{сж} = \frac{H}{F}, \quad (3)$$

где H – разрушающая сила, Н;

F – площадь образца, м².

За величину предела прочности при сжатии принимают среднее арифметическое значение не менее чем шести определений. Результаты испытаний заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

Наименование	Образцы					
	1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка H , Н						
Площадь образца F , м ² .						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						
Средний предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						

По полученным данным следует сделать вывод о соответствии полученных результатов требованиям НД.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое ячеистый бетон?
- 2 В чем отличия приготовления газобетона от пенобетона?
- 3 Как определяют плотность ячеистого бетона?
- 4 Как определяют влажность ячеистого бетона?
- 5 Какие образцы и как изготавливают из ячеистого бетона для испытаний на прочность, влажность и плотность?
- 6 Как производят тепловлажностную обработку ячеистого бетона?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО, КОНСТРУКТИВНО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО, КРУПНОПОРИСТОГО И ЯЧЕИСТОГО БЕТОНОВ

Цель работы – проанализировать в ходе выполнения работы водопоглощение: тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого бетонов.

Задания: 1 Провести испытания на водопоглощение бетонов (тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого, ячеистого) с исследованием полученных показателей.

2 Дать заключение о влиянии водопоглощения на теплоизоляционные свойства бетонов в конструкциях.

Нормативные документы: 1 ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения. 2 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. 3 СТБ1187-99. Бетоны легкие. Технические условия. ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

Краткие сведения из теории. Величина водопоглощения материалов во многом определяет их теплоизоляционные свойства в конструкциях. Знание этих показателей необходимо для правильного конструирования тепловой изоляции, ее защита от увлажнения, если материалы характеризуются высоким показателем водопоглощения.

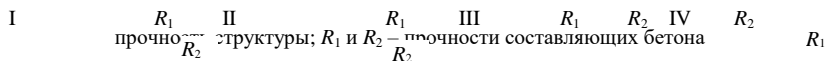
Необходимый показатель водопоглощения устанавливается в НД на изделия и в проектной документации на конструкцию из тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого бетонов.

Основные типы структуры бетона классифицируют по содержанию цементного камня и вкрапленных в него зерен другого твердого материала (заполнителя) (рисунок 1).

Ячеистая структура отличается тем, что в сплошной среде твердого материала распределены поры различных размеров в виде отдельных условных замкнутых ячеек.

Зернистая структура представляет собой совокупность скрепленных между собой зерен твердого материала.

Пористость зернистой структуры непрерывна и аналогична пористости сыпучего материала.



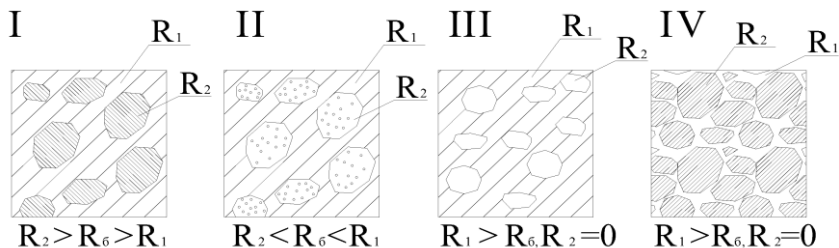
Водопоглощение бетона напрямую зависит от типа его макроструктуры, поэтому при высоком % W_v необходимо для некоторых видов конструкций предусматривать пропитку бетонов специальным составом и полимеризацию.

Е петролатума, $R_2 > R_6 > R_2$ разбавленных смол, $R_2 > R_6 > R_2$ битумов, $R_1 > R_6 R_2 = 0$ модифицированных синтетическими смолами, сера. Глубина пропитки зависит от свойств пропитывающего состава, в частности от его вязкости и угла смачивания им бетона. Специальная обработка бетона полимером приводит к стабилизации его структуры и тем самым открывает новые возможности в совершенствовании технологии бетона.

Испытания на водопоглощение тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого бетонов

Оборудование и материалы: весы технические, емкость с водой, сушильный шкаф с t° до 150°C , сетка с пригрузом, штангенциркуль, образцы из тяжелого бетона $100 \times 100 - 2$ шт., конструктивно-изоляционного $100 \times 100 - 2$ шт., крупнопористого $100 \times 100 - 2$ шт., ячеистого – цилиндры $100 \times 100 - 2$ шт.

Методика испытаний. Для определения водопоглощения образцы размерами 100×100 мм высушивают до постоянной массы и погружают в воду температурой $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Затем покрывают сеткой, на которую помещают



пригруз из такого расчета, чтобы первые 3 часа образцы были погружены в воду до половины высоты, а все остальное время – 21 час полностью находились в воде. Уровень воды должен быть выше сетчатого пригруза не менее чем на 20 мм. После образцы вынимают из воды, удаляют с их поверхности избыточную воду мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают.

Определяют водопоглощение бетона в процентах по формуле

$$W_M = \frac{m_c - m_b}{m_c} \cdot 100, \quad (2)$$

где m_c – масса высушенного образца, г;

m_b – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение бетона образца по объёму W_o в процентах определяем по формуле

$$W_o = \frac{W_M \rho_o}{\rho_b}, \quad (3)$$

где ρ_o – плотность сухого образца, кг/м³;

ρ_b – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Водопоглощение бетона серий образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии. Результаты испытания заносят в таблицу 1.

Таблица 1 –**Результаты испытания**

Наименование	Образцы бетона							
	тяжелого		конструктивно-изоляционного		крупно-пористого		ячеистого	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Масса высушенного образца m_c , г								
Масса водонасыщенного образца m_b , г								
Водопоглощение по массе W_M , %								
Среднее водопоглощение по массе $W_{мер}$, %								
Плотность сухого образца ρ_o , кг/м ³								
Плотность воды ρ_b , г/см ³								
Водопоглощение по объёму W_V , %								
Среднее водопоглощение по объёму $W_{ср}$, %								

По итогам испытаний необходимо дать заключение о влиянии водопоглощения на теплоизоляционные свойства бетонов в конструкциях.

Контрольные вопросы

- 1 Как определить водопоглощение различных видов бетонов?
- 2 Каково отличие тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого бетонов?
- 3 Опишите структуры бетонов – тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого.
- 4 Каковы основные типы макроструктуры бетона?
- 5 Опишите зависимость средней прочности структуры (R_G) и прочности составляющих бетона (R , и R_f) по IV типам макроструктуры бетона.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА ПО «МОКРОМУ ПЯТНУ»

Цель работы – ознакомиться с определением основного свойства бетона, влияющего на долговечность, водонепроницаемость.

Задания: 1 Определить водонепроницаемость бетона. 2 Дать заключение по полученным результатам давления воды образования мокрого пятна, о марке бетона по водонепроницаемости.

Нормативные документы: 1 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. 2 ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.

Краткие сведения из теории. Марка бетона по водонепроницаемости характеризуется максимальной величиной давления воды, при которой не наблюдается ее просачивания через образцы, изготовленные и испытанные в соответствии с ГОСТ 12730.5-84. Для бетонных конструкций, к которым предъявляются требования по ограничению проницаемости воды или повышенной плотности и коррозионной стойкости, назначают следующие марки бетона по водонепроницаемости: W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20.

Классы бетона по прочности, марки по морозостойкости и водонепроницаемости бетонов в конструкциях конкретных видов устанавливают в соответствии с нормами проектирования и указывают в ТНПА в строительстве и в проектной документации.

Марки бетона по водонепроницаемости в зависимости от классов по условиям эксплуатации следует принимать по СНБ 5.03.01.

Водонепроницаемость серии образцов оценивают максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцах не наблюдалось просачивание воды.

Марку бетона по водонепроницаемости принимают по таблице 1.

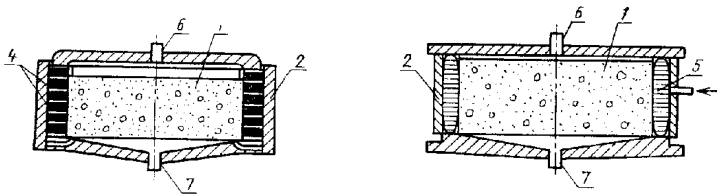
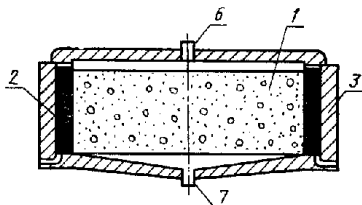


Таблица 1 – Марка бетона по водонепроницаемости



Давление, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Марка бетона по водонепроницаемости	W2	W4	W6	W8	W10	W12	W14	W16	W18	W20

Высоту контрольных образцов бетона в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя допускается назначать в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Высота контрольных образцов бетона в зависимости от крупности зерен заполнителя

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Наибольшая высота образца, мм
5	30
10	50
20	100

Схемы крепления и герметизации образцов бетона в обоймах приведены на рисунке 1.

б) а)

в)

Рисунок 1 – Схемы крепления и герметизации образцов бетона в обоймах:
 а – способ уплотнения боковой поверхности образца путем обжатия образцов набором чередующихся резиновых и металлических колец или завулканизированной стальной пружинной резиновым кольцом; б – способ уплотнения боковой поверхности образца резиновой полый камерой с избыточным давлением; в – способ уплотнения боковой поверхности образца путем заливки зазора между образцами и обоймой специальными мастиками; 1 – образец бетона;
 2 – испытательная обойма; 3 – мастика; 4 – набор резиновых и металлических колец; 5 – резиновая полый камера; 6 – съемная крышка для подачи воды; 7 – съемная крышка с патрубком для сбора фильтрата

Примечание – При определении водонепроницаемости методом “мокрого пятна” снимают крышку 7.

Определение водонепроницаемости по «мокрому пятну»

Оборудование и материалы: установка любой конструкции, которая имеет не менее шести гнезд для крепления образцов и обеспечивает возможность подачи воды к нижней торцевой поверхности образцов при возрастающем ее давлении, а также возможность наблюдения за состоянием верхней торцевой поверхности образцов; цилиндрические формы для изготовления образцов бетона с внутренним диаметром 150 мм и высотой 150; 100; 50 и 30 мм; воду по ГОСТ 23732–79.

Методика испытаний. Изготовленные образцы хранят в камере нормального твердения при температуре (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха не менее 95 %. Перед испытанием образцы выдерживают в помещении лаборатории в течение суток. Диаметр открытых торцевых поверхностей бетонных образцов – не менее 130 мм. Образцы в обойме помещают в гнезда установки для испытания и надежно закрепляют. Давление воды повышают ступенями по 0,2 МПа в течение 1–5 мин и выдерживают на каждой ступени в течение времени, указанного в таблице 3. Испытание проводят до тех пор, пока на верхней торцевой поверхности образца появятся признаки фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна.

Таблица 3 – **Время выдерживания образцов**

Высота образца, мм	150	100	50	30
Время выдерживания на каждой ступени, ч	16	12	6	4

Водонепроницаемость каждого образца оценивают максимальным давлением воды, при котором еще не наблюдалось ее просачивание через образец. Результаты испытания заносят в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты испытания

Наименование	Маркировка образцов					
	1	2	3	4	5	6
Высота образцов, мм						
Возраст бетона, сут						
Время выдерживания на каждой ступени, ч						
Максимальное давление воды, МПа						
Марка бетона по водонепроницаемости						

2 По результатам испытаний следует дать заключение.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое водонепроницаемость бетона?
- 2 Какими марками по водонепроницаемости характеризуется бетон?
- 3 Как выбирают и назначают высоту контрольных образцов для испытания бетона по водонепроницаемости?
- 4 Как определяется водонепроницаемость бетона по «мокрому пятну»?
- 5 Опишите схему крепления и герметизации образцов бетона в обоймах.
- 6 Опишите схему установки фильтрации воды для определения водонепроницаемости.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА

Цель работы – ознакомиться с методами определения морозостойкости, влияющей на долговечность железобетонных конструкций.

Задания. 1 Определение морозостойкости бетона базовым методом. 2 Обработка результатов испытаний и заключение по полученным результатам.

Нормативные документы: 1 ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования. 2 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.

Краткие сведения из теории. Базовый метод определения морозостойкости – метод, при котором число циклов испытания соответствует численному значению марки по морозостойкости (F). Его применяют: 1 – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий; 2 – для бетонов дорожных и аэродромных покрытий.

Ускоренный метод определения морозостойкости – метод, при котором число циклов испытания меньше численного значения марки бетона по морозостойкости F .

Условия испытания принимаются по таблице 1.

Таблица 1 – Методы определения морозостойкости для бетонов

Номер	Условия испытания	Вид бетона
-------	-------------------	------------

метода	среда насыщения	среда, температура замораживания, °С	среда оттаивания	
<i>Базовый</i>				
Первый	Вода	Воздушная, минус 18 ± 2	Вода	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий
Второй	5%-ный водный раствор хлористого натрия	То же	5%-ный водный раствор хлористого натрия	Бетонодорожных и аэродромных покрытий
<i>Ускорение при многократном замораживании и оттаивании</i>				
Второй	5 %-ный водный раствор хлористого натрия	Воздушная, минус 18 ± 2	5%-ный водный раствор хлористого натрия	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и легких со средней плотностью менее D1500
Третий	То же	5%-ный водный раствор хлористого натрия, минус 50 ± 5	То же	Все виды бетонов, кроме легких со средней плотностью менее D1500
<i>Ускорение при однократном замораживании</i>				
Четвертый *	Вода	Керосин, минус 18 ± 2	-	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий
Пятый	То же	Воздушная, минус 18 ± 2	Воздушная	Тяжелые и легкие бетоны на цементном вяжущем, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий
* При определении морозостойкости бетонов дорожных и аэродромных покрытий четвертым методом следует установить корреляцию со вторым базовым методом.				

Морозостойкость бетона определяют в проектном возрасте, установленном в нормативно-технической и проектной документации, при достижении им прочности на сжатие, соответствующей его классу (прочности).

Количество и размер изготавливаемых образцов бетона в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по таблице 2.

Число циклов переменного замораживания и оттаивания, после которых должно проводиться испытание прочности на сжатие образцов бетона после промежуточных и итоговых испытаний, устанавливают в соответствии с таблицей 3.

Таблица 2 – Количество и размер изготавливаемых образцов бетона

Метод определения морозостойкости	Размер образца, мм	Количество образцов, шт	
		контрольные	основные
Первый	100×100×100 или 150×150×150	6	12
Второй	100×100×100 или 150×150×150	6	12
Третий	100×100×100 или 70×70×70	6	6
Четвертый	100×100×100; цилиндры: диаметр – 70, высота 70	-	3
Пятый	100×100×100 или 150×150×150	3	3
<i>Примечание</i> – Для бетона гидротехнических сооружений, испытываемого по первому методу, допускается принимать образцы размером 200×200×200 мм.			

Таблица 3 – Число циклов переменного замораживания и оттаивания

Размеры образцов, мм	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	время, не менее, ч	температура, °С	время, ч	температура, °С
100×100×100	2,5	Минус 18 ± 2	2,0 ± 0,5	18 ± 2
150×150×150			3,0 ± 0,5	
200×200×200			5,0 ± 0,5	

Определение морозостойкости бетона базовым методом

Оборудования и материалы: морозильная камера, обеспечивающая достижение и поддержание температуры до минус (18 ± 2) °С; технические весы, обеспечивающие точность измерения в соответствии с метрологической обеспеченностью метода; ванны для насыщения и оттаивания образцов с устройством для поддержания температуры воды (18 ± 2) °С; сетчатый контейнер для размещения основных образцов; сетчатый стеллаж для размещения образцов в морозильной камере; вода по ГОСТ 23732.

Методика выполнения работы. Бетонные образцы следует изготавливать в формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685. Образцы изготавливают и испытывают сериями. Пробы бетонной смеси

отбирают по ГОСТ 10181.0, бетона – по ГОСТ 28570. Образцы изготавливают и хранят по ГОСТ 10180 или ГОСТ 28570.

При изготовлении образцов с размерами 70 мм из бетонной смеси с наибольшей крупностью заполнителя до 40 мм удаляют (вручную или на сите с ячейками размерами 20 мм) зерна заполнителя размерами более 20 мм. Количество и размер изготавливаемых образцов бетона в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по таблице 2.

Образцы для испытания должны быть без внешних дефектов, средняя плотность которых не отличается от минимальной более чем на 50 кг/м³. Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,1 %.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы – перед замораживанием насыщают водой/раствором соли температурой (18 ± 2) °С. Для насыщения образцы погружают в жидкость на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень жидкости повышают до 2/3 высоты образца и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в жидкость на 48 ч таким образом, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм.

Число циклов испытания основных образцов бетона в течение одних суток должно быть не менее одного.

Контрольные образцы через 2–4 ч после извлечения из ванны испытывают на сжатие по ГОСТ 10180.

Основные образцы загружают в морозильную камеру в контейнере или устанавливают на сетчатый стеллаж камеры таким образом, чтобы расстояние между образцами, стенками контейнеров и вышележащими стеллажами было не менее 50 мм. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16 °С.

В каждом возрасте испытывают по шесть основных образцов.

Образцы после замораживания оттаивают в ванне с водой при температуре (18 ± 2) °С. Они должны быть погружены в воду таким образом, чтобы над верхней гранью был слой воды не менее 50 мм.

Примечание – Минимальную продолжительность замораживания увеличивают для легких бетонов со средней плотностью: D1500 – D1200 – на 0,5 ч, D1200 – D1000 – на 1 ч, D900 и менее – на 1,5 ч.

Температуру воздуха в морозильной камере измеряют в центре ее объема в непосредственной близости от образцов.

Воду в ванне для оттаивания образцов меняют через каждые 100 циклов переменного замораживания и оттаивания.

Основные образцы через 2–4 ч после извлечения из ванны испытывают на сжатие по ГОСТ 10180.

Обработка результатов испытаний и заключение по полученным результатам.

Марку бетона по морозостойкости принимают за соответствующую требуемой, если среднее значение прочности на сжатие основных образцов после установленного (таблица 4) для данной марки числа циклов переменного замораживания и оттаивания уменьшилось не более чем на 5 % по сравнению со средней прочностью на сжатие контрольных образцов.

Уменьшение прочности на сжатие основных образцов по сравнению со средней прочностью контрольных образцов легкого бетона с маркой по морозостойкости F50 и менее не должно превышать 15 % при условии выполнения требований ГОСТ 10060.0.

Если уменьшение среднего значения прочности основных образцов после промежуточных испытаний по сравнению со средним значением прочности на сжатие контрольных образцов бетона превышает значения, указанные выше, то испытание прекращают, и в журнале испытаний делают запись, что бетон не соответствует требуемой марке по морозостойкости.

Среднюю прочность бетона серии контрольных и основных образцов определяют по ГОСТ 10180.

Исходные данные и результаты испытания контрольных и основных образцов бетона заносят в таблицу 5.

По полученным результатам следует дать заключение.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое морозостойкость?
- 2 Какие существуют методы по испытанию на морозостойкость?
- 3 В каком возрасте и в каком количестве принимают образцы для испытания?
- 4 Объясните требования ГОСТ 10060.0 по циклам замораживания-оттаивания.
- 5 Какие виды бетонов испытывают по ускоренному методу?

Таблица 4 – Число циклов замораживания-оттаивания для бетона марок по морозостойкости

Метод испытаний	Вид бетона	Число циклов замораживания-оттаивания для бетона марок по морозостойкости													
		F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F250	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Первый	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий	<u>15*</u>)	<u>25</u>	<u>35</u>	<u>50</u>	<u>75</u>	<u>100</u>	<u>150</u>	-	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>400</u>	<u>500</u>	<u>600</u>	<u>800</u>
		25	35	50	75	100	150	200		300	400	500	600	800	1000
Второй	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и легких со средней плотностью менее D1500	-	-	<u>8</u>	<u>13</u>	<u>20</u>	<u>30</u>	<u>45</u>	-	<u>75</u>	<u>110</u>	<u>150</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>450</u>
Третий	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и легких со средней плотностью менее D1500	-	-	-	2	3	4	5	-	8	12	15	19	27	35
Второй	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий	-	-	<u>35</u>	<u>50</u>	<u>75</u>	<u>100</u>	<u>150</u>	<u>175</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>400</u>	<u>500</u>	<u>600</u>	<u>800</u>
Третий		-	-	-	-	5	10	20	28	37	55	80	105	155	205

* Над чертой указано число циклов, после которого производится промежуточное испытание, под чертой – число циклов, соответствующее марке бетона.

Таблица 5 – Результаты испытаний

Исходные данные основных и контрольных образцов	Результат испытания контрольных образцов	Результат испытания основных промежуточных образцов	Результат испытания основных итоговых образцов
Дата поступления образцов			
Номер партии и маркировка образцов			
Размер образца, мм			
Дата изготовления			
Масса образца			
Класс бетона по прочности на сжатие			
Проектная марка бетона по морозостойкости, цикл			
Подпись лица принявшего образцы на испытание			
Дата испытания			
Прочность на сжатие в насыщенном состоянии, МПа			
Средняя прочность, МПа			
Дата начала испытания			
Масса насыщенного образца до начала испытания, г *			
Средняя масса, г *			
Дата промежуточного испытания			
Число промежуточных циклов			
Масса образца, г *			
Средняя масса, г			
Уменьшение средней массы, % *			
Прочность на сжатие, МПа			
Средняя прочность, МПа			
Изменение средней прочности, % *			
Подпись лица проводившего промежуточное испытание			
Дата итогового испытания			
Число циклов с начала испытания			
Масса образца, г *			
Средняя масса, г *			
Уменьшение средней массы, % *			
Прочность на сжатие, МПа			
Средняя прочность, МПа			
Изменение средней прочности, % *			
Заключение о результате испытания бетона			
Подпись ответственного лица			

Список литературы

- 1 СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава.
- 2 ГОСТ 10181.2-81. Смеси бетонные. Методы определения плотности.
- 3 СТБ1035-96. Смеси бетонные. Технические условия.
- 4 ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
- 5 СТБ 1187-99. Бетоны легкие. Технические условия.
6. СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
- 7 СТБ 1035-96. Смеси бетонные. Технические условия.
- 8 СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава.
- 9 СТБ 1545-2005. Смеси бетонные. Методы. Методы испытаний.
- 10 СТБ 1117-98. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия.
- 11 ГОСТ 12852.0-77. Бетоны ячеистые. Общие требования к методам испытания.
- 12 ГОСТ 12852.6-77. Бетон ячеистый. Метод определения сорбционной влажности.
- 13 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия.
- 14 ГОСТ 27005-86. Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности.
- 15 ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
- 16 ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения.
- 17 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
- 18 СТБ1187-99. Бетоны легкие. Технические условия.
- 19 ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.
- 20 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
- 21 ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
- 22 ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования;
- 23 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
- 24 **Шалимо, М. А.** Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий / М. А. Шалимо,– М. : Стройиздат, 1994. –245 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого и легкого бетонов.....	3
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Исследование основных свойств бетонных смесей на плотных и пористых заполнителях.....	15
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Исследование основных свойств тяжёлых бетонов на плотных заполнителях и легких бетонов на пористых заполнителях	24
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Определение основных свойств ячеистого бетона.....	31
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Исследование водопоглощения тяжелого, конструктивно-теплоизоляционного, крупнопористого и ячеистого бетонов.....	33
<i>Лабораторная работа № 6.</i> Определение водонепроницаемости бетона по «мокрому пятну».....	36
<i>Лабораторная работа № 7.</i> Определение морозостойкости бетона.....	39
Список литературы.....	46

Учебное издание

ОСМОЛОВСКАЯ Мария Григорьевна

Общее бетоноведение

Лабораторный практикум для студентов специальности
«Производство строительных изделий и конструкций»

Редактор И. И. Э в е н т о в
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 05.02.2010 г. Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,92. Тираж 60 экз.
Зак. № 137. Изд. № 114

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛПІ № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34