



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра технологии
вяжущих веществ и бетонов

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И МАЛООТХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Составители:

О.В. Александрова, М.Г. Брюяко

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2020

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 691
ББК 38.3
Р44

Рецензент — кандидат технических наук *В.А. Ушков*, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Современные композиционные строительные материалы» (НИЛ СКСМ), доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов НИУ МГСУ

Р44 Ресурсосберегающие и малоотходные технологии строительных материалов [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / сост.: О.В. Александрова, М.Г. Бруяко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов. — Электрон. дан. и прогр. (0,45 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/> — Загл. с титул. экрана.

Методические указания предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Ресурсосберегающие и малоотходные технологии строительных материалов»; содержатся примеры решения задач; приведены вопросы для самостоятельного изучения основных разделов дисциплины.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций».

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Редактор *Н.А. Котова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная верстка *О.В. Суховой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 10.07.2020. Объем данных 0,45 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ ВЗАМЕН ЧАСТИ ЦЕМЕНТА.....	6
Практическая работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗИРОВКИ ЗОЛЫ В ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНАХ	6
Практическая работа 2. РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ.....	10
Практическая работа 3. РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА С ДОБАВКОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИИ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ И СТРУКТУРЫ БЕТОНА	13
Практическая работа 4. РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ИЛИ ШЛАКА ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА И ПРИРОДНОГО ЩЕБНЯ.....	18
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА.....	20
Тема 1. Расчет состава бетона с добавкой золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкого заполнителя и структуры бетона.....	20
Тема 2. Расчет мелкозернистого бетона при использовании золошлаковой смеси взамен песка....	22
Тема 3. Определение оптимальной дозировки золы в тяжелых бетонах.....	22
Тема 4. Расчет состава тяжелого бетона с заполнителем из золошлаковой смеси.....	22
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ	23
Библиографический список.....	25

ВВЕДЕНИЕ

Проблема ресурсосбережения и использования отходов промышленности в строительной индустрии — одна из самых актуальных при подготовке строителей-технологов в современное время, когда развитие отрасли строительных материалов требует новых технологий, навыка материалов и новых подходов к существующим технологиям.

Настоящие методические указания призваны помочь обучающимся в освоении очень актуального направления отрасли строительных материалов, связанного с развитием ресурсосберегающих и малоотходных технологий, применением в производстве строительных материалов отходов промышленности.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ ВЗАМЕН ЧАСТИ ЦЕМЕНТА

Подбор состава бетона с добавкой золы производят в следующем порядке:

- Расчетно-экспериментальным методом проводят подбор состава бетона без добавки золы в соответствии с Руководством по проектированию состава гидротехнических бетонов (далее Руководство) и с учетом Рекомендаций по применению в бетонах золы.

- Подобранный состав бетона принимают за исходный. На этом составе готовят три замеса, в которых часть цемента заменяют 10, 20 и 30 % золы, сохраняя расход смешанного вяжущего (цемент + зола) равным расходу цемента в исходном составе.

Дозировку поверхностно-активной добавки сохраняют такой, как в исходном составе, вычисляя ее величину по массе смешанного вяжущего.

Расход воды, водоцементное отношение (В/Ц) или водотвердое (В/В) устанавливают путем пробных замесов исходя из условия, чтобы подвижность бетонных смесей без золы и с добавкой золы была практически одинаковой.

- Из бетонных смесей, приготовленных с соблюдением указанных выше условий, изготавливают образцы для определения прочности и водонепроницаемости в соответствии с ОСТ 34-4618-73.

По результатам испытаний образцов в проектном возрасте строят графики зависимости $R_{сж} = f(\text{Ц})$; $R_p = f(\text{Ц})$; $V = f(\text{Ц})$ (где Ц — расход смешанного вяжущего, кг на 1 м³ бетона).

На эти графики наносятся результаты испытаний образцов бетона исходного состава (без добавки золы) в проектном возрасте.

- За окончательную дозировку золы принимают ту дозировку, при которой бетон с золой отвечает всем проектным требованиям.

- Для бетона с выбранной дозировкой золы по методике Руководства уточняют оптимальное содержание песка, которое, как правило, оказывается несколько меньше, чем для исходного состава бетона без добавки золы.

Уточненный состав бетона считают окончательно подобранным.

Практическая работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗИРОВКИ ЗОЛЫ В ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНАХ

При расчетах составов бетона по методу абсолютных объемов используются следующие обозначения и характеристики материалов:

Ц, Щ, П, В — расход цемента, щебня, природного песка и воды, соответственно, кг на 1 м³ бетона исходного состава;

a_n — содержание пылевидной золы в золошлаковом сырье, численно равное полному остатку на сите с отверстием 5 или 2,5 мм, % по массе;

$N_{щщ}$ — содержание шлакового щебня в золошлаковом сырье, численно равное полному остатку на сите с отверстием 5 или 2,5 мм, % по массе;

$M_K^п$ — модуль крупности природного песка, применяемого в исходном составе;

$M_K^{щщ}$ — модуль крупности шлакового песка;

$\rho_0^п$ — плотность зерен природного песка, применяемого в исходном составе бетона, г/см³;

$\rho_0^{щ}$ — плотность зерен щебня, применяемого в исходном составе бетона, г/см³;

$\rho_0^{щп}$ — плотность зерен шлакового песка, г/см³;

$\rho_0^{щпз}$ — плотность зерен смеси шлакового песка и золы, г/см³;

$\rho_0^{\text{ш.щ}}$ — плотность зерен шлакового щебня, г/см³;

$\rho_0^{\text{ц}}$ — плотность цемента (истинная), г/см; определяется по ГОСТ 310.2–76, допускается принимать 3,1 г/см³ для портландцемента и 3,0 г/см³ для шлакопортландцемента;

$A_{0,16}$ — полный остаток на сите 0,16 мм, характеризующий содержание шлаковых зерен в золошлаковой смеси, % по массе;

$\rho_0^{\text{зу}}$ — плотность частиц золы по ГОСТ 8735–75, г/см³;

$НГ_{\text{зу}}$ — нормальная густота зольного теста по ГОСТ 310.2–76, % по массе.

Расчет составов бетонов по методу абсолютных объемов предусматривает оптимизацию состава бетона с применением золы ТЭС, что обеспечивает наименьший расход клинкерного цемента при сохранении заданных (проектных) характеристик бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Метод основан на определении наибольшего значения коэффициента эффективности использования цемента в золоцементных композициях.

За исходный принимают состав бетона заданной марки, применяемой на производстве для изготовления определенного вида конструкций.

Определение оптимального расхода материалов производят в два этапа.

На первом этапе формируют четыре серии образцов из равноподвижных в исходном составе смесей, в которых 12, 25, 37 и 50 % массы цемента исходного состава заменено соответствующим количеством золы (ЗУ).

Можно принимать и другие величины замены цемента золой, например 10, 20, 30 и 40 %.

После испытания образцов в заданном возрасте (через 4–12 ч после пропаривания или на 28 день) для бетона каждой серии вычисляют коэффициент эффективности использования цемента $K_э$ по формуле

$$K_э = \frac{R}{Ц},$$

где R — прочность бетона на сжатие, МПа;

$Ц$ — расход цемента, кг на 1 м³ бетона в этой же серии.

Выбирают наибольшее значение коэффициента эффективности $K_э$ и фиксируют оптимальное значение содержания золы в составе золоцементного вяжущего $ЗУ^{\text{опт}}$.

На этом этапе прочность бетона на золоцементном вяжущем оптимального состава может быть ниже прочности бетона исходного состава без добавки золы.

Вычисляют разницу расхода цемента $\Delta Ц$ в исходном составе бетона $Ц_6$ и в составе с оптимальным золоцементным вяжущем ($Ц_N$):

$$\Delta Ц = Ц_6 - Ц_N.$$

Цель второго этапа — получение бетона заданной прочности при сохранении оптимального состава смешанного золоцементного вяжущего.

Для получения бетона заданной прочности изготавливают два дополнительных замеса, в которых расход смешанного вяжущего увеличивают по сравнению с оптимальным составом. При этом:

1) расход воды подбирают из условия получения равноподвижных смесей;

2) расход цемента в первом и втором дополнительных замесах ($Ц_1$ и $Ц_2$, кг на 1 м³ бетона, соответственно) назначают из условия

$$Ц_1 = Ц_N - \frac{\Delta Ц}{3};$$

$$Ц_2 = Ц_N - \frac{2\Delta Ц}{3};$$

3) расход золы двух дополнительных замесов, кг на 1 м³ бетона, вычисляют по формулам

$$T'_{3y} = \frac{Ц_1 \cdot 3y^{opt}}{100 - 3y^{opt}};$$

$$T''_{3y} = \frac{Ц_2 \cdot 3y^{opt}}{100 - 3y^{opt}};$$

4) расход песка в этих составах уменьшают по сравнению с исходным составом на величину ΔП, кг, которую вычисляют по формулам

$$\Delta П' = \left(\frac{Ц_1}{\rho_0^Ц} + \frac{T'_{3y}}{\rho_0^{3y}} - \frac{Ц_6}{\rho_0^Ц} \right) \rho_0^П;$$

$$\Delta П'' = \left(\frac{Ц_2}{\rho_0^Ц} + \frac{T''_{3y}}{\rho_0^{3y}} - \frac{Ц_6}{\rho_0^Ц} \right) \rho_0^П.$$

Если расход песка по расчету составляет менее 400 кг на 1 м³ бетона, рекомендуется соответственно уменьшить расход щебня, оставив расход песка равным 400 кг.

После испытания образцов в заданном возрасте строят график зависимости прочности бетона от содержания в нем цемента, выбирают расход цемента, обеспечивающий требуемую прочность, и уточняют расход материала на 1 м³ бетона.

Пример. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне марки 300 при исходном составе: цемент — 350 кг, щебень — 1200 кг, песок — 590 кг, вода — 190 л на м³ бетона (значения плотностей цемента, золы, песка: $\rho_0^Ц = 3,1$ кг/см³, $\rho_0^{3y} = 2,14$ кг/см³, $\rho_0^П = 2,64$ кг/см³, соответственно).

Решение

Прочность бетона определяют по графику (рис. 1). По данным табл. 1 рассчитывают коэффициент эффективности и выбирают максимальный.

По максимальному значению коэффициента $K_э$, равному 0,106, принимают оптимальный состав смешанного вяжущего №3, содержащего 37 % золы.

Вычисляют разницу расхода цемента:

$$\Delta Ц = Ц_6 - Ц_{№3} = 350 - 220 = 130 \text{ кг.}$$

Расход цемента, золы и песка на первый дополнительный замес:

$$Ц' = 220 + \frac{130}{3} = 264 \text{ кг;}$$

$$m'_{3y} = \frac{264 \cdot 37}{100 - 37} = 155 \text{ кг;}$$

$$П_p = П - \Delta П = 590 - \left(\frac{264}{3,1} + \frac{155}{2,14} - \frac{350}{3,1} \right) 2,64 = 472 \text{ кг.}$$

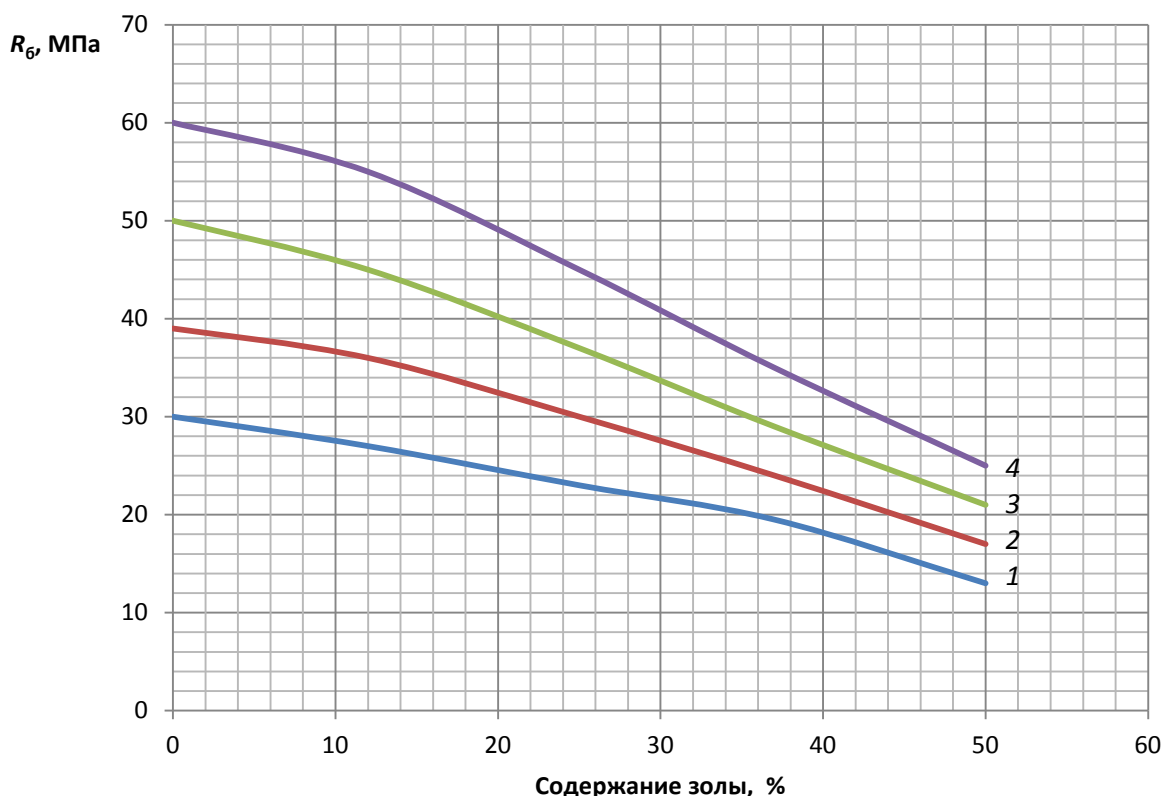


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от количества добавленной золы:
 1 — марка цемента М300; 2 — марка цемента М400; 3 — марка цемента М500; 4 — марка цемента М600

Таблица 1

Результаты испытания бетона исходного состава

№ со- става бетона	Содержание золы в смешанном вяжущем, % по массе	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг					Прочность бетона*, МПа	Водовяжущий фактор $\frac{В}{Ц + ЗУ}$	K _э
		Цемент	Зола	Щебень	Песок	Вода			
0	—	350	—	1200	590	190	30,1	0,54	0,086
1	12	308	42	1200	590	190	29,6	0,54	0,096
2	25	262	88	1200	590	194	26,8	0,55	0,102
3	37	220	130	1200	590	197	23,4	0,56	0,106
4	50	175	175	1200	590	200	16,0	0,57	0,097

*Прочность бетона определяется экспериментально, данные эксперимента приведены на рис. 1.

Расход цемента, золы и песка на второй дополнительный замес:

$$Ц'' = 220 + 2 \frac{130}{3} = 307 \text{ кг};$$

$$m_{зу}'' = \frac{307 \cdot 37}{100 - 37} = 80 \text{ кг};$$

$$П_p = П - \Delta П = 420 - \left(\frac{307}{3,1} + \frac{180}{2,14} - \frac{350}{3,1} \right) 2,64 = 405 \text{ кг}.$$

Прочность дополнительных замесов определяют по графику (рис. 2).

Результаты испытаний дополнительных замесов заносят в табл. 2.

Второй дополнительный состав достаточно точно ($\pm 5\%$) удовлетворяет заданной прочности бетона М300, на нем и следует остановиться.

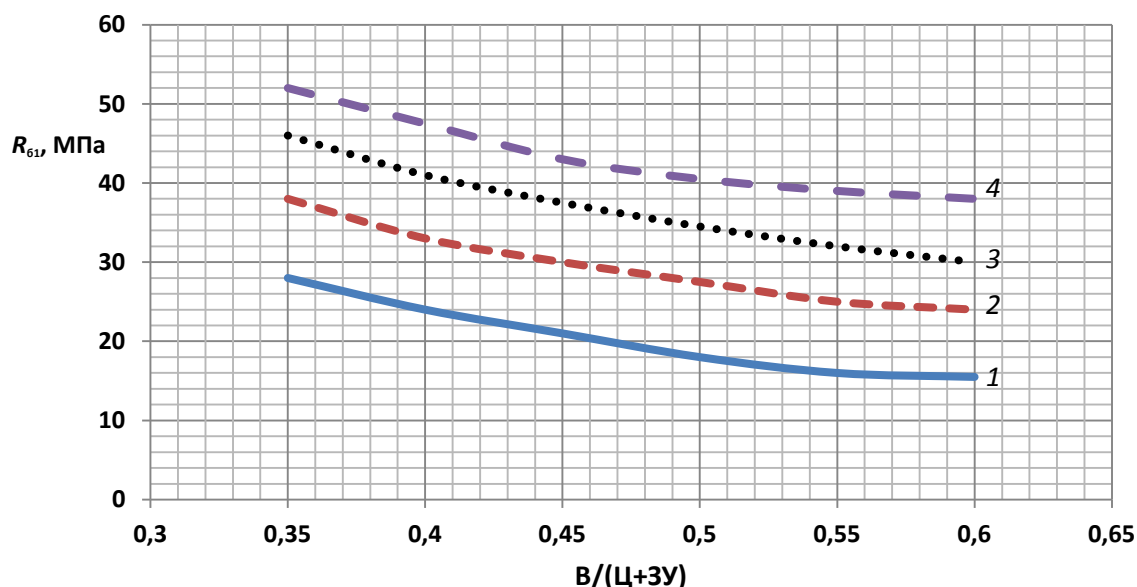


Рис. 2. Зависимость прочности золобетона от водовяжущего фактора:
 1 — цемент марки М300; 2 — цемент марки М400; 3 — цемент марки М500; 4 — цемент марки М600

Таблица 2

Результаты испытания бетона дополнительного состава

№ п/п состава бетона	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг					Прочность бетона**, МПа	Водовяжущий фактор $\frac{В}{Ц + ЗУ}$
	Цемент	Зола	Щебень	Песок	Вода*		
1-й (доп)	264	155	1200	472	209	27,9	0,5
2-й (доп)	307	180	1200	405	214	31,4	0,44

*Расход воды подбирают из условия получения равноподвижных смесей.

**Прочность золобетона определяют экспериментально, данные эксперимента приведены на рис. 2

Практическая работа 2 РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

Цементно-вяжущее (Ц/В) отношение определяют по формуле

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_6}{R_{ц}} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot K + \frac{0,4R_{ц}}{100},$$

где A_1 — коэффициент, учитывающий зерновой состав применяемой ЗШС золошлаковой смеси (принимается по табл. 3);

A_2 — коэффициент, учитывающий содержание в ЗШС несгоревших частиц (принимается по табл. 4).

При расчете состава бетона марок М100 и М200 коэффициент A_2 можно принимать равным 1 независимо от содержания несгоревших частиц в ЗШС;

A_3 — коэффициент, учитывающий способ приготовления бетонной смеси ($A_3 = 1$ — при применении бетоносмесителя принудительного действия; $A_3 = 1,1$ — при механической обработке бетонной смеси в смесительных агрегатах типа бегунов);

A_4 — условия твердения бетона ($A_4 = 1$ — для пропаренного бетона и для бетона, твердеющего в естественных условиях при положительной температуре в трехмесячном возрасте; $A_4 = 0,8$ — для бетона, твердеющего в естественных условиях при положительной температуре в месячном возрасте);

K — коэффициент для бетона марок М100–М300, равный 0,61, а для М350–М500 — 0,58.

Таблица 3

Коэффициент по зерновому составу

Содержание в ЗШС зерен, проходящих через сито №0,315, % по массе	Значение коэффициента A_1
20–30	1,0
31–40	0,95
41–45	0,90
46–50	0,85

Таблица 4

Коэффициент по зерновому составу

Содержание в ЗШС несгоревших частиц, % по массе	Значение коэффициента A_2
0–3	1,05
3,1–6	1,0
6,1–10	0,95

Необходимое количество воды затворения принимается по табл. 5 в зависимости от насыпной плотности применяемой золошлаковой смеси и требуемой удобоукладываемости бетонной смеси.

Таблица 5

Расход воды в ЗШС

Удобоукладываемость бетонной смеси	Расход воды B на 1 м^3 бетона, л, при насыпной плотности ЗШС, $\text{кг}/\text{м}^3$			
	1400	1500	1600	1700
Осадка конуса, см:				
5–9	290–310	270–290	250–270	230–250
1–4	270–290	250–270	230–250	210–230
Жесткость, с:				
5–10	250–270	230–250	210–230	190–210
11–20	230–250	210–230	190–210	170–190

Примечание. Расход воды приведен для ЗШС, содержащей фракции менее 0,315 мм в оптимальном количестве, равном 20–30 %.

При содержании фракции менее 0,315 мм в количестве 30–40 % расход воды увеличивается на 10 %, а при 40–50 % — на 10 %.

Расход воды уменьшается на 5 % при механической обработке бетонной смеси в бегунах.

Расход цемента, кг на 1 м^3 бетона, вычисляют по формуле

$$Ц = \frac{Ц}{B} B.$$

Расход ЗШС, кг на 1 м^3 бетона, вычисляют по формуле

$$\text{ЗШС} = \left(1000 - BB - B - \frac{Ц}{\rho_{Ц}} \right) \rho_{\text{ЗШС}},$$

где BB — объем вовлеченного воздуха.

Плотность зерен ЗШС для углей принимается ориентировочно по табл. 6.

Объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха можно принимать по усредненным данным, приведенным в табл. 7.

Таблица 6

Плотность зерен золошлаковой смеси

Насыпная плотность, кг/м ³	Плотность зерен, кг/л
1400	2,45
1500	2,5
1600	2,55
1700	2,6

Таблица 7

Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси	Объем ВВ, л/м ³
Осадка конуса, см:	
5–9	30
1–4	40
Жесткость, с:	
5–10	50
11–20	60

Рассчитанный состав проверяют опытным затворением. При этом одновременно выполняют замесы с расходом цемента, на 15–20 % отличающимся от рассчитанного. Необходимое значение Ц/В и расход цемента, обеспечивающие требуемую прочность бетона, определяют по зависимостям $R_6 = f(U/B)$; $R_6 = f(C)$.

Пример. Подберите состав тяжелого бетона марки М200 на цементе марки М400 с заполнителем из ЗШС насыпной плотностью 1500 кг/м³, содержащей 20 % зерен, проходящих через сито №0,315, и 3 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с осадкой конуса (ОК) 7 см приготавливается в смесителях принудительного действия. Предусматривается тепловлажностная обработка (ТВО), возраст бетона один месяц.

Решение

Определяют Ц/В по формуле

$$\frac{C}{B} = \frac{R_6}{R_{Ц}} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot K + \frac{0,4 \cdot R_{Ц}}{100};$$

$$\frac{C}{B} = \frac{200}{400} \cdot \frac{1}{1} \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,61 + \frac{0,4 \cdot 400}{100} = 1,85.$$

Расход цемента, кг на 1 м³ бетона, вычисляют по формуле

$$C = \frac{C}{B} B = 1,85 \cdot 280 = 518 \text{ кг.}$$

Расход ЗШС, кг на 1 м³ бетона:

$$\text{ЗШС} = \left(1000 - \text{ВВ} - B - \frac{C}{\rho_{Ц}} \right) \rho_{\text{ЗШС}};$$

$$\text{ЗШС} = \left(1000 - 30 - 280 - \frac{518}{3,1} \right) 2,5 = 1305 \text{ кг.}$$

Расчетный состав проверяют опытным затворением.

Практическая работа 3

РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА С ДОБАВКОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИИ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ И СТРУКТУРЫ БЕТОНА

Оптимальное количество ЗШС определяют расчетным путем с учетом физических характеристик используемого сырья.

Расчет состава бетона производят из соображений частичной замены кварцевого песка шлаковым песком и золой (при содержании золы в составе ЗШС до 15 %) или полной замены кварцевого песка (при содержании золы в составе ЗШС более 15 %).

Крупные фракции, входящие в состав ЗШС, заменяют соответствующую долю щебня из природного камня.

При использовании ЗШС, содержащей 15 % и менее золы, расчет расхода материалов на 1 м³ бетона производят в следующем порядке:

- Определяют содержание шлакового песка C в общей массе мелкого заполнителя (кварцевый песок + шлаковый песок):

$$C = (2,67 - M_K^П) / (M_K^{ШП} - M_K^П),$$

где $M_K^П$ — модуль крупности природного песка, применяемого в исходном составе бетона;

$M_K^{ШП}$ — модуль крупности шлакового песка.

- Определяют количество шлакового песка, кг, вводимого в бетонную смесь, с целью обеспечения оптимальной гранулометрии мелкого заполнителя:

$$ШП = П \cdot C,$$

где $П$ — расход песка, кг.

- Общий расход ЗШС, кг на 1 м³ бетона, находят по формуле

$$ЗШС_p = 100 \cdot ШП / [100 - (N_{ШЩ} + a_n)],$$

где $N_{ШЩ}$ — содержание шлакового щебня в золошлаковом сырье, численно равное полному остатку на сите с отверстием 5 или 2,5 мм, % по массе;

a_n — содержание пылевидной золы в золошлаковом сырье, % по массе.

Количество золы, кг, введенной вместе с ЗШС смесью:

$$ЗУ = ЗШС_p \frac{a_n}{100}.$$

Количество шлакового щебня, кг, вводимого в бетон в составе ЗШС:

$$ШЩ = ЗШС_p - ШП - ЗУ.$$

- Расчетное количество кварцевого песка, оставшегося в составе бетона после замены его части шлаковым песком и золой, определяют с учетом следующих условий:

– если сумма абсолютных объемов шлакового песка и золы равна или больше абсолютного объема песка в исходном составе, т.е. $(V_{ШП} + V_{ЗУ}) \geq V_{П}$, то содержание кварцевого песка в составе бетона из соображений сохранения необходимой удобоукладываемости бетонной смеси оставляют равным 100 кг;

– если суммарный абсолютный объем шлакового песка и золы-уноса меньше абсолютного объема кварцевого песка в исходном составе, т.е. $(V_{ШП} + V_{ЗУ}) < V_{П}$, то количество кварцевого песка в составе бетона находят из выражения

$$П_p = \left(\frac{П}{\rho_0^П} - \frac{ШП}{\rho_0^{ШП}} - \frac{ЗУ}{\rho_0^{ЗУ}} \right) \rho_0^П.$$

В случае, когда по расчету содержание кварцевого песка оказывается меньше 100 кг, его расход принимают равным 100 кг.

- Расход воды на 1 м³ бетона назначают с учетом поправок, приведенных в табл. 8, так как он может несколько увеличиться за счет введения дисперсной золы.

Таблица 8

Увеличение расхода воды по сравнению с исходным составом (ориентировочно)

Содержание золы в бетоне	Увеличение расхода воды на 1 м ³ бетона при нормальной густоте зольного теста, %	
	До 32	Свыше 32
ЗУ ≤ 0,2 Ц	ΔВ = 0	ΔВ = 0,05В
ЗУ > 0,2 Ц	$\Delta B = \frac{3Y - 0,2Ц}{8}$	$\Delta B = 0,05B \frac{3Y - 0,2Ц}{5}$

- Определяют по табл. 9 ориентировочную величину снижения расхода цемента на 1 м³ бетона за счет улучшения гранулометрического состава мелкого заполнителя и введения активного микрозаполнителя.

Таблица 9

Снижение расхода цемента по сравнению с исходным составом (ориентировочно)

Содержание золы в бетоне	Увеличение расхода воды на 1 м ³ бетона при нормальной густоте зольного теста, %	
	До 32	Свыше 32
ЗУ ≤ 0,2 Ц	8–12	6–10
ЗУ > 0,2 Ц	12-20	10–12

- Находят количество щебня, кг, оставшегося в составе бетона после частичной замены шлаковым, из выражения

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{Ц_p}{\rho_0^Ц} + \frac{\text{ШЩ}}{\rho_0^{\text{ШЩ}}} + \frac{\text{ШП}}{\rho_0^{\text{ШП}}} + \frac{ЗУ}{\rho_0^{ЗУ}} + \frac{П_p}{\rho_0^П} + \frac{В_p}{\rho_0^В} \right) \right] \rho_0^{\text{Щ}}$$

Пример. Рассчитайте состав бетона марки М300 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 350 кг; щебень — 1216 кг; песок — 564 кг; вода — 192 кг;

а_п = 12 %; N_{шщ} = 23,5 % (по результатам ситового анализа).

Решение

Исходные данные для расчета представлены в табл. 10.

Таблица 10

Исходные данные для расчета

Материалы	Исходные данные		
	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{\text{ШП}} = 2,4$	$M_K^{\text{ШП}} = 3,96$	—
Шлаковый щебень	$\rho_0^{\text{ШЩ}} = 2,4$	—	—
Зола-унос	$\rho_0^{ЗУ} = 2,14$	—	НГ _{ЗУ} = 30
Щебень	$\rho_0^{\text{Щ}} = 2,68$	—	—
Песок	$\rho_0^П = 2,64$	$M_K^П = 1,32$	—
Цемент	$\rho_0^Ц = 3,1$	—	—

Поскольку в составе золошлаковой смеси содержание золы составляет 12 %, расчет состава ведется по следующей схеме (схема 1):

1. Определяют содержание шлакового песка:

$$C = \frac{2,67 - M_K^{\text{II}}}{M_K^{\text{III}} - M_K^{\text{II}}} = \frac{2,67 - 1,32}{3,96 - 1,32} = 0,51 \%$$

2. Рассчитывают количество шлакового песка, вводимого в бетонную смесь, с целью обеспечения оптимальной гранулометрии мелкого заполнителя:

$$\text{ШП} = \text{П} \cdot C = 564 \cdot 0,51 = 288 \text{ кг.}$$

Общий расход ЗШС, кг на 1 м³ бетона:

$$\text{ЗШС}_p = 100 \frac{\text{ШП}}{[100 - (N_{\text{шп}} + a_n)]} = 100 \cdot 288 / [100 - (23,5 + 12)] = 446 \text{ кг.}$$

Количество золы, введенной вместе ЗШС:

$$\text{ЗУ} = \text{ЗШС}_p \frac{a_n}{1000} = 446 \frac{12}{100} = 54 \text{ кг.}$$

Количество шлакового щебня, кг, вводимого в бетон в составе ЗШС:

$$\text{ШЩ} = \text{ЗШС}_p - \text{ШП} - \text{ЗУ} = 446 - 288 - 54 = 104 \text{ кг.}$$

3. Сравнивают суммарный абсолютный объем шлакового песка и золы с абсолютным объемом кварцевого песка в исходном составе бетона:

$$(V_{\text{min}} + V_{\text{зу}}) = 288/2,4 + 54/2,14 = 120 + 25 = 145 \text{ л;}$$

$$V_{\text{п}} = 564/2,64 = 214 \text{ л.}$$

Поскольку $(V_{\text{min}} + V_{\text{зу}}) < V_{\text{п}}$,

$$\text{П}_p = \left(\frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{п}}} - \frac{\text{ШП}}{\rho_0^{\text{шп}}} - \frac{\text{ЗУ}}{\rho_0^{\text{зу}}} \right) \rho_0^{\text{п}} = \left(\frac{564}{2,64} - \frac{288}{2,14} - \frac{54}{2,14} \right) 2,64 = 180 \text{ кг.}$$

4. Определяют изменение расхода воды по формуле

$$B_p = B = 192 \text{ кг,}$$

т.е. расход воды равен расходу ее в исходном составе.

5. Поскольку $\text{ЗУ} < 0,2\text{Ц}$ ($54 < 70$) и $\text{НГ}_{\text{зу}} < 32$, расход цемента по сравнению с исходным снижают на 10 %:

$$\text{Ц}_p = \text{Ц} - 0,1\text{Ц} = 350 - 35 = 315 \text{ кг.}$$

6. Определяют расчетное количество щебня:

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{\text{Ц}_p}{\rho_0^{\text{ц}}} + \frac{\text{ШЩ}}{\rho_0^{\text{шщ}}} + \frac{\text{ШП}}{\rho_0^{\text{шп}}} + \frac{\text{ЗУ}}{\rho_0^{\text{зу}}} + \frac{\text{П}_p}{\rho_0^{\text{п}}} + \frac{B_p}{\rho_0^{\text{б}}} \right) \right] \rho_0^{\text{щ}};$$

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{315}{3,1} + \frac{104}{2,4} + \frac{288}{2,4} + \frac{54}{2,14} + 2,64 + \frac{192}{1} \right) \right] 2,68 = 1052 \text{ кг.}$$

Расчетный расход материалов на 1 м³: цемент — 315 кг; щебень — 1052 кг; песок — 180 кг; ЗШС — 446 кг; песок — 192 л.

При использовании ЗШС, содержащей свыше 15 % золы-уноса, расчет расхода материалов на 1 м³ бетона производят в следующем порядке:

1. Определяют суммарное содержание шлакового песка и золы, кг, которое необходимо для полной замены кварцевого песка в исходном составе бетона:

$$\text{ШПЗ} = \Pi \frac{\rho_0^{\text{ШПЗ}}}{\rho_0^{\text{п}}}$$

2. Рассчитывают плотность смеси шлакового песка и золы, кг/м³:

$$\rho_0^{\text{ШПЗ}} = \frac{[(A_{0,16} - N_{\text{ШЩ}}) \rho_0^{\text{ШП}} + a_{\text{п}} \cdot \rho_0^{\text{ЗУ}}]}{(100 - N_{\text{ШЩ}})},$$

где $A_{0,16}$ — полный остаток на сите 0,16 мм, характеризующий содержание шлаковых зерен в золошлаковой смеси, % по массе;

$N_{\text{ШЩ}}$ — содержание шлакового щебня в золошлаковом сырье, численно равное полному остатку на сите с отверстием 5 или 2,5 мм, % по массе;

$a_{\text{п}}$ — содержание пылевидной золы в золошлаковом сырье, % по массе.

3. Рассчитывают общий расход золошлаковой смеси, кг на 1 м³ бетона:

$$\text{ЗШС}_p = 100 \cdot \text{ШПЗ} / [100 - N_{\text{ШЩ}}].$$

4. Определяют количество золы, кг, введенной вместе с ЗШС, кг:

$$\text{ЗУ} = \text{ЗШС}_p \frac{a_{\text{п}}}{100}.$$

5. Определяют количество шлакового песка, вводимого в бетон с золошлаковой смесью, кг:

$$\text{ШП} = \text{ШПЗ} - \text{ЗУ}.$$

6. Находят количество шлакового щебня, кг, вводимого в бетон в составе ЗШС, кг:

$$\text{ШЩ} = \text{ЗШС}_p - \text{ШПЗ}.$$

7. Назначают расход воды и цемента на 1 м³ бетона в соответствии с указаниями табл. 8 и 9.

8. Находят расход щебня, оставшегося в составе бетона после частичной его замены шлаковым, кг:

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{\text{Ц}}{\rho_0^{\text{ц}}} + \frac{\text{ШЩ}}{\rho_0^{\text{ШЩ}}} + \frac{\text{ШП}}{\rho_0^{\text{ШП}}} + \frac{\text{ЗУ}}{\rho_0^{\text{ЗУ}}} + \frac{\text{ШПЗ}}{\rho_0^{\text{ШПЗ}}} + \frac{V_p}{\rho_0^{\text{В}}} \right) \right] \rho_0^{\text{Щ}}.$$

Пример. Рассчитайте состав бетона марки М300 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 350 кг; щебень — 1216 кг; песок — 564 кг; вода — 192 кг;

$a_{\text{п}} = 16\%$; $N_{\text{ШЩ}} = 23,5\%$ (по результатам ситового анализа); $A_{0,16} = 80\%$.

Решение

Исходные данные представлены в табл. 11.

Расчет состава ведется по следующей схеме (схема 2):

1. Определяют суммарное содержание шлакового песка и золы, которое необходимо для полной замены кварцевого песка в исходном составе бетона, кг:

$$\text{ШПЗ} = \Pi \frac{\rho_0^{\text{ШПЗ}}}{\rho_0^{\text{п}}} = 564 \frac{2,22}{2,64} = 474,27 \text{ кг}.$$

Исходные данные

Материалы	Исходные данные		
	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{\text{ШП}} = 2,4$	$M_K^{\text{ШП}} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{\text{ШЩ}} = 2,4$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{\text{ЗУ}} = 2,14$	–	$НГ_{\text{ЗУ}} = 30$
Щебень	$\rho_0^{\text{Щ}} = 2,68$	–	–
Песок	$\rho_0^{\text{П}} = 2,64$	$M_K^{\text{П}} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{\text{Ц}} = 3,1$	–	–

2. Рассчитывают плотность смеси шлакового песка и золы:

$$\rho_0^{\text{ШПЗ}} = \frac{[(A_{0,16} - N_{\text{ШЩ}}) \rho_0^{\text{ШП}} + a_{\text{П}} \cdot \rho_0^{\text{ЗУ}}]}{(100 - N_{\text{ШЩ}})} = \frac{(80 - 23,5) \cdot 2,4 + 16 \cdot 2,14}{(100 - 23,5)} = 2,22 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

3. Находят общий расход золошлаковой смеси:

$$\text{ЗШС}_p = 100 \frac{\text{ШПЗ}}{[100 - N_{\text{ШЩ}}]} = \frac{100 \cdot 474,27}{100 - 23,5} = 619,96 \text{ кг на } 1 \text{ м}^3 \text{ бетона.}$$

4. Определяют количество золы, кг, введенной с ЗШС:

$$\text{ЗУ} = \text{ЗШС}_p \frac{a_{\text{П}}}{100} = 619,96 \frac{16}{100} = 99,2 \text{ кг.}$$

5. Находят количество шлакового песка, вводимого в бетон с золошлаковой смесью:

$$\text{ШП} = \text{ШПЗ} - \text{ЗУ} = 474,27 - 99,2 = 375 \text{ кг.}$$

6. Определяют количество шлакового щебня, кг, вводимого в бетон в составе ЗШС:

$$\text{ШЩ} = \text{ЗШС}_p - \text{ШПЗ} = 619,6 - 474,27 = 145,72 \text{ кг.}$$

7. Находят расход воды на 1 м³ бетона, который увеличивается, так как ЗУ > 0,2Ц:

$$V_p = V + \frac{\text{ЗУ} - 0,2\text{Ц}}{8} = 192 + \frac{99,2 - 0,2 \cdot 350}{8} = 195,65 \text{ л.}$$

8. Определяют расход цемента, который снижается за счет улучшения гранулометрического состава и введения активного микронаполнителя:

$$\text{Ц}_p = \text{Ц} - 0,12\text{Ц} = 350 - 0,17 \cdot 350 = 290,5 \text{ кг.}$$

9. Находят расход щебня, оставшегося в составе бетона после частичной его замены, кг, по формуле

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{\text{Ц}}{\rho_0^{\text{Ц}}} + \frac{\text{ШЩ}}{\rho_0^{\text{ШЩ}}} + \frac{\text{ШП}}{\rho_0^{\text{ШП}}} + \frac{\text{ЗУ}}{\rho_0^{\text{ЗУ}}} + \frac{\text{ШПЗ}}{\rho_0^{\text{ШПЗ}}} + \frac{V_p}{\rho_0^{\text{В}}} \right) \right] \rho_0^{\text{Щ}}, \quad (1)$$

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{290,5}{3,1} + \frac{145,72}{2,4} + \frac{275}{2,4} + \frac{99,2}{2,14} + \frac{474,27}{2,22} + \frac{195,65}{1} \right) \right] 2,68 = 545,89 \text{ кг.}$$

Расчетный расход материалов на 1 м³: цемент — 290,5 кг; щебень — 545,89 кг; ЗШС — 619,96 кг; вода — 195,65 л.

Практическая работа 4
РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ИЛИ ШЛАКА
ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА И ПРИРОДНОГО ЩЕБНЯ

Данный расчет применим при использовании ЗШС и шлака с содержанием пылевидной золы не более 35 %.

В основу расчета положена замена в исходном составе определенной доли щебня или песка из природных материалов золошлаковым сырьем путем перерасчета состава с учетом фактической гранулометрии используемого сырья.

Замену природного щебня осуществляют в пределах 20–50 %. Количество заменяемого песка определяют расчетом.

На основе технико-экономического анализа рекомендуется заменять 40–50, 30–40 и 10–20 % природного щебня шлаковым при содержании в золошлаковой смеси зерен крупнее 3 мм в количестве свыше 50 %, 40–50 % и до 40 %, соответственно.

В качестве шлакового щебня целесообразно принять зерна крупнее 3 мм, т.е. остаток на сите 2,5 мм ($N_{\text{ШЩ}} \rightarrow A_{2,5}$).

Определение состава бетона ведется по следующей схеме:

1. Определяют количество шлакового щебня, кг, вводимого с целью замены части природного щебня по формуле

$$\text{ШЩ} = \text{Щ} \cdot l \frac{\rho_0^{\text{ШЩ}}}{\rho_0^{\text{Щ}}},$$

где l — доля природного щебня (по массе), заменяемого шлаковым.

2. Рассчитывают общее количество ЗШС, кг, вводимой в бетонную смесь (с учетом содержащихся в ней песчаной и пылевидной фракций):

$$\text{ЗШС}_p = \frac{100 \cdot \text{ШЩ}}{N_{\text{ШЩ}}}.$$

3. Определяют абсолютный объем ЗШС, л:

$$V_{\text{ЗШС}_p} = \frac{\text{ЗШС}_p}{\rho_0^{\text{ЗШС}}}.$$

4. Находят среднюю плотность ЗШС:

$$\rho_0^{\text{ЗШС}} = [N_{\text{ШЩ}} \cdot \rho_0^{\text{ШЩ}} + (A_{0,16} - N_{\text{ШЩ}}) \rho_0^{\text{ШП}} + a_{\text{п}} \cdot \rho_0^{\text{ЗУ}}] / 100.$$

5. Сравнивают абсолютный объем ЗШС с суммарным абсолютным объемом щебня, заменяемого золошлаковой смесью и песком, который содержится в исходном составе бетона.

Если выполняется условие

$$V_{\text{ЗШС}_p} < \left(\text{Ш} \frac{1}{\rho_0^{\text{Щ}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{П}}} \right),$$

рассчитывают количество кварцевого песка, оставшегося в исходном составе:

$$\text{П}_p = \left[\frac{V_{\text{Пуг}} \cdot V_{\text{ЗШС}'}}{V_{\text{ЗШС}'} + V_{\text{Пуг}}} \right] \rho_0^{\text{П}}.$$

При использовании топливного шлака расход цемента и воды уменьшают на 6–10 % по сравнению с исходным составом. При использовании ЗШС расходы воды и цемента назначают по табл. 8 и 9. Расчетный расход щебня определяют по формуле (1).

Пример. Рассчитайте состав бетона марки М300 с использованием ЗШС для замены в исходном составе 50 % гранитного щебня ($l = 0,5$).

Расход материалов на 1 м³ бетона: цемент — 350 кг, щебень — 1266 кг, песок — 594 кг, вода — 192 л.

Характеристика исходных материалов:

$$\rho_0^{\text{II}} = 3,1 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3}; \rho_0^{\text{III}} = 2,68 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3}; \rho_0^{\text{П}} = 2,64 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3}; \rho_0^{\text{ШЩ}} = 2,4 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3};$$

$$\rho_0^{\text{ШП}} = 2,4 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3}; \rho_0^{\text{ЗУ}} = 2,14 \frac{\Gamma}{\text{CM}^3}; N_{\text{ШЩ}} \rightarrow A_{2,5} = 48 \%; A_{0,16} = 80 \%.$$

Решение

$$\text{ШЩ} = \text{Щ} \cdot l \frac{\rho_0^{\text{ШЩ}}}{\rho_0^{\text{Щ}}} = 1266 \cdot 0,5 \frac{2,4}{2,68} = 567 \text{ кг};$$

$$\text{ЗШС}_p = \frac{100 \cdot \text{ШЩ}}{N_{\text{ШЩ}}} = \frac{100 \cdot 567}{48} = 1181 \text{ кг};$$

$$\rho_0^{\text{ЗШС}} = \frac{48 \cdot 2,4 + (80 - 48) \cdot 2,4 + 20 \cdot 2,14}{100} = 2,35;$$

$$V_{\text{ЗШС}_p} = \frac{\text{ЗШС}_p}{\rho_0^{\text{ЗШС}}} = \frac{1181}{2,35} = 503 \text{ л};$$

$$V_{\text{ЗШС}_p} < \left(\text{Щ} \frac{1}{\rho_0^{\text{Щ}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{П}}} \right);$$

$$\text{Щ} \frac{1}{\rho_0^{\text{Щ}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{П}}} = \frac{1266 \cdot 0,5}{2,68} + \frac{594}{2,64} = 461 \text{ л}.$$

Поскольку $503 > 461$, принимаем меньшее значение:

$$\text{ЗШС}' = \left(\text{Щ} \frac{1}{\rho_0^{\text{Щ}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{П}}} \right) \rho_0^{\text{ЗШС}} = \left(\frac{1266 \cdot 0,5}{2,68} + \frac{594}{2,64} \right) 2,35 = 1083 \text{ кг};$$

$a_{\text{п}} = 20 > 15$, следовательно, $\text{П}_p = 0$; $\text{ЗШС} = \text{ЗШС}' = 1083 \text{ кг}$.

$$\text{ЗУ} = \frac{\text{ЗШС}_p \cdot a_{\text{п}}}{100} = \frac{1083 \cdot 20}{100} = 217 \text{ кг}.$$

Поскольку $\text{ЗУ} > 0,2\text{Ц}$ ($217 > 70$) и $\text{НГ}_{\text{ЗУ}} < 32$, расход воды определен из выражения

$$V_p = V + \frac{\text{ЗУ} - 0,2\text{Ц}}{8} = 192 + \frac{217 - 0,2 \cdot 350}{8} = 210 \text{ л};$$

$$\text{Ц}_p = \text{Ц} - 0,12\text{Ц} = 350 - 0,12 \cdot 350 = 308 \text{ кг};$$

$$\text{Щ}_p = \left[970 - \left(\frac{\text{Ц}_p}{\rho_0^{\text{Ц}}} + \frac{\text{ЗШС}_p}{\rho_0^{\text{ЗШС}}} + \frac{\text{П}_p}{\rho_0^{\text{П}}} + \frac{V_p}{\rho_0^{\text{В}}} \right) \right] \rho_0^{\text{Щ}} = \left[970 - \left(\frac{308}{3,1} + \frac{1083}{2,35} + 0 + 192 \right) \right] 2,68 = 584 \text{ кг}.$$

Расчетный расход материалов на 1 м³ бетона: цемент – 308 кг, щебень – 584 кг, ЗШС – 1083 кг, вода – 210 л.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Тема 1. Расчет состава бетона с добавкой золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкого заполнителя и структуры бетона

Задача 1.1. Рассчитайте состав бетона класса В22,5 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав (табл. 1.1) с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 350 кг; щебень — 1216 кг; песок — 564 кг; вода — 192 кг; $a_{п} = 16 \%$; $N_{шщ} = 23,5 \%$ (по результатам ситового анализа); $A_{0,16} = 80 \%$.

Таблица 1.1

Исходные данные

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{шп} = 2,4$	$M_{к}^{шп} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{шщ} = 2,4$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{зу} = 2,14$	–	$НГ_{зу} = 30$
Щебень	$\rho_0^{щ} = 2,68$	–	–
Песок	$\rho_0^{п} = 2,64$	$M_{к}^{п} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{ц} = 3,1$	–	–

Задача 1.2. Рассчитайте состав бетона класса В15 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав (табл. 1.2) с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 300 кг; щебень — 1200 кг; песок — 560 кг; вода — 180 кг; $a_{п} = 20 \%$; $N_{шщ} = 23,5$ (по результатам ситового анализа); $A_{0,16} = 85 \%$.

Таблица 1.2

Исходные данные

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{шп} = 2,2$	$M_{к}^{шп} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{шщ} = 2,2$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{зу} = 2,11$	–	$НГ_{зу} = 20$
Щебень	$\rho_0^{щ} = 2,65$	–	–
Песок	$\rho_0^{п} = 2,64$	$M_{к}^{п} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{ц} = 3,1$	–	–

Задача 1.3. Рассчитайте состав бетона класса В 22,5 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав (табл. 1.3) с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 400 кг; щебень — 1615 кг; песок — 765 кг; вода — 245 кг; $a_{п} = 18 \%$; $N_{шщ} = 23,5 \%$ (по результатам ситового анализа); $A_{0,16} = 90 \%$.

Таблица 1.3

Исходные данные

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{\text{шп}} = 2,3$	$M_K^{\text{шп}} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{\text{шщ}} = 2,3$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{\text{зу}} = 2,18$	–	$НГ_{\text{зу}} = 20$
Щебень	$\rho_0^{\text{щ}} = 2,7$	–	–
Песок	$\rho_0^{\text{п}} = 2,68$	$M_K^{\text{п}} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{\text{ц}} = 3,2$	–	–

Задача 1.4. Рассчитайте состав бетона класса В15 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав (табл. 1.4) с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 300 кг; щебень — 1200 кг; песок — 560 кг; вода — 180 кг; $a_{\text{п}} = 10\%$; $N_{\text{шщ}} = 23,5\%$ (по результатам ситового анализа).

Таблица 1.4

Исходные данные

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{\text{шп}} = 2,4$	$M_K^{\text{шп}} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{\text{шщ}} = 2,4$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{\text{зу}} = 2,14$	–	$НГ_{\text{зу}} = 30$
Щебень	$\rho_0^{\text{щ}} = 2,68$	–	–
Песок	$\rho_0^{\text{п}} = 2,64$	$M_K^{\text{п}} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{\text{ц}} = 3,1$	–	–

Задача 1.5. Рассчитайте состав бетона класса В22,5 с использованием золошлаковой смеси для улучшения гранулометрии мелкозернистой составляющей бетона.

Исходный состав (табл. 1.5) с расходом материалов на 1 м³ бетона: цемент — 350 кг; щебень — 1216 кг; песок — 564 кг; вода — 192 кг; $a_{\text{п}} = 12\%$; $N_{\text{шщ}} = 23,5\%$ (по результатам ситового анализа).

Таблица 1.5

Исходные данные

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль крупности	Нормальная густота ЗУ, %
Шлаковый песок	$\rho_0^{\text{шп}} = 2,2$	$M_K^{\text{шп}} = 3,96$	–
Шлаковый щебень	$\rho_0^{\text{шщ}} = 2,2$	–	–
Зола-унос	$\rho_0^{\text{зу}} = 2,11$	–	$НГ_{\text{зу}} = 20$
Щебень	$\rho_0^{\text{щ}} = 2,65$	–	–
Песок	$\rho_0^{\text{п}} = 2,64$	$M_K^{\text{п}} = 1,32$	–
Цемент	$\rho_0^{\text{ц}} = 3,1$	–	–

Тема 2. Расчет мелкозернистого бетона при использовании золошлаковой смеси взамен песка

Задача 2.1. Подберите бетон класса В30 на цементе марки 500 и золошлаковой смеси, содержащей 24 % золы. Жесткость бетонной смеси — 4–6 с.

Задача 2.2. Подберите бетон класса В22,5 на цементе марки 400 и золошлаковой смеси, содержащей 30 % золы. Жесткость бетонной смеси — 10–12 с.

Задача 2.3. Подберите бетон класса В15 на цементе марки 300 и золошлаковой смеси, содержащей 16 % золы. Жесткость бетонной смеси — 6–8 с.

Задача 2.4. Подберите бетон класса В22,5 на цементе марки 500 и золошлаковой смеси, содержащей 35 % золы. Жесткость бетонной смеси — 10–12 с.

Задача 2.5. Подберите бетон класса В15 на цементе марки 400 и золошлаковой смеси, содержащей 24 % золы. Жесткость бетонной смеси — 8–10 с.

Тема 3. Определение оптимальной дозировки золы в тяжелых бетонах

Задача 3.1. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне класса В15 при исходном составе: цемент — 250 кг, щебень — 900 кг, песок — 420 кг, вода — 135 л на 1 м³ бетона.

Задача 3.2. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне класса В30 при исходном составе: цемент — 450 кг, щебень — 1400 кг, песок — 650 кг, вода — 215 л на 1 м³ бетона.

Задача 3.3. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне класса В40 при исходном составе: цемент — 550 кг, щебень — 1600 кг, песок — 710 кг, вода — 250 л на 1 м³ бетона.

Задача 3.4. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне класса В22,5 при исходном составе: цемент — 350 кг, щебень — 1260 кг, песок — 630 кг, вода — 190 л на 1 м³ бетона.

Задача 3.5. Определите оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне класса В30 при исходном составе: цемент — 500 кг, щебень — 1600 кг, песок — 710 кг, вода — 250 л на 1 м³ бетона.

Тема 4. Расчет состава тяжелого бетона с заполнителем из золошлаковой смеси

Задача 4.1. Подберите состав тяжелого бетона класса В22,5 на цементе марки М400 с заполнителем из золошлаковой смеси насыпной плотностью 1600 кг/м³, содержащей 40 % зерен, проходящих через сито № 0,315, и 5 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с ОК 9 см приготавливается в смесителях принудительного действия. Предусмотрена ТВО, возраст бетона — три месяца.

Задача 4.2. Подберите состав тяжелого бетона класса В30 на цементе марки М500 с заполнителем из золошлаковой смеси насыпной плотностью 1600 кг/м³, содержащей 45 % зерен, проходящих через сито № 0,315, и 7 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с ОК 6 см обрабатывается в смесительных агрегатах типа бегунов. Предусмотрена ТВО, возраст бетона — один месяц.

Задача 4.3. Подберите состав тяжелого бетона класса В15 на цементе марки М300 с заполнителем из золошлаковой смеси насыпной плотностью 1400 кг/м³, содержащей 25 % зерен, проходящих через сито № 0,315, и 10 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с Ж7 приготавливается в смесителях принудительного действия. Предусмотрена ТВО, возраст бетона — три месяца.

Задача 4.4. Подберите состав тяжелого бетона класса В22,5 на цементе марки М400 с заполнителем из золошлаковой смеси насыпной плотностью 1700 кг/м³, содержащей 48 % зерен, проходящих через сито № 0,315, и 8 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с Ж5 приготавливается в смесителях принудительного действия. Предусмотрена ТВО, возраст бетона — один месяц.

Задача 4.5. Подберите состав тяжелого бетона класса В30 на цементе марки М550 с заполнителем из золошлаковой смеси насыпной плотностью 1500 кг/м³, содержащей 25 % зерен, проходящих через сито № 0,315, и 5 % несгоревших частиц. Бетонная смесь с ОК 3 см обрабатывается в смесительных агрегатах типа бегунов. Предусмотрена ТВО, возраст бетона — один месяц.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Тема «Технико-экономические предпосылки повышения эффективности производства и охраны окружающей среды»:

1. Особенности развития промышленности строительных материалов и конструкций.
2. Предпосылки развития промышленной базы производства строительных материалов.
3. Тенденции изменения структуры производства строительных материалов и конструкций на перспективу.
4. Развитие предприятий по производству строительных материалов.
5. Накопление промышленных отходов.
6. Классификация предприятий по организационно-правовым формам. Их особенности и преимущества.
7. Системные подходы к управлению производством в рыночных условиях.

Тема «Проблемы и задачи повышения эффективности строительных материалов»:

1. Эффективность производства.
2. Показатели эффективности производства.
3. Критерии эффективности строительных материалов.
4. Выбор оптимальной области применения строительных материалов.
5. Безотходные технологии снижения теплопотерь как фактор экономии теплоэнергоресурсов (ТЭР).
6. Материально-техническая база предприятий и рабочей силы.
7. Технические критерии развития материальной базы производства.
8. Степень экономической устойчивости предприятия.

Тема «Использование техногенного сырья как решение экологических и социальных проблем»:

1. Экологический ущерб накопленных техногенных отходов.
2. Влияние накопленных различных видов отходов на здоровье населения.
3. Виды токсичных и канцерогенных отходов и пути купирования их негативного влияния.
4. Способы утилизации отходов.
5. Взаимосвязь накопленных отходов на рост социальной напряженности.
6. Накопление отходов — источник дополнительных экономических затрат.
7. Примеры использования техногенных отходов в производстве материалов.

Тема «Использование вторичного сырья для производства строительных материалов в качестве альтернативных природных сырьевых ресурсов»:

1. Понятие вторичного сырья.
2. Источники для производства вторичного сырья.
3. Классификация вторичного сырья по химической природе, виду, составу, структуре.
4. Примеры выпуска эффективных строительных материалов на основе вторичного сырья.
5. Основные технологические способы переработки отходов во вторичное сырье.
6. Влияние характеристик вторичного сырья на свойства строительных материалов.
7. Использование вторичных ресурсов в качестве экономической альтернативы природным сырьевым материалам.
8. Концепции ноосферы, взаимосвязь общества и природы.

Тема «Промышленность строительных материалов как наиболее материалоемкая отрасль в решении проблемы разработок малоотходных и безотходных технологий»:

1. Классификация, характеристика отходов как источника вторичного сырья для обеспечения производства строительных материалов.
2. Использование отходов металлургической промышленности в производстве строительных материалов.
3. Влияние химической природы и состава отходов на выбор технологии их переработки во вторичное сырье для производства строительных материалов.
4. Проблемы, связанные с образованием ТБО, влияние их состава на вовлечение в производство строительных материалов.
5. Примеры строительных материалов на основе отходов сельского хозяйства.
6. Виды продукции строительных материалов на основе техногенных отходов.
7. Способы модификации исходных вторичных продуктов для получения эффективных строительных материалов.

Тема «Интеграция и диверсификация предприятий как фактор повышения эффективности производства строительных материалов на основе малоотходных и безотходных технологий»:

1. Понятия интеграции, вертикальной интеграции, горизонтальной интеграции, конгломератной интеграции.
2. Влияние вертикальной и горизонтальной интеграции на эффективность работы предприятия.
3. Мотивы использования вертикальной интеграции при объединении фирм для экономического обоснования перехода на малоотходные технологии.
4. Диверсификация производства как самостоятельный мотив перехода к эффективным малоотходным и безотходным технологиям.
5. Взаимодействие экономических вложений производителя и торговца для реализации продукции малоотходных и безотходных технологий при их продвижении на рынок строительных материалов.
6. Виды вертикальной интеграции и вертикальных контактов на примере предприятий строительной индустрии.
7. Последствия вертикальной интеграции на экономическое обоснование перехода к малоотходным и безотходным технологиям строительных материалов.

Тема «Технологические и экологические аспекты эффективности строительных материалов»:

1. Оптимизация пористой структуры и твердой фазы материалов — факторы снижения материалоемкости в стройиндустрии.
2. Ресурсосберегающие решения.
3. Использование промышленных отходов — важнейший фактор экономии сырьевых ресурсов и улучшения экологии.
4. Использование отходов и побочных продуктов промышленного производства.
5. Классификация отходов.
6. Выбор рационального направления утилизации промышленных отходов.
7. Информационные технологии управления строительной индустрией.

Тема «Эффективность и жизненный цикл проектов, материалов и изделий строительной индустрии»:

1. Предынвестиционная стадия проекта.
2. Показатели экономической эффективности.
3. Чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма рентабельности, срок окупаемости.
4. Порог рентабельности.
5. Рациональное использование инвестиционных ресурсов, проекты, позволяющие получить наибольшие экономические и социальные результаты.
6. Внедрение инновационных технологий и материалов.

Библиографический список

Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.И. Буравчук. — Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2009. — 224 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47111>. — ISBN 978-5-9275-0681-1.

Данилович И.Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов / И.Ю. Данилович, Н.А. Сканави. — Москва : Высшая школа, 1988. — 72 с. — ISBN 5-06-001280-8.

Ефименко И.Б. Экономика отрасли (строительство) : учебное пособие для вузов / И.Б. Ефименко, А.Н. Плотников. — Москва : Вузовский учебник, 2013. — 358 с. — ISBN 978-5-9558-0102-5.

Стрелков А.К. Охрана окружающей среды и экология гидросферы [Электронный ресурс] : учебник / А.К. Стрелков. — Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет ; ЭБС АСВ, 2013. — 488 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/20495>. — ISBN 978-5-9585-0523-4.

Наназашвили И.Х. Ресурсосбережение в строительстве / И.Х. Наназашвили. — Москва : Изд-во АСВ, 2012. — 488 с. — ISBN 978-5-93093-860-9.

Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций. — Москва : Стройиздат, 1986.

Ферронская А.В. Лабораторный практикум по курсу «Технология бетонных и железобетонных изделий» / А.В. Ферронская, В.И. Стамбулко. — Москва, 1988. — ISBN 5-06-001343-X.