МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных материалов

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ БЕТОНА

Казань – 2018

Составитель: Д.С.Смирнов, А.Ю. Фомин, С.В. Степанов

УДК 691
ББК 30.3

Практическое пособие по проектированию и проведению лабораторного контроля бетона предназначено для студентов по направлению 08.03.01 Строительство / Сост. Д.С.Смирнов, А.Ю. Фомин, С.В. Степанов Казань: КГАСУ, 2018 – 87 с.

Настоящее практическое пособие содержит материалы, необходимые для выполнения лабораторного контроля бетона и проектирование его состава различными методами.

Составлены в соответствии с Государственным образовательным стандартом по направлению 08.03.01 Строительство

Рецензент д.т.н. профессор кафедры ТСМИК Абдрахманова Л.А.

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2018 г.

Содержание

1. Общая классификация и свойства бетонов....5
1.1 Общая классификация бетонов....5
1.2 Основные свойства бетона....6
1.2.1 Определение класса прочности бетона....6
1.2.1.1 Испытание на сжатие....8
1.2.1.2 Испытание на растяжение при изгибе....10
1.2.1.3 Испытания на растяжение при раскалывании....12
1.2.1.4 Испытание на осевое растяжение....13
1.2.1.5 Определение масштабных коэффициентов....14
1.2.1.6 Определение класса бетона....20
1.2.2 Определение морозостойкости бетона....28
1.2.3 Определение водонепроницаемости бетона....36
1.3 Классификация бетонных смесей....37
1.4 Основные свойства бетонной смеси....41
1.4.1 Подвижность бетонной смеси....41
1.4.2 Определение жесткости бетонной смеси техническим вискозиметром (прибор Вебе)...42
1.4.3 Определение жесткости бетонной смеси в формах (прибор Красного)....43
1.5 Определение растекаемости бетонной смеси....44
1.5.1 Средства контроля и вспомогательное оборудование....44
1.6 Определение степени уплотняемости бетонной смеси....46
1.6.1 Определение средней плотности бетонной смеси....47
1.6.2 Определение пористости бетонной смеси....47
1.6.2.1. Объемный метод определения объема вовлеченного воздуха....48
Определение пористости бетонной смеси при помощи объемомера....48
1.6.2.2. Компрессионный метод определения объема вовлеченного воздуха....50
Определение пористости бетонной смеси при помощи поромера....50
1.6.2.3. Расчетный метод определения объема вовлеченного воздуха....52
1.6.3 Расслаиваемость бетонной смеси....53
1.6.3.1 Раствороотделение бетонной смеси....53
1.6.3.2 Водоотделение бетонной смеси....54
2. Проектирование состава бетона....55
2.1 Общие положения....55
2.1.1 Расчет состава тяжелого крупнозернистого бетона общестроительного назначения....57
2.1.1.1 Требования к бетону....57
2.1.2 Требования к материалам....61
2.1.2.1 Требования к вяжущим материалам....61
2.1.2.2. Требования к заполнителям....68

2.1.2.3 Требования к добавкам и воде 69
2.2. Проектирование состава 70
Приложение 80

1. Общая классификация и свойства бетонов

Бетонная смесь – рационально подобранная смесь вяжущего и заполнителей.

Бетон – искусственный каменный материал, образующийся после затвердевания бетонной смеси.

1.1 Общая классификация бетонов

Основными классификационными признаками бетона в соответствии с ГОСТ 25192-2012 являются:

- основное назначение;
- стойкость к видам коррозии;
- вид вяжущего;
- вид заполнителей;
- структура;
- условия твердения;
- прочность;
- темп набора прочности;
- средняя плотность;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- истираемость.

В зависимости от основного назначения бетоны подразделяют на:

- конструкционные;
- специальные (например, теплоизоляционные, радиационностойкие, декоративные).

По стойкости к видам коррозии бетоны подразделяют на следующие виды:

А - бетоны, эксплуатируемые в среде без риска коррозионного воздействия (XO);

Б - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием карбонизации (XC);

В - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием хлоридов (XD и XS);

Г - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием попеременного замораживания и оттаивания (XF);

Д - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей химическую коррозию (XA).

По виду вяжущего бетоны подразделяют на:

- цементные;
- известковые;
- шлаковые;
- гипсовые;
- специальные (например, полимербетоны, бетоны на магнезиальном вяжущем).

По виду заполнителей бетоны подразделяют на бетоны на заполнителях:

- плотных;
- пористых (например: керамзит, перлит);
- специальных (например: металлическая дробь, вспененный гранулированный полистирол).

По структуре бетоны подразделяют на бетоны со структурой:
- плотной;
- поризованной;
- ячеистой;
- крупнопористой.

По условиям твердения бетоны подразделяют на твердеющие:
- в естественных условиях;
- в условиях тепловой обработки при давлении выше атмосферного (бетоны автоклавного твердения).

По прочности бетоны подразделяют на бетоны:
- средней прочности (класс прочности при сжатии B50);
- высокопрочные (класс прочности при сжатии B55 и выше).

По скорости набора прочности в нормальных условиях твердения бетоны подразделяют на:
- быстротвердеющие;
- медленнотвердеющие.

Причем за критерий оценки скорости набора прочности принимают отношение прочности бетона в возрасте 2 суток к прочности этого же бетона в возрасте 28 суток. Для быстротвердеющих бетонов этот показатель соответствует 0,4, а для медленнотвердеющий 0,4 и меньше

По средней плотности бетоны подразделяют на:
- особо легкие (марки по средней плотности менее D800);
- легкие (марки по средней плотности от D800 до D2000);
- тяжелые (марки по средней плотности более D2000 до D2500);
- особо тяжелые (марки по средней плотности более D2500).

По морозостойкости бетоны подразделяют на бетоны:
- низкой морозостойкости (марки по морозостойкости F50 и менее);
- средней морозостойкости (марки по морозостойкости более F50 до F300);
- высокой морозостойкости (марки по морозостойкости более F300).

По водонепроницаемости бетоны подразделяют на бетоны:
- низкой водонепроницаемости (марки по водонепроницаемости менее W4);
- средней водонепроницаемости (марки по водонепроницаемости от W4 до W12);
- высокой водонепроницаемости (марки по водонепроницаемости более W12).

По истираемости бетоны подразделяют на бетоны:
- низкой истираемости (марка по истираемости G1);
- средней истираемости (марка по истираемости G2);
- высокой истираемости (марка по истираемости G3).

1.2 Основные свойства бетона

1.2.1 Определение класса прочности бетона

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Число образцов в серии принимают по таблице 1 в зависимости от среднего внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона $\overline{V}_s$, рассчитываемого не реже одного раза в год.

Таблица 1

Внутрисерийный коэффициент вариации $\overline{V}_s$, %	5 и менее	Более 5 до 8 включ.	Более 8**
Требуемое число образцов в серии, шт., не менее	2	3* или 4	6
* При применении форм типа 2ФК по ГОСТ 22685 число образцов в серии принимают равным четырем, при применении форм типа 1ФК и 3ФК - три образца. ** В случае если средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона на сжатие $\overline{V}_s$ превышает 8%, необходимо провести внеочередную переаттестацию испытательной лаборатории.			

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2

Метод	Форма образца	Номинальные размеры образца, мм
Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании	Куб	Длина ребра: 100; 150; 200; 250; 300
	Цилиндр	Диаметр d. 100; 150; 200; 250; 300 Высота h ³ d
Определение прочности на осевое растяжение	Призма квадратного сечения	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800; 250×250×1000; 300×300×1200
	Цилиндр	Диаметр d. 100; 150; 200; 250; 300 Высота h, равная 2d
Определение прочности на растяжение при изгибе и при раскалывании	Призма квадратного сечения	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800; 250×250×1000; 300×300×1200

Допускается применять следующие образцы:

– кубы (далее – образцы-кубы) с ребром длиной 70 мм;

– призмы (далее – образцы-призмы) размером 70×70×280 мм;

– цилиндры (далее – образцы-цилиндры) диаметром 70 мм;

– половинки образцов-призм, полученных после испытания на растяжение при изгибе образцов-призм, для определения прочности бетона на сжатие;

– образцы-кубы, изготовленные в неразъемных формах с технологическим уклоном;

За базовый образец при всех видах испытаний следует принимать образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения 150×150 мм.

Наименьшие размеры образцов в зависимости от наибольшего номинального размера зерен заполнителя в пробе бетонной смеси должны соответствовать указанным в таблице 3.

Таблица 3

Наибольший номинальный размер зерна заполнителя	Наименьший размер образца (ребра образца-куба, стороны поперечного сечения образца-призмы, диаметра и высоты образца-цилиндра)
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300
Примечания 1. При изготовлении образцов из бетонной смеси должны быть удалены отдельные зерна крупного заполнителя, размер которых превышает более чем в 1,5 раза наибольший номинальный размер заполнителя, указанный в таблице 2, а также все зерна заполнителя размером более 100 мм. 2. При изготовлении образцов с минимальным размером 70 мм максимальная крупность заполнителя не должна превышать 20 мм.	

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

1.2.1.1 Испытание на сжатие

При испытании на сжатие образцы-кубы и образцы-цилиндры устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту испытательной машины (пресса).

После установки образца на опорные плиты испытательной машины совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,6 ± 0,2) МПа/с.

Прочность бетона в серии образцов определяют как среднеарифметическое значение прочности испытанных образцов в серии:

- из двух образцов - по двум образцам;
- из трех образцов - по двум образцам с наибольшей прочностью;
- из четырех образцов - по трем образцам с наибольшей прочностью;
- из шести образцов - по четырем образцам с наибольшей прочностью.

При отбраковке дефектных образцов прочность бетона в серии определяют по всем оставшимся образцам, если их не менее двух.

Результаты испытания серии из двух образцов при отбраковке одного образца не учитывают.

Примеры разрушений образцов при испытаниях на сжатие

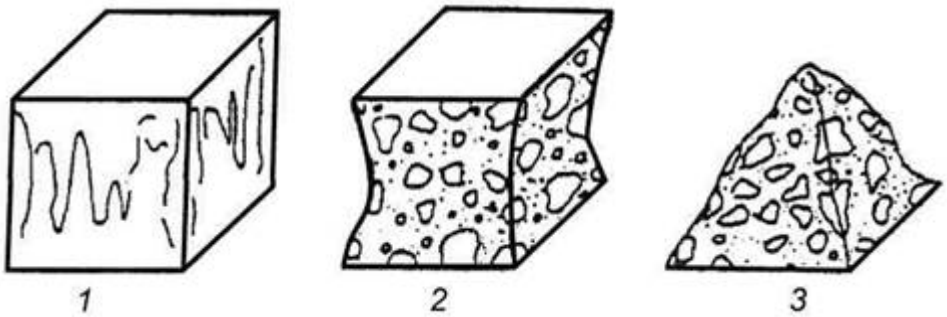


Рисунок 1 – Удовлетворительные разрушения образцов-кубов

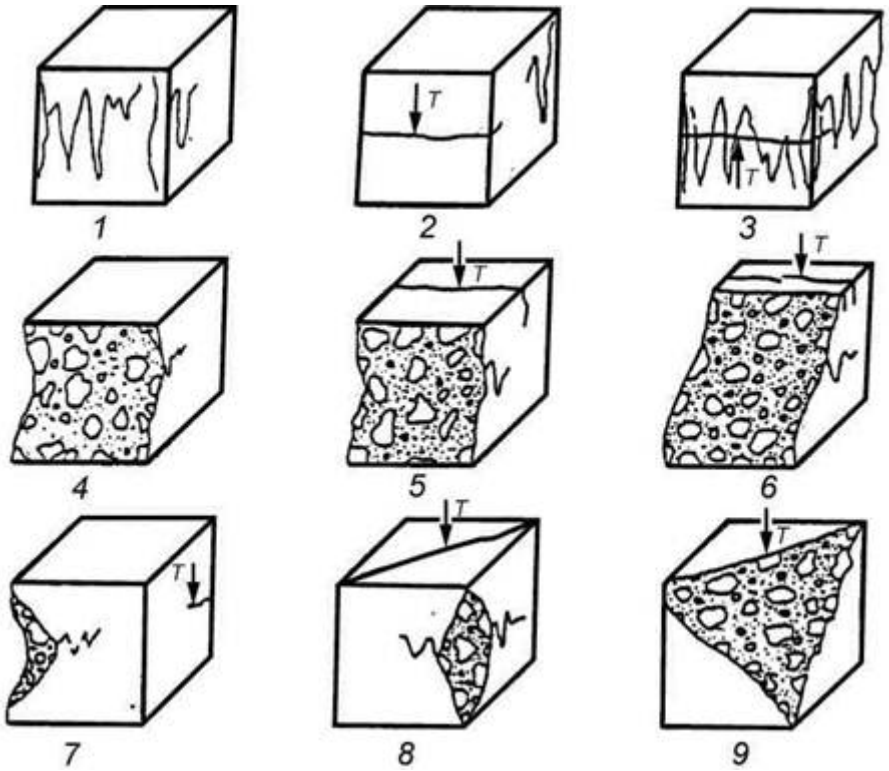


Рисунок 2 – Неудовлетворительные разрушения образцов-кубов

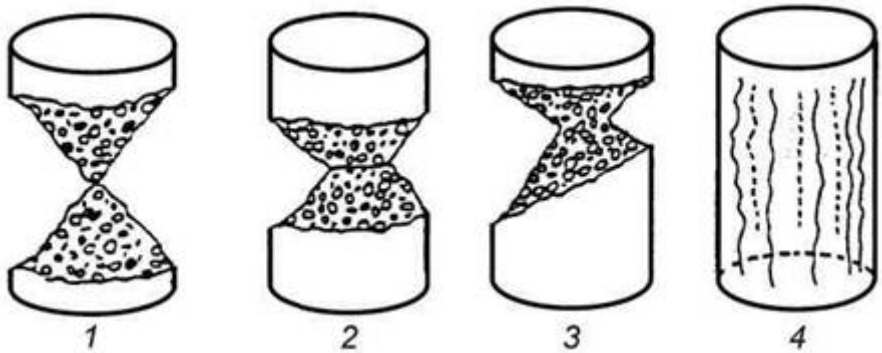


Рисунок 3 – Удовлетворительные разрушения образцов-цилиндров

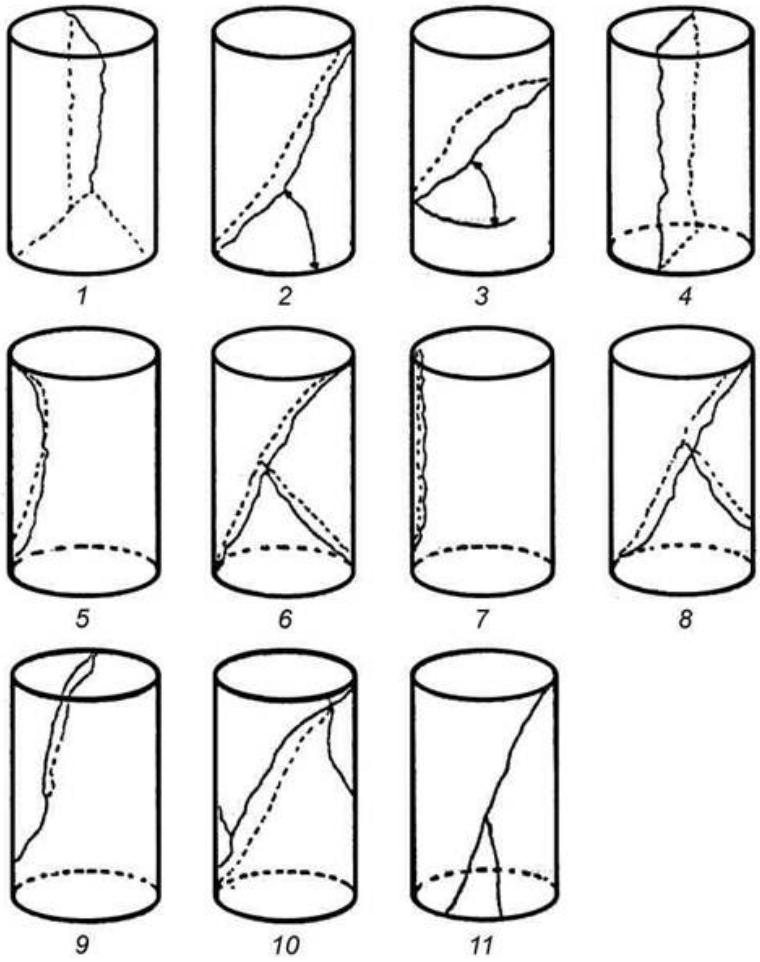
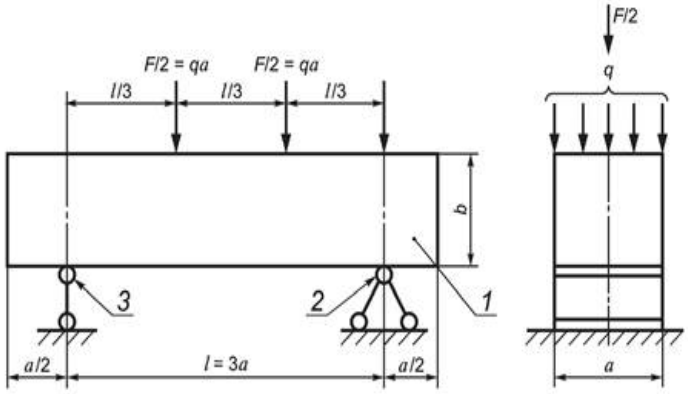


Рисунок 4 – Неудовлетворительные разрушения образцов-цилиндров

1.2.1.2 Испытание на растяжение при изгибе

Образец-призму устанавливают в испытательную машину по схеме на рисунке 5 и нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,05 ±0,01) МПа/с.



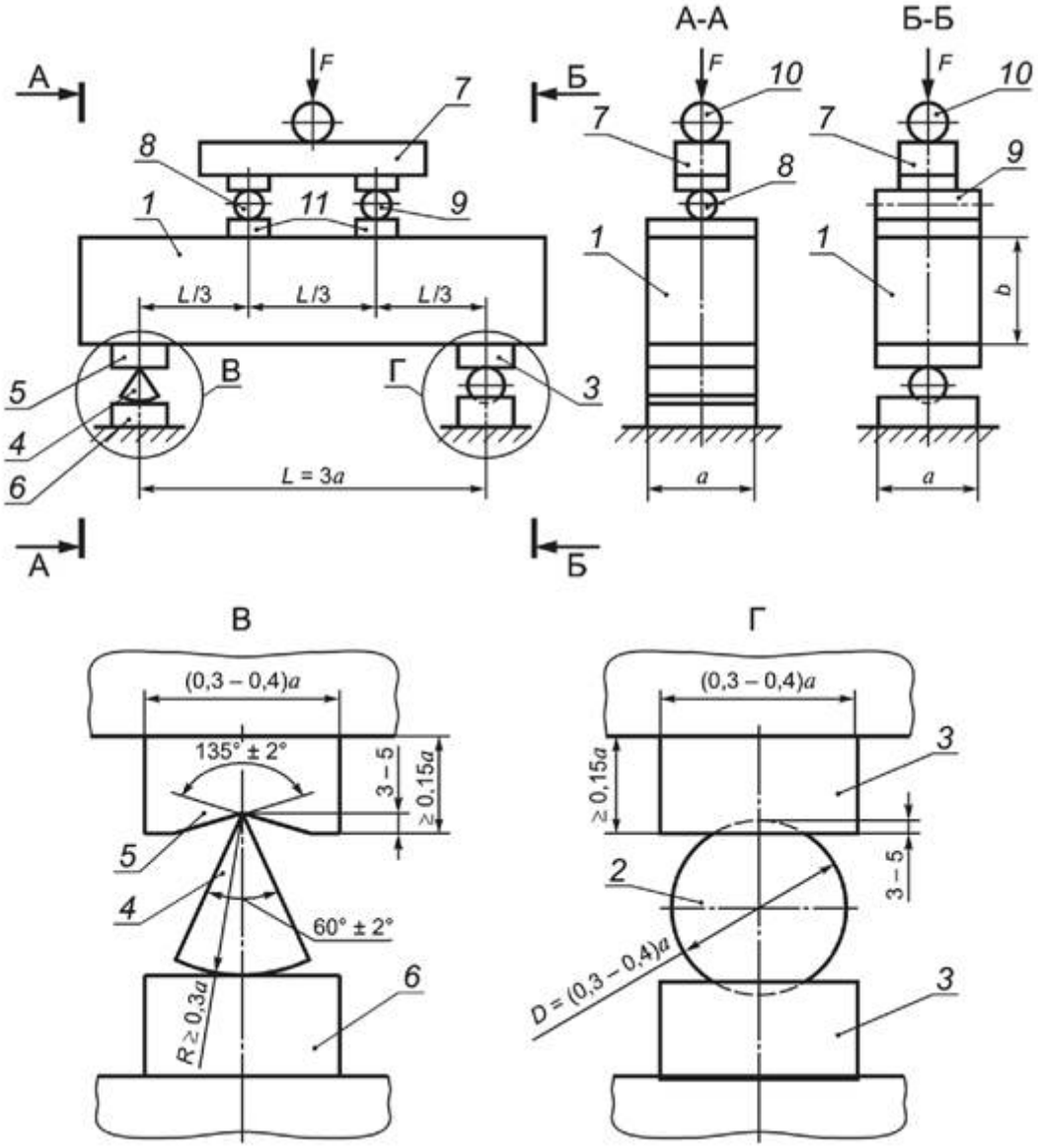
a - ширина и высота образца; F - нагрузка; q - распределенная нагрузка; l - пролет; 1 - образец; 2 - шарнирно-неподвижная опора; 3 - шарнирно-подвижная опора

Рисунок 5 – Схема испытания на растяжение при изгибе

Если образец разрушился не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15°, то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывают.

Устройства для испытания на растяжение при изгибе

Рекомендуемые конструктивные решения и размеры устройств и приспособлений для реализации схемы испытания на растяжение при изгибе приведены на рисунке 6.



1 – образец; 2 – шар; 3 – опорная подушка; 4 – качающаяся призма; 5 – опорная сегментная подушка; 6 – опорная плоская подушка; 7 – распределительная траверса; 8 – шарнирно-неподвижная опора; 9 – шарнирно-подвижная опора; 10 – шаровой шарнир; 11 – стальная опорная пластина

Рисунок 6 - Схема устройств для испытания на растяжение при изгибе

Одна из опор, на которую образец 1 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.

Шарнирно-неподвижная опора (узел Г) выполнена в виде шара 2, устанавливаемого центрально относительно поперечной оси образца между опорными подушками 3 со сферическими поверхностями, что обеспечивает поворот образца как в плоскости изгиба, так

и в плоскости, перпендикулярной к ней, без перемещения образца и исключает косой изгиб, который может быть вызван неплоскостностью опорных граней образца.

Шарнирно-подвижная опора (узел В) выполнена в виде качающейся призмы 4, опирающейся на верхнюю сегментную 5 и нижнюю плоскую 6 опорные подушки, и установлена центрально относительно поперечной оси образца, что обеспечивает как поворот, так и смещение образца в плоскости изгиба и исключает возникновение усилия распора вследствие прогиба образца.

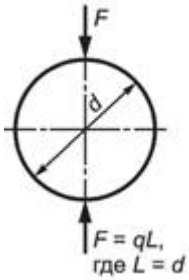
Нагрузка от испытательной машины (установки) передается на образец через распределительную траверсу 7, выполненную в виде однопролетной балки. Длина траверсы должна быть не менее половины длины образца, а ее прогиб под нагрузкой - не более 1/500 ее пролета. Траверсу устанавливают на образец центрально относительно его осей и опирают на образец в двух сечениях в третях пролета. Шарнирно-неподвижная опора 8 траверсы выполнена так же, как и соответствующая опора образца. Шарнирно-подвижная опора 9 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. Нагрузка от испытательной машины (установки) на траверсу должна передаваться центрально через шаровой шарнир 10, в качестве которого может быть использован верхний шарнир испытательной машины.

1.2.1.3 Испытания на растяжение при раскалывании

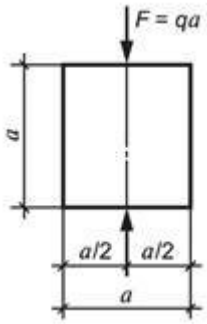
Образец устанавливают на плиту испытательной машины по схеме на рисунке 7.

С помощью держателя или временных опор проверяют, чтобы образец был отцентрирован при первоначальном приложении нагрузки. Нагружение проводят при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,05 ± 0,01) МПа/с.

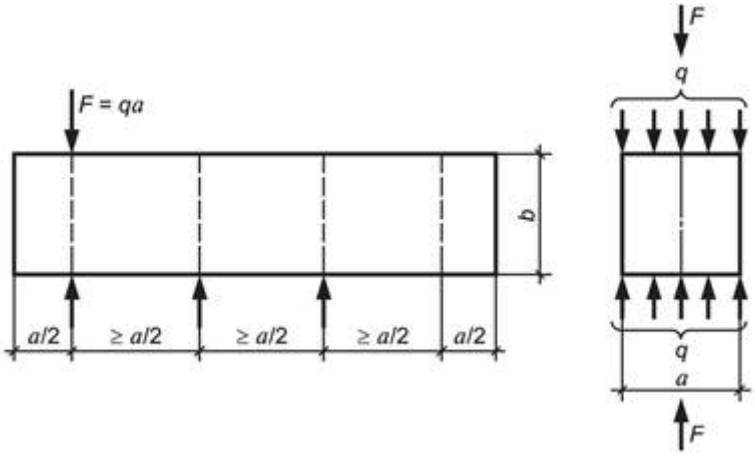
Для равномерной передачи усилия на образец между стальной колющей прокладкой и поверхностью образца-куба или между опорными плитами испытательной машины и поверхностью образца-цилиндра устанавливают прокладку из фанеры (используют не более двух раз) или картона (используют не более одного раза) длиной не менее длины образца, шириной (15 ± 1) мм и толщиной (4 ± 1) мм.



а) Образцы-цилиндры из бетона



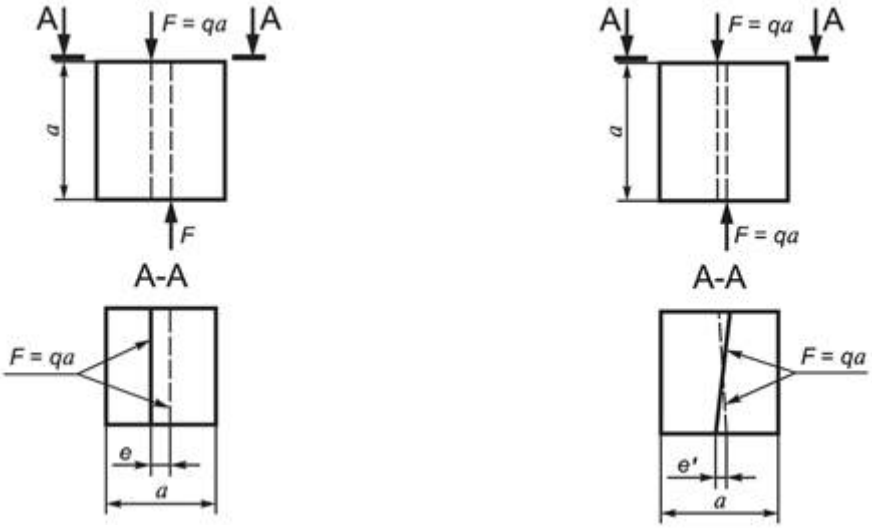
б) Образцы-кубы из бетона всех видов



в) Образцы-призмы из тяжелого бетона

Рисунок 7 – Схемы испытания на растяжение при раскалывании

Результаты испытания не учитывают, если плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более чем на 15° (см. рисунок 8).



а) С эксцентриситетом б) Взаимно непараллельно

Рисунок 8 – Погрешности расположения плоскостей действия нагрузки при испытании на растяжение при раскалывании

1.2.1.4 Испытание на осевое растяжение

Образец закрепляют в разрывной машине по одной из схем, приведенных на рисунке, и нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,05 ± 0,01) МПа/с.

Результат испытаний не учитывают, если разрушение образца произошло не в рабочей зоне или плоскость разрушения образца наклонена к его горизонтальной оси более чем на 15°.

1.2.1.5 Определение масштабных коэффициентов

Прочность бетона на сжатие R, МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле 1:

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w. \tag{1}$$

Прочность бетона на осевое растяжение R_t, растяжение при раскалывании R_{tt}, растяжение при изгибе R_{tb}, МПа, вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формулам 2,3,4:

$$R_t = \beta \frac{F}{A} K_w, \tag{2}$$

$$R_{tt} = \gamma \frac{2F}{\pi A} K_w, \tag{3}$$

$$R_{tb} = \delta \frac{Fl}{ab^2} K_w, \tag{4}$$

где F - разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм^2;

a, b, l п – ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм;

a, b, g, d – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

K_w - поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

Значения масштабных коэффициентов a, b, g и d определяют экспериментально. Для каждой парной серии определяют значение масштабного коэффициента Kj, по формуле 5:

$$K_j = \frac{R_{sj}^0}{R_{sj}}, \tag{5}$$

где R_{sj}^0 и R_{sj} - средние значения прочности бетона в сериях базового и небазового размеров, вычисленные по результатам испытаний всех образцов серии.

По всем сериям вычисляют средний масштабный коэффициент $\bar{K}$, среднеквадратическое отклонение S_k и коэффициент вариации V, %, по формулам 6,7,8:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{j=1}^{n} K_j}{n}, \tag{6}$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} \left(K_j - \bar{K}\right)^2}{n-1}} \tag{7}$$

$$V = \frac{S_k}{K} 100, \tag{8}$$

где п - число пар серий образцов, равное 8 или 6.

Экспериментально установленный масштабный коэффициент $\bar{K}$ может быть использован, если коэффициент вариации не превышает 15 %.

Полученные значения экспериментально установленных масштабных коэффициентов сравнивают со значениями, приведенными в таблице 4, и оценивают значимость их отличия от табличных по значению x, вычисляемому по формуле 9.

Таблица 4

Форма и размеры образца	Масштабные коэффициенты при испытании				
	на сжатие, a	на растяжение при раскалывании, g		на растяжение при изгибе, d	на осевое растяжение, b
		крупнозер.	мелкозер.		
Куб (ребро) или квадратная призма (сторона поперечного сечения), мм					
70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,85
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15	1,08
250	1,08	-	-	1,25	-
300	1,10	-	-	1,34	-
Цилиндры (диаметр × высоту), мм					
100×200	1,16	0,98	0,99	-	-
150×300	1,20	1,13	1,08	-	-
200×400	1,24	-	-	-	-
250×500	1,26	-	-	-	-
300×600	1,28	-	-	-	-

$$\tau = 2{,}83\frac{(\bar{K} - K_{tb})}{S_k}, \qquad (9)$$

где K_{tb} - значения масштабных коэффициентов a, b, g, d по таблице 4 для образцов, имеющих форму и размеры, соответствующие испытуемым.

При $\tau > 1{,}4$ отличие признают существенным и принимают экспериментальное значение масштабного коэффициента.

При $\tau < 1{,}4$ отличие признают несущественным и принимают значение масштабного коэффициента по таблице 4.

Значения экспериментально установленных масштабных коэффициентов устанавливает лаборатория предприятия или строительной организации и утверждает главный инженер этого предприятия или организации.

Проверку экспериментально установленных значений масштабных коэффициентов следует проводить не реже одного раза в два года, а также при ремонте и замене испытательных машин и парка форм для изготовления образцов.

Для тяжелых бетонов средней прочности на сжатие до B40 значения коэффициентов перехода допускается принимать по таблице 5.

Таблица 5

Вид напряженного состояния	Коэффициент перехода К			
	Сжатие	Растяжение осевое	Растяжение при изгибе	Растяжение при раскалывании
Сжатие	1,00	0,07	0,12	0,08
Растяжение осевое	14,28	1,00	1,82	1,20
Растяжение при изгибе	8,33	0,55	1,00	0,67
Растяжение при раскалывании	12,50	0,83	1,50	1,00

Допускается значения масштабных коэффициентов для отдельных видов бетонов принимать по таблице 4.

Средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона $\bar{V}$, %, определяют по результатам испытания любых последовательных 30 серий образцов бетона одного класса. Для этого определяют размах W_i и прочность бетона R_i в каждой серии, а также средний размах $\bar{W}$, МПа, и среднюю прочность $\bar{R}_i$, МПа, по всем 30 сериям по формулам 10,11,12,13:

$$W_i = R_{i,\,max} - R_{i,\,min}, \tag{10}$$

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^{30} W_i}{30}, \tag{11}$$

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{i=1}^{30} R_i}{30}, \tag{12}$$

$$\bar{V} = \frac{\bar{W}}{d\bar{R}_i} 100, \tag{13}$$

где $R_{i,\,max}$ и $R_{i,\,min}$ - максимальное и минимальное значения прочности бетона в каждой серии образцов, МПа;

d - коэффициент, принимаемый в зависимости от числа образцов п в каждой серии по таблице 6.

Таблица 6

п	2	3	4	6
d	1,13	1,69	2,06	2,50

ПРИМЕР

Для определения масштабных коэффициентов для образцов кубов 10x10x10 см испытаны 6 серий образцов тяжелого бетона марки М200 на сжатие, по 12 образцов в каждой серии. 6 образцов в серии имеют размеры 100x100x100 и ещё 6 образцов 150x150x150 мм. Результаты испытаний приведены в соответствующих таблицах.

Серия 1

Наименование показатели	*100x100x100 мм*						*150x150x150 мм*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
F, кг	*21500*	*20500*	*21350*	*20500*	*21000*	*22000*	*44900*	*44500*	*45500*	*45800*	*44500*	*46000*
A, см²	*100*	*102*	*103*	*99*	*101*	*102*	*225*	*224*	*226*	*228*	*225*	*227*
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	*215,0*	*201,0*	*207,3*	*207,1*	*207,9*	*215,7*	*199,6*	*198,7*	*201,3*	*200,9*	*197,8*	*202,6*
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	R_{s1} *=211,5*						R^0_{s1} *=201,1*					

Для каждой парной серии определяют значение масштабного коэффициента Kj.

$\boldsymbol{K_1 = R^0_{s1} / R_{s1} = 0.95}$

Серия 2

Наименование показатели	*100x100x100 мм*						*150x150x150 мм*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
F, кг	*21200*	*20000*	*21150*	*19500*	*22000*	*21500*	*45500*	*44000*	*46000*	*45500*	*42500*	*46000*
A, см²	*101*	*101*	*99*	*98*	*103*	*102*	*224*	*223*	*226*	*227*	*223*	*227*
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	*209,9*	*198,0*	*213,6*	*199,0*	*213,6*	*210,8*	*203,1*	*197,3*	*203,5*	*200,4*	*190,6*	*202,6*
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	R_{s2} *=212,0*						R^0_{s2} *=202,4*					

$\boldsymbol{K_2 = R^0_{s2} / R_{s2} = 0.95}$

Серия 3

Наименование показатели	100x100x100 мм						150x150x150 мм					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
F, кг	22300	20400	20850	21500	21500	21500	45500	45000	45500	46000	46500	44000
A, см2	104	102	103	100	101	101	222	224	223	223	227	223
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см^2	214,4	200,0	202,4	215,0	212,9	212,9	205,0	200,9	204,0	206,3	204,8	197,3
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см^2	R_{s3} =213,8						R^0_{s3} =203,1					

$$K_3 = R^0_{s3} / R_{s3} = 0.95$$

Серия 4

Наименование показатели	100x100x100 мм						150x150x150 мм					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
F, кг	20000	21300	20750	19800	20500	21000	46500	45500	46000	45700	45000	45050
A, см^2	102	101	102	100	102	101	227	225	224	224	226	225
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см^2	196,1	210,9	203,4	198,0	201,0	207,9	204,8	202,2	205,4	204,0	199,1	200,2
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см^2	R_{s4} =205,8						R^0_{s4} =204,1					

$$K_4 = R^0_{s4} / R_{s4} = 0.95$$

Серия 5

Наименование показатели	*100x100x100 мм*						*150x150x150 мм*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
F, кг	*21600*	*21250*	*20700*	*20750*	*20500*	*21700*	*45150*	*43800*	*45000*	*45000*	*45600*	*46000*
A, см²	*102*	*100*	*103*	*103*	*99*	*103*	*224*	*222*	*225*	*225*	*226*	*225*
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	*211,8*	*212,5*	*201,0*	*201,5*	*207,1*	*210,7*	*201,6*	*197,3*	*200,0*	*200,0*	*201,8*	*204,4*
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	R_{s5} *=210,5*						R^0_{s5} *=201,9*					

$$K_5 = R^0_{s5} / R_{s5} = 0.96$$

Серия 6

Наименование показатели	*100x100x100 мм*						*150x150x150 мм*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
F, кг	*21100*	*21800*	*20500*	*21800*	*20700*	*21200*	*45200*	*44600*	*45700*	*45800*	*45400*	*45000*
A, см²	*99*	*101*	*98*	*103*	*102*	*99*	*226*	*223*	*226*	*227*	*225*	*226*
Значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	*213,1*	*215,8*	*209,2*	*211,7*	*202,9*	*214,1*	*200,0*	*200,0*	*202,2*	*201,8*	*201,8*	*199,1*
Среднее значение прочности без масштабного коэффициента, кг/см²	R_{s6} *=213,7*						R^0_{s6} *=201,4*					

$$K_6 = R^0_{s6} / R_{s6} = 0.94$$

Далее вычисляют средний масштабный коэффициент $\overline{K}$, *среднеквадратическое отклонение* S_k *и коэффициент вариации V, %:*

$$\overline{K} = \frac{\sum_{1-6}^{6} K_{1-6}}{6} = \frac{0,95+0,95+0,95+0,99+0,96+0,94}{6} = 0,96$$

$$S_k=\sqrt{\frac{\sum_{1-6}^{6}(K_{1-6}-\bar{K})^2}{6-1}}=\sqrt{\frac{(0{,}95-0{,}96)^2+(0{,}95-0{,}96)^2+(0{,}95-0{,}96)^2+(0{,}99-0{,}96)^2+(0{,}96-0{,}96)^2+(0{,}94-0{,}96)^2}{5}}=0{,}02$$

$$V=\frac{S_k}{\bar{K}}*100\%=\frac{0{,}02}{0{,}96}*100\%=1{,}8\ \%$$

Экспериментально установленный масштабный коэффициент $\bar{К}=0{,}96$ *и может быть использован, так как коэффициент вариации V=1,8% и не превышает 15 %.*

Полученные значения экспериментально установленных масштабных коэффициентов сравнивают со значениями, приведенными в таблице 4, и оценивают значимость их отличия от табличных по значению τ, вычисляемому по формуле 9.

Так как, прочность бетона определяли при сжатии, то значение K_{tb} *берем по таблице 4 равное 0,95 для образцов имеющих форму и размеры, соответствующие испытуемым.*

$$\tau=2{,}83\frac{(\bar{К}-К_{tb})}{S_k}=2{,}83\frac{(0{,}96-0{,}95)}{0{,}02}=1{,}36$$

Так как, τ < 1,4 отличие признают несущественным и принимают значение масштабного коэффициента по таблице 4.

1.2.1.6 Определение класса бетона

Контроль и оценку прочности бетона на предприятиях и в организациях, производящих сборные, сборно-монолитные и монолитные бетонные и железобетонные конструкции, следует проводить статистическими методами с учетом характеристик однородности бетона по прочности.

Приемка бетона путем сравнения его фактической прочности с требуемой без учета характеристик однородности бетона по прочности не допускается. Контролю подлежат все виды нормируемой прочности:

– прочность в проектном возрасте – для сборных, сборно-монолитных и монолитных конструкций;

– отпускная и передаточная прочность – для сборных конструкций;

– прочность в промежуточном возрасте – для монолитных конструкций (при снятии несущей опалубки, нагружении конструкций до достижения ими проектной прочности и т.д.).

В случае если нормируемая отпускная или передаточная прочность бетона сборных конструкций или прочность бетона в промежуточном возрасте монолитных конструкций составляет 90% и более значения проектного класса, контроль прочности в проектном возрасте не проводят.

Контроль прочности бетона по каждому виду нормируемой прочности проводят по одной из следующих схем:

– схема А – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 30 единичных результатов определения прочности, полученных при контроле прочности бетона предыдущих партий сборных конструкций в анализируемом периоде;

– схема Б – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют не менее 15 единичных результатов определения прочности бетона в контролируемой партии сборных конструкций и предыдущих проконтролированных партиях в анализируемом периоде;

– схема В – определение характеристик однородности бетона по прочности, когда используют результаты неразрушающего контроля прочности бетона одной текущей

контролируемой партии конструкций, при этом число единичных значений прочности бетона должно быть не менее:

1. трех на каждую захватку – для плоских конструкций (стен, перекрытий, фундаментных плит);
2. одного на 4 м длины (или трех на захватку) – для каждой линейной горизонтальной конструкции (балка, ригель);
3. шести на каждую конструкцию – для линейных вертикальных конструкций (колонна, пилон).

– схема Г – без определения характеристик однородности бетона по прочности, когда при изготовлении отдельных конструкций или в начальный период производства невозможно получить число результатов определения прочности бетона, предусмотренное схемами А и Б, или при проведении неразрушающего контроля прочности бетона без построения градуировочных зависимостей, но с использованием универсальных зависимостей путем их привязки к прочности бетона контролируемой партии конструкций.

В исключительных случаях (при невозможности проведения сплошного контроля прочности бетона монолитных конструкций с использованием неразрушающих методов) допускается определять прочность бетона по контрольным образцам, изготовленным на строительной площадке или по контрольным образцам, отобранным из конструкций. При этом фактический класс прочности бетона в партии конструкций при 15 рассчитывают по формуле (11), при <15 - по формуле (13).

Контроль прочности бетона проводят:

– для сборных конструкций – по схемам А, Б, В, Г;
– для монолитных конструкций – по схемам В, Г.

В качестве характеристик однородности бетона по прочности, используемых для определения требуемой прочности бетона или фактического класса бетона, вычисляют коэффициенты вариации прочности бетона:

– средний – для всех партий сборных конструкций за анализируемый период – при контроле по схеме А;
– скользящий – средний для контролируемой и последних предыдущих партий – при контроле по схеме Б;
– текущий – для текущей партии бетона и конструкций – при контроле по схеме В.

<u>При контроле и оценке прочности бетона на предприятии-изготовителе:</u>

1. По схеме А:

Определяют фактическую прочность бетона

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}, \qquad (14)$$

Текущий коэффициент вариации прочности бетона в каждой партии, изготовленной в течение анализируемого периода,

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} 100 \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}, \qquad (15)$$

где $\boldsymbol{S_m}$ – среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии в МПа, рассчитывают по формуле 16:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_i - R_m)^2}{n-1}} \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{R_i}}{\boldsymbol{n}}, \qquad (16)$$

Рассчитывают средний коэффициент вариации прочности бетона за анализируемый период,

$$\overline{V}_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{m_i} \cdot n_i}{\sum_{i=1}^{n} n_i} \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}, \quad (17)$$

где $\overline{V}_m$ – коэффициенты вариации прочности бетона в каждой i-й партии;

n_i – число единичных значений прочности бетона в каждой i-й партии;

$\sum_{i=1}^{n} n_i$ – общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период.

Определяют требуемую прочность бетона для следующего контролируемого периода,

$$R_т = K_т \cdot B_{норм} \quad (18)$$

При контроле по схемам А и В коэффициент принимают по таблице 7 в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона за анализируемый период или текущего коэффициента вариации прочности бетона контролируемой партии;

Таблица 7

Показатели	Значения $K_т$ для тяжелых бетонов										
$\overline{V}_m$	6 и менее	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K_T	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43

Проводят оценку прочности бетона каждой партии, изготовленной в контролируемом периоде; Партия сборных конструкций подлежит приемке по прочности бетона, если фактическая прочность бетона в партии не ниже требуемой прочности, а минимальное единичное значение прочности - не менее величины $(R_T - 4)$ и не менее нормируемого класса бетона по прочности.

$$R_m \geq R_T \quad (19)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \quad (20)$$

ПРИМЕР

Произведено 8 единичных определений прочности бетона предыдущей партии на предприятии изготовителе, результаты которых приведены в таблице 8.

Таблица 8

Показатель	*№№ образцов*							
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Прочность при сжатии, кг/см²	*217*	*218*	*228*	*231*	*221*	*215*	*227*	*216*

Определяем фактическую прочность бетона предыдущей партии

$$R_m = \frac{21{,}7 + 21{,}8 + 22{,}8 + 23{,}1 + 22{,}1 + 21{,}5 + 22{,}7 + 21{,}6}{8} = 22{,}2 \text{ МПа}$$

Среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии

$$S_m = \sqrt{\frac{(21{,}7-22{,}2)^2+(21{,}8-22{,}2)^2+(22{,}8-22{,}2)^2+(23{,}1-22{,}2)^2+(22{,}1-22{,}2)^2+(21{,}5-22{,}2)^2+(22{,}7-22{,}2)^2+(21{,}6-22{,}2)^2}{7}} = 0{,}62$$

Текущий коэффициент вариации прочности бетона в каждой партии, изготовленной в течение анализируемого периода,

$$V_m = \frac{0{,}62}{22{,}2} \cdot 100 = 2{,}8$$

Предположим, что за анализируемый период произведена оценка фактической прочности 10 партий бетона по 8 единичных значений прочности бетона в каждой и их текущего коэффициента вариации. Результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9

Показатель	№№ партий бетона									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_m	2,8	4,5	2,3	3,5	3,2	3,3	3,7	2,6	3,5	2,6

Тогда средний коэффициента вариации прочности бетона:

$$\bar{V}_m = \frac{(2{,}8+4{,}5+2{,}3+3{,}5+3{,}2+3{,}3+3{,}7+2{,}6+3{,}5+2{,}6)\cdot 8}{80} = 3{,}2$$

где 8 – число единичных значений прочности бетона в каждой i-й партии;

80 – общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период.

Так как $\bar{V}_m$ менее 6, K_m принимаем 1,07 и определяем требуемую прочность бетона для следующего контролируемого периода,

$$R_T = 1{,}07 \cdot 20 = 21{,}4 МПа$$

Сравниваем фактическую прочность бетона в партии с требуемой прочностью,

$$22{,}2 \geq 21{,}4$$

Сравниваем минимальное единичное значение прочности – не менее величины $(R_T - 4)$ *и не менее нормируемого класса бетона по прочности.*

$$20 < 21{,}6 \geq 17{,}4$$

Так как фактическая прочность бетона в партии не ниже требуемой прочности, а минимальное единичное значение прочности - не менее величины $(R_T - 4)$ *и не менее нормируемого класса бетона по прочности, партия сборных конструкций подлежит приемке по показателю прочности бетона на сжатие.*

2. По схеме Б

Определяют фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m , текущий коэффициент вариации прочности бетона V_m, скользящий коэффициент вариации прочности бетона V_c,

$$V_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{C_i} \cdot n_i}{\sum_{i=1}^{n} n_i}) \quad (21)$$

Определяют требуемую прочность бетона в контролируемой партии,

$$R_m = K_m \cdot B_{норм}) \quad (22)$$

$$K_T = \frac{1}{1 - t_\alpha \frac{V_c}{100}} \quad (23)$$

где коэффициент t_α принимают по таблице 10 в зависимости от общего числа единичных значений прочности бетона в проконтролированных партиях, по которым рассчитан скользящий коэффициент вариации прочности V_c .

Таблица 10

Число единичных значений прочности бетона	*Коэффициент t_α*
15	*1,76*
20	*1,73*
25	*1,71*
30	*1,70*
>30 до 60 включ.	*1,68*
>60	*1,64*

Проводят оценку прочности бетона в контролируемой партии;

$$R_m \geq R_T \quad (24)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \quad (25)$$

3. По схеме Г

Определяют фактическую прочность бетона в каждой партии, изготовленной в контролируемом периоде R_m, определяют требуемую прочность бетона $R_m = K_m \cdot B_{норм}$, где K_m для тяжелого бетона принимаем равным 1,28. Проводят оценку прочности бетона в контролируемой партии.

$$R_m \geq R_T \quad (26)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \quad (27)$$

<u>При контроле и оценке прочности бетона сборных конструкций:</u>

1. По схеме А:

2. Определяют фактическую прочность бетона в каждой партии конструкций, изготовленной в анализируемом периоде R_m, рассчитывают характеристики однородности бетона по прочности S_m, V_m, $\bar{V}_m$определяют требуемую прочность бетона для следующего контролируемого периода по характеристикам однородности прочности бетона за анализируемый период:

$$R_m = K_m \cdot B_{норм}\,, \qquad (28)$$

где K_m – определяем по таблице 7.

проводят оценку прочности бетона каждой партии конструкций, изготовленной в контролируемом периоде;

$$R_m \geq R_T \qquad (29)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \qquad (30)$$

3. По схеме Б:

Определяют фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m, рассчитывают характеристики однородности бетона по прочности – текущий коэффициент вариации прочности бетона и скользящий коэффициент вариации прочности бетона в контролируемой партии S_m, V_m, V_c. Определяют требуемую прочность бетона в контролируемой партии,

$$R_m = K_m \cdot B_{норм} \qquad (31)$$

$$K_T = \frac{1}{1 - t_\alpha \frac{V_c}{100}} \qquad (32)$$

где коэффициент t_α принимают по таблице 10.

Проводят оценку прочности бетона в текущей контролируемой партии;

$$R_m \geq R_T \qquad (33)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \qquad (34)$$

4. По схеме В:

Определяют фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m,

рассчитывают текущий коэффициент вариации прочности бетона в контролируемой партии

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} 100 \qquad (35)$$

При числе единичных значений прочности бетона в партии от двух до шести значение среднеквадратического отклонения допускается рассчитывать по формуле 36:

$$S_m = \frac{W_m}{\propto} \qquad (36)$$

Коэффициент α принимают по таблице 11.

Таблица 11

Число единичных значений n	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Коэффициент α	*1,13*	*1,69*	*2,06*	*2,33*	*2,5*

Определяют по требуемую прочность бетона для контролируемой партии

$$R_m = K_m \cdot B_{норм}, \quad (37)$$

где K_m – находят по таблице 7.

Проводят оценку прочности бетона в контролируемой партии;

$$R_m \geq R_T \quad (38)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \quad (39)$$

5. По схеме Г:

Определяют фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m, определяют требуемую прочность бетона $R_m = 1{,}28 \cdot B_{норм}$, проводят оценку прочности бетона в контролируемой партии.

$$R_m \geq R_T \quad (40)$$

$$B(B_t B_{tb}) < R_i^{min} \geq (R_T - 4) \quad (41)$$

<u>При контроле и оценке прочности бетона партий монолитных конструкций:</u>

1. По схеме В:

Определяют неразрушающими методами фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m, рассчитывают текущий коэффициент вариации прочности бетона в контролируемой партии с учетом погрешности применяемых неразрушающих методов при определении прочности

$$S_m = \left(S_{\text{н.м.}} + \frac{S_T}{\sqrt{(n-1)}}\right) \cdot \frac{1}{0{,}7r + 0{,}3} \quad (42)$$

где S_T – определяют по формуле 43

$$S_T = \sqrt{S_{\text{т.н.м}}^2 + S_{\text{т.р.м.}}^2} \quad (43)$$

где $S_{т.р.м.}$ – принимают равным:

– для метода отрыва со скалыванием - 0,04 средней прочности бетона участков, использованных при построении градуировочной зависимости при анкерном устройстве с глубиной заделки 48 мм; 0,05 средней прочности - при глубине 35 мм; 0,06 средней прочности - при глубине 30 мм; 0,07 средней прочности - при глубине 20 мм;

– для разрушающих методов - 0,02 средней прочности испытанных образцов.

Значение определяют при построении градуировочной зависимости по формуле (44). Значение должно быть не менее 0,7.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{i.\text{Н}} - \bar{R}_{i.\text{Н}})(R_{i.\text{Ф}} - \bar{R}_{i.\text{Ф}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(R_{i.\text{Н}} - \bar{R}_{i.\text{Н}})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(R_{i.\text{Ф}} - \bar{R}_{i.\text{Ф}})^2}} \quad (44)$$

где $\boldsymbol{r}$ – значения прочности бетона участков (или серий образцов), определяемой разрушающими и неразрушающими методами при установлении градуировочной зависимости.

Определяют фактический класс бетона по прочности для монолитных конструкций:

$$B_{\Phi} = \frac{R_m}{K_T} \quad (45)$$

Значение коэффициента K_T принимают по таблице 7. Для отдельных вертикальных монолитных конструкций фактический класс бетона по прочности рассчитывают по формуле 46:

$$B_{\Phi} = R_m - t_{\beta}\frac{S_T}{\sqrt{n}} \quad (46)$$

где t_{β} – коэффициент, принимаемый по таблице 12 в зависимости от числа единичных значений.

Таблица 12

n	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
t_{β}	*3,18*	*2,78*	*2,57*	*2,45*	*2,36*	*2,31*	*2,26*

Партия монолитных конструкций подлежит приемке по прочности бетона, если фактический класс бетона по прочности в каждой отдельной конструкции этой партии не ниже проектного класса бетона по прочности:

$$B_{\Phi} \geq B_{норм} \quad (47)$$

2. По схеме Г:

Определяют неразрушающими или разрушающими методами фактическую прочность бетона в контролируемой партии R_m , определяют фактический класс бетона по прочности в контролируемой партии $B_{\Phi} = 0,8\ R_m$, проводят оценку прочности бетона в контролируемой партии.

$$B_{\Phi} \geq B_{норм} \quad (48)$$

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и марками приведены в таблице 13.

Таблица 13

Класс бетона по прочности на сжатие	*Средняя прочность бетона данного класса, кгс/см^2, при коэффициенте вариации 13,5 %*	*Ближайшая марка бетона по прочности*	*Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса, %*
B2	*26,2*	*M25*	*-4,6*
B2,5	*32,7*	*M35*	*+7,0*
B3,5	*45,8*	*M50*	*+9,1*
B5	*65,5*	*M75*	*+14,5*
B7,5	*98,2*	*M100*	*+1,8*
B10	*131,0*	*M150*	*+14,5*
B12,5	*163,7*	*M150*	*- 8,4*

Продолжение таблицы 13

Класс бетона по прочности на сжатие	*Средняя прочность бетона данного класса, кгс/см^2, при коэффициенте вариации 13,5 %*	*Ближайшая марка бетона по прочности*	*Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса, %*
B15	*196,5*	*M200*	*+1,8*
B20	*261,9*	*M250*	*-4,5*
B22,5	*294,4*	*M300*	*+1,9*
B25	*327,4*	*M350*	*+6,9*
B30	*392,9*	*M400*	*+1,8*
B35	*458,4*	*M450*	*-1,8*
B40	*523,9*	*M500*	*- 4,8*
B45	*589,4*	*M600*	*+1,8*
B50	*654,8*	*M700*	*+ 6,9*
B55	*720,3*	*M700*	*-2,8*
B60	*785,8*	*M800*	*+ 1,8*

1.2.2 Определение морозостойкости бетона

Морозостойкость бетона это его способность, выдерживать большой перепад температур или многократное, попеременное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии.

Марка по морозостойкости (обозначается буквой F) определяет наибольшее количество циклов «замораживания – оттаивания», которое могут выдержать образцы бетона.

При этом прочность на сжатие не должна снизиться более чем на 15%; потеря массы – не должна превышать 5%.

Термины и определения.

– вода минерализованная: Вода, содержащая растворенные соли в количестве 5 г/л и более. Морская вода является одним из видов минерализованной воды.

– морозостойкость бетона: Способность бетона в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик, приведенных в приложении А.

– марка бетона по морозостойкости: Показатель морозостойкости бетона, соответствующий числу циклов замораживания и оттаивания образцов, определенному при испытании базовыми методами, при которых характеристики бетона, установленные настоящим стандартом, сохраняются в нормируемых пределах и отсутствуют внешние признаки разрушения (трещины, сколы, шелушение ребер образцов).

– марка бетона по морозостойкости F_1: Марка по морозостойкости бетона, испытанного в водонасыщенном состоянии, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также бетонов, эксплуатируемых при воздействии минерализованной воды.

– марка бетона по морозостойкости F_2: Марка по морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий и бетона, эксплуатируемого при воздействии минерализованной

воды, и определенная при испытании образцов, насыщенных 5 %-ным водным раствором хлорида натрия.

– цикл испытания: Совокупность одного периода замораживания и оттаивания образцов.

– основные образцы: Образцы, предназначенные для определения нормируемых настоящим стандартом характеристик после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания.

– контрольные образцы: Образцы, предназначенные для определения нормируемых настоящим стандартом характеристик перед началом испытания основных образцов.

– определение морозостойкости: Оценка максимального числа циклов замораживания и оттаивания бетона, при котором характеристики бетона остаются в нормированных пределах, а также отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер образцов.

– критическое снижение характеристик образцов: Снижение характеристик образцов при определении морозостойкости до значений, при которых в соответствии с настоящим стандартом прекращают испытания образцов.

Стандартом предусмотрены следующие методы определения морозостойкости:

базовый метод при многократном замораживании и оттаивании:

– первый - для всех видов тяжелых бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды,

– второй - для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и для бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;

ускоренные метод при многократном замораживании и оттаивании:

– второй - для всех видов тяжелых бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды,

– третий - для всех видов тяжелых бетонов.

Условия испытаний для определения морозостойкости бетонов в зависимости от используемого метода и вида бетонов принимают по таблице 14.

При расхождении результатов определения морозостойкости, полученных базовыми и ускоренными методами, в качестве окончательных принимают результаты, полученные базовыми методами.

Таблица 14

Метод и марка бетона по морозостойкости	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и температура замораживания	Среда и температура оттаивания	
Базовые методы				
Первый F_1	Вода	Воздушная, минус (18 ± 2) °С	Вода, (20 ± 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды

Продолжение таблицы 14

Метод и марка бетона по морозостойкости	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и температура замораживания	Среда и температура оттаивания	
Базовые методы				
Второй F_2	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 ± 2) °С	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2) °С	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Ускоренные методы				
Второй	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 ± 2) °С	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды.
Третий	5 %-ный водный раствор хлорида натрия	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, минус (50 ± 2) °С	5 %-ный водный раствор хлорида натрия, (20 ± 2) °С	Все виды бетонов.

Определение морозостойкости бетона начинают после достижения бетоном проектного возраста 28 суток. Испытания образцов, отобранных из бетонных и железобетонных конструкций, проводят в проектном возрасте. При большем возрасте конструкций указывают срок эксплуатации бетона.

При определении морозостойкости бетона изготовляют и испытывают на сжатие образцы кубы размером 100x100x100 или 150x150x150. Число образцов для испытаний в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по таблице 15.

Таблица 15

Метод определения морозостойкости	Минимальное число образцов в серии, шт.	
	контрольных	основных
Первый	6	12*
Второй	6	12*
Третий	6	6*

* При проведении испытаний образцов до разрушения число основных образцов следует увеличивать так, чтобы обеспечить проведение испытания до максимального числа циклов, более которого наблюдается критическое снижение нормируемых характеристик образцов и (или) появление трещин, сколов, шелушения ребер образцов.

Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,1 %.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5 %-ным водным раствором хлорида натрия температурой (20 ± 2) °С.

Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на 48 ч так, 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 1. Испытания следует вести непрерывно. При вынужденных перерывах в испытании образцы должны храниться в замороженном состоянии в морозильной камере или в специальном холодильнике при температуре не выше минус 10 °С: при испытании по первому и второму методам образцы следует хранить укрытыми влажной тканью для защиты от высыхания, при испытании по третьему методу - в 5 %-ном водном растворе хлорида натрия.

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости принимают по таблице 16.

Таблица 16

Методы		Вид бетона	Марки бетона по морозостойкости F_1 или F_2 и число циклов, после которого проводят промежуточное испытание (над чертой) и число циклов, соответствующее марке бетона по морозостойкости (под чертой)												
Базовые	Первый	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	$F_1$25	$F_1$35	$F_1$50	$F_1$75	$F_1$100	$F_1$150	$F_1$200	$F_1$300	$F_1$400	$F_1$500	$F_1$600	$F_1$800	$F_1$1000
			15*/25	25/35	35/50	50/75	75/100	100/150	150/200	200/300	300/400	400/500	500/600	600/800	800/1000
	Второй	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	-	-	-	$F_2$75	$F_2$100	$F_2$150	$F_2$200	$F_2$300	$F_2$400	$F_2$500	$F_2$600	$F_2$800	$F_2$1000
			-	-	-	50/75	75/100	100/150	150/200	200/300	300/400	400/500	500/600	600/800	800/1000
Ускоренные	Второй	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	-	-	$F_1$50	$F_1$75	$F_1$100	$F_1$150	$F_1$200	$F_1$300	$F_1$400	$F_1$500	$F_1$600	$F_1$800	$F_1$1000
			-	-	–/8	–/13	–/20	20/30	30/45	45/75	75/100	110/150	150/200	200/300	300/450

Продолжение таблицы 16

Методы		Вид бетона	Марки бетона по морозостойкости F_1 или F_2 и число циклов, после которого проводят промежуточное испытание (над чертой) и число циклов, соответствующее марке бетона по морозостойкости (под чертой)												
	Третий	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде.	-	-	-	F_175	F_1100	F_1150	F_1200	F_1300	F_1400	F_1500	F_1600	F_1800	F_11000
			-	-	-	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
		Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	-	-	-	-	F_2100	F_2150	F_2200	F_2300	F_2400	F_2500	F_2600	F_2800	F_21000
			-	-	-	-	5	10	20	37	55	80	105	155	205

Образцы испытывают по режиму, указанному в таблице 17.

Таблица 17

Размер образца, мм	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	Время, ч, не менее	Температура, °С	Время, ч, не менее	Температура, °С
100×100×100	2,5	Минус (18 ± 2)	2 ± 0,5	20 ± 2
150×150×150	3,5		3 ± 0,5	

Обработка результатов испытаний проводится в следующей последовательности.

Рассчитывают изменение массы образцов Δm, %, по формуле 49:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100, \tag{49}$$

где m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после замораживания и оттаивания, г.

Обработку результатов определения прочности контрольных и основных образцов выполняют в следующем порядке.

Рассчитывают среднее значение прочности $X_{ср}$ по формуле 50:

$$X_{ср} = \frac{\sum X_i}{n}, \tag{50}$$

где X_i – прочность одного образца, МПа;

n – число образцов.

Рассчитывают среднеквадратическое отклонение S_n по формуле (51) ГОСТ 18105:

$$\sigma_n = \frac{W_m}{\alpha}, \tag{51}$$

где W_m – размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона п в серии принимают по таблице 18.

Таблица 18

Число единичных значений	2	3	4	5	6
Коэффициент	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации прочности V_m рассчитывают по формуле 52:

$$V_m = \frac{\sigma_n}{X_{cp}}, \tag{52}$$

Определяют нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов X_{min}' по формуле 53:

$$X_{min}' = X_{cp}' - t_b\sigma_n' \tag{53}$$

и X_{min}'' для основных образцов после замораживания и оттаивания по формуле 54:

$$X_{min}'' = X_{cp}'' - t_b\,\sigma_n'', \tag{54}$$

где t_b - критерий Стьюдента при доверительной вероятности р = 0,95, принимаемый по таблице 19 в зависимости от числа испытуемых образцов.

Таблица 19

Число образцов n	4	5	6
Критерий Стьюдента t_b	3,182	2,776	2,570

Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение 55:

$$X_{min}'' > 0{,}9\,X_{min}'. \tag{55}$$

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 16 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (55), уменьшение массы не превышает 5 % и на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер. Для бетона, к поверхности которого предъявляют требования по декоративности, и для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов.

ПРИМЕР

Для определения морозостойкости тяжелого бетона марки М200 изготовлены 3 серии образцов кубов размером 100х100х100 мм по 6 образцов в каждой серии. Серию контрольных образцов испытывали на сжатие, результаты приведены в таблице 20. Две других серии образцов подвергли циклическому замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии предварительно определив их массу. После 75 и 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания вновь определили массу образцов и прочность при сжатии, результаты приведены в таблицах 21 и 22 соответственно.

Таблица 20

Показатель	№ образца					
	1	2	3	4	5	6
Прочность, кг/см^2	209,9	198	213,6	196	213,6	210,8

Таблица 21

Показатель	№ образца					
	1	2	3	4	5	6
Масса до замораживания, г	2350	2330	2330	2300	2310	2290
Масса после замораживания, г	2240	2230	2275	2250	2250	2225
Потеря массы, %	4,68	4,29	2,36	2,17	2,60	2,84
Прочность после замораживания, кг/см^2	185,2	184,4	185,6	189,4	190,9	186,1

Таблица 22

Показатель	№ образца					
	1	2	3	4	5	6
Масса до замораживания, г	2340	2330	2350	2350	2370	2360
Масса после замораживания, г	2210	2190	2200	2180	2210	2200
Потеря массы, %	5,56	6,01	6,38	7,23	6,75	6,78
Прочность после замораживания, кг/см^2	174,3	167,8	177,7	169,2	180,1	176,9

Обработка результатов испытаний

Потерю массы образцов Δm, % ,рассчитываем по формуле 49:

$$100 \cdot (\frac{2350 - 2240}{2350}) = 4{,}68$$

где m - масса 1 образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 - масса 1 образца после 75 циклов замораживания и оттаивания, г.

Аналогично рассчитываем потерю массы для остальных образцов. Результаты расчетов потери массы образцов после 75 и 100 циклов замораживания и оттаивания приведены в таблицах 21 и 22 соответственно

Обработку результатов определения прочности контрольных и основных образцов выполняют в следующем порядке.

Далее рассчитываем среднее значение прочности

Для контрольных образцов

$$\frac{209{,}9 + 198 + 213{,}6 + 196 + 213{,}6 + 210{,}8}{6} = 207$$

Для образцов после 75 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{185{,}2 + 184{,}4 + 185{,}6 + 189{,}4 + 190{,}9 + 186{,}1}{6} = 186{,}9$$

Для образцов после 100 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{174{,}3 + 167{,}8 + 177{,}7 + 169{,}2 + 180{,}1 + 176{,}9}{6} = 174{,}3$$

Рассчитываем среднеквадратическое отклонение
Для контрольных образцов

$$\frac{213{,}6 - 196}{2{,}5} = 7{,}04$$

Для образцов после 75 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{190{,}9 - 184{,}4}{2{,}5} = 2{,}6$$

Для образцов после 100 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{180{,}1 - 167{,}8}{2{,}5} = 2{,}05$$

Коэффициент вариации прочности V_m рассчитывают по формуле 52:
Для контрольных образцов

$$\frac{7{,}04}{207} = 3{,}4$$

Для образцов после 75 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{2{,}6}{186{,}9} = 1{,}4$$

Для образцов после 100 циклов замораживания и оттаивания

$$\frac{2{,}05}{174{,}3} = 1{,}18$$

Определяем нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов

$$188{,}9 = 207 - 2{,}57 \cdot 7{,}04$$

и для основных образцов после 75 и 100 циклов замораживания и оттаивания

$$180{,}2 = 186{,}9 - 2{,}57 \cdot 2{,}6$$

$$169{,}06 = 174{,}3 - 2{,}57 \cdot 2{,}05$$

Сравниваем границу нижнего доверительного интервала контрольных образцов с границей нижнего доверительного интервала образцов после 75 и 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

$$180{,}2 > 0{,}9 \cdot 188{,}9$$

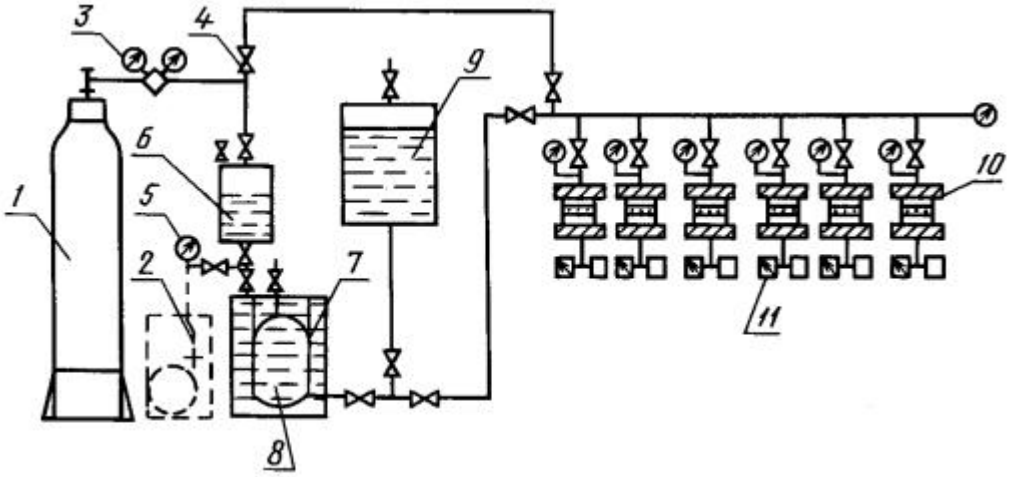
$$169{,}06 < 0{,}9 \cdot 188{,}9$$

Следовательно для бетона М200 марку по морозостойкости следует принять равной 75.

1.2.3 Определение водонепроницаемости бетона

Водонепроницаемость бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730. Основным методом при определении марки по водонепроницаемости тяжелого бетона является метод «мокрого пятна»

Для проведения испытаний применяют установку 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, как показано на рисунке 9.



1 – баллон с газом; 2 – насос; 3 – редуктор; 4 – вентиль; 5 – манометр; 6 – передатчик давления; 7 – емкость с водой; 8 – эластичная емкость с дезаэрированной водой; 9 – запасная емкость с дезаэрированной водой; 10 – испытательное гнездо; 11 – измеритель веса фильтрата.

Рисунок 9 – Определение марки по водонепроницаемости тяжелого бетона методом «мокрого пятна»

Для испытаний используют бетонные образцы цилиндрической формы диаметром 150 мм и высотой 150, 100, 50 и 30 мм;

Образцы в специальной стальной обойме устанавливают 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 табл. 23. Испытание проводят до тех пор,

пока на верхней торцевой поверхности образца появятся признаки фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна.

Таблица 23

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. Водонепроницаемость серии образцов оценивают максимальным давлением воды, при котором на четырех из шести образцах не наблюдалось просачивание воды. Марку бетона по водонепроницаемости принимают по табл. 24.

Таблица 24

Водонепроницаемость серии образцов, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка бетона по водонепроницаемости	В2	В4	В6	В8	В10	В12

1.3 Классификация бетонных смесей

В ГОСТ 7473-2010 на бетонные смеси применены следующие термины с соответствующими определениями:

– бетонная смесь: Готовая к применению перемешанная однородная смесь вяжущего, заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон.

– бетонная смесь, приготовленная на стройплощадке: Бетонная смесь, приготовленная в месте строительства производителем работ для собственного использования.

– товарная бетонная смесь: Бетонная смесь, поставляемая в пластичном состоянии лицами или организациями, не являющимися потребителями.

К товарной бетонной смеси могут быть отнесены бетонные смеси, приготовленные потребителем вне стройплощадки, а также бетонные смеси, приготовленные на стройплощадке, но не потребителем.

– бетонная смесь заданного качества: Бетонная смесь, требуемые свойства и дополнительные характеристики которой задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этих требуемых свойств и дополнительных характеристик.

– бетонная смесь заданного состава: Бетонная смесь, состав которой и используемые при ее приготовлении составляющие задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этого состава.

– бетонная смесь заданного нормированного состава: Бетонная смесь заданного состава, который определен конкретным стандартом или техническим документом, например, производственными нормами.

По типу бетона бетонные смеси подразделяют на:

– бетонные смеси тяжелого бетона (БСТ);
– бетонные смеси мелкозернистого бетона (БСМ);
– бетонные смеси легкого бетона (БСЛ).

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости.

Характеристики бетонных смесей

Бетонные смеси приготавливают в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 7473-2010 по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке производителем, и условиями договора на поставку.

Бетонные смеси должны обеспечивать получение бетонов с заданными показателями качества (бетонные смеси заданного качества) либо иметь заданный состав (бетонные смеси заданного состава) в соответствии с договором на поставку.

Бетонные смеси характеризуют следующими технологическими показателями качества:

- удобоукладываемость;
- средняя плотность;
- расслаиваемость;
- пористость;
- температура;
- сохраняемость свойств во времени;
- объем вовлеченного воздуха.

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на марки в соответствии с таблицами 25 - 28.

Таблица 25

Марка	Расплыв конуса, см
Р1	Менее 35
Р2	35-41
Р3	42-48
Р4	49-55
Р5	56-62
Р6	Более 62

Таблица 26

Марка	Осадка конуса, см
П1	1-4
П2	5-9
П3	10-15
П4	16-20
П5	Более 20

Таблица 27

Марка	Жесткость, с
Ж1	5-10
Ж2	11-20

Продолжение таблицы 27

Марка	Жесткость, с
Ж3	21-30
Ж4	31-50
Ж5	Более 50

Таблица 28

Марка	Коэффициент уплотнения
КУ1	Более 1,45
КУ2	1,45-1,26
КУ3	1,25-1,11
КУ4	1,10-1,04
КУ5	Менее 1,04

Расслаиваемость бетонной смеси не должна превышать значений, приведенных в таблице 29.

Таблица 29

Марка по удобоукладываемости	Расслаиваемость бетонной смеси, %, не более		
	Водоотделение	Раствороотделение	
		тяжелых и мелкозернистых бетонов	легких бетонов
Ж1 - Ж5	0,2	3	4
П1 - П2	0,4	3	4
П3 - П5 и Р1 - Р6	0,8	4	6

При поставке бетонной смеси допустимое отклонение заданных значений средней плотности, расслаиваемости, пористости, температуры и сохраняемости свойств во времени не должно превышать значений, приведенных в таблице 30.

Таблица 30

Наименование показателя качества бетонной смеси	Диапазон, в который попадает заданное значение показателя	Допустимое отклонение заданного значения показателя
Средняя плотность, кг/м^3	Все значения	± 20
Расслаиваемость		
- по водоотделению, %	Менее 0,4	+ 0,1
	0,4 и более	+ 0,2

Продолжение таблицы 30

Наименование показателя качества бетонной смеси	Диапазон, в который попадает заданное значение показателя	Допустимое отклонение заданного значения показателя
- по раствороотделению, %	Менее 4	+ 0,5
	4 и более	+ 1,0
Пористость, % абс.	Все значения	± 1
Температура, °С	Все значения	± 3
Сохраняемость свойств во времени	Не менее 1 ч 30 мин	- 10 мин
	От 1 ч 30 мин до 3 ч 00 мин	- 20 мин
	Более 3 ч 00 мин	- 30 мин

Марка по средней плотности, пористость, температура и сохраняемость свойств во времени должны соответствовать значениям, указанным в договоре на поставку бетонной смеси.

ПРИМЕР

Пример условного обозначения готовой к употреблению бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25, марок по удобоукладываемости П1, морозостойкости F200 и водонепроницаемости W4:

БСГ В25 П1 F200 W4 ГОСТ 7473-94

То же, для сухой бетонной смеси тяжелого бетона:

БСС В25 П1 F200 W4 ГОСТ 7473-94

То же, бетонной смеси, готовой к употреблению, легкого бетона класса по прочности В12,5, марок по удобоукладываемости П2, морозостойкости F200, водонепроницаемости W2 и средней плотности D900:

БСГ В12,5 П2 F200 W2 D900 ГОСТ 7473-94

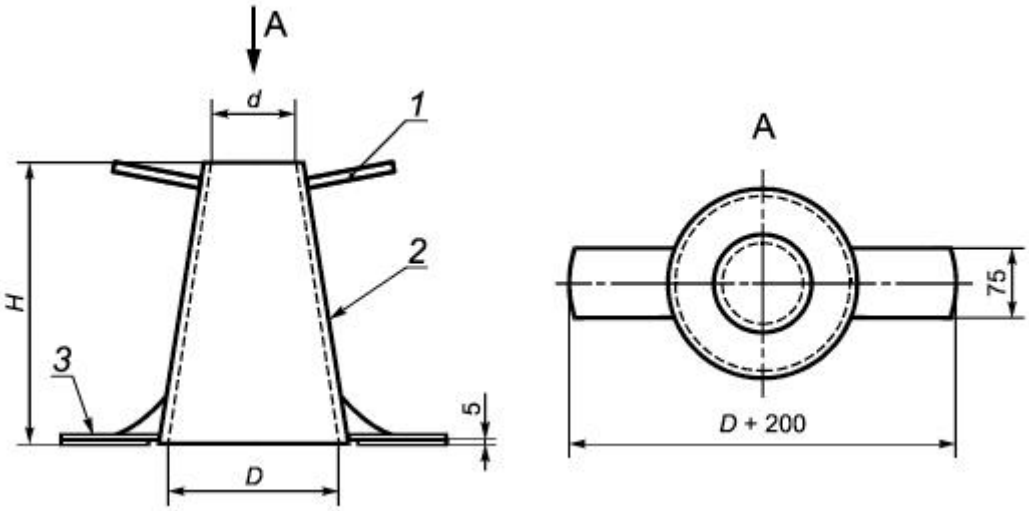
То же, для сухой бетонной смеси легкого бетона:

БСС В12,5 П2 F200 W2 D900 ГОСТ 7473-94

1.4 Основные свойства бетонной смеси

1.4.1 Подвижность бетонной смеси

Подвижность (удобоукладываемость) бетонной смеси характеризуется величиной осадки конуса из этой смеси (см. рис.10).



1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упоры

Рисунок 10 – Конус для определения подвижности

Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно применяют нормальный конус, а с зернами наибольшей крупностью более 40 мм – увеличенный. Размер используемого конуса принимают по таблице 31.

Таблица 31

Наименование конуса	Внутренний размер конуса, мм		
	d	D	H
Нормальный	100±2	200±2	300±2
Увеличенный	150±2	300±2	450±2
Конус для определения жесткости по методу Скрамтаева	100±2	194±2	300±2
Примечание - Конус для определения жесткости по методу Скрамтаева изготавливают без упоров.			

Конус устанавливают на гладкий лист и заполняют его бетонной смесью марок П1, П2 или П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Каждый слой на его высоту уплотняют штыкованием металлическим стержнем: в нормальном конусе - 25 раз, в увеличенном - 56 раз. Бетонной смесью марок П4 и П5 конус заполняют в один прием и штыкуют нормальный - 10 раз; увеличенный - 20 раз.

Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

1.4.2 Определение жесткости бетонной смеси техническим вискозиметром (прибор Вебе)

Определение жесткости бетонной смеси техническим вискозиметром (см. рис.11) производится при наибольшей крупности зерен заполнителя от 5 до 40 мм.

При определении жесткости бетонной смеси на виброплощадку устанавливают и закрепляют цилиндрический сосуд 1 вискозиметра. Затем в сосуд вставляют и закрепляют зажимами 3 цилиндрическое кольцо 2. В кольцо вставляют конус 4. На конус надевают кольцо-держатель 10, ручки которого заводят в пазы петель 11, затем устанавливают насадку 5.

Конус наполняют бетонной смесью на полную высоту с насадкой, предварительно уплотняя смесь штыкованием.

Окончательно бетонную смесь в конусе уплотняют вибрированием до тех пор, пока на поверхности смеси и из-под нижнего основания конуса начнется заметное выделение цементного клея. Время вибрирования должно быть не менее 5 и не более 30 с.

По окончании вибрирования насадку снимают, избыток смеси срезают металлической линейкой вровень с краями конуса, а затем снимают конус строго вертикально без перекосов.

Устанавливают на прибор штатив 9 с диском 8 и штангой 7 (масса диска со штангой должна быть 800-1000 г). Полностью освобождают зажимной винт 6 штанги и опускают диск на поверхность отформованного конуса бетонной смеси.

Одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за опусканием штанги. Когда риска штанги совпадает с верхней плоскостью направляющей головки штатива, выключают секундомер и вибратор и отмечают время, прошедшее от момента включения вибратора до его выключения. Полученное время в секундах, умноженное на усредненный переводной коэффициент 0,45, характеризует жесткость бетонной смеси.

Для нанесения риски на штангу 7 проводят тарировочный опыт с бетонной смесью, имеющей показатель подвижности 1-2 см и заполнитель максимальной крупностью зерен 20 мм. Риску наносят на штанге на 5 мм ниже положения, отвечающего выровненной поверхности.

Испытание проводят не менее двух раз в соответствии с пп. 3.2.8 и 3.2.9 настоящего стандарта.

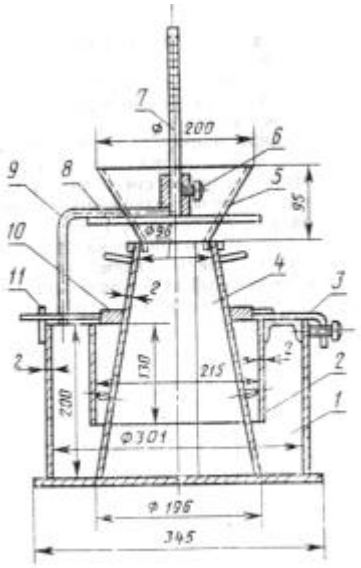


Рисунок 11 – Технический вискозиметром (прибор Вебе)

1.4.3 Определение жесткости бетонной смеси в формах (прибор Красного)

Жесткость бетонной смеси в формах для изготовления контрольных образцов следует определять:

– при наибольшей крупности зерен заполнителя от 5 до 70 мм - в формах размерами 200х200х200 мм по методу Скрамтаева с помощью металлического конуса;

– при наибольшей крупности зерен заполнителя от 5 до 20 мм - в формах размерами 100х100х100 мм с помощью прибора конструкции Красного массой (435±15) г.

При определении жесткости бетонной смеси формы для изготовления контрольных образцов должны быть закреплены на лабораторной виброплощадке.

Для определения жесткости в формах размерами 200х200х200 мм в закрепленную на виброплощадке форму вставляют конус и заполняют его бетонной смесью. Затем конус осторожно снимают и включают виброплощадку, одновременно включая секундомер. Вибрирование производят до тех пор, пока бетонная смесь не заполнит все углы формы, а поверхность ее не станет горизонтальной.

Время (в секундах), необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, умноженное на усредненный переводной коэффициент 0,7, характеризует жесткость бетонной смеси.

Для определения жесткости в формах размерами 100х100х100 мм закрепленную на виброплощадке форму заполняют бетонной смесью на всю высоту. После этого погружают в бетонную смесь ножки прибора до соприкосновения диска со смесью. Затем включают одновременно виброплощадку и секундомер. Вибрирование производят до тех пор, пока не начнется выделение цементного молока из любых двух отверстий диска. В этот момент выключают виброплощадку и секундомер. Полученное время (в секундах) характеризует жесткость бетонной смеси (усредненный переводной коэффициент равен 1).

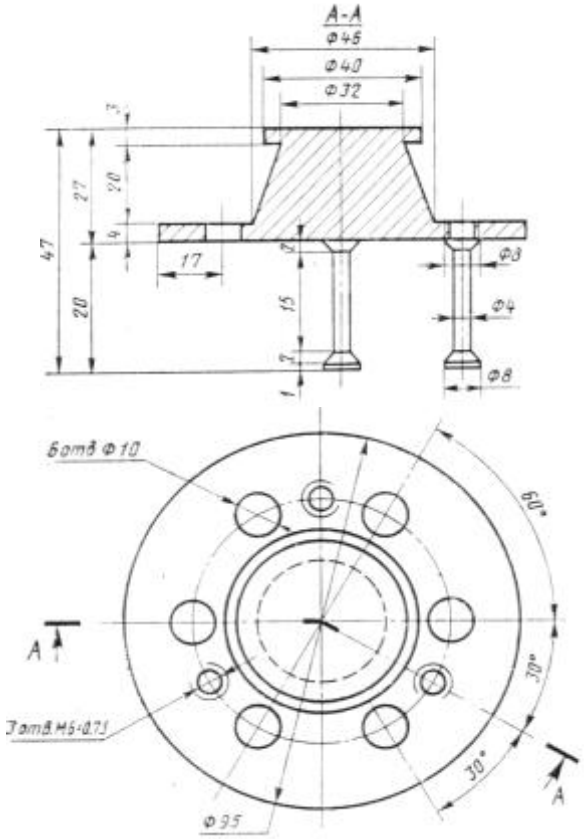


Рисунок 12 – Прибор Красного

1.5 Определение растекаемости бетонной смеси

Растекаемость бетонной смеси определяют путем замера ее расплыва на встряхивающем столе.

1.5.1 Средства контроля и вспомогательное оборудование.

Встряхивающий стол (рис.13), состоящий из верхней двигающейся плоской плиты размерами в плане (700±2) мм × (700±2) мм, шарнирно прикрепленной к жесткому основанию, на которое она может падать на фиксированной высоте. На верхнюю плиту укладывается бетонная смесь.

Верхняя плита встряхивающего стола должна состоять из гладкого металла толщиной минимум 2 мм. Ее масса должна составлять (16,0±0,5) кг. Верхняя плита должна шарнирно прикрепляться к основанию.

В центре стола должны быть прочерчены две взаимно перпендикулярные линии, параллельные краям плиты и в середине должен быть круг диаметром (210±1) мм.

По углам с боков верхней плиты должны быть прикреплены снизу два тяжелых жестких блока-останова, они не должны деформироваться от влаги и быть неабсорбированными. Блоки-остановы должны передавать нагрузку верхней плиты на плиту-основание без коробления стола. Каркас плиты-основания должен быть сконструирован таким образом, чтобы эта нагрузка передавалась непосредственно на поверхность, на которой располагается аппаратура.

Нижние опоры должны обеспечивать стабилизацию положения стола во время испытания.

Высота падения верхней части стола, замеренная по центральной линии по краям стола, должна быть ограничена (40±1) мм путем регулировки блок-остановов.

Подъем верха стола производится вручную или с помощью подъемного механизма с соблюдением обеспечения подъема без резких толчков и свободного падения на полную фиксированную высоту.

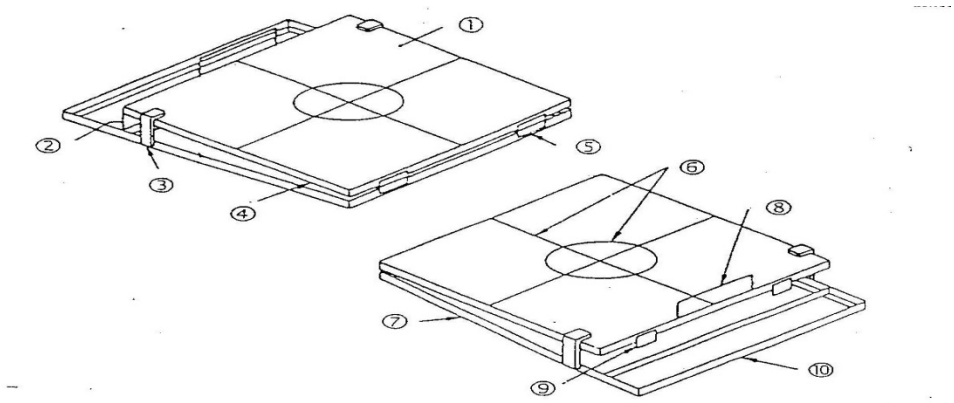
Форма для испытательного образца, сделанная из металла толщиной не менее 1,5 мм. Внутренняя часть формы должна быть гладкой.

Форма усеченного конуса следующих внутренних размеров:

- диаметр нижнего основания (200±2) мм;
- диаметр верха (130±2) мм;
- высота (200±2) мм.

Плоскости основания и верха формы должны быть параллельными друг другу и перпендикулярными оси формы. Форма должна иметь две ручки вблизи верха и фиксирующие клеммы около дна для прижатия формы к основанию.

Уплотняющий брус, сделанный из твердого материала, одна часть которого выполнена квадратного поперечного сечения со стороной квадрата (40±1) мм и длиной 200 мм, другая часть (ручка) длиной 120-150 мм круглого поперечного сечения (рис. 15).



Условные обозначения 1 – металлическая плита; 2 – перемещение, ограниченное до 40±1 мм; 3 – верхний останов; 4 – верх встряхивающего стола; 5 – наружные шарниры; 6 – маркировочные линии; 7 – плита-основание; 8 – ручка для подъема; 9 – нижний останов; 10 – борт.

Рисунок 13 – Встряхивающий стол

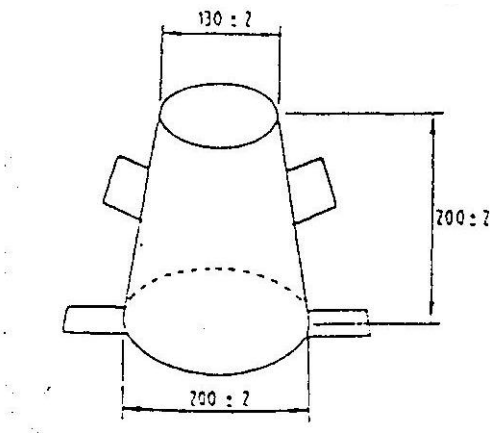


Рисунок 14 – Конусная форма, мм

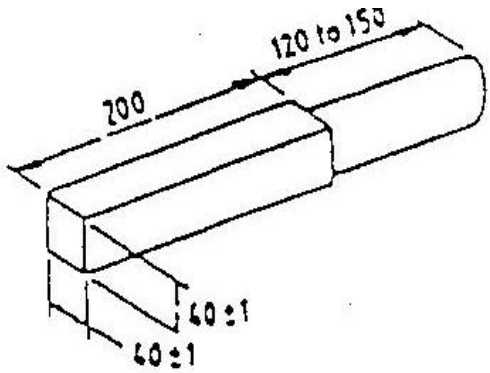


Рисунок 15 – Уплотняющий брус, мм

Встряхивающий стол устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность.

Форму помещают в центре на верх стола и фиксируется с помощью фиксаторов.

Наполнение формы производится двумя равными слоями. Каждый слой уплотняется 10 легкими ударами уплотняющего бруса, постоянно поддерживая излишек над верхом формы. После наполнения, используя уплотняющий брус, излишек массы на уровне верха формы срезается, а поверхность стола очищается от остатков смеси.

После 30 секунд с момента срезки излишка смеси с формы форма за поднимается за ручки вертикально вверх за период от 3 до 6 с.

Верхнюю часть стола поднимают до верхнего останова таким образом, чтобы она не стукнулась о верхний останов. Верх стола отпускают и он свободно падает на нижний останов. Этот цикл повторяют 15 раз, проводя каждый цикл по времени от 2 до 5 с. Линейкой измеряют максимальные размеры расплыва бетонной смеси в двух направлениях d_1 и d_2 (рис. 16), параллельных краям стола с точностью до 10 мм.

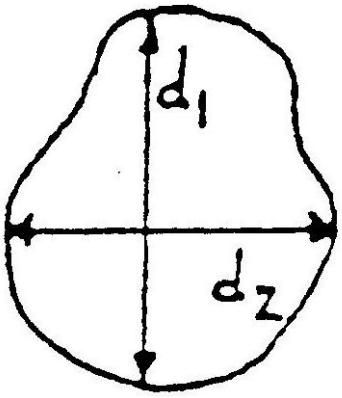


Рисунок 16 – Замеры расплыва бетонной смеси

Величина расплыва (d_1 и d_2)/2 определяется с точностью до 10 мм.

1.6 Определение степени уплотняемости бетонной смеси

Степень уплотняемости бетонной смеси оценивают по разнице высот бетонной смеси в форме до её уплотнения и после её уплотнения. Для испытаний используется форма квадратного сечения из металла толщиной не менее 1,5 мм с внутренними размерами:

дно: (200±2) мм × (200±2) мм

высота: 400 мм ± 2 мм

Дно контейнера может быть перфорированным для облегчения его опорожнения. В этом случае на дно контейнера укладывается пленка.

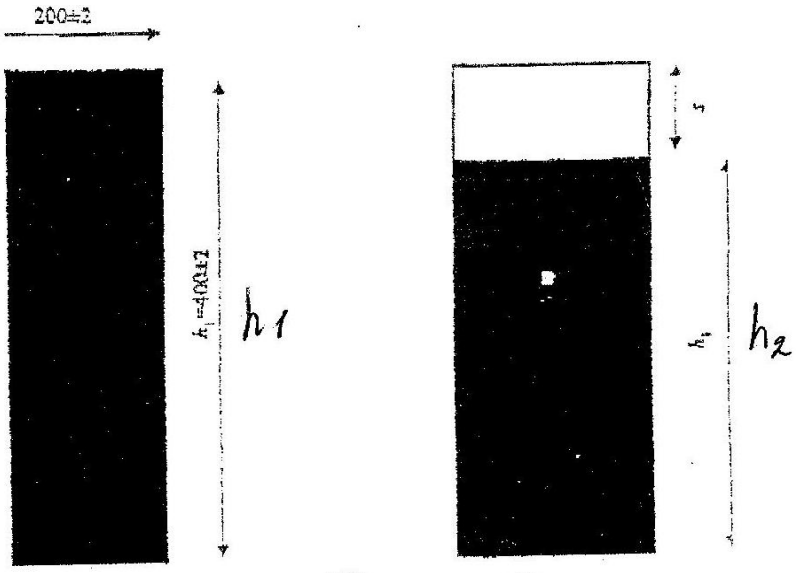


Рисунок 17 – Форма для определения степени уплотняемости бетонной смеси

Перед испытанием проба должна быть повторно перемешана. Внутренняя поверхность формы должна быть увлажнена. Форма наполняется без уплотнения. После чего, излишек бетонной смеси над контейнером срезается.

Затем производится уплотнение бетонной смеси в форме до тех пор, пока не будет наблюдаться ее уменьшения в объеме. После уплотнения определяется степень усадки, т.е. величина s (рис. 17), расстояние между поверхностью уплотненного образца и верхней гранью контейнера с точностью до 1 мм. Получите эту величину путем замеров в середине каждой стороны контейнера.

Степень уплотняемости С получают из следующей формулы:

$$C = h_1 / h_2 \quad (56)$$

где h_1 – внутренняя высота контейнера, в мм.

$$h_2 = h_1 - s \quad (57)$$

Результаты рассчитывают до сотых долей.

1.6.1 Определение средней плотности бетонной смеси

Среднюю плотность бетонной смеси характеризуют отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему. Для определения средней плотности используют металлические цилиндрические сосуды, размеры которых принимают в зависимости от наибольшей крупности зерен фракции заполнителя по таблице 32.

Таблица 32

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	Вместимость сосуда, см^3	Внутренний размер сосуда, мм	
		диаметр	высота
20	1000	108	108
40	5000	185	185
70	10000	234	234

Перед испытанием мерный сосуд взвешивают с погрешностью не более 1 г. Бетонную смесь помещают в сосуд и уплотняют. После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой, и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями мерного сосуда. Затем сосуд с бетонной смесью взвешивают с погрешностью не более 1 г.

Среднюю плотность бетонной смеси р, кг/м^3, вычисляют по формуле 58

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V} \quad (58)$$

где m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г;
m_1 – масса мерного сосуда без смеси, г;
V – вместимость мерного сосуда, см^3.

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды для каждой пробы смеси и вычисляют с округлением до 10 кг/м^3, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 5 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

1.6.2 Определение пористости бетонной смеси

Пористость бетонной смеси оценивают следующими показателями: объёмом воздуха или газа, содержащегося в уплотненной бетонной смеси, и объемом межзерновых пустот.

Объем вовлеченного воздуха определяют экспериментальным или расчетным методом.

Объем вовлеченного воздуха в смеси на плотном заполнителе определяют объёмным или компрессионным методом при помощи объёмомера (рис.18) или поромера (рис.19) соответственно.

1.6.2.1. Объемный метод определения объема вовлеченного воздуха

Определение пористости бетонной смеси при помощи объемомера

Вместимость цилиндрического сосуда объёмомера устанавливают в зависимости от наибольшей крупности зерен фракции заполнителя по таблице 33.

Таблица 33

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	□20	□40
Минимальная вместимость сосуда, $см^3$	5000	10000

Отношение высоты сосуда к его диаметру должно быть от 1 до 2. Пригружающий пуансон 5 должен быть выполнен в виде металлического кольца высотой 20 мм и наружным диаметром на 3 мм меньше внутреннего диаметра сосуда и иметь дно из сетки с ячейками размером 1,2 мм и проволочную петлю для поднятия его из сосуда.

Металлическая пластина 1 должна иметь ширину 15 мм, толщину 5 мм, расстояние между ограничителями должно быть равно наружному диаметру сосуда. Стрелка 3длиной 22 мм должна иметь конусообразную форму с острым концом.

Градуировка объёмомера заключается в установлении объема его сосуда (постоянной объёмомера).

В пустой цилиндрический сосуд помещают пригружающий пуансон, устанавливают на сосуд металлическую пластину со стрелкой, и наливают воду до тех пор, пока ее поверхность не придет в соприкосновение с острием стрелки, что фиксируют по моменту соприкосновения острия стрелки с его отражением в воде. Постоянную объёмомера V_0 вычисляют по формуле 59:

$$V_0 = \frac{m_в}{\rho_в} \qquad (59)$$

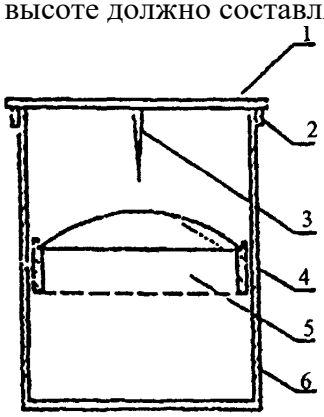
где $m_В$ – масса влитой воды, г, определяемая с погрешностью не более 1 г;

$\rho_В$ – плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/$см^3$.

Градуировка поромера заключается в измерении вместимости чаши и цены деления прибора.

Чаша и крышка поромера должны иметь жесткую конструкцию, не допускающую изменение объема прибора при приложении давления до 200 кПа. Соединение крышки и чаши должно иметь уплотнение, обеспечивающее герметичность прибора. Внутренняя поверхность крышки должна иметь угол к плоскости ее основания не менее 30°, чаша – плоское дно.

Отношение диаметра чаши к ее высоте должно составлять 1±0,25.



1 – металлическая пластина; 2 – ограничители;3 – стрелка;4 – петля;5 – пригружающий пуансон; 6 – цилиндрический сосуд

Рисунок 18 – Объёмомер

Вместимость чаши принимают в зависимости от наибольшей крупности зерен фракции заполнителя по таблице 34.

Таблица 34

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	□20	□40
Минимальная вместимость чаши, см^3	2000	8000

Вместимость водомерной трубки должна составлять (6±1) % вместимости чаши. Длина шкалы водомерной трубки должна быть не менее 100 мм, число делений - не менее 100.

В пустом приборе давлние (100±20) кПа не должно снижаться более чем на 5 кПа в течение 1 мин. Шкала манометра прибора должна иметь верхний предел 200 кПа.

Материал чаши и крышки прибора должен быть устойчив к действию щелочей цемента.

Определяют массу навески бетонной смеси $m_{см}$:

$$m_{см} = \rho_{см} \cdot V_{см} \tag{60}$$

где $\rho_{см}$ – плотность бетонной смеси, г/см^3;

$V_{см}$ – объем смеси в уплотненном состоянии, принимаемый равным 0,3$V_ч$, см^3,

здесь $V_ч$ – вместимость чаши, см^3.

Навеску бетонной смеси помещают в сосуд объёмомера и уплотняют. В объемомер с навеской бетонной смеси наливают взвешенное количество воды (с погрешностью не более 1 г) объемом в 1,5 - 2 раза большим, чем объем испытываемой смеси. В течение 2-3 мин тщательно перемешивают бетонную смесь с водой металлическим стержнем. После перемешивания снимают образовавшуюся в сосуде пену и помещают ее в предварительно взвешенный стеклянный стакан вместимостью 100 - 200 мл.

Перемешивание и отбор пены повторяют не менее двух раз с промежутком времени 2-3 мин, после чего устанавливают суммарную массу отобранной пены с погрешностью не более 1 г. После последнего снятия пены в сосуд опускают пригружающий пуансон, на сосуд накладывают пластину со стрелкой так, чтобы ограничители соприкасались со стенками сосуда. Затем постепенно небольшой струёй доливают в сосуд воду. После этого взвешиванием определяют суммарную массу всей налитой в сосуд воды с погрешностью до 1 г.

Пористость бетонной смеси, %, вычисляют с округлением до 0,1 % по формуле 61:

$$V_в = \frac{V_{см} + \frac{m_в}{\rho_в} - V_0 - 0{,}9 \cdot m_п}{V_{см}} \cdot 100 \tag{61}$$

где $V_{см}$ – объем испытываемой бетонной смеси в уплотненном состоянии, см^3;

$m_В$ – масса всей влитой воды, г;

$\rho_В$ – плотность воды, принимаемая 1,0 г/см^3;

V_0 – постоянная объёмомера, см^3;

$m_П$ – масса отобранной пены, г.

ПРИМЕР

Объемный метод определения объема вовлеченного воздуха

Отбираем навеску бетонной смеси m_{cm} *массой, г, вычисляемой по формуле 60:*

$$m_{cm} = 2{,}350 \cdot 0{,}3 * 4000 = 2820$$

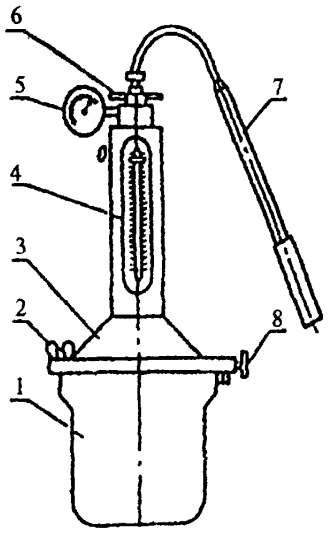
где 2,350 – плотность бетонной смеси, г/см^3*;*
$0{,}3 * 4000$ *– объем смеси в уплотненном состоянии, см*^{3}*, здесь,*
4000 – вместимость чаши, см^3*.*
Масса навески получается, равна 2820 г.
Вычисляем пористость бетонной смеси, %,

$$V_{в} = \frac{1200 + \frac{2400}{1} - 3500 - 0{,}9 \cdot 48}{1200} \cdot 100 = 4{,}7$$

где 1200 – объем испытываемой бетонной смеси в уплотненном состоянии, см^3*;*
2400 – масса всей влитой воды, г;
ρ *– плотность воды, г/см*^{3}*;*
3500 – постоянная объёмомера, см^3*;*
48 – масса отобранной пены, г;

1.6.2.2. Компрессионный метод определения объема вовлеченного воздуха

Определение пористости бетонной смеси при помощи поромера



1 – чаша; 2 – накидной болт; 3 – крышка; 4 – водомерная труба; 5 – манометр; 6 –входной вентиль; 7 – ручной насос; 8 – сливной вентиль

Рисунок 19 – Поромер

Для определения вместимости чаши на ее фланец наносят тонкий слой солидола или другого жира, чашу накрывают стеклянным листом, и взвешивают все вместе с погрешностью не более 1 г. Затем снимают лист, наливают в чашу воду до образования

выпуклого мениска и вновь накрывают стеклянным листом. После стекания излишков воды чашу обтирают тканью, и чашу с листом и водой взвешивают с погрешностью не более 1 г.

Вместимость чаши $V_ч$, см^3, вычисляют с округлением до 1 см^3 по формуле 62:

$$V_ч = \frac{m_2 - m_1}{\rho_в} \quad (62)$$

где m_2 – масса чаши со стеклом и водой, г;

m_1 – масса чаши со стеклом без воды, г;

$\rho_В$ – плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/см^3.

Для определения цены деления шкалы прибора наливают воду в чашу поромера, накрывают ее крышкой, затягивают накидные болты, закрывают сливной вентиль, и через воронку доливают воду немного выше уровня верхнего (нулевого) деления шкалы. Открыв сливной вентиль, устанавливают уровень воды на нулевом делении. Затем, подставив предварительно взвешенный с погрешностью не более 1,0 г стакан, открывают сливной вентиль, и сливают воду до отметки от 30 до 60 % шкалы водомерной трубки. Взвешивают стакан с водой с погрешностью не более 1 г.

Цену деления шкалы прибора С вычисляют по формуле 63:

$$C = \frac{m_4 - m_3}{E \cdot V_ч \cdot \rho_в} \cdot 100 \quad (63)$$

где m_4, m_3 – масса стакана с водой и без воды, г;

Е – число делений водомерной трубки, соответствующее объёму вылитой воды;

$V_ч$ – вместимость чаши, см^3.

Бетонную смесь укладывают в чашу поромера и уплотняют. После уплотнения излишек бетонной смеси срезают стальной линейкой. Затем фланец тщательно очищают от бетонной смеси, устанавливают на чаше крышку прибора, прижимают ее накидными болтами. Сливной вентиль при этом должен быть закрыт.

Через воронку заливают в прибор воду до отметки (50±30) % шкалы. Затем отклоняют прибор примерно на 30° от вертикали и, используя дно чаши как точку опоры, описывают 10 полных кругов верхним концом прибора, одновременно постукивая рукой по конической крышке для удаления пузырьков воздуха. Далее прибор возвращают в вертикальное положение, и доливают через воронку воду до уровня выше нулевой риски шкалы.

Если на поверхности воды появляется пена, то ее необходимо ликвидировать путем вливания через воронку от 1 до 3 мл спирта (этилового, метилового или др.).

Открыв сливной вентиль, приводят уровень воды к нулевому делению шкалы прибора.

Закрывают входной и сливной вентили и насосом поднимают давление в приборе до (110±5) кПа. Постукивают рукой по стенкам чаши и, когда давление опустится до 100 кПа, отмечают по шкале прибора уровень воды H_1.

Открыв входной вентиль, уменьшают избыточное давление до нуля, постукивая рукой в течение 1 мин по стенкам чаши, и затем отмечают уровень воды H_2.

Пористость бетонной смеси $V_В$, %, вычисляют по формуле 64:

$$V_в = 2 \cdot C \cdot (H_1 - H_2) \quad (64)$$

где С – цена деления шкалы прибора,

H_1 и H_2 – отмеченные уровни воды.

Пористость бетонной смеси вычисляют с округлением до 0,1 %, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной отобранной пробы

бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

ПРИМЕР

Компрессионный метод определения объема вовлеченного воздуха
Вместимость чаши $V_ч$, см^3, вычисляем с округлением до 1 см^3 по формуле 62

$$V_ч = 4000 \text{ см}^3$$

Цена деления шкалы

$$C = \frac{202{,}1 - 122{,}0}{64 \cdot 4000 \cdot 1} \cdot 100 = 0{,}03$$

Вычисляем пористость бетонной смеси $V_В$, %, компрессионным методом

$$V_в = 2 \cdot 0{,}03 \cdot (130 - 51) = 4{,}7$$

где 0,03 – цена деления шкалы прибора;
130 и 51 – отмеченные уровни воды.

1.6.2.3. Расчетный метод определения объема вовлеченного воздуха

Пористость уплотненной бетонной смеси $V_П$, %, вычисляют с округлением до 0,1 % по формуле 65:

$$V_п = \frac{1000 - (\frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{П}{\rho_п} + \frac{Щ}{n \cdot \rho_щ} + В + В_1)}{10} \quad (65)$$

где Ц, П, Щ, В и $В_1$ – фактическая масса, кг, соответственно цемента, сухих песка и щебня (гравия), воды и раствора добавок в 1 м^3 уплотненной бетонной смеси;

$\rho_Ц$ – истинная плотность цемента, г/см^3, определяемая по ГОСТ 310.2 или принимаемая равной 3,1 для портландцемента и его разновидностей, и 3,0 – для шлакопортландцемента;

$\rho_П$, $\rho_Щ$ – плотность зерен песка и щебня (гравия), г/см^3;

n – коэффициент, учитывающий увеличение средней плотности зерен крупного заполнителя в результате его частичного дробления при перемешивании бетонной смеси в смесителе принудительного действия. Для плотного заполнителя n=1;

ПРИМЕР

Вычисляем пористость уплотненной бетонной смеси $V_П$, %,расчетным методом, по формуле 65:

$$V_п = \frac{1000 - (\frac{270}{3100} + \frac{760}{1400} + \frac{1200}{1 \cdot 1200} + 108 + 12)}{10} = 8{,}8\%$$

где 270, 760, 1200, 108 и 12 – фактическая масса, кг, соответственно цемента, сухих песка и щебня (гравия), воды и раствора добавок в 1 м^3 уплотненной бетонной смеси;

3,1 *– истинная плотность цемента, г/см^3,;*

1,4 и 1,2 – плотность зерен песка и щебня (гравия), г/см^3,

1 – коэффициент, учитывающий увеличение средней плотности зерен крупного заполнителя в результате его частичного дробления при перемешивании бетонной смеси в смесителе принудительного действия для плотного заполнителя;

1.6.3 Расслаиваемость бетонной смеси

Расслаиваемость бетонной смеси оценивают показателями раствороотделения и водоотделения.

1.6.3.1 Раствороотделение бетонной смеси

Раствороотделение бетонной смеси с крупным заполнителем, 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 выкладывают в форму (сосуд) и уплотняют. После этого уплотненную бетонную смесь дополнительно вибрируют на лабораторной виброплощадке в течение времени: жесткую смесь - марок Ж1-Ж4 - 120 с, СЖ1-СЖ3 – 180 с; подвижную смесь: марок П1 и П2 - 25 с, марок П3-П5 - 10 с.

После дополнительного вибрирования верхний слой бетонной смеси высотой около половины высоты формы (сосуда) отбирают на предварительно взвешенный противень, а смесь, оставшуюся в нижней части формы, вибрируют до выравнивания поверхности смеси. Затем измеряют с погрешностью до 5 мм высоту слоя смеси H_H, оставшейся в нижней части формы, и вычисляют высоту отобранного слоя смеси H_B. После этого оставшуюся в форме смесь выкладывают на второй взвешенный противень.

Разделенную таким образом на две навески смесь из верхней и нижней частей формы взвешивают с погрешностью до 10 г и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями диаметром 5 мм. При мокром рассеве каждую навеску смеси, выложенную на сито, промывают струёй 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±5) °С и взвешивают с погрешностью не более 10 г.

Массу растворной составляющей в навесках верхней и нижней частей формы с учетом объема отобранной пробы определяют по формулам 66 и 67:

$$m_{\text{рв}} = (m_{\text{смв}} - m_{\text{щв}}) \cdot \frac{0{,}5 \cdot \text{H}}{\text{H}_{\text{в}}} \quad (66)$$

$$\text{m}_{\text{рн}} = (\text{m}_{\text{смн}} - \text{m}_{\text{щн}}) \cdot \frac{0{,}5 \cdot \text{H}}{\text{H}_{\text{н}}} \quad (67)$$

где $m_{РВ}$, $m_{РН}$ – масса растворной составляющей смеси, находившейся в верхней и нижней частях формы, г;

$m_{СМВ}$, $m_{СМН}$ – бетонной смеси, отобранной из верхней и нижней частей формы, г;

$m_{ЩВ}$, $m_{ЩН}$ – высушенного крупного заполнителя, содержащегося в навесках из верхней и нижней частей формы, г;

Н – высота формы или сосуда, мм;

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

Показатель раствороотделения бетонной смеси $П_Р$, %, определяют по формуле 68:

$$П_р = \frac{m_{рв} - m_{рн}}{m_{рв} + m_{рн}} \cdot 100 \qquad (68)$$

где $m_{РВ}$, $m_{РН}$ - то же, что в формулах (66) и (67).

Показатель раствороотделения 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 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

<u>ПРИМЕР</u>

Массу растворной составляющей в навесках верхней и нижней частей формы с учетом объема отобранной пробы определяют по формулам 66 и 67

$$m_{рв} = (5930 - 3980) \cdot \frac{0{,}5 \cdot 185}{91} = 1677{,}2$$

$$m_{рн} = (6420 - 4120) \cdot \frac{0{,}5 \cdot 185}{94} = 1223,$$

где 1677,2 и 1223,4 – масса растворной составляющей смеси, находившейся в верхней и нижней частях формы, г;

5930 и 6420 – масса бетонной смеси, отобранной из верхней и нижней частей формы, г;

3980 и 4120 – масса высушенного крупного заполнителя, содержащегося в навесках из верхней и нижней частей формы, г;

185 – высота формы или сосуда, мм;

91 и 94 – фактическая высота верхнего и нижнего слоев смеси, мм.

Тогда, показатель раствороотделения для первой пробы бетонной смеси $П_Р$, % составляет,

$$П_р = \frac{1677{,}2 - 1223{,}4}{1677{,}2 + 1223{,}4} \cdot 100 = 15{,}6$$

Аналогичным способом определили показатель раствороотделения для второй пробы, который составил 17,3 %. Среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличаются между собой не более чем на 20 % среднего значения.

1.6.3.2 Водоотделение бетонной смеси

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

Бетонную смесь укладывают в сосуд (форму), вместимость и размер которого в зависимости от наибольшей крупности зерен фракции заполнителя принимают по таблице 35 и уплотняют на виброплощадке в зависимости от удобоукладываемости смеси в соответствии с ГОСТ 10180. Уровень бетонной смеси должен быть на (10 ±5) мм ниже верхнего края сосуда (формы).

Таблица 35

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	Вместимость сосуда, $см^3$	Внутренний размер сосуда, мм	
		диаметр	высота
20	1000	108	108
40	5000	185	185
70	10000	234	234

Сосуд (форму) накрывают листом паронепроницаемого материала (стекло, стальная пластина и т.п.) и оставляют в покое на 1,5 ч.

Отбирают пипеткой каждые 15 мин отделившуюся воду, собирая ее в стакан с крышкой и взвешивая по окончании испытания.

Водоотделение бетонной смеси $П_В$, %, характеризуют объемом воды, выделившейся из бетонной смеси за 1,5 ч, отнесенным к объему бетонной смеси в сосуде (форме) и вычисляют по формуле 69:

$$П_в = \frac{m_в}{\rho_в \cdot V_{бс}} \cdot 100 \qquad (69)$$

где $m_В$ – масса отделившейся воды, г;

$\rho_В$ – плотность воды, принимаемая равной 1 $г/см^3$;

$V_{бс}$ – объем уплотненной бетонной смеси, $см^3$.

Водоотделение 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 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

<u>ПРИМЕР</u>

Водоотделение первой пробы бетонной смеси $П_В$, %, выделившейся из бетонной смеси за 1,5 ч, составило:

$$П_в = \frac{52}{1 \cdot 1000} \cdot 100 = 5{,}2\ \%$$

где 52 – масса отделившейся воды, г;

1 – плотность воды, принимаемая равной 1 $г/см^3$;

1000 – объем уплотненной бетонной смеси, $см^3$.

Водоотделение второй пробы 5,1 %. Среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличаются между собой не более чем на 20 % среднего значения.

2. Проектирование состава бетона

2.1 Общие положения

В данном пособии рассматриваются способы и примеры расчета тяжелых конструкционных бетонов на плотных заполнителях. Этот вид бетонов наиболее широко распространен в строительстве. С учетом требований к бетонам изложенных в ГОСТ 26633-2015, ГОСТ 31914-2012, СНиП 82-02-95 и др. конструкционные бетоны можно разделить на следующие виды по назначению:

- бетоны общестроительные средней прочности,
- бетоны гидротехнические

– бетоны дорожные,

– бетоны высокопрочные.

При определении их номинального состава могут использоваться разные методики с учетом особых требований предъявляемых как к самому бетону, так и к исходным материалам (вяжущему и заполнителям). Целью оптимизации состава является получение бетона с заданными характеристиками при минимальных затратах на материалы, самым дорогим из которых является вяжущее.

Расчет состава бетона производится на основе проектного задания, указывающего требуемую марку бетона, срок ее получения, характеристику цемента (вид, активность), наибольшую крупность щебня или гравия, требуемую подвижность бетонной смеси, а в особых случаях плотность бетона или специальные свойства (сульфатостойкость и др.).

Способ расчета распространяется на конструкционный тяжелый бетон по ГОСТ 25192 и устанавливает правила подбора, назначения и выдачи в производство состава бетона на предприятиях и строительных организациях при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций и бетонной смеси для монолитных конструкций и сооружений (далее - конструкции), а также при обосновании производственно-технических норм расхода материалов.

Подбор состава бетона включает: определение номинального состава, расчет и корректировку рабочего состава, расчет и передачу в производство рабочих дозировок.

Допускается производить подбор состава бетона в центральных лабораториях, научно-исследовательских лабораториях и других организациях по утвержденному заданию на подбор состава бетона.

Задание на подбор состава бетона должно быть составлено для конструкций конкретной номенклатуры, изготовляемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии.

Задание должно содержать:

– нормируемые показатели качества бетона в соответствии с техническими требованиями стандартов, технических условий или проектной документации на конструкции конкретных видов, для которых предназначен бетон;

– показатели качества бетонной смеси, длительность и режимы твердения бетона и другие условия производства, принимаемые по технологической документации, разработанной в соответствии с действующими стандартами, нормами и правилами;

– показатели однородности прочности бетона всех видов и плотности легких и ячеистых бетонов, а также соответствующий им средний уровень прочности и плотности, планируемые на предстоящий период;

– ограничения по составу бетона и применению материалов для его приготовления, установленные нормативно-технической и технологической документацией.

Состав бетона следует подбирать исходя из среднего уровня прочности.

Для случаев, когда отсутствуют данные о фактической однородности бетона, средний уровень прочности при подборе его состава принимают равным требуемой прочности по ГОСТ 18105 для бетона данного класса или марки при коэффициенте вариации, равном 13,5 %. Средний уровень плотности в этих случаях принимают равным марке бетона по плотности.

Подбор номинального состава бетона производят по следующим этапам:

выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;

– расчет начального состава;

– расчет дополнительных составов бетона с параметрами составов, отличающихся от принятых в начальном составе в большую и меньшую сторону;

– изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, отбор проб, испытание бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем нормируемым показателям качества;

– обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона и предназначенных для назначения номинального, а также назначения и корректировки рабочих составов бетона;

– назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

Подбор номинального состава производят:

– для вяжущего каждого вида и марки каждого предприятия-изготовителя;

– для крупного заполнителя каждого карьера с одинаковой максимальной крупностью;

– для крупного пористого заполнителя каждой марки по насыпной плотности и прочности каждого предприятия-изготовителя;

– для песков каждого карьера;

– для химических добавок каждого вида.

Материалы, применяемые для подбора состава, должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на эти материалы. До начала работы по расчетам состава бетона и приготовлению опытных замесов следует провести испытания материалов по соответствующим стандартам для определения показателей их качества, необходимых для проведения расчетов.

В качестве варьируемых параметров состава принимают параметры, оказывающие влияние на свойства бетонной смеси и нормируемые показатели качества бетона в зависимости от вида бетона и принятой методики расчета. Например, для тяжелого бетона в общем случае это цементно-водное отношение, доля песка в смеси заполнителей и расход добавки. При этом для каждого вида бетона устанавливают основной параметр, в большей мере влияющий на его прочность (например, для тяжелого бетона - цементно-водное отношение).

2.1.1 Расчет состава тяжелого крупнозернистого бетона общестроительного назначения

2.1.1.1 Требования к бетону

Требования к бетону средней прочности общестроительного назначения, выбираются в зависимости от расчетных показателей с учетом нагрузок воспринимаемых конструкцией и условий эксплуатации изложенных в ГОСТ 31384-2008. Классификация сред эксплуатации приведена в таблице 36. Требования к бетонам в зависимости от классов сред эксплуатации приведены в таблице 39. Требования к бетону конструкций, работающих в условиях знакопеременных температур в таблице 37. Требования к морозостойкости стеновых конструкций в таблице 38.

Таблица 36

Индекс	Среда эксплуатации	Примеры сред эксплуатации
1 Среда без признаков агрессии		
ХО	Для бетона без арматуры и закладных деталей: все среды, кроме воздействия замораживания-оттаивания, истирания или химической агрессии Для железобетона: очень сухая	Внутри сухих помещений
2 Коррозия вследствие карбонизации		
ХС1	Постоянно сухая или постоянно сырая среда эксплуатации	Внутри помещений с низкой влажностью. Бетон постоянно под водой

Продолжение таблицы 36

Индекс	Среда эксплуатации	Примеры сред эксплуатации
2 Коррозия вследствие карбонизации		
XC2	Влажная, иногда сухая	Бетонная поверхность подвергается длительному увлажнению. Большинство фундаментов
XC3	Умеренно влажная (влажные помещения, влажный климат)	Бетон внутри помещений с умеренной влажностью. Бетон на открытом воздухе, но защищен от дождя
XC4	Попеременное увлажнение и высушивание	Бетонная поверхность периодически имеет контакт с водой
3 Коррозия вследствие действия хлоридов (кроме морской воды)		
В случае, когда бетон, содержащий стальную арматуру или закладные детали, подвергается действию хлоридов, включая соли, применяемые как антиобледенители, агрессивная среда классифицируется по следующим показателям:		
XD1	Умеренная влажность	Бетон подвергается воздействию аэрозолей, содержащих хлориды
XD2	Влажная, иногда сухая	Плавательные бассейны. Бетон подвергается действию промышленных вод, содержащих хлориды
4 Коррозия, вызванная действием морской воды		
В случае, когда бетон, содержащий стальную арматуру или закладные детали, подвергается действию морской воды или аэрозолей морской воды, агрессивная среда классифицируется по следующим показателям:		
XS1	Воздействие солей, но без прямого контакта с морской водой	Береговые сооружения
XS2	Постоянно находящийся в воде	Фундаменты морских сооружений
XS3	Приливная зона, действие соленых брызг, волн	Части морских сооружений в зоне переменного уровня воды
Примечание - Классификацию морской воды по химической агрессии следует принимать по территориальным строительным нормам в зависимости от географического региона		
5 Коррозия, вызванная попеременным замораживанием и оттаиванием		
При действии попеременного замораживания и оттаивания агрессивная среда классифицируется по следующим признакам:		
XF1	Умеренное водонасыщение без антиобледенителей	Вертикальные поверхности зданий и сооружений при действии дождя и мороза
6 Химическая агрессия		
При действии химических агентов из почвы, грунтовых вод, как это представлено в приложении В, коррозионная среда классифицируется по следующим признакам:		
XA1	Незначительное присутствие агрессивных агентов по приложению В	-
XA2	То же, умеренное по приложению В	-
XA3	То же, сильное по приложению В	-

Таблица 37

Условия работы конструкций		Марка бетона, не ниже					
Характеристика режима	Расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С	по морозостойкости			по водонепроницаемости		
		для конструкций (кроме наружных стен отапливаемых зданий) зданий и сооружений класса по степени ответственности по ГОСТ 27751					
		I	II	III	I	II	III
1 Попеременное замораживание и оттаивание:							
а) в водонасыщенном состоянии при действии морской и минерализованной воды (приливная зона, действие соленых брызг, волн и т.п.)	Ниже -40	F1000	F800	F6000	W16	W12	W10
	Ниже -20 до -40 включ.	F800	F600	F400	W12	W10	W8
	Ниже -5 до -20 включ.	F600	F400	F200	W10	W8	W6
	-5 и выше	F400	F200	F100	W6	W4	W4
б) в водонасыщенном состоянии (например, конструкции, расположенные в сезонноотаивающем слое грунта в районах вечной мерзлоты)	Ниже -40	F300	F200	F150	W6	W4	W4
	Ниже -20 до -40 включ.	F200	F150	F100	W6	W4	W4
	Ниже -5 до -20 включ.	F150	F100	F75	W2	W4	W4
в) в условиях эпизодического водонасыщения (например, надземные конструкции, постоянно подвергающиеся атмосферным воздействиям)	Ниже -40	F200	F150	F100	W6	W4	W4
	Ниже -20 до -40 включ.	F100	F75	F50	W4	W4	W4
	Ниже -5 до -20 включ.	F100	F75	F50	W4	W4	W4
	-5 и выше	F75	F50	F35	W4	W4	W4
г) в условиях воздушно-влажностного состояния при отсутствии эпизодического водонасыщения (например, конструкции, постоянно подвергающиеся воздействию окружающего воздуха, но защищенные от воздействия атмосферных осадков)	Ниже -40	F200	F150	F100	W6	W4	W4
	Ниже -20 до -40 включ.	F150	F100	F75	W4	W4	W4
	Ниже -5 до -20 включ.	F100	F75	F50	W4	W4	W4
	-5 и выше	F75	F50	F35	W4	W4	W4
2 Возможное эпизодическое воздействие температуры ниже 0 °С в водонасыщенном состоянии (например, конструкции, находящиеся в грунте или под водой)	Ниже -40	F200	F150	F100	W6	W4	W4
	Ниже -20 до -40 включ.	F150	F100	F75	W4	W4	W4
	Ниже -5 до -20 включ.	F100	F75	F50	W4	W4	W4
	-5 и выше	F75	F50	F35	W4	W4	W4

Таблица 38

Условия работы конструкций[1]		Минимальная марка бетона по морозостойкости наружных стен отапливаемых зданий из бетонов для зданий класса по степени ответственности		
относительная влажность внутреннего воздуха помещения φ_{int}, %	расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С[2]	I	II	III
$\varphi_{int} > 75$	Ниже -40	F150	F100	F75
	Ниже -20 до -40 включ.	F100	F75	F50
	Ниже -5 до -20 включ.	F75	F50	F35
	-5 и выше	F50	F50	F35
$60 < \varphi_{int} \leq 75$	Ниже -40	F100	F75	F50
	Ниже -20 до -40 включ.	F75	F50	F35
	Ниже -5 до -20 включ.	F75	F50	F35
	-5 и выше	F50	F50	F35
$\varphi_{int} \leq 60$	Ниже -40	F75	F35	F35
	Ниже -20 до -40 включ.	F50	F35	F35
	Ниже -5 до -20 включ.	F50	F35	F35
	-5 и выше	F35	F35	F35

Таблица 39

Требования к бетонам	Классы сред эксплуатации													
	Неагрессивная среда	Карбонизация				Хлоридная коррозия					Замораживание-оттаивание	Химическая коррозия		
						Морская вода			Прочие хлоридные воздействия					
	Индексы сред эксплуатации													
	XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XF1	XA1	XA2	XA3
Максимальное В/Ц	-	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45	0,55	0,5	0,55	0,55	0,5	0,45
Минимальный класс по прочности В	15	25	30	37	37	37	45	45	37	37	37	37	37	45
Минимальный расход цемента, кг/м^3	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	300	300	320	360
Минимальное воздухо-вовлечение, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-

Продолжение таблицы 39

Прочие требования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Заполнитель с необходимой морозостойкостью	Сульфатостойкий цемент[2)]

[1)] Для эксплуатации в условиях попеременного замораживания-оттаивания бетон должен быть испытан на морозостойкость.
[2)] Когда содержание SO_4^{2-} соответствует ХА2 и ХА3, целесообразно применение сульфатостойкого цемента.
[3)] Значения величин в данной таблице относятся к бетону на цементе СЕМ I по ГОСТ 30515 и заполнителе с максимальной крупностью 20...30 мм.

Минимальный расход цемента в бетонах, эксплуатируемых в неагрессивных средах, в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации должен соответствовать приведенному в таблице 40.

Таблица 40

Вид конструкции	Условия эксплуатации по ГОСТ 31384	Вид и расход цементов, кг/м^3		
		ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ССПЦ-Д0, ЦЕМ I	ПЦ-Д20, ССПЦ-20, ЦЕМ II	ШПЦ, ССШПЦ, ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V
Неармированные	Х0	Не нормируют		
	ХС4	150	170	170
Армированные с ненапрягаемой арматурой	Х0	150	170	180
	ХС4	200	220	240
Армированные с предварительно напряженной арматурой	Х0	220	240	270
	ХС4	240	270	300

Общее содержание хлоридов в бетоне (в пересчете на ион) не должно превышать: 1% массы в неармированном бетоне; 0,4% массы в бетоне с ненапрягаемой арматурой; 0,1% массы в бетоне с напрягаемой арматурой.

Температура бетонной смеси в момент поставки должна быть не ниже 5 °С.

Требования к бетонным смесям

2.1.2 Требования к материалам

2.1.2.1 Требования к вяжущим материалам

В качестве вяжущих материалов следует применять цементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 22266, ГОСТ 31108

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178 в зависимости от прочности при сжатии в 28-суточном возрасте цемент подразделяют на марки:

- портландцемент - 400, 500, 550 и 600;
- шлакопортландцемент - 300, 400 и 500;
- портландцемент быстротвердеющий - 400 и 500;
- шлакопортландцемент быстротвердеющий - 400.

Условное обозначение цемента должно состоять из:

наименования типа цемента – портландцемент, шлакопортландцемент. Допускается применять сокращенное обозначение наименования - соответственно ПЦ и ШПЦ;

– обозначения максимального содержания добавок в портландцементе по Д0, Д5, Д20;

– обозначения быстротвердеющего цемента – Б;

– обозначения пластификации и гидрофобизации цемента – ПЛ, ГФ;

– обозначения цемента, полученного на основе клинкера нормированного состава,– Н;

– обозначения настоящего стандарта.

ПРИМЕР

Портландцемент марки 400, с добавками до 20 %, быстротвердеющий, пластифицированный:

Портландцемент 400-Д20-Б -ПЛ ГОСТ 10178-85.

Допускается обозначение (за исключением случаев поставки цемента на экспорт):

ПЦ 400-Д20-Б - ПЛ ГОСТ 10178-85.

Предел прочности цемента при изгибе и сжатии должен быть не менее значений, указанных в табл. 41.

Таблица 41

Обозначение вида цемента	Гаранти-рованная марка	Предел прочности, МПа (кгс/см^2)			
		при изгибе в возрасте, сут		при сжатии в возрасте, сут	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0,ПЦ-Д5, ПЦ-Д20, ШПЦ	300	-	4,4 (45)	-	29,4 (300)
	400	-	5,4 (55)	-	39,2 (400)
	500	-	5,9 (60)	-	49,0 (500)
	550	-	6,1 (62)	-	53,9 (550)
	600	-	6,4 (65)	-	58,8 (600)
ПЦ-Д20-Б	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)
ШПЦ-Б	400	3,4 (35)	5,4 (55)	21,5 (220)	39,2 (400)

Эффективность при пропаривании определяется по таблице 42

Таблица 42

Группа по эффектив-ности пропарива-ния	Тип цемента	Предел прочности при сжатии после пропаривания, МПа (кгс/см^2), для цемента марок			
		300	400	500	550-600
1	ПЦ	Более 23 (230)	Более 27 (270)	Более 32 (320)	Более 38 (380)
	ШПЦ	Более 21 (210)	Более 25 (250)	Более 30 (300)	-
2	ПЦ	От 20 до 23 (От 210 до 230)	От 24 до 27 (от 240 до 270)	От 28 до 32 (От 280 до 320)	От 33 до 38 (От 330 до 380)

Продолжение таблицы 42

Группа по эффективности пропаривания	*Тип цемента*	*Предел прочности при сжатии после пропаривания, МПа (кгс/см²), для цемента марок*			
		300	*400*	*500*	*550-600*
2	*ШПЦ*	*От 18 до 21 (От 180 до 210)*	*От 22 до 25 (от 220 до 250)*	*От 26 до 30 (От 260 до 300)*	*-*
3	*ПЦ*	*Менее 20 (200)*	*Менее 24 (240)*	*Менее 28 (280)*	*Менее 33 (330)*
	ШПЦ	*Менее 18 (180)*	*Менее 22 (220)*	*Менее 26 (260)*	*-*
Примечание - Для портландцемента и шлакопортландцемента режим пропаривания принят одинаковым в соответствии с ГОСТ 310.4-81: общая продолжительность 12-13 ч при температуре 80°С (в отличие от СНиП 82-02-95, где для шлакопортландцемента принят режим пропаривания общей продолжительностью 16-18 ч при температуре 90-95°С)					

Цемент должен показывать равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде, а при содержании MgO в клинкере более 5 % – в автоклаве.

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения.

Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613 проходило не менее 85 % массы просеиваемой пробы.

Сульфатостойкие цементы по ГОСТ 22266, предназначенны для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, обладающих коррозионной стойкостью при воздействии сред, агрессивных по содержанию в них сульфатов.

По вещественному составу сульфатостойкие цементы подразделяют на виды:

- сульфатостойкий портландцемент;

- сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками;

- сульфатостойкий шлакопортландцемент;

- пуццолановый портландцемент.

По прочности при сжатии в возрасте 28 сут цементы подразделяют на марки: 300, 400, 500.

Условное обозначение цемента должно состоять из:

- вида цемента. Допускается сокращенное наименование цемента по ГОСТ 10178 (ПЦ, ШПЦ) с добавлением обозначения сульфатостойкости - СС, а для пуццоланового цемента - ППЦ;

- марки цемента;

- обозначения максимального содержания добавок в цементе - Д0, Д20, Д60;

- обозначения пластификации цемента - ПЛ;

- обозначения гидрофобизации цемента - ГФ;

- обозначения настоящего стандарта.

ПРИМЕР

1. Сульфатостойкий портландцемент марки 400 с добавками до 20%, пластифицированный:

Сульфатостойкий портландцемент 400-Д20-ПЛ ГОСТ 22266-94

или

ССПЦ400-Д20-ПЛ ГОСТ 22266-94

2. Пуццолановый портландцемент марки 300:

Пуццолановый портландцемент 300 ГОСТ 22266-94
или
ППЦ300 ГОСТ 22266-94

Клинкер, применяемый при производстве цементов, по расчетному минералогическому составу должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 43.

Таблица 43

Наименование показателя	Значение для клинкера, % по массе, не более, по видам цемента			
	сульфатостойкий портландцемент	сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	сульфатостойкий шлакопортландцемент	пуццолановый портландцемент
Содержание трехкальциевого силиката ($3CaO \cdot SiO_2$)	50	Не нормируется		
Содержание трехкальциевого алюмината ($3CaO \cdot Al_2O_3$)	5		8	
Сумма трехкальциевого алюмината ($3CaO \cdot Al_2O_3$) и четырехкальциевого алюмоферрита ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)	22		Не нормируется	
Содержание оксида алюминия (Al_2O_3)	5			
Содержание оксида магния (MgO)	5			

Содержание добавок в цементе в зависимости от их вида должно соответствовать указанному в таблице 44.

В сульфатостойком портландцементе с минеральными добавками допускается использовать смеси шлака и пуццоланы, общее количество которых не должно превышать 20 %.

Таблица 44

Вид цемента	Содержание добавок	
	Гранулированного доменного шлака, электротермофосфорного шлака	Пуццоланы
Сульфатостойкий портландцемент	Не допускается	
Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	Св. 10 и не более 20	
Сульфатостойкий шлакопортландцемент	Св. 40 и не более 60	-
Пуццолановый портландцемент	-	Св. 20 и не более 40

Предел прочности цементов при сжатии должен быть не менее величин, указанных в таблице 45.

Таблица 45

Вид цемента	*Марка цемента*	*Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут*
Сульфатостойкий портландцемент	*400*	*39,2*
Сульфатостойкий портландцемент с	*400*	*39,2*
минеральными добавками	*500*	*49,0*
Сульфатостойкий шлакопортландцемент	*300* *400*	*29,4* *39,2*
Пуццолановый портландцемент	*300* *400*	*29,4* *39,2*

Цемент должен показывать равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде.

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, конец - не позднее 10 ч от начала затворения.

Тонкость помола цемента, определяемая по удельной поверхности, должна быть не менее 250 м^2/кг. Для цементов, содержащих добавки осадочного происхождения, тонкость помола определяю по остатку на сите с сеткой № 008. Остаток на сите не должен быть более 15 % от массы просеиваемой пробы.

Действующий в настоящее время ГОСТ 31108-2003 гармонизированный с европейским региональным стандартом в части классификации, основных технических требований, методов испытаний, критериев и методов оценки соответствия цементов, распространяется только на цементы общестроительного назначения и не содержит специальных требований к цементам для транспортного строительства, в том числе требований к минералогическому составу клинкера и прочности цемента на растяжение при изгибе, приоритетных для бетона дорожных и аэродромных покрытий. По вещественному составу, приведенному в таблице 46, цементы по ГОСТ 31108 подразделяют на пять типов:

- *ЦЕМ I – портландцемент;*
- *ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками;*
- *ЦЕМ III – шлакопортландцемент;*
- *ЦЕМ IV – пуццолановый цемент;*
- *ЦЕМ V – композиционный цемент.*

Примечание – Цемент типа ЦЕМ I не содержит минеральных добавок в качестве основного компонента.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II—ЦЕМ V подразделяют на подтипы А и В.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий) в соответствии с таблицей 46.

Таблица 46

Тип цемента	Наименование цемента	Сокращенное обозначение цемента	Вещественный состав цемента, % массы*							
			Основные компоненты							Вспомогательные компоненты
			Портландцементный клинкер	Доменный или электротермофосфорный гранулированный шлак	Пуццолан	Зола-уноса	Глиеж или обожженный сланец	Микро-кремнезем	Известняк	
			Кл	Ш	П	З	Г	МК	И	
ЦЕМ I	Портландцемент	ЦЕМ1	95-100	—	—	—	—	—	—	0-5
ЦЕМ II	Портландцемент с минеральными добавками**:									
	шлаком	ЦЕМ II/А-Ш	80-94	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/В-Ш	65-79	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	пуццоланом	ЦЕМ II/А-П	80-94	—	6-20	—	—	—	—	0-5
	золой - уноса	ЦЕМ II/А-З	80-94	—	—	6-20	—	—	—	0-5
	глиежем или обожженным сланцем	ЦЕМ II/А-Г	80-94	—	—	—	6-20	—	—	0-5
	микрокремнеземом	ЦЕМ II/А-МК	90-94	—	—	—	—	6-10	—	0-5
	известняком	ЦЕМ II/А-И	80-94	—	—	—	—	—	6-20	0-5
	композиционный портландцемент***	ЦЕМ II/А-К	80-94	6-20						0-5
ЦЕМ III	Шлакопортландцемент	ЦЕМ III/А	35-64	36-65	—	—	—	—	—	0-5
ЦЕМ IV	Пуццолановый цемент***	ЦЕМ TV/А	65-79	—	21-35				—	0-5
ЦЕМ V	Композиционный цемент***	ЦЕМ V/А	40-78	11-30	11-30		—	—	—	0-5

ПРИМЕР

Портландцемент класса 42,5 быстротвердеющий:

Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108 – 2003.

Портландцемент со шлаком (Ш) от 21 % до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108 – 2003.

Портландцемент с известняком (И) от 6 % до 20 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Портландцемент с известняком ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108 – 2003.

Композиционный портландцемент с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 6 % до 20 %, класса прочности 32,5, быстротвердеющий:

Композиционный портландцемент ЦЕМ II/А-К(Ш-З-И) 32,5Б ГОСТ 31108 – 2003.

Шлакопортландцемент с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 % до 65%, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/А 32,5Н ГОСТ 31108 – 2003.

Пуццолановый цемент с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы-уноса (З) и микрокремнезема (МК) от 21 % до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/А (П-З-МК) 32,5Н ГОСТ 31108 – 2003.

Композиционный цемент с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 11 % до 30 % и золы-уноса (З) от 11 % до 30 %, класса прочности 32,5, нормально-твердеющий:

Композиционный цемент ЦЕМ V/А(Ш-З) 32,5Н ГОСТ 31108 – 2003.

Требования к физико-механическим свойствам цементов приведены в таблице 47.

Таблица 47

<table>
<tr><th rowspan="3">Класс прочности цемента</th><th colspan="4">Прочность на сжатие, МПа, в возрасте</th><th rowspan="3">Начало схватывания, мин, не ранее</th><th rowspan="3">Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более</th></tr>
<tr><th rowspan="2">2 сут, не менее</th><th rowspan="2">7 сут, не менее</th><th colspan="2">28 сут</th></tr>
<tr><th>не менее</th><th>не более</th></tr>
<tr><td>22,5Н</td><td>—</td><td>11</td><td>22,5</td><td>42,5</td><td rowspan="3">75</td><td rowspan="7">10</td></tr>
<tr><td>32,5Н</td><td>—</td><td>16</td><td rowspan="2">32,5</td><td rowspan="2">52,5</td></tr>
<tr><td>32,5Б</td><td>10</td><td>—</td></tr>
<tr><td>42,5Н</td><td>10</td><td>—</td><td rowspan="2">42,5</td><td rowspan="2">62,5</td><td rowspan="2">60</td></tr>
<tr><td>42,5Б</td><td>20</td><td>—</td></tr>
<tr><td>52,5Н</td><td>20</td><td>—</td><td rowspan="2">52,5</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">45</td></tr>
<tr><td>52,5Б</td><td>30</td><td>—</td></tr>
</table>

Единичные результаты испытаний должны быть не более (не менее) предельных значений, приведенных в таблице 48.

Таблица 48

Наименование показателя	*Класс прочности цемента*						
	22,5Н	*32,5Н*	*32,5Б*	*42,5Н*	*42,5Б*	*52,5Н*	*52,5Б*
Прочность на сжатие, МПа, не менее (нижний предел) в возрасте:							
2 сут	—	—	*8,0*	*8,0*	*18,0*	*18,0*	*28,0*
7 сут	*9,0*	*14,0*	—	—	—	—	—
28 сут	*20,0*	*30,0*	*30,0*	*40,0*	*40,0*	*50,0*	*50,0*
Начало схватывания, мин, не ранее (нижний предел)	*60*			*50*		*40*	
Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более (верхний предел)	*10*						
Содержание оксида серы (VI) SO_3, %, не более (верхний предел), для цементов типов: ЦЕМ I, ЦЕМ II, ЦЕМ IV и ЦЕМ V	*4,0*				*4,5*		
*ЦЕМ III**	*4,5*						
Содержание хлорид-иона Cl^-, %, не более (верхний предел)	*0,10**						

Ориентировочное соотношение между марками цемента по ГОСТ 10178 и классами прочности по ГОСТ, приведены и таблице 49.

Таблица 49

Марка цемента по ГОСТ 10178	*Нормативная прочность, МПа*	*Расчетная прочность по ГОСТ 31108, МПа*	*Среднее соотношение , %*	*Класс прочности цемента по ГОСТ 31108 и настоящему стандарту*
300	*От 29,4 до 39,1*	*От 20,7 до 32,6*	*76,9*	*22,5*
400	*От 39,2 до 48,9*	*От 32,7 до 44,6*	*87,3*	*32,5; 42,5*
500	*От 49,0 до 53,8*	*От 44,7 до 50,7*	*92,6*	*42,5*
550	*От 53,9 до 58,7*	*От 50,8 до 56,7*	*95,3*	*42,5; 52,5*
600	*От 58,8 до 68,5*	*От 56,8 до 68,6*	*98,2*	*52,5*

2.1.2.2. Требования к заполнителям

В качестве крупных заполнителей для бетонов применяют щебень и гравий из плотных горных пород по ГОСТ 8267, щебень из отсевов дробления плотных горных пород по ГОСТ 31424, щебень из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии и никелевых и медеплавильных шлаков цветной металлургии по ГОСТ 5578, а также щебень из шлаков ТЭЦ по ГОСТ 26644.

Крупные заполнители должны иметь среднюю плотность зерен от 2000 до 3000 кг/м^3. В качестве мелких заполнителей для бетонов применяют природный песок или песок из отсевов дробления горных пород с истинной плотностью от 2000 до 2800 кг/м^3, их смеси, соответствующие требованиям ГОСТ 8736 или ГОСТ 31424, песок из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии и никелевых и медеплавильных шлаков цветной металлургии по ГОСТ 5578, а также золошлаковые смеси по ГОСТ 25592, золы-уноса по ГОСТ 25818.

Крупный заполнитель следует применять в виде раздельно дозируемых фракций при приготовлении бетонной смеси. Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть

установлена в стандартах, технических условиях или рабочих чертежах бетонных и железобетонных конструкций и изделий.

Стандартные фракции крупного заполнителя в зависимости от наибольшей крупности зерен приведены в таблице 50.

Таблица 50

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Фракция крупного заполнителя																
10	От	5	до	10	или	от	3	до	10								
20	"	5 (3)	"	10;	св.	10		"	20								
40	"	5 (3)	"	10;	"	10		"	20;	св.	20	до	40				
80	"	5 (3)	"	10;	"	10		"	20;	"	20	"	40;	св.	40	до	80
120	"	5 (3)	"	10;	"	10		"	20;	"	20	"	40;	"	40	"	80; св. 80 до 120

Допускается применение крупных заполнителей в виде смеси двух смежных фракций, соответствующих требованиям таблицы 3.

Рекомендуемое содержание отдельных фракций в крупном заполнителе в составе бетона указано в таблице 51.

Таблица 51

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, % массы				
	От 5 (3) до 10 мм	Св. 10 до 20 мм	Св. 20 до 40 мм	Св. 40 до 80 мм	Св. 80 до 120 мм
10	100	-	-	-	-
20	25-40	60-75	-	-	-
40	15-25	20-35	40-65	-	-
80	10-20	15-25	20-35	35-55	-
120	5-10	10-20	15-25	20-30	25-35

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии не должно превышать 1% массы.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из осадочных пород не должно превышать 3% массы.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в крупном заполнителе не должно превышать 35% массы.

2.1.2.3 Требования к добавкам и воде

Химические добавки, применяемые в бетоне, должны соответствовать требованиям ГОСТ 24211, а также стандартам и техническим условиям, по которым они выпускаются.

Общее количество химических добавок не должно превышать максимальных дозировок, указанных производителем, и должно быть не более 5% массы цемента.

Добавки (кроме воздухововлекающих), используемые в количестве менее 0,2% массы цемента, вводят в бетонную смесь с водой затворения.

Совместимость добавок с компонентами бетона и между собой должна быть проверена при подборе состава бетона.

Вода для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732

Применение в исключительных случаях материалов для бетона, показатели качества и количество которых не соответствуют требованиям настоящего стандарта, должно быть обосновано предварительными исследованиями в аккредитованных лабораториях для подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонных смесей и бетонов со всеми требуемыми по проекту нормируемыми показателями качества и требуемой долговечностью.

2.2. Проектирование состава

Расчет состава бетона заключается в том, чтобы указать весовое отношение между цементом (принятым за единицу), песком и крупным заполнителем, а также водоцементное отношение (по весу). При этом бетонная смесь должна быть однородной, не расслаивающейся и иметь заданную подвижность, а также обладать требуемой прочностью в определенном возрасте.

Для определения оптимального расхода цемента в составе тяжелого конструкционного бетона общестроительного назначения можно воспользоваться типовыми элементными нормами или стандартом по защите бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.

В основу базовых норм расхода цемента положены технологические и статистические зависимости производства бетона, полученные при применении материалов для бетона, качество которых соответствует действующим стандартам на эти материалы, а условия изготовления бетона, изделий и конструкций из него отвечают современному уровню отечественного производства.

Нормы не распространяются на изделия, изготовляемые:

– с применением методов уплотнения бетонной смеси прокатом, вибровакуумированием, центрифугированием;

– с применением тепловой обработки при повышенном (сверх атмосферного) давлении;

– из бетонов класса по прочности на сжатие более В40 и специальных видов бетона.

– монолитные конструкции, возводимые из бетонов классов по прочности более В30

Базовые нормы расхода цемента для тяжелых бетонов, используемых при производстве изделий по поточно-агрегатной, конвейерной и стендовой технологиям, приведены в табл. 52, при производстве изделий по кассетной технологии – в табл. 53.

Таблица 52

Класс бетона по прочности на сжатие	Базовые нормы расхода цемента марки 400 для тяжелого бетона при твердении, кг/м^3					
	в естественных условиях	в условиях тепловой обработки при отпускной прочности, %				
		55-60	70	80	90	100
В7,5	180	180	200	210	225	240

Продолжение таблицы 52

Класс бетона по прочности на сжатие	Базовые нормы расхода цемента марки 400 для тяжелого бетона при твердении, кг/м^3					
	в естественных условиях	в условиях тепловой обработки при отпускной прочности, %				
		55-60	70	80	90	100
В10	200	200	215	235	245	260
В12,5	225	225	235	260	270	285
В15	225	255	265	280	295	315
В20	305	310	315	340	360	380
В22,5	335	340	350	370	395	420
В25	365	370	380	400	425	450
В30	415	430	440	450	480	520
В35	480	500	510	520	540	570
В40	550	570	580	590	600	-

Таблица 53

Толщина изделия, см	Класс бетона по прочности на сжатие	Базовые нормы расхода цемента марки 400 для изделий, изготовленных в кассетных установках, кг/м^3 при отпускной прочности, %		
		70	80	90
10 и менее	В10	280	315	335
	В12,5	310	360	380
	В15	350	395	420
	В20	415	480	500
	В22,5	450	520	540
Более 10	В10	270	290	325
	В12,5	295	325	355
	В15	325	360	395
	В20	385	440	475
	В22,5	420	475	520

Цементы

Базовыми нормами предусмотрено использование цементов, отвечающих требованиям ГОСТ 10178 и ГОСТ 22266, за исключением пуццолановых.

Нормы расхода цемента разработаны из условия приготовления бетонов на портланцементе марки 400 и его разновидностях, быстротвердеющем шлакопортландцементе и сульфатостойком портландцементе марки 400.

При применении этих цементов марок 300 и 500 базовые нормы расхода цемента умножают на коэффициенты, приведенные в табл. 54.

Таблица 54

Условия твердения	Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Отпускная прочность бетона, % проектного класса	Коэффициент перехода от цемента марки 400 к цементу марки	
			300	500
Естественные при положительной температуре	В15 и менее	60-70	1,13	0,85
	От В20 до В30	60-70	-	0,90
	В35 и более	60-70	-	0,92
Тепловая обработка	В20 и менее	60 и менее	1,14	0,87
	От В15 до В30	70-80	-	0,87
	В20 и менее	90-100	-	0,90
	В22,5 и более		-	0,92

В базовых нормах предусмотрено применение цементов с нормальной густотой теста 25-27 %. Если нормальная густота теста цементов отличается от этих значений, то базовые нормы расхода цемента умножаются на коэффициенты, указанные в табл. 55.

Таблица 55

Нормальная густота цементного теста, %	Коэффициент для бетонов проектного класса по прочности на сжатие		
	до В22,5 включительно	В25-В30	В35-В40
Менее 25	0,98	0,96	0,94
Более 27 до 30	1,02	1,03	1,05
Более 30	1,04	1,05	-

Базовые нормы для условий твердения бетона при тепловой обработке предусматривают применение цементов 2-й группы эффективности при пропаривании. При применении цементов 1-й группы эффективности при пропаривании базовые нормы умножают на коэффициент 0,93. В случае применения цементов 3-й группы эффективности при пропаривании принимается коэффициент 1,1. Указанные коэффициенты не распространяются на бетоны классов В30 и выше с отпускной прочностью 70 % и ниже.

Заполнители

Базовыми нормами предусмотрено применение заполнителей, отвечающих требованиям ГОСТ 26633. Базовые нормы приведены для бетонов на щебне. При применении гравия их следует умножать на коэффициенты, указанные в табл. 56.

Таблица 56

Коэффициент бетона по прочности на сжатие	В7,5	В10-В12,5	В15	В20	В22,5
Коэффициент	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98

Базовыми нормами для тяжелого бетона (см. табл. 1 и 2) предусмотрено применение заполнителей с наибольшей крупностью 20 мм. При применении заполнителей с другой наибольшей крупностью зерен следует применять коэффициенты, указанные в табл. 57.

Таблица 57

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Коэффициент для классов бетонов по прочности на сжатие	
	до В25 включительно	В30 и выше
10	1,1	1,07
40	0,93	0,95
70	0,9	0,92

Базовые нормы определены для щебня с содержанием пластинчатой (лещадной) и игловатой форм от 25 до 35 % (по массе). При использовании щебня с другим содержанием этих зерен следует применять коэффициенты, указанные в табл. 58.

Таблица 58

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	Коэффициент
Менее 25	0,98
Более 35	1,03

Базовыми нормами предусмотрено использование в качестве мелкого заполнителя для бетона песка для строительных работ по ГОСТ 8736 с модулем крупности 2,1 – 3,25.

При использовании мелких и очень мелких песков следует применять для тяжелых бетонов коэффициенты, указанные в табл. 59.

Таблица 59

Класс бетона по прочности на сжатие	Коэффициент для песка с модулем крупности	
	от 1,5 до 2,1	менее 1,5
В15 и менее	1,00	1,03
В20-В25	1,03	1,06
Более В25	1,05	1,10

При использовании песков из отсевов дробления следует применять коэффициент 1,05.

Удобоукладываемость бетонной смеси следует принимать в соответствии со способом формования и типом конструкций согласно СНиП 3.09.01-85.

Базовые нормы расхода цемента приведены для бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П1. При использовании бетонных смесей других марок следует применять коэффициенты, указанные в табл. 60.

Таблица 60

Удобоукладываемость			Коэффициент
марка бетонной смеси по удобоукладываемости по ГОСТ 7473	осадка конуса, см	жесткость, с	
П2	5-9	-	1,07
Ж1	-	5-10	0,93
Ж2	-	11-20	0,88

При применении бетонных смесей марок П3-П4 нормы расхода цемента принимают как для смесей марки П2 с учетом обязательного применения пластифицирующих добавок.

Базовые нормы предусматривают использование бетонной смеси, имеющей температуру не выше 25° С. При применении бетонной смеси с более высокой температурой базовые значения норм следует умножать на коэффициенты, указанные в табл. 61.

Таблица 61

Температура бетонной смеси, ° С	Более 25 - менее 30	30 и выше
Коэффициент	1,03	1,06

При твердении сборных бетонных и железобетонных изделий без тепловой обработки базовые нормы предусматривают, что оно происходит при положительной температуре 15-20°С с предотвращением влагопотерь из бетона. При этом отпускная прочность 60 % и менее проектного бетона в изделиях, изготовленных на портландцементах и их разновидностях и быстротвердеющих шлакопортландцементах, достигается в течение 3-5 сут, равная 70 % - в течение 6-10 сут. и во всех случаях в возрасте 28 сут обеспечивается проектный класс прочности бетона. В случае применения шлакопортландцемента и сульфатостойкого шлакопортландцемента базовые нормы умножаются на коэффициент 1,1.

Для изделий, изготовленных на портландцементах их разновидностях и быстротвердеющих шлакопортландцементах, общая продолжительность тепловой обработки принята равной 12-13 ч при температуре 80° С.

При замене портландцемента на шлакопортландцемент или сульфатостойкий шлакопортландцемент без изменения режима тепловой обработки базовые нормы расхода цемента следует умножать на коэффициент 1,1. Оптимальными режимами тепловой обработки для указанных цементов являются режимы с общей продолжительностью 16-18 ч при температуре 90-95° С. При обеспечении таких режимов повышающий коэффициент не применяется.

При изготовлении в кассетных установках изделий из бетонов с отпускной прочностью, равной 70 % проектного класса прочности и более, базовые нормы предусматривают режим тепловой обработки общей продолжительностью 12-16 ч, а для изделий из бетонов с отпускной прочностью менее 70 % - 10-11 ч.

Для более коротких режимов тепловой обработки к базовым нормам применяются коэффициенты, указанные в табл. 62.

Таблица 62

Проектный класс бетона при отпускной прочности 70 % и более	Коэффициент при тепловой обработке продолжительностью, ч		
	Менее 7	от 7 до 9	от 9 до 11
В22,5 и менее	1,20	1,15	1,10
В25 и более	1,15	1,10	1,05

В базовых нормах учтено достижение бетоном требуемой отпускной прочности через 4 ч после окончания тепловой обработки и проектного класса бетона по прочности через 28 сут. при последующем твердении в нормальных условиях. При изготовлении предварительно напряженных конструкций с отпуском натяжения арматуры на горячий бетон нормы расхода цемента следует принимать по величине нормируемой передаточной прочности, соответствующей отпускной прочности, с применением коэффициента 1,08. Для бетонов, изделий и конструкций, к которым предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости, в табл. 13 приведены нормы расхода с условием обязательного применения воздухововлекающих, газообразующих или комплексных добавок. В качестве нормы следует принимать расход, который окажется наибольшим при сопоставлении с нормами, полученными путем умножения базовой нормы на все необходимые коэффициенты, и нормами, указанными в табл. 63 без каких-либо коэффициентов.

Нормы, рассчитанные для тяжелого бетона, не должны быть ниже минимального расхода цемента, установленного ГОСТ 26633.

Базовые нормы расхода цемента для бетона монолитных конструкций (табл.64) приведены для бетонов, изготовленных на портландцементе марки 400 и его разновидностях. При применении цемента марки 500 базовые нормы следует умножать на коэффициент 0,88, при применении цемента марки 300 - на коэффициент 1.13.

Таблица 63

Удобоукладываемость			ТЭН для бетона марок, кг/м^3								
марка бетонной смеси по удобоукладываемости	осадка конуса, см	Жест-кость, с	по морозостойкости (первый метод по ГОСТ 10060)					по водонепроницаемости			
			F75 и менее	F100 и F150	F200	F300	F400 и более	W2	W4	W6	W8 и более
П2	5-9	-	260	300	370	400	455	300	330	400	455
П1	1-4	-	240	280	340	380	430	280	310	380	430
Ж1	-	5-10	220	260	325	360	405	260	290	360	405
Ж2	-	11-20	210	245	300	335	385	245	270	335	385

Таблица 64

Класс бетона по прочности на сжатие	Базовые нормы расхода цемента марки 400 для монолитных конструкций, кг/м^3
В7,5	180
В10	200
В12,5	225
В15	260
В20	320
В22,5	350
В25	380
В30	440

При использовании шлакопортландцемента и сульфатостойкого шлакопортландцемента базовые значения умножают на коэффициент 1,1.

При применении пуццоланового портландцемента базовые нормы расхода умножают на коэффициенты: для бетонов проектного класса до В22,5 включительно - 1,08 и для бетонов проектных классов В25 - В30 - 1,15.

В нормах предусмотрено применение заполнителей, отвечающих требованиям ГОСТ 26633, с учетом указаний пп. 5.10 и 5.12 - 5.15.

Базовые нормы предусматривают применение щебня с наибольшей крупностью 40 мм. При применении заполнителей с другой наибольшей крупностью зерен табличные нормы следует умножать на коэффициенты, указанные в табл. 65.

Таблица 65

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Коэффициент для бетонов классов	
	до В25 включительно	В30 и выше
20	1,08	1,05
70	0,97	0,97

Базовые нормы предусматривают получение проектного класса бетона по прочности на сжатие в проектном возрасте 28 сут. При проектном возрасте бетона 90 и 180 сут базовые значения норм следует умножать соответственно на коэффициенты: при использовании портландцемента и быстротвердеющего шлакопортландцемента - 0,9 и 0,85; при использовании шлакопортландцемента и его разновидностей и пуццоланового портландцемента - 0,82 и 0,77.

Базовые нормы предусматривают применение бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П2, приготовленные с пластифицирующими добавками 2-й и 3-й групп эффективности по ГОСТ 24211.

Подвижность бетонной смеси назначают в соответствии с условиями подачи, укладки и уплотнения и топом конструкции согласно СНиП 3.03.01-87.

При применении бетонных смесей других марок по удобоукладываемости базовые нормы следует умножать на коэффициенты, приведенные в табл.66.

Таблица 66

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости	Коэффициент
П1	0,91
П3	1,07

Получение литых бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П4 и более должно обеспечиваться увеличением дозировки пластифицирующих добавок или применением добавок суперпластификаторов.

Для бетонных смесей, подача которых предусмотрена бетононасосными установками, базовые нормы расхода цемента следует умножать на коэффициент 1,05. При этом расход цемента должен быть не менее 250 и не более 500 кг/м^3.

Базовые нормы определены исходя из условия, что твердение бетона монолитных конструкций происходит в естественных условиях при температуре 15-25°С с предотвращением влагопотерь.

После определения расхода цементов по ГОСТ 31384, ГОСТ 26633 или СНиП 82-02 определяется расход воды по табл. 67.

Таблица 67 – Расход воды для приготовления 1 м^3 бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси по удобоукладываемости		Расход воды (кг) при наибольшей крупности, мм							
жесткость смеси, сек	осадка, см	Гравий				Щебень			
		10	20	40	70	10	20	40	70
150 – 200	0	145	130	120	70	155	145	130	80
90 – 120	0	150	135	125	90	160	150	135	105
60 – 80	0	160	145	130	100	170	160	145	110
30 – 50	0	165	150	135	115	175	165	150	125
20 – 30	0 – 1	175	160	145	120	185	175	160	145
15 – 20	0 – 1,5	185	170	155	130	195	185	170	155
–	2 – 2,5	190	175	160	135	200	190	175	160
–	3 – 4	195	180	165	140	205	195	180	165
–	5 – 7	205	190	175	145	215	205	190	175
–	8 – 12	215	200	185	150	225	215	200	180

Следует проконтролировать значение В/Ц, которое должно соответствовать требованиям ГОСТ 31384, ГОСТ 26633 и таблицы 39.

Далее определяется пустотность щебня.

$$П_щ = 1 - \frac{\rho_{0щ}}{\rho_щ} \quad (70)$$

где $П_щ$ – пустотность щебня или гравия в стандартном (рыхлом) состоянии, в формулу подставляется в виде относительной величины;

$\rho_{0щ}$ – объемный вес (естественная плотность) щебня, кг/м^3.

$Р_щ$ – истинная плотность щебня, кг/м^3.

Определяется расход щебня.

$$Щ = \frac{1000}{П_щ \cdot \frac{\alpha}{\rho_{0щ}} + \frac{1}{\rho_щ}} \quad (71)$$

где α - коэффициент раздвижки зерен щебня раствором (определяется по табл. 68).

Коэффициент раздвижки зерен α определяется интерполяцией. Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м^3 коэффициент принимается равным 1,1.

Таблица 68 – Коэффициент раздвижки зерен α*

Расход цемента, кг	Коэффициент раздвижки зерен α* при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	1,22	1,24	1,26	1,32	1,38
300	1,28	1,30	1,36	1,42	1,44
350	1,32	1,38	1,44	1,46	1,48
400	1,4	1,46	1,48	1,5	1,52
500	1,52	1,54	1,56	1,58	1,6
600	1,56	1,58	1,6	1,62	1,64

* коэффициент α при известном В/Ц соотношении и расходе цемента для приготовления 1м3 бетонной смеси

Определяется расход песка по формуле 72:

$$П = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_ц} + В + \frac{Щ}{\rho_Щ}\right)\right]\rho_п \quad (72)$$

Определяется вес 1м^3 бетонной смеси:

$$m_{об} = Ц + П + Щ + В \quad (73)$$

Проверка осуществляется по методу абсолютных объемов. Рассчитывается объем всех компонентов получившейся бетонной смеси.

Если полученное значение в пределах от 0,9 до 1, то расчет верен. Разница между 1 (м^3) и получившимся значением будет характеризовать объем пор.

Если ответ больше 1 (м^3), то расчет проведен неверно.

<u>ПРИМЕР</u>

Требуется подобрать состав тяжелого бетона для изготовления железобетонных колонн используемых при строительстве зданий 1 категории ответственности в РТ. Бетонная смесь подвижностью П2. Отпускная прочность бетона конструкций после 12 часовой тепловлажностной обработки 70 %. В качестве вяжущего использован портландцемент ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108-2003 с нормальной густотой 29 %. В качестве заполнителя гранитный щебень фракции 5-20 мм с содержанием зерен пластинчатой формы 24 %. Песок с модулем крупности 2,5.

Согласно требований ГОСТ 31384-2008 по защите бетонных и железобетонных конструкций от коррозии бетону присваивается индекс ХС3 (таблица 36), а в соответствии с условиями работы конструкции назначается марка бетона по прочности не менее В37 (таблица 39), принимаем В40, а по морозостойкости (таблица 37) F75. Колонны выполняются с использованием ненапрягаемой арматуры, поэтому интерполируя значения в таблице 40 минимальный расход цемента должен составлять не менее 210 кг/м^3, однако с учетом требований к бетонам в зависимости от среды эксплуатации расход

цемента должен составлять не менее 280 кг/м^3 (таблица 59). Предварительно принимаем 280 кг/м^3. Водоцементное отношение в соответствии с таблицей 39 должно составлять не более 0,55.

Расход цемента с учетом требований Федеральных элементных норм для бетона класса В40 по таблице 52 составляет 580 кг. Определяем поправочные коэффициенты, значения которых приведены в таблице 69.

Таблица 69

Показатели влияющие на расход цемента	*Значения*	*Поправочный коэффициент*	*Ссылка*
Подвижность бетонной смеси	*П2*	*1,07*	*Табл. 60*
Нормальная густота цементного теста	*29%*	*1,05*	*Табл. 55*
Содержание зерен пластинчатой формы	*24%*	*0,98*	*Табл. 58*
Модуль крупности песка	*2,4*	*1,0*	*Табл. 59*
Продолжительность ТВО	*12 часов*	*1,0*	*Табл. 62*

Таким образом, расход цемента по требованиям Федеральных элементных норм для бетона класса В40 составил 638 кг/м^3.

Следовательно, окончательный расход цемента принимаем 638 кг/м^3

В соответствии с требованиями к подвижности бетонной смеси и вида заполнителя расход воды по таблице 67 принимается равным 210 л на 1 м^3 бетонной смеси.

Следовательно В/Ц = 0,33, данное значение соответствует требованиям таблиц 39.

Приложение

Примерная форма журналов лабораторных испытаний для входного контроля песка, щебня (гравия), цемента и выходного контроля бетона.

Журналы должны быть прошиты и пронумерованы. На титульном листе журнала должны быть указаны: вид материала, контролируемые параметры, ответственный за выполнение лабораторных испытаний и заполнение журнала.

Результаты лабораторных испытаний песка

№№ п/п	Дата испытаний	Карьер, поставщик, объем, номера паспортов и другая необходимая информация по сопроводительным документам.	Зерновой состав (полные остатки)							$М_{кр}$	Содержание пылевидных и глинистых частиц (включая глину в коках)	Соответствие по зерновому составу (с примечаниями относительно отдельных фракций)	Подпись
			10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Результаты лабораторных испытаний щебня (гравия)

№№ п/п	Дата испытаний	Карьер, поставщик, объем, номера паспортов и другая необходимая информация по сопроводительным документам.	Зерновой состав (полные остатки)							Содержание пылевидных и глинистых частиц (включая глину в коках)	Соответствие по зерновому составу (с примечаниями относительно отдельных фракций)	Подпись
			25	20	15	12,5	10	7,5	5			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

При необходимости ведутся дополнительные журналы, включающие иные характеристики, которые могут предъявляться «Заказчиком» или необходимые для оптимизации состава бетона. Например, морозостойкость щебня (гравия), насыпная и истинная плотность, дробимось и пр…

Результаты лабораторных испытаний щебня (гравия) на дробимость

№№ п/п	Ссылка на основной журнал	Содержание фракций, %			Масса контрольных проб, гр			Масса проб после испытания, гр			Потеря массы (средневзвешенное значение), %	Дробимость	Марка	Примечания	Подпись
		5-10	10-20	20-40	5-10	10-20	20-40	5-10	10-20	20-40					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Партия, дата испытаний, номер п/п из основного журнала	31,8	61,9	4,4	2985	2980	-	2659	2614	-	11,8	11,8	800		
					2988	2990	-	2652	2619	-	11,8				

Результаты лабораторных испытаний щебня (гравия) на морозостойкость

№№ п/п	Ссылка на основной журнал	Количество циклов	Содержание фракций, %			Масса контрольных проб, гр			Масса проб после испытания, гр			Потеря массы (средневзвешенное значение), %	Морозостойкость	Примечания	Подпись
			5-10	10-20	20-40	5-10	10-20	20-40	5-10	10-20	20-40				
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Партия, дата испытаний, номер п/п из основного журнала	15	31,8	61,9	4,4	1000	1500	-	990	1450		2,5	25		
		25							955	1380		6,8			
		50							920	1310		11			
		15							986	1412		4,4			
		25							943	1366		7,8			
		50							917	1306		11,3			

Результаты лабораторных испытаний цемента

№№ п/п	Дата испытаний	Завод, поставщик, объем, номера паспортов и другая необходимая информация по сопроводительным документам.	Прочность 28 сут., МПа		Прочность после пропаривания, МПа		Сроки схватывания		Нормальная густота	Подпись
			сжатие	растяжение при изгибе	сжатие	растяжение при изгибе	начало	конец		
1	2	3	4	5	6	7			8	9

Результаты лабораторных испытаний бетона

№№ п/п	Дата испытаний	Завод, поставщик, объем, номера паспортов и другая необходимая информация по сопроводительным документам.	Прочность при сжатии, МПа			F	W	Плотность	Примечания	Подпись
			3 суток	28 суток	после пропаривания					
1	2	3	4	5	6	7	8		9	10

Результаты лабораторных испытаний бетона на морозостойкость

№№ п/п	Ссылка на основной журнал	Количество циклов	Показатели контрольных образцов				Показатели образцов после замораживания и оттаивания				F	Подпись
			Прочность образцов	Средняя прочность образцов	Среднеквадратическое отклонение	Нижняя граница доверительного интервала	Прочность образцов	Средняя прочность образцов	Среднеквадратическое отклонение	Нижняя граница доверительного интервала		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Партия, дата испытаний, номер п/п из основного журнала		209,9	207,5	7.04	188,9					75	
			198									
			213,6									
			196									
			213,6									
			210,8									
		$F_1$75					185,2	186,9	2,6	180,2		
							184,4					
							185,6					
							189,4					
							190,9					
							186,1					
		$F_1$100					174,3	174,3	2,05	169,06		
							167,8					
							177,7					
							169,2					
							180,1					
							176,9					

Таблица дозировок

№№ п/п	Марка бетона	Удобоукладываемость	Расход цемента	Расход воды на сухой заполнитель	Расход щебня (гравия) при следующих значениях влажности					Расход щебня (гравия) при следующих значениях влажности				
					0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	350	П2	380	190	1000	1020	1040	1060	1080	600	612	624	636	648