

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Кафедра технологии строительных материалов,  
изделий и конструкций

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям по дисциплине  
**«Технология природных строительных  
материалов и изделий на их основе»**  
(проектирование состава гипсобетонов)  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»  
направленность (профиль)  
**«Производство и применение строительных  
материалов, изделий и конструкций»**

Казань 2018

УДК 691  
ББК 38.32  
К89

К89 Методические указания к практическим занятиям по дисциплине

**«Технология природных строительных материалов и изделий на их основе»** (проектирование состава гипсобетонов) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»/ Сост.: Н.В.Майсурадзе. - Казань: Изд-во КГАСУ, 2018.- 29 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с учебным планом и программой курса «Технология природных строительных материалов и изделий на их основе». В методических указаниях приведены расчеты состава гипсобетонов на плотных и пористых заполнителях, на органических заполнителях, расчет состава ячеистого гипсобетона, расчет состава бетонов на водостойких гипсовых вяжущих.

Табл. 12, рис.1, библиогр. 5 наименов.

Рецензент  
Кандидат технических наук, Директор ООО «ИнжЦ  
«Стройхимкомпозит»  
Богданов А.Н.

УДК 691  
ББК 38.32

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2018

© Майсурадзе Н.В., 2018

## Содержание

	стр.
Введение.....	4
1 Проектирование состава бетонов на неводостойких гипсовых вяжущих.....	5
1.1 Расчет состава гипсобетона на плотных заполнителях.....	5
1.2 Расчет состава легкого гипсобетона на пористых заполнителях.....	9
1.3 Расчет состава гипсобетона на органических заполнителях.....	14
1.4 Расчет состава ячеистого гипсобетона.....	15
2 Проектирование состава бетонов на водостойких гипсовых вяжущих.....	18
2.1 Расчет состава тяжелого бетона на водостойких гипсовых вяжущих.....	18
2.2 Расчет состава легкого бетона на ВГВ.....	21
3 Основные положения проектирования изделий и конструкций из бетонов на ВГВ.....	26
3.1 Нормативные и расчетные характеристики бетонов и арматуры.....	26
4 Список использованных источников.....	30

## **ВВЕДЕНИЕ**

Данные практические занятия направлены на формирование у студентов систематизированных знаний по проектированию состава гипсобетонов на различных видах заполнителей.

Целью проектирования является получение бетона с заданными физико-механическими характеристиками при минимальном расходе гипсового вяжущего и необходимой для формирования удобоукладываемости смеси.

Определение состава гипсобетона производят расчетно-экспериментальными методами с использованием таблиц, графиков, номограмм и данных о характеристиках применяемых материалов.

# 1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНОВ НА НЕВОДОСТОЙКИХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

## 1.1 Расчет состава гипсобетона на плотных заполнителях

Расчет состава гипсобетона требуемой прочности на плотных заполнителях можно выполнять по формулам, предложенным Г.Г.Булычевым, с учетом используемого вяжущего.

При использовании строительного гипса:

$$R_{\sigma} = K \cdot A \left( \frac{\frac{\Gamma}{B} \cdot \alpha - 0,5}{\frac{\Gamma'}{B'} - 0,5} \right) \quad (1.1)$$

$$\frac{B}{\Gamma} = \frac{A}{\alpha \cdot \left[ \frac{R_{\sigma}}{K} \cdot \left( \frac{\Gamma'}{B'} - 0,5 \right) \right] + 0,5A} \quad (1.2)$$

$$\Gamma = \frac{B \cdot \alpha \cdot \left[ \frac{R_{\sigma}}{K} \cdot \left( \frac{\Gamma'}{B'} - 0,5 \right) \right] + 0,5A}{A} \quad (1.3)$$

При использовании высокопрочного гипса:

$$R_{\sigma} = K \cdot A \cdot \left( \frac{\frac{\Gamma}{B} - 0,5}{\frac{\Gamma'}{B'} - 0,5} \right) \quad (1.4)$$

$$\frac{B}{\Gamma} = \frac{A}{\left[ \frac{R_{\sigma}}{K} \cdot \left( \frac{\Gamma'}{B'} - 0,5 \right) \right] + 0,5A} \quad (1.5)$$

$$\Gamma = \frac{B \cdot \left[ \frac{R_{\sigma}}{K} \cdot \left( \frac{\Gamma'}{B'} - 0,5 \right) \right] + 0,5A}{A} \quad (1.6)$$

где  $R_6$  – предел прочности при сжатии образцов, высушенных до постоянной массы, МПа;

$A$  – активность вяжущего, МПа;

$V/G$  и  $G/V$  – водогипсовое и гипсоводное отношения гипсобетонной смеси;

$V$  – расход воды, л/м<sup>3</sup> (табл.1.1);

$G'/V'$  - величина обратная нормальной густоте гипсового вяжущего;

$K$  – масштабный коэффициент, зависящий от вида бетона, принимаемый по табл.1.2;

$\alpha$  – коэффициент тонкости помола гипсового вяжущего, равный 1,3 для строительного гипса.

Абсолютный объем гипсового теста, л:

$$V_{zm} = \frac{G}{\rho} + V \quad (1.7)$$

где  $G$  – расход гипса в гипсобетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – расход воды (по табл.1.1), л/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность гипса, кг/л.

Таблица 1.1 – Расход гипса в гипсобетонной смеси, л/м<sup>3</sup>

Гипсовое вяжущее	Заполнитель		
	плотный	пористый	тонкомолотая добавка
На основе $\alpha$ -полугидрата (высокопрочный гипс)	250	320	300
На основе $\beta$ -полугидрата (строительный гипс)	300	410	400

Примечание: при жестких вибрированных смесях расход воды снижается на 10...15%;  
при литых – увеличивается на 10...20%.

Таблица 1.2 – Значение масштабного коэффициента К

Образцы-кубы с ребром, см	Вид бетона	
	тяжелый	легкий
7,07	1,00	0,70
10,0	0,90	0,65
15,0	0,80	0,55
20,0	0,75	0,50

Примечание: при использовании древесных опилок К-0,50.

Абсолютный объем заполнителя, л:

$$V_{зан} = 1000 - V_{зм} \quad (1.8)$$

Расход каждой фракции определяется из рекомендуемого зернового состава для плотных заполнителей по ГОСТ 26333, для пористых – по ГОСТ 9757.

Затем устанавливается вид и количество замедлителя сроков схватывания, рассчитывается расход материалов на пробные замесы, изготавливаются и испытываются образцы, определяется и уточняется расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по расходу составляющих в выбранном и откорректированном опытном замесе.

Для этого определяется фактический объем бетонной смеси в опытном замесе, л:

$$V_{\phi} = \frac{\sum m}{\rho_{б.см.}} \quad (1.9)$$

где  $\sum m$  – сумма масс материалов, израсходованных на опытный замес, кг;

$\rho_{б.см.}$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/л.

Расход каждого компонента  $M_i$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$M_i = \frac{m_i \cdot 1000}{V_{\phi}} = \frac{m_i \cdot \rho_{б.см.}}{\sum m} \cdot 1000 \quad (1.10)$$

где  $m_i$  – расход одного (i-го) компонента, кг.

**Пример:** Определить состав мелкозернистого гипсобетона прочностью 15,0 МПа. Гипсовое вяжущее – высокопрочный гипс марки Г-16, активность  $A=35$  МПа (после сушки до постоянной массы), нормальная густота  $B/\Gamma = 35\%$ , заполнитель – песок кварцевый средней крупности  $M_k - 2,1$ , истинная плотность  $\rho_{ист} = 2,63$  г/см<sup>3</sup>, опытные образцы – кубы с ребром 7,07 см. Гипсобетонная смесь – подвижная, расплыв конуса – 150 мм.

Определяем  $B/\Gamma$  по формуле (1.5):

$$B/\Gamma = 35/15(2,86-0,5) + 0,5 \cdot 35 = 35/35,4 + 17,5 = 0,66$$

Расход гипсового вяжущего при расходе воды, принятом по табл.1.1, с учетом поправки на подвижность 6%:

$$\Gamma = 265/0,66 = 401 \text{ кг}$$

Абсолютный объем гипсового теста:

$$V_{гг} = 401/2,7 + 265 = 414 \text{ л}$$

Расход песка:

$$П = (1000 - V_{гг}) \cdot \rho_{п} = (1000 - 414) \cdot 2,63 = 1542 \text{ кг}$$

Расчетная плотность мелкозернистого гипсобетона:

$$401 + 1542 + 265 = 2208 \text{ кг/м}^3$$

Расход материалов на пробный замес 2 л, кг:

- гипсовое вяжущее – 0,008
- песок – 3,085
- вода – 0,530
- $\Sigma m - 4,415$

Допустим, что фактическая средняя плотность в замесе 2,25 кг/л, тогда фактический объем замеса:

$$V_{\phi} = \frac{4,415}{2,250} = 1,96 \text{ л}$$

Фактический расход каждого компонента, кг/м<sup>3</sup>:

- гипсовое вяжущее –  $0,800 \cdot 1000/1,96 = 408$
- песок –  $3,085 \cdot 1000/1,96 = 1574$
- вода –  $0,530 \cdot 1000/1,96 = 270,4$

Состав мелкозернистого гипсобетона по массе: 1:3,86:0,66 при расходе гипсового вяжущего 408 кг/м<sup>3</sup>.



## 1.2 Расчет состава легкого гипсобетона на пористых заполнителях

Состав легкого гипсобетона на искусственных пористых заполнителях подбирают по методике, разработанной Н.А.Поповым, которая заключается в:

- определении опытным путем оптимального количества воды для нескольких вариантов зернового состава заполнителей;
- выборе такого сочетания расхода вяжущего и зернового состава, при котором возможно получение бетона заданной средней плотности и прочности при наименьшем расходе гипсового вяжущего.

Обычно принимают два расхода гипсового вяжущего (табл.1.3) и два-три зерновых состава заполнителя (табл.1.4).

Таблица 1.3 – Примерный расход гипсового вяжущего

Прочность бетона, МПа	Расход гипсового вяжущего, кг/м <sup>3</sup> , при заполнителях с наибольшей крупностью				
	гравий			щебень	
	40	20	10	20	10
7,5	450	400	380	500	470
5,0	400	360	340	450	420
3,5	360	320	300	400	370

Таблица 1.4 – Рекомендуемые зерновые составы заполнителей

Заполнитель	Наибольшая крупность, мм	Содержание, % по объему	
		песок	крупный заполнитель
Щебень	20	40...50	70...50
	10	45...65	55...35
Гравий	40	15...30	85...70
	20	25...45	75...55
	10	40...60	60...40

Суммарный расход смеси крупного и мелкого пористых заполнителей составляет 1,2...1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для каждого варианта зернового состава и расхода гипсового вяжущего изготавливают три пробных серии (по три образца) с различными расходами воды. После определения прочности образцов устанавливают оптимальный расход воды, которому соответствует наибольшее значение прочности гипсобетона.

Для установления необходимого расхода гипсового вяжущего, строят графики зависимости прочности бетона от расхода вяжущего и средней плотности бетона от его прочности, и по ним выбирают требуемый расход гипсового вяжущего, отвечающий заданным значениям прочности и средней плотности.

Показатели прочности и средней плотности гипсобетона, его влажность определяют на образцах, высушенных при температуре  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы.

**Пример:** Определить состав легкого гипсобетона прочностью 5,0 МПа, средней плотностью в высушенном до постоянной массы состоянии  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Заполнитель – шлакопемзовые щебень и песок, наибольшая крупность – 20 мм. Уплотнение смеси – вибрирование с пригрузом, показатель жесткости – 70...90 с.

Испытаниями исходных материалов установлено: марка гипсового вяжущего Г5-Б-II, насыпная плотность песка 0...5 мм –  $805 \text{ кг/м}^3$ , щебня фракции 5...20 мм –  $530 \text{ кг/м}^3$ .

В соответствии с наибольшей крупностью заполнителя изготавливают образцы размером  $70,7 \times 70,7 \times 70,7 \text{ мм}$ .

Для изготовления опытных образцов принимают два варианта расхода гипсового вяжущего:  $300$  и  $400 \text{ кг/м}^3$  бетона или, что удобнее,  $350$  и  $500 \text{ кг/м}^3$  заполнителя.

Образцы изготавливают из смеси заполнителей трех зерновых составов (табл.1.5). Для каждого замеса принимается количество заполнителя объемом 2 л.

Таблица 1.5 – Зерновые составы заполнителя, принятые для опытных образцов

Зерновой состав	Содержание, % по объему	
	фракции 0...5 мм	фракции 5...20 мм
I	30	70
II	40	60
III	50	50

На каждый из шести составов принимаются три варианта расхода воды. В данном примере они соответствуют значениям, приведенным в табл.1.6.

Таблица 1.6 – Водосодержание гипсобетонных смесей в сериях опытных образцов

Зерновой состав	Расход воды, л/м <sup>3</sup> при расходе гипсового вяжущего, кг/м <sup>3</sup> заполнителя					
	350			500		
	1	2	3	1	2	3
I	200	<u>220</u>	245	225	<u>250</u>	<u>270</u>
II	230	<u>255</u>	280	250	<u>280</u>	<u>310</u>
III	250	<u>280</u>	<u>310</u>	270	<u>300</u>	330

При испытании образцов наибольшие или примерно равные прочности получились при расходах воды, подчеркнутых в табл.1.6. При примерно равных прочностях принимают большие величины расхода воды.

Образцы с оптимальным расходом воды характеризовались показателями прочности, плотности и влажности, приведенными в табл.1.7.

Таблица 1.7 – Результаты испытаний опытных образцов

Зерновой состав	Показатели при расходе гипсового вяжущего, кг/м <sup>3</sup> заполнителя					
	350			500		
	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность по массе, %	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность по массе, %
I	3,0	1300	5,0	5,7	1500	5,5
II	4,2	1400	5,3	7,2	1650	5,6
III	3,7	2550	6,0	6,3	1720	6,4

Примечание: прочность приведена к образцам базового размера.

Показатели прочности и средней плотности наносят на графики зависимости прочности от расхода вяжущего и зависимости средней плотности от прочности (рис.1).

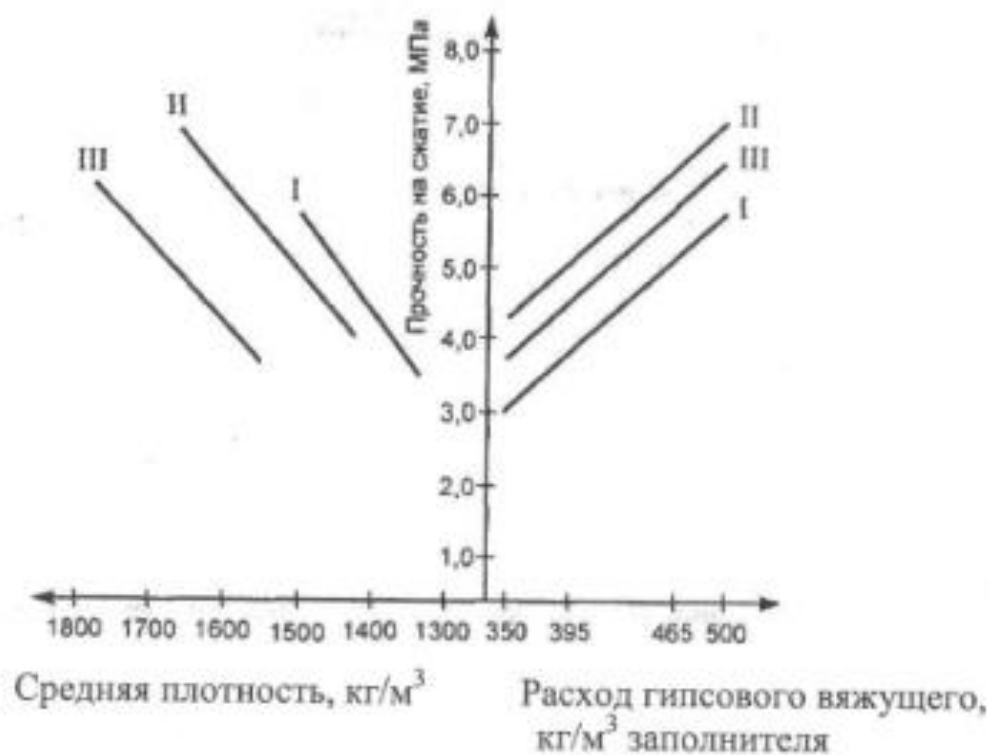


Рисунок 1 – зависимость прочности гипсобетона от его средней прочности и расхода гипсового вяжущего для трех зерновых составов шлаковой пемзы

Обозначение согласно табл.1.7

Из данных, приведенных на рис.2, видно, что прочность 5,0 МПа может быть получена на любом из опробованных зерновых составов.

Средняя плотность бетона  $1500 \text{ кг/м}^3$  и менее может быть получена при зерновых составах I и II.

Прочность 5,0 МПа может быть получена на зерновом составе I при расходе гипсового вяжущего в  $465 \text{ кг/м}^3$  заполнителя и на зерновом составе II –  $395 \text{ кг/м}^3$  заполнителя.

Выбираем зерновой состав II. Средняя плотность свежееотформованных образцов серии данного зернового состава  $\rho_{\text{бсм}}=1550 \text{ кг/м}^3$ .

Далее определяем расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  гипсобетона.

Соотношение песка и щебня в смеси II составляет 40:60 (по объему). При составлении смеси из двух фракций отношение ее объема к сумме объемов фракций примерно равно 0,85. Таким образом, для получения  $1 \text{ м}^3$  заполнителей следует взять  $1/0,85 = 1,2 \text{ м}^3$  отдельных фракций или в данном случае  $0,48 \text{ м}^3$  фракции 0...5 мм и  $0,72 \text{ м}^3$  фракции 5...20 мм.

Расход материалов на замес 2 л, кг:

- гипсовое вяжущее – 0,79
- заполнитель шлакопемзовый – 1,54
- вода – 0,53

всего материалов ( $\Sigma m$ ) – 2,86

Фактический расход материалов,  $\text{кг/м}^3$  рассчитанный по формуле 1.10:

- гипсовое вяжущее – 427
- заполнитель шлакопемзовый – 831  
в том числе  
фракции 0...5 мм – 420  
фракции 5...20 мм – 411
- вода – 286

Состав гипсобетонной смеси по массе – 1:1:0,96:0,67 (гипс:песок шлакопемзовый:щебень:вода).

Состав гипсобетонной смеси по объему – 1:1,21:1,81:0,67, при расходе гипсового вяжущего –  $0,43 \text{ м}^3$  ( $427/1000$ ).

### 1.3 Расчет состава гипсобетона на органических заполнителях

Проектирование состава легкого бетона на органических заполнителях имеет свои особенности, связанные со специфическими свойствами органических заполнителей. Так, наиболее широко применяемые в таких бетонах опилки отличаются от обычных плотных заполнителей большой пустотностью и малой подвижностью, поэтому подвижность опилкобетонной смеси достигается только при объеме в ней гипсового теста, превышающем объем пустот в опилках примерно в 1,45 раза. Вследствие этого расход гипсового вяжущего нельзя определять по приведенным выше формулам.

В связи с этим для подбора гипсоопилкобетона можно рекомендовать методику Г.Г.Булычева, согласно которой расход гипсового вяжущего (кг/м<sup>3</sup>) определяют из суммы абсолютных объемов компонентов в 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$G = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{n}{\rho_o} + \frac{B}{G}} \quad (1.11)$$

где  $n$  – количество масс.ч. опилок, приходящихся на 1 масс.ч. гипсового вяжущего;

$\rho_d$  – плотность сухой древесины, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – плотность гипсового вяжущего, г/см<sup>3</sup>.

Чтобы найти величину  $n$ , необходимо знать пустотность сухих опилок:

$$P = 1 - \frac{\rho_o}{\rho_d} \quad (1.12)$$

где  $\rho_o$  – насыпная плотность сухих опилок, г/см<sup>3</sup>.

Тогда расход гипсового вяжущего ( $G$ ) на 1 м<sup>3</sup> сухих опилок:

$$G = \frac{1,45P \cdot 1000}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{B}{G}} \quad (1.13)$$

Зная расход вяжущего ( $\Gamma$ ), определяют величину  $n$ :

$$n = \frac{\rho_0}{\Gamma} \quad (1.14)$$

После этого определяют расход гипсового вяжущего на  $1 \text{ м}^3$  гипсоопилочного бетона по формуле 1.11 и расход опилок:

$$O_n = \Gamma \cdot n \quad (1.15)$$

На практике часто используют другой способ, приведенный в примере, согласно которому расход материалов на один замес устанавливают в соответствии с выходом гипсобетонной смеси.

**Пример:** Для гипсобетонной смеси, содержащей 5% опилок, выход гипсоопилкобетона при различном В/Г отношении приведен в табл.1.8.

Таблица 1.8 – Выход гипсоопилкобетона

В/Г	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Выход смеси в долях от массы гипса	0,70	0,84	0,90	0,95	1,00	1,06	1,11	1,17	1,20

Таким образом, при  $\text{В/Г} = 0,7$  на  $1 \text{ м}^3$  гипсобетонной смеси потребуется:

- строительного гипса –  $1000:0,95 = 1055 \text{ кг}$ ;
- опилок –  $1055:95 \times 5 = 55 \text{ кг}$ ;
- воды -  $1055 \cdot 0,7 = 740 \text{ л}$ .

#### 1.4 Расчет состава ячеистого гипсобетона

Подбор составов ячеистого гипсобетона выполняют расчетно-экспериментальным методом.

Прочность ячеистого гипсобетона зависит от его средней плотности и прочности гипсового вяжущего. Средняя плотность должна быть не ниже значения, при котором обеспечивается минимально допустимая прочность  $R_{сж(p)}$ .

Минимально допустимую среднюю плотность определяют по формуле:

$$\rho_{(p)} = \sqrt[3]{\frac{R_{сж(p)}}{K_m}} \quad (1.16)$$

Константу материала рассчитывают по формуле:

$$K_m = \frac{R_{сж(н)}^{в.л}}{\rho_{тв(н)}^3} \quad (1.17)$$

где  $\rho_{тв(н)}$  – средняя плотность ячеистого гипсобетона, полученного при  $V/V_{ж} = \omega_n$ ;

$\omega_n$  – нормальный расход гипса на 100 г воды (аналог В/Г);

$R_{сж(н)}^{в.л}$  – прочность на сжатие гипсового вяжущего через 2 ч.

Среднюю плотность определяют экспериментально или рассчитывают по формуле:

$$\rho_{тв(н)} = \frac{1 + \omega_0}{\left( \frac{1}{\rho_{в.ж}} + \frac{\omega_n}{\rho_v} \right)} \quad (1.18)$$

где  $\omega_0$  – количество химически связанной воды, %.

После установления практического значения  $\rho_{тв(пр)}$ , рассчитывают расход вяжущего на объем смеси  $V_{см}$ :

$$m_{в.ж} = \frac{\rho_{тв(пр)} \cdot V_{см}}{1 + \omega_0 + X} \quad (1.19)$$

Количество воды затворения:

$$m_v = m_{в.ж} \cdot \omega - m_n \quad (1.20)$$

где  $m_n$  – масса пенообразователя.

Количество заполнителя, который вводят иногда в пеногипс, определяют по формуле:

$$m_z = m_{в.ж} \cdot X \quad (1.21)$$

Количество пенообразователя  $m_n$  зависит от свойств самой добавки и гипсового вяжущего, а также от режима технологии и устанавливается опытным путем.



Объем смеси принимают с учетом процессов вспенивания и перемешивания. Водовязущий фактор должен быть близок к величине  $\omega_n$  (аналогу В/Г).

**Пример:** Определить состав пеногипса с прочностью через 2 ч  $>1,5$  МПа и средней плотностью  $750 \text{ кг/м}^3$ .

Для расчета принят строительный гипс плотностью  $\rho_r = 2,63 \text{ г/см}^3$ ; прочностью на сжатие через 2 ч  $R_{сж(н)}^{вп} = 3,8 \text{ МПа}$ ; начало схватывания 10 мин; количество химически связанной воды  $\omega_0 = 17\%$ ;  $\omega_n = 0,826$  в соответствии с нормальным расходом гипса 121 г на 100 воды.

$$\rho_{тв(н)} \frac{1 + \omega_0}{\frac{1}{\rho_z} + \frac{\omega_n}{\rho_v}} = \frac{1,17}{\frac{1}{2,63} + \frac{0,826}{1}} = 0,97 \text{ кг/дм}^3$$

$$K_m = \frac{R_{сж(н)}^{вп}}{\rho_{тв(н)}^3} = \frac{3,8}{0,97^3} = 4,16 \text{ МПа}$$

$$\rho_{(p)} = \sqrt[3]{\frac{R_{сж(p)}}{K_m}} = \sqrt[3]{\frac{1,5}{4,16}} = 0,712 \text{ кг/дм}^3$$

При В/Вяз  $=0,85$  и добавке 7 г пенообразователя на  $1 \text{ дм}^3$  пеногипса расплыв смеси через 3 мин составил 150 мм (по методу «Кольцо Вика»).

Так как В/Вяз близко к  $\omega_n = 0,826$  и применяемый пенообразователь не влияет на сроки схватывания гипса, замедлитель вводить не нужно.

Расчет составляющих смеси (при коэффициенте перехода смеси  $K = 1,05$  и  $X = 0$ ),  $\text{кг/м}^3$ :

$$m_{в.жс} = \frac{\rho_{тв(p)} \cdot V_{см}}{1 + \omega_0} = \frac{0,75 \cdot 1050}{1,17} = 673$$

$$m_n = 0,007 \cdot V_{см} = 0,007 \cdot 1050 = 7,4$$

$$m_v = m_{в.жс} \cdot \omega - m_n = 673 \cdot 0,85 - 7,4 = 565$$

Уточним прочность пеногипса через 2 ч:

$$R_{сж}^{вп} = K \cdot \rho_{тв(p)}^3$$

$$R_{сж}^{вп} = 4,16 \cdot 0,75^3 = 1,76 \text{ МПа} > 1,5 \text{ МПа}$$

## **2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНОВ НА ВОДОСТОЙКИХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ**

Проектирование состава бетонов на ВГВ, близких по структуре и свойствам к традиционным бетонам, выполняют по методикам, принятым для бетонов на портландцементе, с учетом особенностей водостойких гипсовых вяжущих: быстроты схватывания и твердения, активности и водопотребности.

### **2.1 Расчет состава тяжелого бетона на водостойких гипсовых вяжущих**

Расчет состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом включает:

- выбор материалов для приготовления бетона и получение данных, характеризующих их свойства;
- установление расчетным путем по формулам и таблицам составов для пробных замесов. Расход вяжущего назначают используя данные, приведенные в табл.1.9;
- определение необходимого количества воды для затворения бетонной смеси производится опытным путем в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси. Ориентировочный расход воды можно выбрать по табл.1.10;
- назначение вида и количества добавки регулятора сроков схватывания бетонной смеси;
- проверку и уточнение состава на пробных замесах;
- корректирование состава при колебаниях свойств и влажности заполнителя и других факторов.

Таблица 1.9 – Ориентировочные расходы ВГВ для тяжелого бетона

Марка ВГВ	Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход ВГВ, кг/м <sup>3</sup> , для бетона прочностью при сжатии, МПа				
			10	15	20	25	30
150	11...20	-	330...350	390...410	480...510	-	-
	5...10	-	370...390	440...460	-	-	-
	-	1...4	400...430	470...500	-	-	-
250	11...20	-	-	-	380...410	430...460	490...510
	5...10	-	-	-	440...460	490...510	-
	-	1...4	-	-	480...520	530...550	-

Таблица 1.10 – Ориентировочные расходы воды для тяжелого бетона на ВГВ

Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при наибольшей крупности в мм					
		гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
ВГВ на основе строительного гипса							
11...20	-	215	200	285	225	215	200
5...10	-	240	225	210	250	240	225
-	1...4	260	245	230	270	260	245
ВГВ на основе высокопрочного гипса							
11...20	-	190	175	160	200	190	175
5...10	-	215	200	185	230	215	195
-	1...4	230	215	200	245	230	210

**Пример:** Определить состав конструкционного тяжелого бетона на водостойких гипсовых вяжущих класса по прочности на сжатие В 10.

Средний уровень прочности бетона:

$$R_y = R_T \cdot K_{мп}; \quad R_T = \frac{1,1B_n}{0,72} = 15,3 \text{ МПа}$$

при  $V_{п} = 15\%$   $K_{мп} = 1,15$ ;  $R_y = 17,6$  МПа.

Жесткость бетонной смеси – 11...20 с (ГОСТ 10181.1). Начало схватывания не ранее 30 минут.

Характеристика материалов: ВГВ марки 150 на основе строительного гипса, истинная плотность – 2,7 г/см<sup>3</sup>. Наибольшая крупность щебня из гравия – 20 мм, истинная плотность – 2,5 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность – 1,43 г/см<sup>3</sup>, пустотность – 43%; песок с модулем крупности 2,5 и истинной

плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность – 1,6 г/см<sup>3</sup>.

По табл.1.9 и 1.10 выбирают расход вяжущего и воды соответственно 400 кг и 215 л, т.е. В/Вяж =0,54 или Вяж/В =1,85.

Для уточнения Вяж/В, обеспечивающего требуемую прочность, задаются еще двумя отношениями, отличающимися от расчетного на ±0,1.

Принимают три расхода воды, соответствующие Вяж/В отношениям для выбранного расхода ВГВ в 400 кг/м<sup>3</sup>.

$$B_1 = \frac{400}{1,75} = 228\text{л}; \quad B_2 = \frac{400}{1,85} = 216\text{л}; \quad B_3 = \frac{400}{1,95} = 205\text{л}$$

Для регулирования сроков схватывания бетонной смеси используется замедлитель ВРП-1 в количестве 0,02% массы вяжущего.

Определяют расход крупного заполнителя, приняв коэффициент избытка  $K_{изб} = 1,45$ :

$$Щ = \frac{400}{\frac{0,43}{1,43} \cdot 1,45 + \frac{1}{2,5}} = 1200\text{кг}$$

Затем определяют расход песка:

$$П_1 = \left( 1000 - \frac{400}{2,7} - 229 - \frac{1200}{2,5} \right) \cdot 2,65 = 381\text{кг};$$

$$П_2 = 414\text{кг};$$

$$П_3 = 443\text{кг}.$$

Пересчитывают полученный расход материалов на требуемые объемы опытных замесов.

В данном случае на замесе 8...10 л сначала определяют удобоукладываемость бетонной смеси в приборе для определения жесткости (ГОСТ 10181.1).

Она составляет соответственно принятым расходам воды – 10, 18 и 22 с. Так как Вяж/В отношения обеспечивают требуемую жесткость, то корректирование состава бетонной смеси не делают.

Смесь укладывают в формы для кубов с ребром 100 мм. Одновременно определяют время до начала схватывания бетонной смеси при назначенном количестве замедлителя.

Образцы освобождают от форм через 1...2 ч после уплотнения бетонной смеси. Прочность бетона определяют по 6 образцам.

По данным испытаний образцов, приведенных к прочности стандартного образца в 28-суточном возрасте, строят зависимость прочности  $R$  от Вяж/В и находят такое Вяж/В отношение, которое обеспечивает средний уровень прочности бетона  $R_y = 17,6$  МПа.

В рассматриваемом примере Вяж/В = 2,0 или В/Вяж = 0,50. Принимая установленный в опытных замесах расход воды  $V = 205$  л, соответствующий требуемой жесткости, определяют расход вяжущего:  $205 \cdot 2,0 = 410$  кг/м<sup>3</sup>.

Производят уточненный расчет материалов на 1 м<sup>3</sup> и готовят серии контрольных образцов-кубов для испытания через несколько часов (2...4 ч в зависимости от технологии производства) и в возрасте 1, 3, 7, 28 сут, а при необходимости – и в другие сроки.

По данным испытаний строят кривую роста прочности бетона во времени, по которой устанавливают сроки достижения распалубочной и отпускной прочности бетона.

## **2.2 Расчет состава легкого бетона на ВГВ**

Расчет состава легкого бетона выполняют расчетно-экспериментальным методом в следующем порядке:

- на основе характеристик исходных компонентов и требований к бетонной смеси и бетону выбирают ориентировочный расход вяжущего по табл.1.11 и расход воды для требуемой жесткости или подвижности (табл.1.12);

- расход крупного и мелкого заполнителя рассчитывают, исходя из заданной средней плотности бетона и его структуры, пользуясь существующими методиками по подбору состава легкого бетона;
- назначают вид и количество замедлителя сроков схватывания;
- из бетонной смеси изготавливают образцы-кубы для определения требуемой прочности и средней плотности бетона.

Выполняя опытные замесы, фиксируют начало схватывания бетонной смеси.

Состав легкого бетона, поризованного воздухововлекающими добавками, определяют используя методику, принятую для керамзитобетона.

Откорректированный в результате опытных замесов состав бетона признается удовлетворительным и выдается в производство, если при обеспечении необходимых технологических требований бетон в изделиях отвечает заданным проектным требованиям по прочности, средней плотности и отпускной влажности или другим дополнительным требованиям.

Рекомендуется из назначенного состава легкого бетона изготовить образцы для проверки коэффициента теплопроводности и морозостойкости в соответствии с ГОСТ 7076 и ГОСТ 10060.02.

Таблица 1.11 – Рекомендуемые расходы ВГВ для легкого бетона

Марка ВГВ	Предельная крупность керамзита, мм	Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход ВГВ, кг/м <sup>3</sup> , для бетона прочностью при сжатии, МПа				
				3,5	5	7,5	10	15
100	20	11...20	-	280...310	330...360	360...380	-	-
		5...10	-	300...340	350...380	380...400	-	-
		-	1...4	330...370	380...400	400...460	-	-
	40	11...20	-	300...350	365...390	-	-	-
		5...10	-	320...380	375...400	-	-	-
		-	1...4	380...420	390...430	-	-	-
150	20	11...20	-	275...325	325...350	375...400	400...425	-
		5...10	-	275...335	325...360	375...410	400...440	-
		-	1...4	360...380	380...400	410...430	440...460	-
	40	11...20	-	300...350	350...375	400...425	-	-
		5...10	-	300...360	350...390	400...440	-	-
		-	1...4	380...400	390...420	440...460	-	-
250	20	11...20	-	-	-	-	325...350	400...425
		5...10	-	-	-	-	325...360	425...450
		-	1...4	-	-	-	380...400	450...480
	40	11...20	-	-	-	-	350...375	-
		5...10	-	-	-	-	350...385	-
		-	1...4	-	-	-	400...425	-

Таблица 1.12 – Рекомендуемые расходы воды для легкого бетона на КГВ

Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при наибольшей крупности в мм			
		гравия		щебня	
		20	40	20	40
ВГВ на основе строительного гипса					
11...20	-	240...250	230...240	250...260	240...250
5...10	-	260...280	260...270	280...290	270...280
-	1...4	300...310	290...300	310...320	300...310
ВГВ на основе высокопрочного гипса					
11...20	-	220...230	210...220	230...240	215...230
5...10	-	250...260	240...250	260...270	240...250
-	1...4	280...290	270...280	290...310	270...290

Примечание: данные таблицы справедливы при расходах вяжущего 380...400 кг/м<sup>3</sup> и при использовании керамзитового песка.

**Пример:** Определить состав конструкционно-функционального керамзитобетона на водостойком гипсовом вяжущем марки по средней плотности D 1100, класса по прочности на сжатие B5 ( $R_y = 8,8$  МПа).

Удобоукладываемость бетонной смеси – 5...10 с, начало схватывания – не ранее 25 мин.

Характеристика материалов:

ВГВ марки 150 на основе строительного гипса; песок керамзитовый со средней насыпной плотностью  $\rho_n = 900$  кг/м<sup>3</sup>; керамзитовый гравий с наибольшей крупностью 20 мм и  $\rho_n = 500$  кг/м<sup>3</sup>.

Расчет составов для опытных замесов.

1. По табл.1.11 выбирают ориентировочный расход вяжущего – 380 кг/м<sup>3</sup>.
2. Суммарный расход крупного и мелкого заполнителя на 1 м<sup>3</sup> керамзитобетона:

$$Z = D - 1,15 \cdot \text{Вяз}$$

$$Z = 1100 - 1,15 \cdot 380 = 663 \text{ кг.}$$



Расход песка:

$$П = \frac{3 \cdot \rho_n^n \cdot r}{r \cdot \rho_n^m + (1-r) \cdot \rho_n^k},$$

где  $r$  – доля песка в общей смеси заполнителя – выбирается как для обычного керамзитобетона, но меньше на 30...50% из-за большого расхода ВГВ и его несколько меньшей плотности по сравнению с портландцементом.

Принимаем  $r = 0,2$ , тогда:

$$П = \frac{663 \cdot 900 \cdot 0,2}{0,2 \cdot 900 + (1 - 0,2) \cdot 500} = 221 \text{ кг} \text{ или } 0,245 \text{ м}^3$$

Расход керамзита  $K_p = 663 - 221 = 442$  кг или  $0,33$  м<sup>3</sup>.

3. Ориентировочный расход воды выбирают либо по табл.1.12, либо по формуле:

$$B = \frac{НГ \cdot Вяж}{100} + \frac{\omega_{\text{погл}}^k \cdot K_p}{100},$$

где НГ – нормальная густота ВГВ, %;

Вяж – расход вяжущего, кг;

$\omega_{\text{погл}}^k$  – водопоглощение керамзита, %;

$K_p$  – расход керамзита, кг.

Водовязущее отношение:

$$\frac{B}{Вяж} = \frac{336}{380} = 0,88$$

По результатам расчета готовят пробные замесы с расходами вяжущего, отличающимися на  $\pm 10...15\%$  от выбранного, т.е. 330, 380, 430 кг при соблюдении требуемой удобоукладываемости. После испытания образцов, строят графики зависимости прочности и средней плотности бетона от расхода вяжущего, выбирают по ним оптимальный расход вяжущего и устанавливают состав керамзитобетона класса В5, марки D1100, как это показано в примере на рис.1.

### **3 Основные положения проектирования изделий и конструкций из бетонов на ВГВ**

Изделия и конструкции из бетонов на ВГВ предназначены для применения в жилых, общественных и производственных зданиях в виде несущих, самонесущих и ограждающих конструкций. Они могут выполняться из крупно- или мелкогабаритных элементов, а также в монолитном виде.

Панели и крупные блоки на ВГВ рекомендуется применять для стен зданий: несущих – до 5-ти этажей, самонесущих – до 9-ти этажей при обеспечении расчетом необходимой прочности и деформативности конструкции.

Конструкции и изделия из бетонов на ВГВ следует изготавливать в соответствии с ГОСТ 13015.0 и ГОСТ 13015.3, а также «Рекомендациями по проектированию, изготовлению и применению изделий и конструкций из бетона на гипсоцементно-пуццолановых вяжущих».

В целях обеспечения долговечности конструкций из бетонов на ВГВ предусматривают их защиту от увлажнения грунтовыми водами и увлажнения атмосферными осадками, для чего применяют защитно-декоративные отделки поверхностей стен (керамической плиткой, окрасочными составами и др.).

#### **3.1 Нормативные и расчетные характеристики бетонов и арматуры**

Классы по прочности на сжатие и осевое растяжение отвечают значению гарантированной прочности бетона на ВГВ с обеспеченностью 0,95. Требуемая средняя прочность бетона на ВГВ, соответствующая его классу по прочности на сжатие:

$$R = \frac{B}{(1 - 1,64 \cdot 0,17)} \quad (1.22)$$

где  $R$  – требуемая средняя прочность бетона на ВГВ, МПа, которую следует обеспечить при производстве конструкций;

$B$  – численное значение класса бетона на ВГВ по прочности на сжатие;

1,64 – коэффициент, характеризующий обеспеченность 0,95;

0,17 – нормативный коэффициент вариации прочности бетона на КГВ (17%).

Величины деформаций усадки тяжелых и легких бетонов на ВГВ принимаются в расчетах равными 0,5 мм/м.

Начальный коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона)  $\nu$  принимается для тяжелых бетонов на КГВ равным 0,20, для легких – 0,22.

Коэффициент линейной температурной деформации  $\alpha_{bt}$  при изменении температуры от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  принимают равным  $1 \cdot 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$  для тяжелых и  $0,8 \cdot 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$  для легких и ячеистых бетонов на КГВ.

Значения расчетных коэффициентов теплопроводности бетона на КГВ принимают в зависимости от его плотности и условий эксплуатации по СНиП II-3-79\*\* такими же, как для бетона на портландцементе. Выбор арматурных сталей производят в зависимости от типа конструкции, условий возведения и эксплуатации здания или сооружения. Для конструктивных элементов из бетона на КГВ следует предусматривать защиту арматуры и закладных деталей от коррозии.

Расчетные сопротивления арматуры должны назначаться в соответствии с главой СНиП 2.03.01-84\* и действующими нормативными документами.

## Список использованных источников

1. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник / Под ред. А.В.Ферронской. - М. : АСВ, 2004. - 488с.
2. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе – Учебно-методическое пособие для самостоятельных и лабораторных работ/ Г.А.Зимакова, Е.А.Каспер, О.С. Бочкарева. – Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2014 г. – 89 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетонов. М. : АСВ, 2007. - 528с.
4. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. М. : АСВ, 2010. - 248с.
5. Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий /Сб.трудов под ред. А.В.Ферронской и др. М., 2002, 249 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине  
**«Технология природных строительных  
материалов и изделий на их основе»**  
(проектирование состава гипсобетонов)  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»  
направленность (профиль)  
«Производство и применение строительных  
материалов, изделий и конструкций»

Составитель: Майсурадзе Н.В.