НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации

по применению
в бетонах
золы,
шлака
и золошлаковой
смеси
тепловых
электростанций



Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Требования к материалам для бетона 6
3. Отбор золошлаковых материалов на электростанциях и отвалах золошлаковой смеси 12
4. Обследование отвала гидрозолошлакоудаления для разработки золошлаковой смеси 13
5. Транспортирование, приемка и хранение золошлаковых материалов на предприятиях потребителя 13
6. Применение золошлаковых материалов в бетонах . . . 14
7. Подбор состава бетона 15
8. Приготовление бетонной смеси, формование и твердение конструкций 17
9 Особенности технологии изготовления конструкций из легких бетонов 18
10. Контроль качества и методы испытания материалов и бетона 20
Приложение 1. Установка сухого отбора золы из электрофильтров Западно-Сибирской ТЭС 22
Приложение 2. Установка сухого отбора золы на Алексинской ТЭС 23
Приложение 3. Установка для получения оптимального состава золошлаковой смеси на Углегорской ГРЭС 25
Приложение 4. Технологическая схема разработки золоотвала Тольяттинской ТЭС 26
Приложение 5. Технологическая схема силосного склада золы емкостью 120 т 28
Приложение 6. Схемы реконструкции бетоносмесительных заводов и устройств для использования золы ТЭС 29
Приложение 7. Рекомендации по складированию, транспортированию и дозированию золошлаковой смеси и модернизации складов заполнителей и бетоносмесительных отделений . . 35
Приложение 8. Рекомендации по подбору состава тяжелого бетона для гидротехнических сооружений с добавкой золы взамен части цемента 40
Приложение 9. Рекомендации по подбору состава тяжелого бетона с применением золы и золошлаковой смеси 44
Приложение 10. Рекомендации по расчету и оптимизации составов тяжелых бетонов при применении золы, шлака и золошлаковой смеси 47
Приложение 11. Рекомендации по назначению и подбору составов легких бетонов с применением золошлаковых материалов 64
Приложение 12. Рекомендации по составам жаростойкого бетона с добавкой золы 68
Приложение 13. Ориентировочные составы бетонов с применением золошлаковых материалов, получаемых от сжигания углей различных месторождений 70
Приложение 14. Применение гидроудаленной золы Южно-Кузбасской ГРЭС в виде шлама в производстве изделий крупнопанельного домостроения 80
Список литературы 81

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (НИИЖБ)
ГОССТРОЯ СССР

Рекомендации

по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций



Москва Стройиздат 1986

УДК 666.973.2+691.33

Рекомендованы к изданию решением секции технологии бетона Научно-технического совета НИИЖБ Госстроя СССР.

Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций / НИИЖБ. — М.: Стройиздат, 1986. — 80 с.

Содержат указания по использованию сухой золы-уноса, шлаков плотного и пористого раздельного удаления и золошлаковой смеси совместного гидроудаления из отвалов, получаемых при сжигании топлива различных видов и месторождений в топках котлов тепловых электростанций в пылевидном состоянии.

Для инженерно-технических работников предприятий сборного железобетона и строек, а также проектных и научно-исследовательских организаций.

Табл. 40, илл. 32.

НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ В БЕТОНАХ ЗОЛЫ, ШЛАКА И ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией *Л. Г. Бальян*
Редактор *И. В. Гуляева*
Мл. редактор *М. Л. Щиффер*
Технические редакторы *Н. В. Высотина, О. С. Александрова*
Корректор *С. А. Зудилина*
Н/К

Сдано в набор 18.11.85. Подписано в печать 17.02.86. Т-02383.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 1. Гарнитура «Литературная».
Печать высокая. Усл. печ. л. 4,20. Усл. кр.-отт. 4,51. Уч.-изд. л. 5,19.
Тираж 12.400 экз. Изд. № XII—1565. Заказ 1072. Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а.
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129041, Москва, Б. Переяславская, 46.

Р 3203000000—249
047(01)—86 Инструкт.-нормат., I вып. — 102—86

© Стройиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Рекомендациях приведены требования к золе-уносу, плотному и пористому шлаку и золошлаковой смеси; даны ссылки на ГОСТы и ТУ на все составляющие бетон материалы; а также указания по применению твердых отходов ТЭС в тяжелых, легких и жаростойких бетонах; описаны различные методы подбора составов бетонов с применением этих отходов; приведены таблицы составов бетонов, разработанных в различных организациях и проверенных в производственных условиях; даны рекомендации по сбору, хранению и транспортированию отходов на ТЭС и бетоносмесительных заводах-потребителях; приведены рекомендации по оценке качества золошлаковой смеси и оконтуриванию участков (полей) на отвалах пригодных для разработки; описаны схемы реконструкции действующих бетоносмесительных заводов с целью применения на них сухой золы-уноса и золошлаковой смеси.

Рекомендации разработаны НИИЖБ Госстроя СССР (кандидаты техн. наук В. М. Медведев, А. И. Ларионов, инженеры Ю. М. Романов, А. Н. Вахрушева, Т. И. Фролова, кандидаты техн. наук В. Ф. Степанова, А. П. Тарасова, Н. П. Жданова) совместно с ВНИИЖелезобетона МПСМ СССР (кандидаты техн. наук В. Г. Довжик, И. С. Хаймов, Ю. И. Долинский), Донецким Промстройниипроектом Госстроя СССР (инженеры В. И. Романов, С. Я. Хомутченко, канд. техн. наук В. Г. Брагинский), ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева Минэнерго СССР (кандидаты техн. наук Ц. Г. Гинзбург, В. Б. Судаков, инженеры В. А. Карышева, О. М. Чуракова), Оргэнергостроем Минэнерго СССР (инж. В. Ф. Мигачев), Куйбышевским филиалом Оргэнергостроя Минэнерго СССР (инженеры М. Ф. Козюк, Ю. М. Еренбург, А. Г. Еникеев), Днепропетровским инженерно-строительным институтом Минвуза УССР (канд. техн. наук А. М. Сергеев, чл.-корр. АН УССР Г. Д. Дибров), Новосибирским инженерно-строительным институтом Минвуза РСФСР (канд. техн. наук М. В. Балахнин, инж. А. П. Проталинский) при участии Тульского политехнического института Минвуза РСФСР (кандидаты техн. наук В. П. Куранов, В. М. Уруев), НИЛ ФХММ и ТП Главмоспромстройматериалов Мосгорисполкома (кандидаты техн. наук В. Н. Россовский, А. В. Лифшиц, Л. Б. Гольденберг, инженеры С. Л. Оганесянц, Г. А. Кузнецова, Т. Д. Семенова) комбината «Кузбассшахтострой» Минуглепрома СССР (канд. техн. наук С. И. Павленко).

При составлении Рекомендаций учтены работы Дальневосточного Промстройниипроекта, Новокузнецкого филиала Шахтопроекта, Новокузнецкого отделения Уралниистромпроекта и др.

Все замечания и предложения просим направлять в НИИЖБ по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации содержат указания по применению золы-уноса (далее — золы), шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций в тяжелых, легких (на пористых заполнителях) и жаростойких бетонах на основе портландцемента и шлакопортландцемента при изготовлении сборных и возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений.

1.2. Рекомендации распространяются на все виды бетонов, применяемых в различных областях строительства, за исключением сооружения верхнего слоя покрытия автомобильных дорог и аэродромов, устоев и пролетных строений мостов, оболочек градирен и стволов вытяжных (дымовых) труб, гидротехнических сооружений в частях, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию.

1.3. Зола применяется в качестве добавки с целью замены части цемента в бетоне подводных и внутренних зон массивных гидротехнических сооружений, части цемента и части заполнителей в бетонах тяжелом, включая мелкозернистый, и легком.

Введение оптимального количества золы или золошлаковой смеси в бетоны улучшает удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность и может обеспечить морозостойкость бетона до Мрз 100—300, что должно быть подтверждено испытаниями морозостойкости такого бетона. Применение золы не оказывает отрицательного действия на деформации ползучести, усадки и на модуль упругости бетона обычного состава, повышает коррозионную стойкость железобетона и сульфатостойкость бетона.

1.4. Золошлаковая смесь и шлак применяются взамен тяжелых заполнителей природного происхождения (песка, гравия и щебня), легких (пористых) заполнителей искусственного изготовления (керамзит, аглопорит и др.), природного происхождения (пемза, туф и др.) или в сочетании с ними.

Золошлаковая смесь из отвалов содержит зерна крупного и мелкого заполнителей (шлаковый щебень и шлаковый песок), а также пылевидную золу-унос, которая является активным компонентом бетона.

Шлак плотный раздельного удаления, получаемый из расплава путем охлаждения в воде, применяется для обогащения мелких природных песков и как щебень мелкой фракции для тяжелых бето-

нов. Шлак пористый твердого удаления применяется в качестве крупного заполнителя в легких бетонах.

По виду сжигаемого топлива зола, шлак, щебень и песок из него, золошлаковая смесь подразделяются на: антрацитовые, образующиеся при сжигании антрацита, полуантрацита и тощего каменного угля; каменноугольные, образующиеся при сжигании каменного угля, кроме тощего; буроугольные, образующиеся при сжигании бурого угля.

Применение золы, золошлаковой смеси и шлака в качестве заполнителей позволяет получить бетоны с деформативными свойствами, близкими к свойствам бетонов на естественных заполнителях.

1.5. С применением золы, золошлаковой смеси и шлака на цементном вяжущем могут изготавливаться бетоны марок по прочности М50—М500, по водонепроницаемости В2—В12 и по морозостойкости Мрз50—Мрз300, следующих видов:

а) тяжелый или легкий с добавкой золы взамен части цемента, а также части цемента и части заполнителей;

б) мелкозернистый плотностью 1800—2200 кг/м³ на золошлаковой смеси взамен мелкого природного песка;

в) тяжелый с комбинированными заполнителями из золошлаковой смеси или плотного шлака в сочетании с природными заполнителями;

г) легкий с комбинированными заполнителями из золы, золошлаковой смеси или пористого шлака в сочетании с природными или искусственными пористыми заполнителями;

д) жаростойкий с комбинированными заполнителями в сочетании золы с жаростойкими заполнителями;

е) ячеистый.

1.6. Прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и другие физико-механические характеристики бетонов с использованием золошлаковых материалов должны отвечать требованиям государственных стандартов, технических условий и рабочих чертежей на изготовляемые конструкции и возводимые сооружения, что устанавливается проведением соответствующих испытаний контрольных образцов бетона и готовых железобетонных изделий.

1.7. Бетоны с использованием золы и золошлаковых смесей не разрешается применять для конструкций, армированных термически упрочненной сталью, склонной к коррозионному растрескиванию.

1.8. Проектирование конструкций из бетонов с использованием золошлаковых материалов следует выполнять в соответствии со СНиП 2.03.01—84, СНиП 2.03.11—85, СНиП II-56-77, СНиП II-3-79*.

1.9. При использовании золы, золошлаковой смеси и шлаков в легких, жаростойких, ячеистых бетонах и бетоне гидротехнических сооружений следует учитывать рекомендации, приведенные в СНиП

III-15-76, СНиП III-16-80, СНиП III-45-76, СН 156-79, СН 277-80, СН 483-76, СН 488-76 и Руководствах [3, 5].

1.10. При переработке отходов ТЭС и приготовлении бетонов следует соблюдать Правила техники безопасности и производственной санитарии на заводах и заводских полигонах железобетонных изделий. *

2. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ БЕТОНА

2.1. Материалы для приготовления бетона должны отвечать требованиям, изложенным в государственных стандартах на эти материалы.

При несоответствии отдельных составляющих бетон материалов требованиям ГОСТ и ТУ необходимо провести их испытание в бетонах и дать технико-экономическое обоснование целесообразности их применения.

2.2. В качестве вяжущего для приготовления бетонов следует применять портландцемент, портландцемент с минеральными добавками и шлакопортландцемент, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178—76 с изм. и пуццолановый портландцемент по ГОСТ 22266—76 с изм.

2.3. Для приготовления тяжелого бетона следует применять гравий, щебень и песок, удовлетворяющие соответственно ГОСТ 8267—82, ГОСТ 8268—82, ГОСТ 8736—85, ГОСТ 10260—82 и ГОСТ 10268—80.

2.4. Для приготовления легкого бетона следует применять пористые заполнители, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 9757—83, ГОСТ 25820—83 и требованиям стандартов или ТУ на отдельные виды пористых заполнителей.

2.5. Выбор исходных материалов для приготовления жаростойкого бетона следует осуществлять в соответствии с требованиями СН 156-79 и ГОСТ 20955—75 с изм., ГОСТ 20956—76 с изм.

2.6. Зола в зависимости от области применения подразделяется на классы: А — для тяжелого бетона, Б — для легкого бетона и виды: I — для армированных (железобетонных) конструкций, II — для неармированных (бетонных) конструкций, III — для конструкций гидротехнических сооружений.

В зависимости от класса и вида зола должна удовлетворять требованиям ГОСТ 25818—83, приведенным в табл. 1.

Зола улавливается из отходящих газов с помощью электрофильтров, имеет высокую степень дисперсности. В других видах золоуловителей (скрубберы, циклоны) улавливается более крупная зола, которая может быть использована в легких бетонах (зола класса Б), а также в тяжелых бетонах при дополнительном ее измельчении в шаровых или вибромельницах (зола класса А).

Таблица 1

№ п. п.	Показатели	Значения показателей для вида и класса				
		I		II		III
		А	Б	А	Б	А
1	Содержание $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ не менее, % по массе:					
	в антрацитовой и каменноугольной	70	70	Не нормируется		70
	в буроугольной	50	50	—	—	50
2	Содержание сернистых и сернокислых соединений в перерасчете на SO_3 не более, % по массе: в том числе сульфидной серы не более 1%	3	3	3,5	3,5	3
3	Содержание свободного оксида кальция ($CaO_{св}$) не более, % по массе	3	3	5	5	2
4	Содержание оксида магния (MgO) не более, % по массе	5	5	5	5	5
5	Потери при прокаливании (п. п. п.) для золы не более, % по массе:					
	антрацитовой	15	15	20	20	5
	каменноугольной	7	7	10	10	5
	буроугольной	5	5	5	5	3
6	Влажность не более, % по массе	3	3	3	3	3
7	Удельная поверхность, $см^2/г$:					
	не менее	2800	1500	2800	1500	2800
	не более		4000		4000	
8	Остаток на сите № 008 не более, % по массе	15	—	15	—	15

Примечания: 1. Зола, добавляемая к цементу, должна выдерживать равномерность изменения объема в смешанном вяжущем при испытании образцов кипячением в воде. Допускается содержание в золе свободного оксида кальция или оксида магния в количествах, превышающих указанные в таблице, если обеспечивается равномерность изменения объема образцов при испытании их в автоклаве при давлении 2,1 МПа, при этом золу смешивают с цементом в отношении, которое предполагают использовать в бетоне.

2. Для жаростойких бетонов содержание Al_2O_3 должно быть не менее 20%, а п.п.п. — не более 8% по массе (СН 156-79).

3. Удельная поверхность золы для легких бетонов марки М150 и ниже должна составлять, как правило, 1500—4000 $см^2/г$, а для марки бетона М200 и выше — не менее 2500—4000 $см^2/г$.

4. Возможность применения любой золы в случае отклонения от показателей, приведенных в табл. 1, должна быть подтверждена специальными исследованиями.

Таблица 2

Компоненты химического состава, %										Удельная поверхность, $(см^2/г)10^3$	Месторождение
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	$CaO_{св}$	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	п. п. п.		
46—55	22—39	5—17	2—5	До 0,1	0,2—2,4	0,2—1,6	0,2—1	0,1—0,7	0,2—1,3	2—4	Подмосковное
55—58	28—32	9—18	1—6	До 2	0,2—3	0,2—2	1,5—5	0,5—2	0,5—22	2—4	Донбасс
50—64	48—30	4—15	2—10	До 1	0,5—2,5	0,3—2,2	1,3—2,4	0,5—1,3	3—22	1,5—3	Кузбасс
40—55	4—10	6—14	20—25	3—13	3—6	0,9—5	0,3—1,5	0,2—0,5	До 2	1,5—3	Канско-Ачинское, Ирша-Бородинское
21—32	6—11	13—16	34—46	6—13	3,8—6	2,3—9	0,2—0,6	0,2—0,6	До 2,5	1,5—3	Назаровское
33—57	17—29	11—28	3—11	До 1	0,5—3	0,3—1,7	1—3	0,5—1	До 3	1,5—3	Львовско-Волынское
59—61	25—26	5—6	3—4	—	1—1,2	0,8	1,6—1,7	1	4—12	—	Карагандинское
57—65	22—30	2—13	0,3—2	До 1	0,1—2	0,1—2	0,3—1,4	0,1—0,6	0,3—5	2—4	Экибастузское,
55—63	19—25	7—12	2—7	—	0,5—3	—	1—3	1—3	2—3	—	Воркутинское,
46—55	20—30	9—14	3—8	—	1—3	1—4	До 3,5	—	0,5	—	Богословско-Челябинское
56—62	22	1—10	5—6	—	1,5—2	До 1	До 3	—	—	—	Печерско-Интинское
40,6	27—32	8,78	15,1	—	4,03	2,61	0,41	—	1,18	—	Ангренское
45,8	31,2	5,6	4,6	—	2	0,24	3,47	3,47	7,11	—	Таш-Кумырское и Кокянгакское
19—34	3—9,3	3,5—5,3	32—59	—	2—6,4	До 10	1—6	0,3—4	До 3	2—4	Прибалтийские сланцы
39—9	10,6	7,6	27,6	—	2,7	7,5	2,3	2,3	1,84	—	Сызранские и Кашпирские сланцы

2.7. В табл. 2 приведены сведения из ОСТ 34-70-542-81 и других источников о химическом составе золы, получаемой при сжигании топлива различных видов и месторождений.

2.8. Щебень и песок из шлаков разделяются на:

плотные из шлаков, образующихся в топках котлоагрегатов с жидким шлакоудалением в результате выпуска шлакового расплава в водяную ванну и последующего механического дробления затвердевших кусков;

пористые из шлаков, образующихся в топках котлоагрегатов с твердым шлакоудалением и последующим механическим дроблением шлака.

По зерновому составу щебень и песок из шлаков разделяются на: рядовой (несортированная смесь из шлакового щебня и песка) с предельным размером зерен 20 мм; фракционный щебень с размером зерен 5(3) — 10 мм и 10—20 мм, шлаковый песок с предельным размером зерен 5(3) мм.

Требования к щебню и песку по зерновому составу приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели	Значение показателя		
	щебень шлаковый	песок шлаковый	шлак рядовой несортированный
Полные остатки на контрольных ситах, % по массе:			
$Д_{min}$	90—100	—	—
$Д_{max}$	До 10	До 10	До 10
Содержание мелких зерен, проходящих через сито с сеткой № 0,315, % по массе, до	5	20	10

Примечания: 1. Допускается доставка щебня в виде смеси двух фракций.

2. При содержании в шлаковом песке мелких зерен, проходящих через сито с сеткой № 0,315, св. 20% по массе, к нему следует предъявлять требования как к золошлаковой смеси в соответствии с ГОСТ 25592—83.

2.9. Насыпная плотность щебня из плотного шлака должна быть св. 1000 кг/м³, шлакового песка св. 1100 кг/м³. Щебень и песок из пористого шлака подразделяют на марки, указанные в табл. 4.

2.10. Потери массы при прокаливании в плотных шлаковых щебне и песке не нормируются, а в пористых не должна превышать значений, приведенных в табл. 5.

Таблица 4

Марка по насыпной плотности		Насыпная плотность, кг/м³
Щебень	Песок	
500	—	до 500
600	600	св. 500 до 600
700	700	» 600 » 700
800	800	» 700 » 800
900	900	» 800 » 900
1000	1000	» 900 » 1000
—	1100	» 1000 » 1100

2.11. Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 в щебне и песке не должно превышать 3% по массе, свободного оксида кальция до 1% по массе.

Таблица 5

Назначение бетона	шлака, % по массе, до	
	каменноугольного	буроугольного
Для железобетонных конструкций	5	3
Для бетонных конструкций	7	3

Шлаковый щебень должен обладать устойчивой структурой. Потери массы при определении стойкости против силикатного и железистого распада соответственно не должны превышать 8 и 6%. В шлаковом щебне и песке не должно быть посторонних засоряющих примесей (растительные остатки, грунт, кирпич и т. п.).

2.12. Прочность щебня из шлака должна обеспечивать получение бетона требуемой марки по прочности при расходе цемента, не превышающем установленного нормами. Морозостойкость пористого щебня должна быть св. Мрз15, плотного щебня — св. Мрз100. Потеря массы после испытания не должна превышать 8 %. Морозостойкость щебня и песка из шлаков должна обеспечивать получение бетона требуемой марки по морозостойкости.

2.13. Смесь золошлаковая тепловых электростанций из отвалов совместного гидроудаления золы уноса и шлака для тяжелого и легкого бетона должна отвечать требованиям ГОСТ 25592—83 (табл. 6).

2.14. Добавки химические и поверхностно-активные применяют в бетонах, в состав которых входят золошлаковые материалы, в соответствии с Руководствами [5, 6].

Таблица 6

№ п. п.	Показатели	Класс бетона и вид конструкции			
		тяжелый (класс А)		легкий (класс Б)	
		армированные вид I	неармированные вид II	армированные вид I	неармированные вид II
1	Содержание, % по массе:				
	а) шлака (примеч. 1)	Св. 50		0—20	
	б) зерен золы и шлака, проходящих через сито с сеткой № 0315	20—30	20—50	50—100	50—100
	в) зерен размером более 5 мм до	Не нормируется		15	
	г) сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 до	3		3	
	в том числе сульфидной серы до	1		1	
	д) SiO_2 не менее	40		40	
	е) свободного оксида кальция и оксида магния не более:				
	в зольной части (примеч. 2)	10		10	
	в шлаке (примеч. 3)	1		1	
	ж) посторонних засоряющих примесей (грунт, растительность, кирпич и т. п.)	Не допускается		Не допускается	
2	Насыпная плотность, кг/м³	Не менее 1300		Не более 1300	
3	Максимальный размер зерен шлака мм, до	40		20	
4	Влажность до, % по массе	15		35	
5	Удельная поверхность, см²/г	Не нормируется		1500—4000	
6	Потери при прокаливании (п. п. п.) (примеч. 4) до, % по массе:				
	антрацитовой	5	10	15	20
	каменноугольной	3	5	7	10
	буроугольной	2	2	5	5

Примечания: 1. Золошлаковая смесь с содержанием шлака 20—50% по массе, а также с отдельными показателями, не отвечающими требованиям табл. 6, может применяться для тяжелого бетона в сочетании с природными заполнителями в оптимальном количестве, устанавливаемом при подборе состава бетона.

2. Зола, содержащаяся в золошлаковой смеси, должна отвечать требованиям, изложенным в табл. 1, и выдерживать испытание на равномерность изменения объема.

3. Шлак с размерами зерен более 5 мм, содержащийся в золошлаковой смеси класса А (вид I и II) и класса Б (вид 1), должен обладать устойчивой структурой. Потери массы при определении стойкости шлака против силикатного и железистого распада не должны превышать 5%.

4. По соглашению сторон допускается поставка смесей класса Б с большей удельной поверхностью, а также с большим значением потери при прокаливании золошлаковой смеси. Применение такой смеси должно быть обосновано специальными исследованиями.

5. Для железобетонных конструкций следует применять преимущественно золошлаковую смесь каменного угля.

2.15. Вода для приготовления бетонных смесей должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732-79.

3. ОТБОР ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ОТВАЛАХ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

3.1. Для отбора сухой золы и шлака на электростанциях целесообразно строить промышленные установки, оборудованные устройствами для накопления и извлечения соответствующих видов топливных отходов. Они должны быть оснащены средствами погрузки и иметь подъездные пути для транспорта.

3.2. Примеры установок по отбору сухой золы на электростанциях, имеющих золоуловители типа электрофильтров, приведены в прил. 1 и 2.

3.3. Для получения шлака на электростанциях целесообразно осуществлять раздельное удаление шлака и золы. Отбор шлака при этом можно производить непосредственно из отвалов.

3.4. Золошлаковую смесь класса А (для тяжелых бетонов) в начальный период освоения данного сырья допускается отбирать с участков отвала, расположенных вблизи мест выпуска пульпы из трубопровода гидрошлакоудаления, класса Б (для легких бетонов) — с участков отвала, расположенных вдали от мест выпуска пульпы.

3.5. Для отбора всего текущего выхода золошлаковой смеси и организации централизованной ее поставки потребителям, на электростанциях целесообразно строить специальные установки, включающие секционные бассейны, золошлаконакопители, шламовую насосную, грейферный кран для извлечения золошлаковой смеси из накопителей, площадки для складирования золошлаковой смеси и подъездные дороги. Установка обеспечит получение золошлаковой смеси оптимального зернового состава и предотвратит ее загрязнение в отвале. В прил. 3 дана схема установки по отбору и отгрузке золошлаковой смеси, запроектированной для Углегорской ГРЭС.

3.6. При использовании золошлаковой смеси из отвалов в больших объемах дирекцией ТЭС должен быть организован специальный участок (цех) для разработки отвалов. Такой участок мо-

жет быть создан заинтересованной организацией по договоренности с дирекцией ТЭС. В прил. 4 дано описание технологической схемы разработки золоотвала и промежуточного склада.

4. ОБСЛЕДОВАНИЕ ОТВАЛА ГИДРОЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

4.1. Для определения участков залегания золошлаковой смеси, пригодной для использования, на отвале необходимо провести обследование путем шурфования или бурения по всей его площади или части ее и на глубину залегания, предполагаемую к разработке.

4.2. Составляют план отвала с разбивкой его на участки — квадраты со стороной примерно 50 м.

4.3. В середине участка закладывают шурфы или буровые скважины для взятия проб с разной глубины с нумерацией шурфов или скважин в натуре и на плане.

4.4. Пробы золошлаковой смеси массой 5—10 кг отбирают с поверхности отвала и далее через каждые 0,5—1 м, по глубине шурфа или скважины. При необходимости разработки старых отвалов удаляют верхний слой толщиной до 0,5 м, как вскрышу.

4.5. Каждую отобранную пробу укладывают в плотный ящик или крафтмешок, маркируют двумя цифрами, обозначающими номер шурфа или скважины и среднюю глубину взятия пробы. Например, проба с шурфа-скважины № 10, отобранная с поверхности будет иметь обозначение № 10—0, а с глубины 0,5 и 1 м соответственно № 10—0,5 и № 10—1 и т. д.

4.6. Отобранные пробы золошлаковой смеси передают в лабораторию для исследования. По частным пробам определяют зерновой состав, насыпную плотность и химический состав пробы золошлаковой смеси, а также рассчитывают средний состав смеси по нескольким пробам, взятым на обследованной глубине.

4.7. При большом расхождении результатов испытания проб из соседних шурфов или скважин следует заложить шурфы или скважины посредине между обследованными.

4.8. На основании сравнения полученных результатов испытания проб с техническими требованиями, приведенными в табл. 4, назначают глубину и оконтуривают участки для промышленной разработки отвала.

5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ, ПРИЕМКА И ХРАНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПОТРЕБИТЕЛЯ

5.1. Сухую золу необходимо транспортировать в исправных закрытых транспортных средствах: железнодорожных вагонах типа

«цементовоз», судах или контейнерах, автозоловозах или цементовозах.

Для транспортировки небольших партий золы можно применять многослойные бумажные мешки по ГОСТ 2226—75 с изм.

5.2. Золу гидроудаления, золошлаковую смесь и шлак можно транспортировать в открытых вагонах, автосамосвалах и автоприцепах с погрузкой навалом.

5.3. Поставку и приемку золошлаковых материалов производят партиями. Партией считают количество золы или золошлаковой смеси, одновременно отгружаемой одному потребителю в течение суток, но не более 500 т.

5.4. Количество золошлакового материала в партии определяют по массе, для золошлаковой смеси и шлака — с учетом влажности.

5.5. Предприятие-изготовитель обязано сопровождать каждую партию золы, шлака или золошлаковой смеси документом о качестве, в котором указывают: наименование предприятия-изготовителя и его адрес; наименование продукции; дату отгрузки; номер документа и партии; количество материала; номера транспортных средств и номера накладных; показатели качества; обозначение стандартов на отгружаемый материал.

5.6. Сухую золу надлежит хранить в закрытых складах, оборудованных системой пневмотранспорта. В прил. 5 дана технологическая схема склада, оборудованного устройством для приема золы из железнодорожных вагонов и пневмоподачей ее на силосный склад и в расходные бункера БСУ.

5.7. Хранить золошлаковую смесь и шлак в летнее время и в районах с теплым климатом допускается в открытых складах, предохраняя от загрязнения и смешивания с другими материалами. В районах с холодным климатом и в зимнее время золошлаковая смесь смерзается, и хранить ее следует в теплых складах под крышей в обогреваемых регистрами бункерах.

5.8. В расходных бункерах бетоносмесительных установок для золошлаковых материалов должны быть выделены специальные отсеки, связанные с соответствующими весовыми дозаторами (см. прил. 6).

5.9. При использовании золошлаковой смеси с влажностью более 20% производят модернизацию склада заполнителей и бетоносмесительного отделения в соответствии с рекомендациями, приведенными в прил. 7.

6. ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В БЕТОНАХ

6.1. Применение сухой золы тепловых электростанций взамен части только цемента или цемента и части песка естественного про-

исхождения в тяжелых бетонах рекомендуется в случаях: применения цемента более высоких марок, чем это необходимо для получения проектной марки бетона по прочности на сжатие; необходимости повышения плотности бетона и удобоукладываемости бетонной смеси; применения гидротермальной обработки (пропаривание в камерах при атмосферном давлении и в автоклавах под давлением, электропрогрев, инфракрасный прогрев) твердеющих бетонных изделий и конструкций; необходимости снижения теплоты гидратации твердеющего бетона в массивных сооружениях (фундаменты, гидротехнические сооружения).

6.2. То же в легких бетонах, в случаях замены части цемента и части мелкого заполнителя; полной замены мелкого заполнителя.

6.3. То же в жаростойких бетонах.

Сухую золу применяют также взамен тонкомолотой добавки для жаростойкого бетона на портландцементе с температурой службы до 1000°С. Подробные указания об этом даны в СН 156-79.

6.4. Рекомендации по применению золы в ячеистых бетонах приведены в СН 277-80.

6.5. Применение плотного шлака тепловых электростанций жидкого слива из топок котлов и раздельного удаления рекомендуется для обогащения мелких природных песков или полной их замены, а также для полной или частичной замены крупного и мелкого заполнителя естественного происхождения при их дефиците или низком качестве.

6.6. Применение пористого шлака твердого удаления рекомендуется для частичной или полной замены легких пористых заполнителей.

6.7. Применение золошлаковой смеси из отвалов, образуемых при совместном гидроудалении золы и шлака жидкого удаления (расплава), рекомендуется в следующих случаях: при высокой стоимости или дефиците крупного заполнителя из естественного камня; при изготовлении тонкостенных конструкций из мелкозернистого (песчаного) бетона взамен мелкого природного песка; для замены части крупного и мелкого заполнителей в легких и тяжелых бетонах.

6.8. Применение золошлаковой смеси из отвалов, образуемых при совместном гидроудалении золы и шлака твердого удаления, рекомендуется для замены части мелкого заполнителя в легких бетонах.

7. ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА

7.1. В настоящем разделе приведены рекомендации по определению составов бетона различного назначения с применением зо-

лошлаковых отходов ТЭС, разработанные институтами-участниками с разной степенью детализации. В прил. 8—12 изложены методы подбора и примеры расчета, а в прил. 13 — таблицы ориентировочных составов бетона, в том числе на золе из отвалов гидроудаления, применявшихся в практике изготовления сборных бетонных и железобетонных изделий, а также возведения монолитных сооружений.

7.2. Приступая к подбору состава бетона с добавкой сухой золы, шлака или золошлаковой смеси, лабораторией завода железобетонных изделий или стройки должны быть установлены:

а) исходные данные о проектной марке бетона по прочности при сжатии, растяжении, морозостойкости и водонепроницаемости, данные о проектном возрасте бетона, а также о проектных требованиях к средней плотности. Кроме того, должны быть заданы необходимые подвижность или жесткость бетонной смеси, наибольшая крупность заполнителя, а также условия транспортирования, укладки и твердения бетона в конструкции или сооружении;

б) результаты стандартных испытаний цемента, заполнителей, золошлаковых материалов и добавок (разд. 10).

7.3. Подбор состава бетона, к которому предъявляются требования только по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и средней плотности должен, как правило, производиться в производственной лаборатории.

В тех случаях, когда к бетону дополнительно предъявляют требования по водостойкости, коррозионной стойкости, усадке, тепловыделению и другие, а также в случае использования материалов, не предусмотренных действующими стандартами и техническими условиями, подбор состава бетона должен производиться с участием специализированных научно-исследовательских институтов.

7.4. При расчетах и подборах составов бетона на золах, золошлаковых смесях и шлаках ТЭС расход цемента на 1 м³ бетона во всех случаях не должен быть ниже 180 кг/м³ для армированных конструкций и 150 кг/м³ для неармированных изделий. При этом суммарный расход цементно-зольного вяжущего должен быть не ниже соответственно 220 кг/м³ и 200 кг/м³ (СНиП 5.01.23-83). Для изделий и конструкций из легких бетонов суммарный расход цементно-зольного вяжущего должен быть не менее 200 кг/м³ для конструкционно-теплоизоляционных бетонов и 220 кг/м³ — для конструкционных бетонов.

Возможность снижения расхода цемента ниже указанных величин должна быть подтверждена специальными исследованиями с проверкой долговечности бетона и сохранности арматуры от коррозии в конкретных условиях эксплуатации.

8. ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ФОРМОВАНИЕ И ТВЕРДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

8.1. Приготовление бетона с заполнителем из золошлаковой смеси рекомендуется производить в бетоносмесителях с принудительным перемешиванием компонентов СБ-62, СБ-138, СБ-141, СБ-120, СБ-81, СБ-108, а также в бегунах ЗМ-3, П-79.

8.2. Введение золы в бетонную смесь можно осуществить одним из трех способов:

а) путем введения в бетоносмеситель в сухом виде через отдельный дозатор золы одновременно с цементом и заполнителями (прил. 6);

б) путем введения в бетоносмеситель водно-зольной суспензии, приготовленной отдельно. По опыту зарубежных строек до 30 % цемента заменяют золой, вводимой в бетоносмеситель в виде суспензии 60:40% (зола / вода);

в) путем введения заранее приготовленного золоцементного вяжущего (прил. 6). Введение в бетонную смесь золошлаковых материалов осуществляется обычным путем с учетом их влажности. Предварительно необходимо провести реконструкцию бункеров, течек и затворов (прил. 7).

8.3. Дозирование вяжущих и заполнителей следует производить по массе. Погрешность дозирования не должна превышать ±2% для цемента, золы, воды, добавок, ±2,5% для заполнителей.

Точность работы дозаторов обеспечивают своевременной проверкой органами ведомственного надзора (в соответствии с ГОСТ 24619-81 — не реже одного раза в месяц).

8.4. Продолжительность перемешивания бетонной смеси устанавливается лабораторией завода опытным путем и должна составлять не менее 60—120 с — в бетоносмесителях принудительного перемешивания; 120—180 с — в гравитационных смесителях.

Бетонная смесь должна соответствовать требованиям рабочих чертежей на строительство объекта, технологических карт или стандарта предприятия, разработанных и утвержденных в установленном порядке.

Бетонная смесь с добавкой золы по сравнению с обычной бетонной смесью отличается лучшей удобоукладываемостью и меньшей расслаиваемостью.

8.5. Изделия следует изготавливать в стальных формах, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 18886-73 с изм. или государственных стандартов на стальные формы для изготовления конкретных видов изделий. Допускается изготовление изделий в формах из других материалов, обеспечивающих соблюдение требований

стандартов или технических условий по качеству и точности изготовления изделий.

8.6. При вибрации бетонных смесей необходимо обеспечивать равномерное уплотнение смеси по всему объему изделия, не допускать расслоения бетонной смеси, а также вытекания растворной части бетонной смеси через щели и неплотности форм.

8.7. Твердение бетона на основе золошлаковых отходов осуществляют как при тепловлажностной обработке, так и в естественных условиях.

Режим тепловой обработки необходимо назначать путем установления оптимальной длительности отдельных его периодов: предварительная выдержка, подъем температуры, изотермический прогрев и остывание.

Пропаривание изделий из бетона на портландцементе или шлакопортландцементе с добавкой золы производят при температуре 90—95°С и продолжительности изотермического прогрева не менее 8 ч.

Допускается использовать режимы тепловлажностной обработки, которые установлены для пропаривания железобетонных конструкций, изготовляемых на традиционных заполнителях (гранитном щебне и кварцевом песке).

9. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

9.1. Изготовление изделий и конструкций из легких бетонов с применением золошлаковых материалов производят в соответствии с Инструкцией СН 483-76 и Руководством [5].

9.2. Для получения конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона с минимальной плотностью и наилучшими теплоизоляционными свойствами приготовление бетонной смеси на золошлаковом сырье осуществляют с обязательным введением воздухововлекающих добавок, расход которых по сравнению с бетоном на плотных или пористых песках увеличивают в 1,5—2 раза и тем больше, чем выше удельная поверхность золы и содержание несгоревших углеродистых частиц.

Для улучшения условий воздухововлечения бетонной смеси при применении золы и золошлаковой смеси крупный пористый заполнитель применяют в виде двух отдельно дозируемых в соотношении 2(3):1 фракций: 10—20 и (5—2,5) — 10 мм. При этом желательно, чтобы содержание зерен менее 5 мм, находящихся в фракции 2,5—10 мм или отдельно дозируемом крупном дробленом или обжиговом песке составляло 0,05—0,1 м³ на 1 м³ бетона.

9.3. Дозирование золы производят по массе. При использовании золошлаковых смесей следует при назначении дозировки учитывать их влажность. Для дозирования сухой золы используют дозаторы

цемента, для дозирования влажных золошлаковых смесей дозаторы заполнителей, которые должны быть модернизированы в соответствии с рекомендациями, приведенными в прил. 7.

Дозирование заполнителей при приготовлении легких бетонов производят объемно-весовым способом. При этом в случае применения золошлаковых материалов в качестве мелкого заполнителя их расход рекомендуется сохранять постоянным независимо от колебания объемной массы крупного пористого заполнителя.

9.4. Приготовление легкобетонных смесей с использованием золошлаковых материалов производят в бетоносмесителях принудительного действия типа СБ-138, СБ-62, СБ-141, а также лопастных растворосмесителях типа С-209 и СМ-290. Приготовление легкобетонных смесей плотностью более 1600 кг/м³ и подвижностью более 5 см допускается в смесителях гравитационного действия.

Продолжительность перемешивания легкобетонной смеси, содержащей золошлаковые материалы, устанавливается опытным путем, исходя из условия достижения оптимальной однородности и заданной степени воздухововлечения (для смесей с воздухововлекающими добавками).

9.5. Легкобетонные смеси, содержащие золошлаковые материалы, отличаются пониженной расслаиваемостью и повышенной воздухоудерживающей способностью. Такие смеси менее чувствительны к перегрузкам и транспортированию ленточными конвейерами.

Введение золы в состав легкобетонной смеси повышает ее вязкость в статическом состоянии, но не влияет на условия ее тиксотропного разжижения при вибрации. Смеси с золой отличаются хорошей удобоформуемостью, легко заполняют формы и уплотняются в них под вибрационным воздействием.

9.6. Отформованные изделия из легкобетонных смесей, содержащих золу, отличаются повышенной структурной прочностью, что позволяет производить немедленно нанесение и заглаживание верхнего фактурного слоя при формовании ограждающих конструкций и облегчает условия проведения частичной или полной немедленной распалубки.

9.7. С целью более полного использования гидравлических свойств золошлаковых материалов тепловую обработку изделий необходимо производить при максимальной температуре, равной 80—95°С при пропаривании и 140—150°С при сухом прогреве изделий из конструкционно-теплоизоляционных бетонов в камерах, оборудованных теплоэлектронагревателями для достижения требуемой отпускной влажности (не более 15% по массе). Длительность изотермического прогрева должна составлять не менее 9 ч, общая длительность включая время подъема температуры и охлаждения, — не менее 14 ч.

10. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И БЕТОНА

10.1. Контрольные испытания цемента, щебня и песка, поверхностно-активных и химических добавок производят в соответствии с государственными стандартами на методы испытания этих материалов.

10.2. Подвижность, жесткость и другие характеристики бетонной смеси определяют по ГОСТ 10181.0—81 ГОСТ 10181.4—81.

10.3. Прочность бетона на сжатие определяют по ГОСТ 10180—78 как среднее арифметическое по двум наибольшим показаниям, полученным при испытании трех контрольных образцов. При пересчете результатов испытания образцов размерами 100×100×100 мм к прочности эталонных образцов размерами 150×150×150 мм следует принимать переводной коэффициент $\alpha=095$.

10.4. Оценку прочности с учетом однородности следует проводить по ГОСТ 18105 0—80 — ГОСТ 18105.2—80.

10.5. Испытания бетона на морозостойкость проводят по ГОСТ 10060—76 и легкого бетона средней плотности до 1500 кг/м³ — по ГОСТ 7025—78.

10.6. Испытания бетона на водонепроницаемость проводят по ГОСТ 12730.5—84. Коэффициент фильтрации бетона определяют по ГОСТ 12730—84.

10.7. Испытание сборных железобетонных конструкций и оценку их прочности, жесткости и трещиностойкости проводят по ГОСТ 8829—77.

10.8. Отбор проб и контрольные испытания золы и золошлаковой смеси выполняют строительные лаборатории с использованием стандартных методов в соответствии с указаниями ГОСТ 25818—83 и ГОСТ 25592—83.

Методы испытания золы относятся как к золе раздельного удаления, так и к находящейся в составе золошлаковой смеси. Соответственно методы испытания топливного шлака относятся как к шлаку раздельного удаления, так и к находящемуся в составе золошлаковой смеси.

10.9. Химический анализ воды и определение ее пригодности производят по ГОСТ 5382—73.

10.10. Дисперсность золы определяют по методике ГОСТ 310. 2—76 на приборе ПСХ с предварительным просевом через сито с сеткой 0,9. Удельную поверхность пылевидной золы, находящейся в составе золошлаковой смеси, определяют на приборе ПСХ после просеивания через сито с отверстиями 0,16 мм.

10.11. Содержание несгоревших частиц в золе, золошлаковой смеси и топливном шлаке, характеризующееся потерями при про-

каливании, определяют по ГОСТ 11022—75 с изм. методом медленного озоления. Подготовку пробы золошлаковой смеси и шлака производят по ГОСТ 9758—77.

10.12. Равномерность изменения объема золы определяют в золоцементном тесте состава 3 : 1 (ЗУ:Ц) по методике ГОСТ 310.3—76 с увеличением срока хранения лепешек с момента изготовления до 5 сут.

10.13. Испытание смешанного вяжущего в автоклаве проводят в соответствии с ГОСТ 25818—83.

10.14. Определение плотности золы буроугольной производят по ГОСТ 310.2—76 золы антрацитовой, каменноугольной и шлакового песка — по ГОСТ 8735—75, а шлакового щебня — по ГОСТ 9758—77.

10.15. Определение насыпной плотности золошлаковой смеси, шлака и золы проводят по методике ГОСТ 9758—77.

10.16. Содержание в золошлаковом сырье пылевидной золы, шлакового песка и шлакового щебня, а также зерновой состав шлакового песка и его модуль крупности определяют путем рассева на стандартных ситах по ГОСТ 8735—75 и ГОСТ 9758—77.

10.17. Содержание в топливном шлаке или золошлаковой смеси шлакового песка определяют путем суммирования частных остатков на ситах с размером отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм.

Содержание в топливном шлаке или золошлаковой смеси шлакового щебня определяют путем суммирования частных остатков на ситах с размерами отверстий 20, 10 и 5 мм.

10.18. Контроль качества золы по табл. 1 производят по пп. 5—8 для каждой партии, а по пп. 1—4 — не реже одного раза в квартал. При изменении вида используемого топлива или режима его сжигания должны быть определены все характеристики золы-уноса, перечисленные в табл. 1.

Испытание на равномерность изменения объема смешанного вяжущего кипячением в воде или испытанием в автоклаве должно выполняться для каждой отгружаемой партии в соответствии с п. 2.6.

10.19. Предприятие-изготовитель производит контроль качества каждой партии шлака, щебня и песка из шлака путем определения насыпной плотности, зернового состава и потери при прокаливании и не реже двух раз в год определение устойчивости структуры, содержания сернистых и сернокислых соединений, свободного оксида кальция и оксида магния.

10.20. Контроль качества золошлаковой смеси по табл. 4 проводят для каждой партии по всем пунктам, кроме п. 1, г, д, е, которые контролируют не реже одного раза в квартал.

УСТАНОВКА СУХОГО ОТБОРА ЗОЛЫ ИЗ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭС

Схема установки представлена на рис. 1. От золосборников под электрофильтрами, из которых зола выдается в систему гидрозолоудаления, с помощью электропневматических задвижек зола попадает в вакуумный золопровод, осадительную камеру с фильтром и в бункер-накопитель.

Вакуум в системе отсоса создается вакуум-насосом. Из бункера-накопителя зола захватывается пневмовинтовым насосом, питающимся от компрессорной, и по напорному золопроводу закачивается в силосный склад. С помощью сжатого воздуха, подаваемого по трубопроводу, производят погрузку золы в железнодорожные цементозоловозы или автозоловозы.

Расчетная пропускная способность установки 101 500 т золы в год. Вместимость склада, состоящего из шести силосов по 140 т для сухой золы, составляет 840 т.

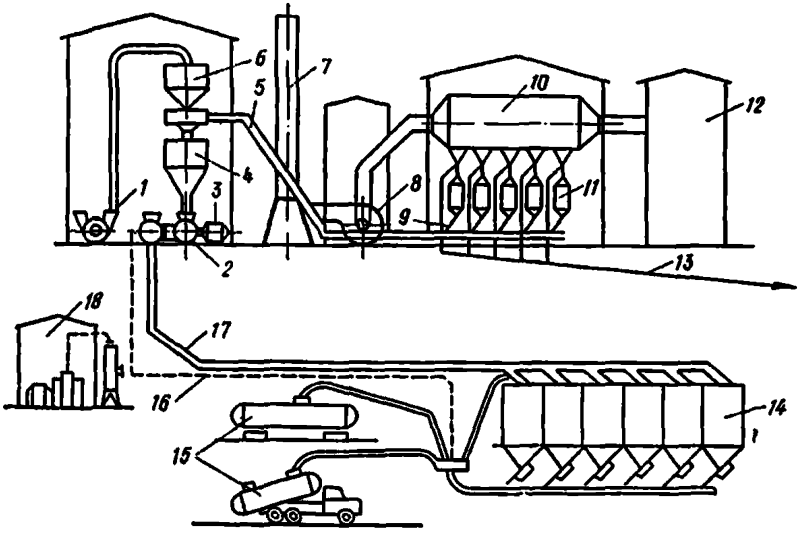


Рис. 1. Схема установки сухого отбора золы

1 — вакуум-насос РМК-4; *2* — пневмовинтовой насос НПВ-36-4; *3* — мотор; *4* — бункер-накопитель; *5* — золопровод вакуумный; *6* — осадительная камера с фильтром; *7* — дымовая труба; *8* — дымосос; *9* — электропневматические задвижки; *10* — электрофильтры; *11* — золосборники; *12* — котел ТЭС; *13* — шламопровод на отвал золы и шлака; *14* — склад золы силосный; *15* — отгрузка золы на железнодорожный и автомобильный транспорт; *16* — трубопровод сжатого воздуха; *17* — золопровод напорный; *18* — компрессорная

Окупаемость капитальных затрат на создание установки за счет экономии цемента произойдет всего за 1 год.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УСТАНОВКА СУХОГО ОТБОРА ЗОЛЫ НА АЛЕКСИНСКОЙ ТЭС *

Строящаяся установка предназначена для отбора сухой золы на Алексинской ТЭС и снабжения предприятий стройиндустрии и строительных организаций (рис. 2).

Техническая характеристика установки

Производительность системы по сбору сухой золы-уноса от 6 точек бункеров электрофильтров	12 м³/ч
Вместимость сборной камеры 6 насосов ТА-23А	9 м³
Расход сжатого воздуха при загрузке автозоловоза	18 м³/мин
Рабочее давление сжатого воздуха не более	0,6 МПа
Температура отгружаемой золы	100° С
Система управления — автоматическая, дистанционная	
Компрессор типа ЭК-9М (3 шт.), в том числе один резервный	
Рабочее давление до	0,7 МПа
Производительность компрессора	9 м³/мин
Мощность двигателя	55 кВт
Автоцементовоз емкостью	9,15 м³

Основные расчетные параметры установки

Поступление золы из одной точки	2 т/ч
Время загрузки 6 насосов	0,5 ч
Время загрузки золой питателя ТА-23А 1,5 м³	0,5 ч
Объем единовременно загружаемой золы	9 м³
Общая сметная стоимость установки	73,417 руб.
В том числе основные объекты строительного назначения	54,964 руб.

Принцип работы. Цементовоз подъезжает на загрузку под циклон. Поочередно включают камерные насосы в режим «загружение». Зола по золопроводу поступает в циклон на осаждение, откуда самотеком загружает цементовоз. В течение получаса после выгрузки насосы вновь наполняются и цикл загрузки цементовоза может быть повторен.

Документацию можно получить в КТИ Минпромстроя СССР по адресу: г. Тула, ул. Ленина, 108.

---

* Предложение Тульского ПИ и КТИ Минпромстроя СССР.

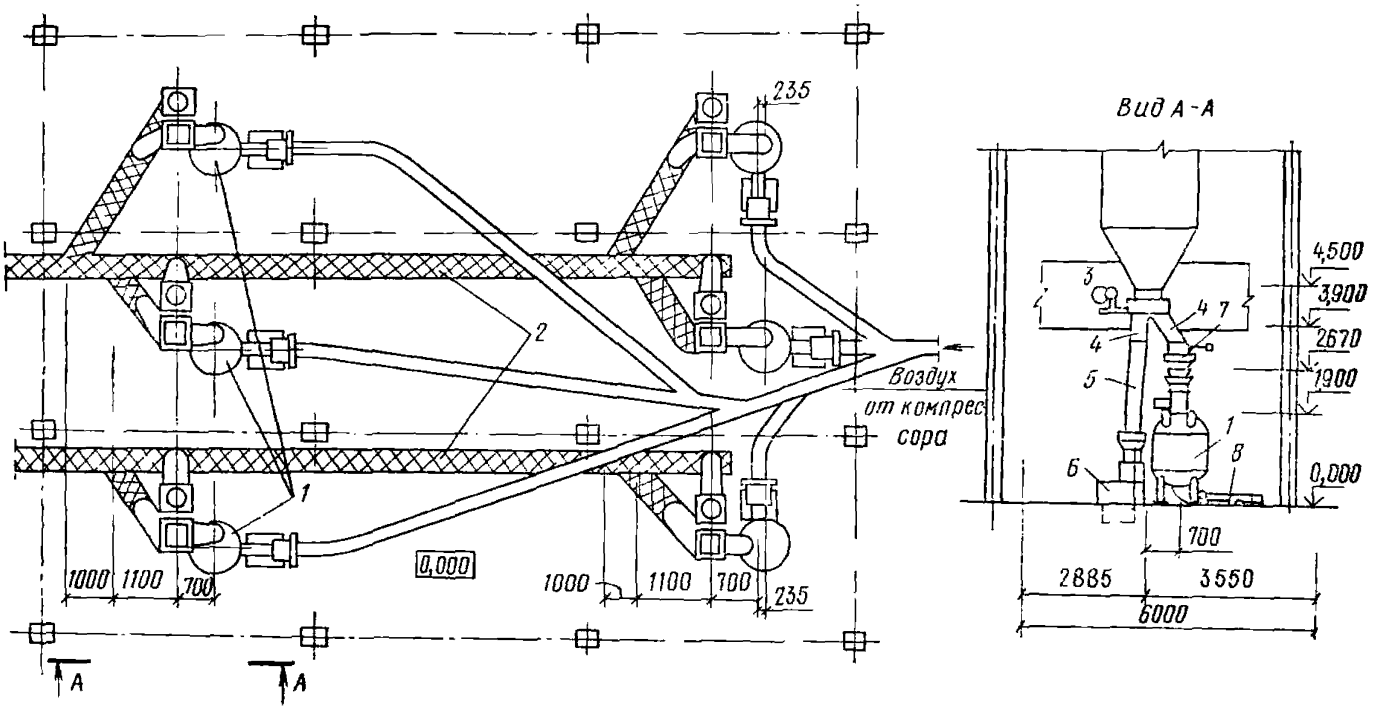


Рис. 2. Отбор сухой золы-уноса от электрофильтров Алексинской ТЭС (проект Николаевского филиала КТИ)

1 — насос однокамерный пневматический ТА-23А; *2* — канал ГЗУ; *3* — переключатель; *4* — течка; *5* — трубопровод ГЗУ; *6* — гидрозатвор; *7* — клапан-мигалка; *8* — золопровод сухой золы в цементовоз

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ НА УГЛЕГОРСКОЙ ГРЭС *

Для получения золошлаковой смеси оптимального зернового состава свежие зола и шлак направляются по системе гидрозолоудаления в бассейны-золошлаконакопители, где часть золы и шлак оседают на дно бассейнов в оптимальном соотношении. Это достигается регулированием скорости движения смеси в бассейнах.

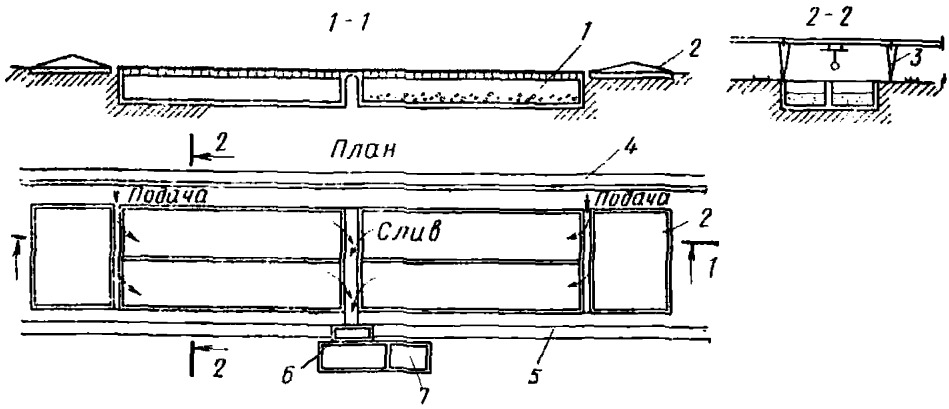


Рис. 3. Схема установки по отбору и отгрузке золошлаковой смеси на Углегорской ГРЭС

1 — осадительные бассейны-отстойники; *2* — площадка для складирования золошлаковой смеси; *3* — грейферный портальный кран; *4* — железнодорожный путь; *5* — автодорога; *6* — камера для слива воды с излишками золы; *7* — насосная

На рис. 3 показана схема установки, разработанной Донецким Промстройниипроектом, состоящая из четырех бассейнов-золошлаконакопителей размером 70×12 м и глубиной до 5—6 м, двух площадок размером 22×24 м для складирования золошлаковой смеси, выгружаемой из бассейна грейфером с портального крана.

Отработанную воду с излишками золы сливают в приемную камеру и с помощью шламовых насосов, установленных в машинном зале, удаляют в золоотвал.

Проектная производительность установки 300 тыс. в год золошлаковой смеси оптимального зернового состава, что составляет 30—35 % общего выхода золы и шлака при работе ТЭС мощностью 3,6 МВт.

---

* Предложение Донецкого Промстройниипроекта.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗРАБОТКИ ЗОЛООТВАЛА ТОЛЬЯТТИНСКОЙ ТЭС *

На Левобережном заводе ЖБИ ДСК-1 осуществляется проект получения золы из отвала Тольяттинской ТЭС. Проект включает разработку отвала, усреднение золы на промежуточном складе, переработку и подачу золы на заводе ЖБИ.

Разработка золы в карьере на золоотвале принята по циклической схеме (рис. 4). Зачистка кровли слоем 0,2 м предусмотрена бульдозером ДЗ-17 на тракторе Т-100МЗ. Вскрыша зачищаемого слоя размещается за границей разработки золоотвала вдоль его бортов. Разработка золы предусмотрена одним уступом экскаватором на гусеничном ходу типа драглайн Э652Б с ковшом емкостью 0,85 м³, стрелой длиною 13 м и мощностью 80 кВт. Транспортировка золы на промежуточный склад и со склада на завод принята

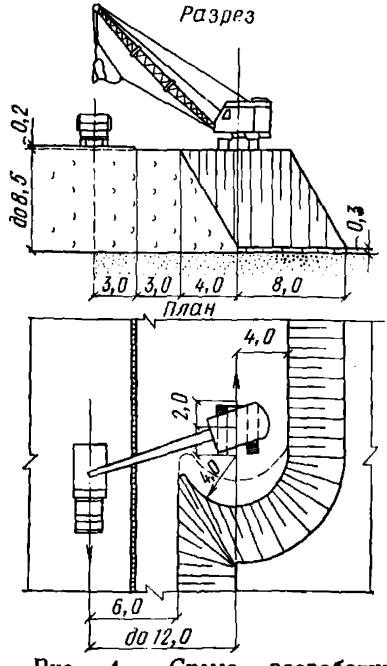


Рис. 4. Схема разработки золы экскаватором драглайн Э-652-Б на золоотвале Тольяттинской ТЭС

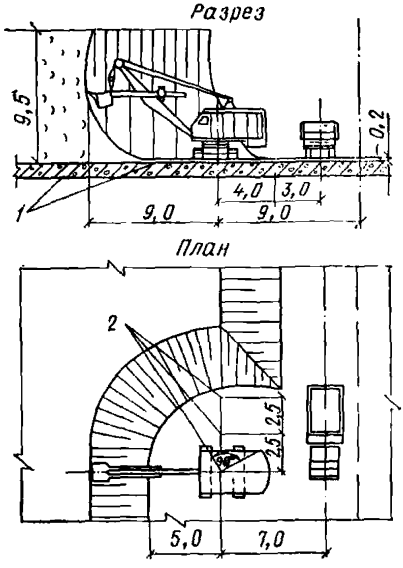


Рис. 5. Схема разработки золы экскаватором Э-1251Б на промежуточном складе
1 — бетонная плита; *2* — места стоянок экскаватора

* Предложение Куйбышевского филиала Оргэнергостроя.

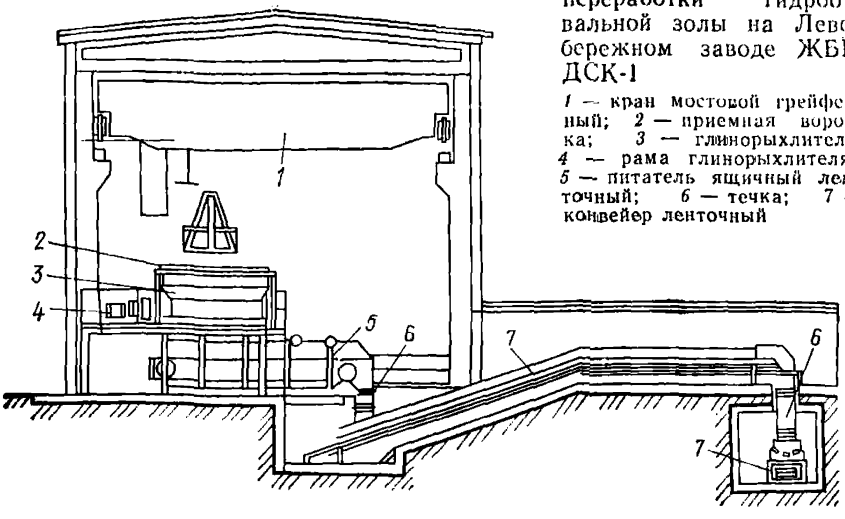


Рис. 6. Схема подачи и переработки гидроотвальной золы на Левобережном заводе ЖБИ ДСК-1

1 — кран мостовой грейферный; *2* — приемная воронка; *3* — глинорыхлитель; *4* — рама глинорыхлителя; *5* — питатель ящичный ленточный; *6* — течка; *7* — конвейер ленточный

автосамосвалами КАМАЗ-5511 грузоподъемностью 10 т и емкостью кузова 7,2 м³.

Усреднение золы на промежуточном складе, расположенном за контуром разработки, предусмотрено путем отсыпки слоя высотой 9,5 м и разравнивая по площади склада бульдозером (рис. 5). Отсыпка предусмотрена с борта золоотвала. Погрузка золы на промежуточном складе предусмотрена экскаватором на гусеничном ходу Э-1251Б прямая лопата с ковшом емкостью 1,25 м³.

Схема подачи и переработки гидроотвальной золы на заводе ЖБИ приведена на рис. 6.

Учитывая сезонность, проектом предусмотрены работы, обеспечивающие 8-месячный запас готовой к применению золы:

зачистка кровли (капитальная вскрыша) и перемещение грунта на расстояние до 30 м—750 м³;

добыча золы в объеме 8-месячного запаса — 10 тыс. м³ и транспортировка ее на промежуточный склад на расстояние до 1 км;

планировка поверхности склада (развитие склада по площади) с перемещением золы на расстояние до 50 м—10 тыс. м³;

подготовка площадки под промежуточный склад золы с разработкой грунта 1 группы экскаватором Э-1251Б и транспортировка его автосамосвалами на расстояние до 1 км — 15750 м³.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СИЛОСНОГО СКЛАДА ЗОЛЫ ЕМКОСТЬЮ 120 т*

Куйбышевским филиалом Всесоюзного института Оргэнергострой разработан проект приемного устройства золы из железнодорожных вагонов и пневматической подачи ее в цилиндрические емкости склада и в расходные бункера бетоносмесительных узлов (БСУ).

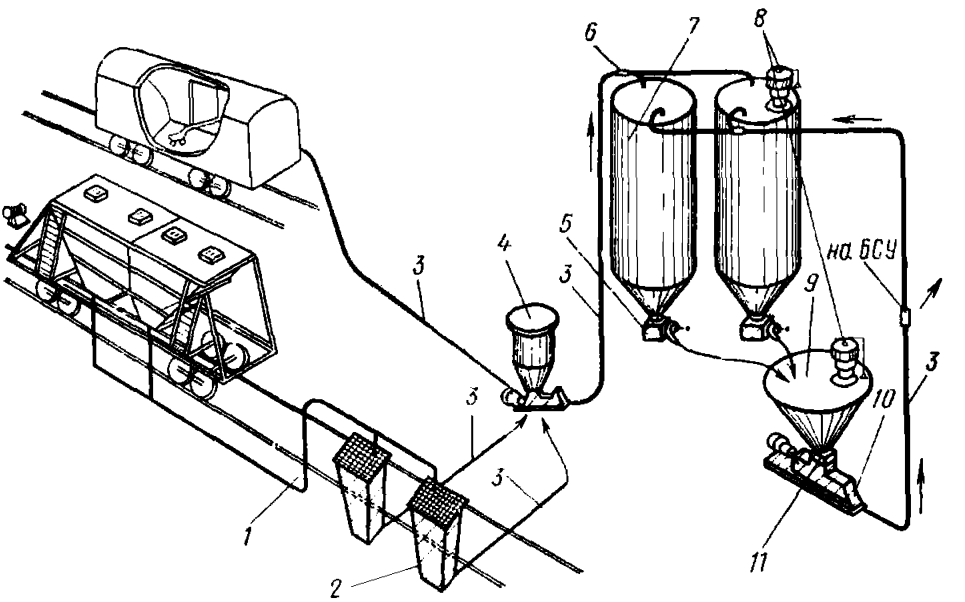


Рис. 7. Технологическая схема склада с приемным устройством для золы из железнодорожных вагонов и пневмоподачей ее на склад золы и на БСУ

1 — насос приемный; *2* — воронка приемная; *3* — золопровод; *4* — машина всасывающе-нагнетательного действия С-960; *5* — пневморазгружатель донной выгрузки ПДД-101; *6* — двухходовой переключатель; *7* — силос для золы емкостью 120 т; *8* — фильтр С-780.02.06.000; *9* — бункер выдачи золы; *10* — пневматический винтовой насос С-911; *11* — затвор секторный для пневмовинтового насоса

На рис. 7 показана схема склада золы, состоящего из двух цилиндрических силосов емкостью 120 т, со всеми необходимыми устройствами и механизмами. При наличии достаточной емкости, для складирования золы может быть выделено 1—2 силосных банки на складе цемента (см. прил. 6, варианты I, II, III, V).

При доставке сухой золы с ТЭС автоцементовозами, оборудованными пневматическими устройствами, они разгружаются пря-

* Предложение Куйбышевского филиала Оргэнергостроя.

мо в склад золы, подключаясь к золопроводу, как это показано на схеме прил. 6 (вариант IV).

Документацию можно получить в Куйбышевском филиале Оргэнергостроя.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

СХЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ ТЭС*

Для применения сухой золы из электрофильтров ТЭС Всесоюзным институтом Оргэнергострой и его филиалами разработано пять вариантов реконструкции существующих типовых бетоносмесительных заводов. Варианты реконструкции заводов приведены на рис. 8—15 (дополнительно проектируемое оборудование показано штриховкой и утолщенной линией).

Вариант I. Для бетоносмесительных узлов (БСУ) цикличного действия, когда бункерное и дозировочное отделение позволяют разместить дополнительный бункер и дозатор АВДЦ-425 для золы (рис. 8 и 9). Зола в бункер подается пневмотранспортом. Разработки имеются для БСУ со смесителями принудительного действия и свободного падения (гравитационными).

Вариант II. Для тех же БСУ, когда бункерное отделение позволяет выделить под золу два отсека заполнителей (рис. 8 и 10).

Вариант III. Для бетоносмесительных узлов, где не представляется возможности использовать решения по вариантам I и II, путем устройства приставки-этажерки для размещения бункера, дозатора и другого обордования для присадки золы (рис. 11 и 12).

Вариант IV. Предусматривает устройство специальной золоприсадочной установки и подачи золоцементного вяжущего на БСУ (рис. 13 и 14) механическим способом (ковшовым элеватором).

Вариант V. Для БСУ цикличного действия, когда не представляется возможности использовать варианты I—IV и для БСУ непрерывного действия (рис. 15). Дозирование золы в составе цементно-зольного вяжущего, приготовляемого в специальном устройстве, размещаемом вблизи складов цемента и золы.

Варианты заложены в технорабочие проекты (ТРП), разработанные для БСУ конкретных предприятий. Ленинградский филиал института разработал ТРП по варианту I для Дубровского завода ЖБК, Прибалтийского завода ЖБИиК, бетонного завода на стройплощадке Кольской ГРЭС и Бетонного хозяйства на строительстве Киришской ГРЭС, им же разработан ТРП по III варианту для Лужского завода ЖБИ. Куйбышевский филиал института разрабо-

* Предложение Оргэнергостроя.

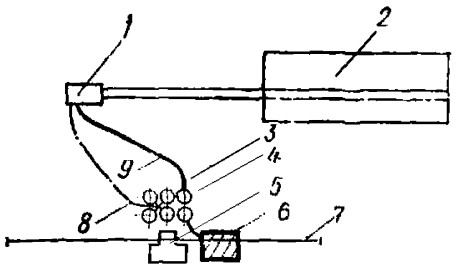
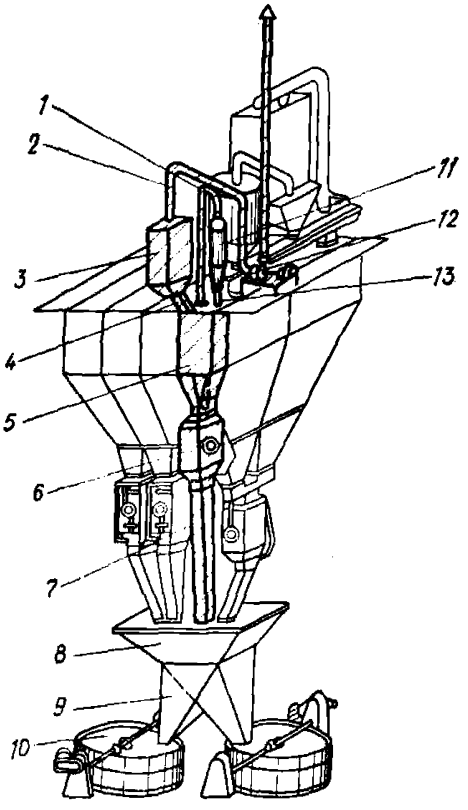


Рис. 8. Схема присадки золы на БСУ (варианты I и II)

1 — бетоносмесительный цех; *2* — склад заполнителей; *3* — склад цемента; *4* — склад золы; *5* — приемное устройство для цемента; *6* — приемное устройство для золы; *7* — подъездной железнодорожный путь; *8* — цементопровод; *9* — золопровод



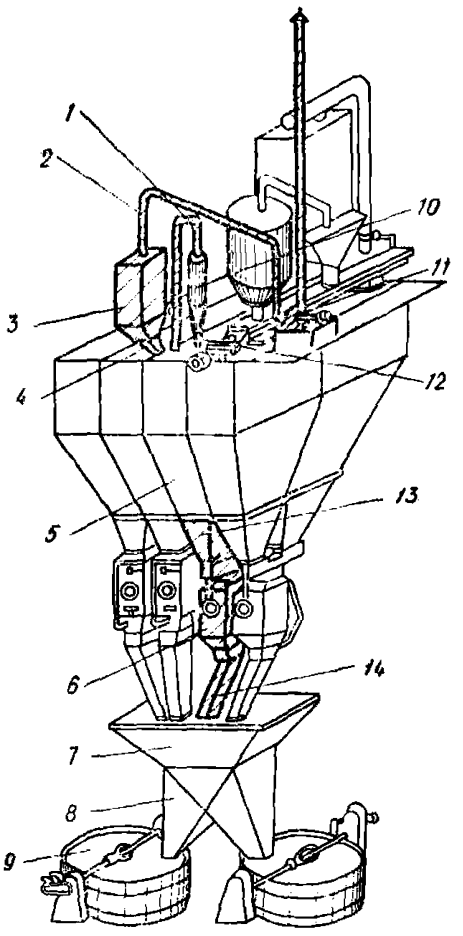


Рис. 10. Технологическая схема присадки золы (вариант II)

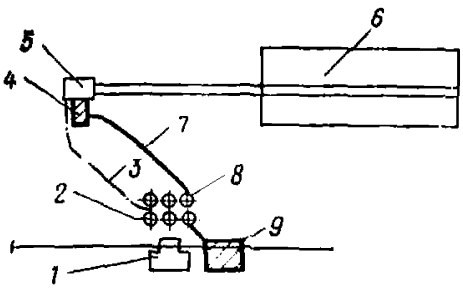
1 — воздуховод от циклона в бункер; *2* — воздуховод от фильтра к вентилятору; *3* — фильтр рукавный МИ 364; *4* — течка от фильтра в бункер; *5* — бункер для золы; *6* — дозатор для золы АВДЦ-425; *7* — приемная воронка с перекидным клапаном; *8* — течка в бетоносмеситель; *9* — бетоносмеситель принудительного перемешивания; *10* — циклон ЦН-15 (Д-500 мм); *11* — вентилятор центробежный ЦЧ-70 № 3 (1,5 кВт); *12* — течка из циклона в бункер; *13* — патрубок переходной к дозатору; *14* — течка от дозатора золы

Рис. 9. Технологическая схема присадки золы (вариант I)

1 — воздуховод от циклона в бункер; *2* — воздуховод от фильтра к вентилятору; *3* — фильтр рукавный МИ-364; *4* — течка от фильтра в бункер; *5* — бункер для золы; *6* — дозатор для золы АВДЦ-425; *7* — течка от дозатора золы; *8* — приемная воронка с перекидным клапаном; *9* — течка в бетоносмеситель; *10* — бетоносмеситель принудительного перемешивания; *11* — циклон ЦН-15 (Д-500 мм); *12* — вентилятор центробежный ЦЧ-70 № 3 (1,5 кВт); *13* — течка из циклона в бункер

Рис. 11. Схема присадки золы на БСУ (вариант III)

1 — приемное устройство для цемента; *2* — склад цемента; *3* — цементопровод; *4* — приставка для дозирования и выдачи золы на БСУ; *5* — бетоносмесительный цех; *6* — склад заполнителей; *7* — золопровод; *8* — склад золы; *9* — приемное устройство для золы



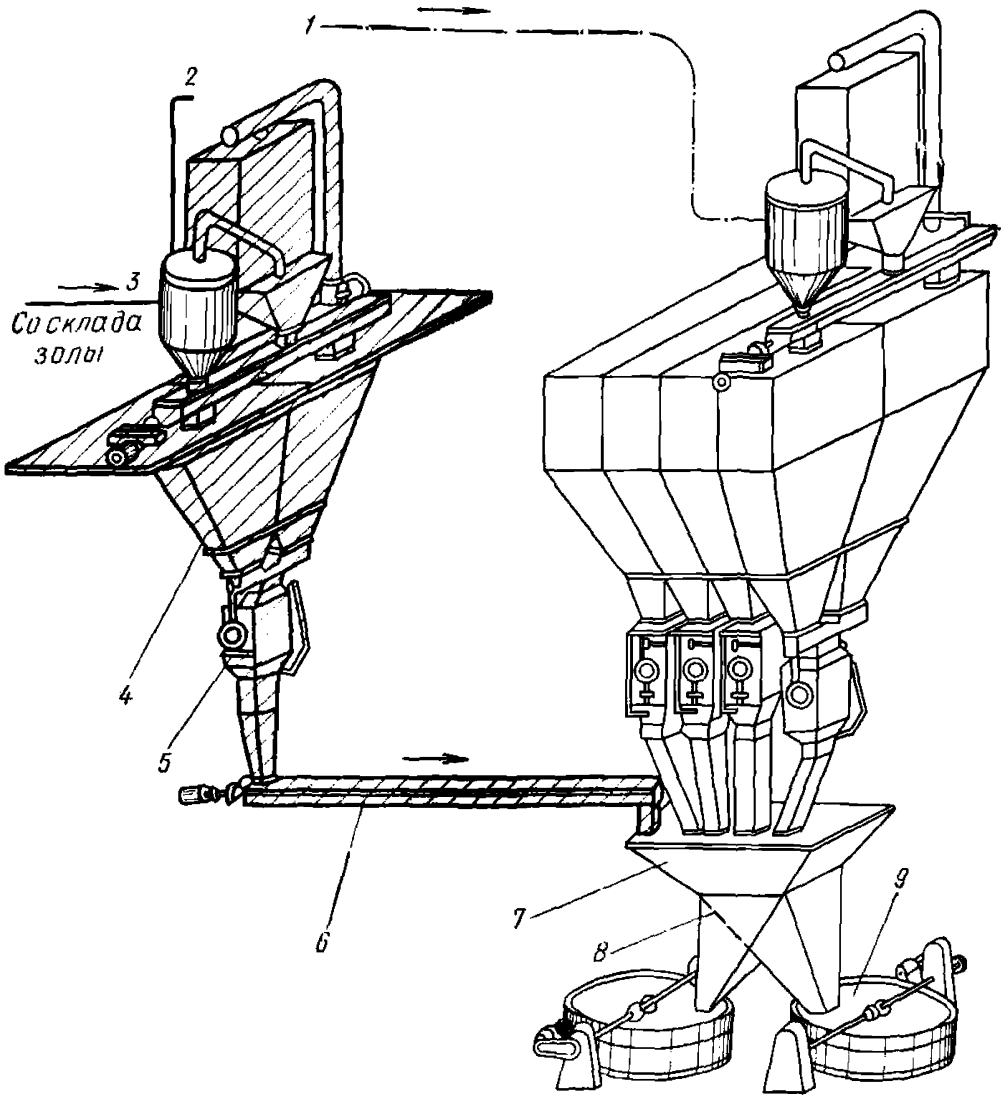


Рис. 12. Технологическая схема присадки золы (вариант III)

1 — цементопровод; *2* — фильтровальная установка с фильтром Д-ВК-30; *3* — золопровод со склада золы; *4* — бункер для золы; *5* — автоматический весовой дозатор АВДЦ-425; *6* — конвейер винтовой; *7* — приемная воронка с перекидным клапаном; *8* — течка в бетоносмеситель; *9* — бетоносмеситель принудительного перемешивания

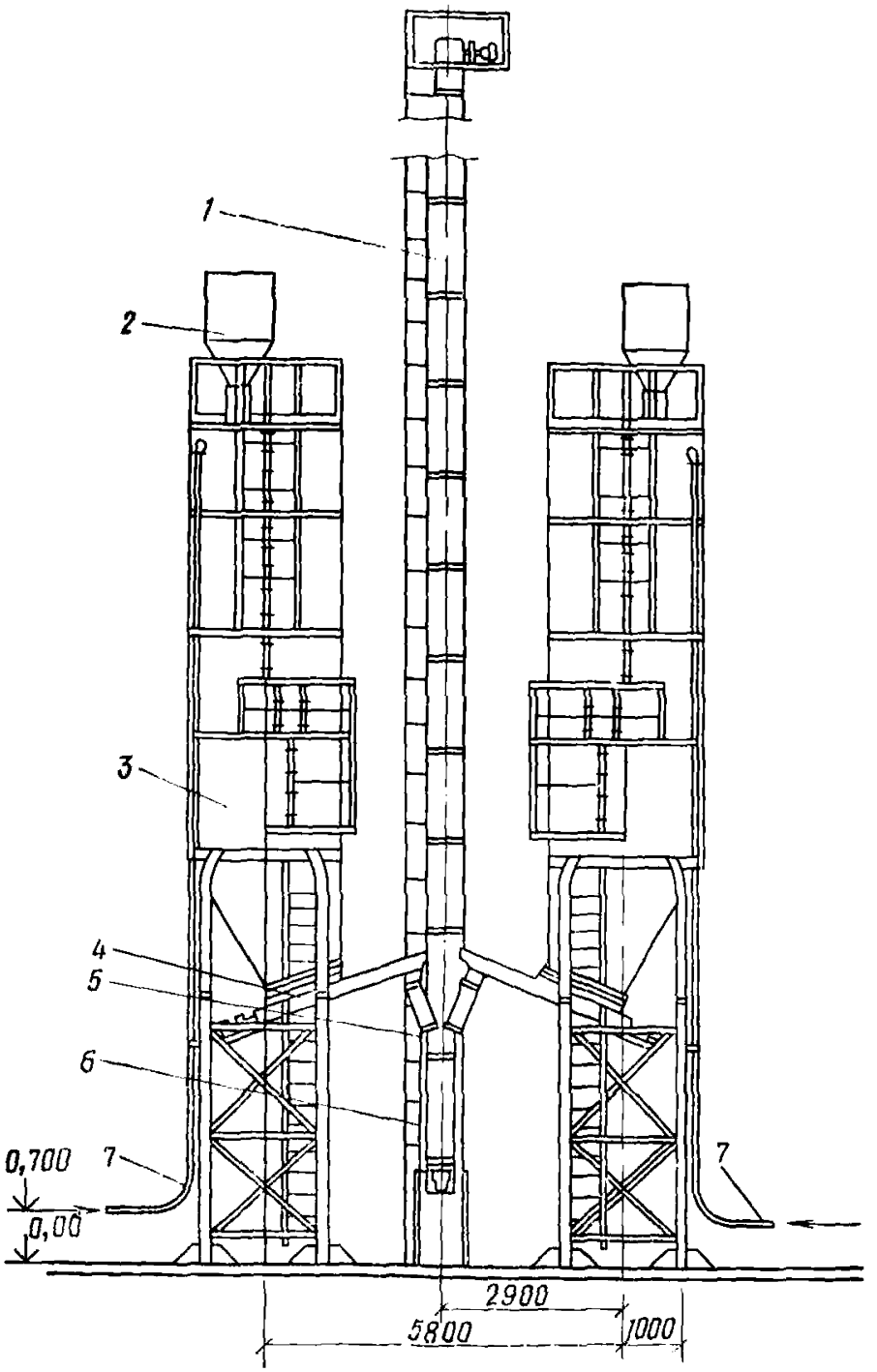


Рис. 13. Технологическая схема универсальной золоприсадочной установки (вариант IV)

1 — элеватор ленточный ЛГ-250 для подачи золы в расходные бункера БСУ (далее по варианту I или II); *2* — фильтр рукавный МП 364.000-2; *3* — емкость силосная (V=55—25 м³); *4* — питатель лопастной; *5* — течка четырехрукавная; *6* — течка; *7* — золопровод для подачи золы из автоцементовоза

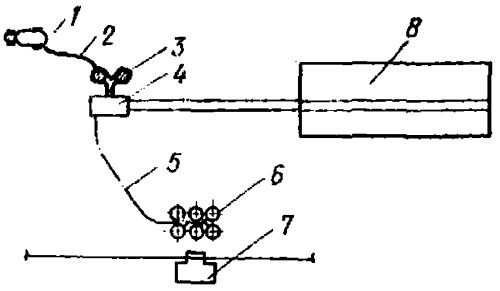


Рис. 14. Схема присадки золы на БСУ (вариант IV)

1 — автоцементовоз; 2 — золопровод автоцементовоза; 3 — универсальная золоприсадочная установка; 4 — бетоносмесительный цех; 5 — цементопровод; 6 — склад цемента; 7 — приемное устройство для цемента; 8 — склад заполнителей

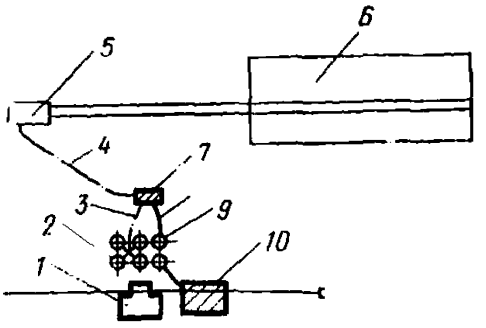


Рис. 15. Схема БСУ с устройством для приготовления цементно-зольного вяжущего (вариант V)

1 — приемное устройство для цемента; 2 — склад цемента; 3 — цементопровод; 4 — трубопровод пневмоподачи цементно-зольного вяжущего в бункер БСУ; 5 — бетоносмесительный цех; 6 — склад заполнителей; 7 — устройство для приготовления цементно-зольного вяжущего; 8 — золопровод; 9 — склад золы; 10 — приемное устройство для золы

тал ТРП по III варианту для бетонного хозяйства на строительстве Новой ТЭЦ в г. Куйбышеве, по V варианту для Правобережного завода ЖБИ и для Левобережного завода для ЖБИ ДСК-1 Энергожилстроя в г. Куйбышеве.

Таблица 7. **Технико-экономические показатели применения золы сухого отбора**

№ пп	Показатель	Вариант				
		I	II	III	IV	V
1.	Капитальные затраты с учетом строительства устройств для приема, хранения, транспортирования и присадки золы на БСУ, тыс. руб.	36—69	36—69	36—95	41	57—96
2.	Дополнительные эксплуатационные затраты на 1 м³ бетонной смеси, руб.	0,22	0,22	0,24	—	0,26
3.	Дополнительная установленная мощность (от приема до присадки золы), кВт	70	70	70—102	25	60—115
4.	Снижение себестоимости 1 м³ бетонной смеси, при замене 20% цемента золой, руб.	В среднем для всех вариантов 1				

Таблица 8. **Варианты реконструкции бетоносмесительных узлов для применения золы сухого отбора**

Шифр типового проекта	Ранее разработанные типовые проекты	Краткая характеристика проекта завода	Варианты				
			I	II	III	IV	V
409-28-11	С-283Б	2 бетоносмесителя вместимостью по 0,5 м³, производительностью 64 тыс. м³ бетона в год	+	+	+	+	+
409-28-12	С-243Б	2 бетоносмесителя вместимостью по 1,2 м³, производительностью 153 тыс. м³ бетона в год	+	+	+	+	+
409-28-17 (односекционный)	04-09-18/65	2 бетоносмесителя вместимостью по 1,2 м³, производительностью 90 тыс. м³ бетона в год	—	—	+	+	+
409-28-17 (трехсекционный)	04-09-18/65	2 бетоносмесителя вместимостью по 1,2 м³ в каждой секции, производительностью 250—300 м³ бетона в год	+	+	—	+	+
409-28-18	СБ—78	Бетоносмеситель и дозаторы непрерывного действия производительностью 148 тыс. м³ бетона в год	—	—	—	—	+
409-28-19с	409—28—13	3 варианта бетоносмесительного оборудования производительностью 300—350 тыс. м³ бетона в год по каждому варианту	+	+	—	—	+
409-28-21	—	2 бетоносмесителя вместимостью по 0,5 м³, общей производительностью 20 тыс. м³ бетона в год	—	—	+	—	+
4-09-129К	С—243—1Б	2 бетоносмесителя вместимостью по 1,2 м³, общей производительностью 152 тыс. м³ в год	+	—	+	+	+
4-09-154	—	2 бетоносмесителя вместимостью по 0,5 м³, общей производительностью 60 тыс. м³ в год	+	+	+	+	+
Сборно-разборный БСУ 2×500		2 бетоносмесителя вместимостью по 0,5 м³, общей производительностью 50 тыс. м³ в год	—	—	+	—	+

Примечание. Знак «+» привязка возможна, «—» привязка невозможна. Документацию можно получить в Куйбышевском филиале Оргэнергостроя.

Основные технико-экономические показатели вариантов присадки золы на БСУ по выполненным проектам приведены в табл. 7 (по данным Куйбышевского филиала Оргэнергостроя).

Возможность привязки того или иного варианта присадки золы на БСУ, осуществленным по различным типовым проектам, показана в табл. 8.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СКЛАДИРОВАНИЮ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЮ И ДОЗИРОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ И МОДЕРНИЗАЦИИ СКЛАДОВ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ *

1. При использовании золошлаковой смеси ТЭС с влажностью 15—30% следует организовать ее хранение в крытом складе на бетонной площадке, оборудованной дренажным устройством. Емкость склада золошлаковой смеси должна быть рассчитана на срок работы завода ЖБИ в зимний период.

2. В целях обеспечения транспортировки и дозирования золошлаковой смеси с влажностью 15—30% необходимо модернизировать тракты подачи и оборудование БСУ.

3. Рекомендуемая принципиальная схема подачи материалов на БСУ с применением золошлаковой смеси показана на рис. 16. В отличие от существующих складов для песка, щебня, керамзитового гравия и других материалов предусмотрены следующие изменения:

на приемных бункерах склада при доставке золошлаковой смеси железнодорожными вагонами или автотранспортом вместо лотковых подпорных затворов установлены двухсекторные затворы с гидравлическим или механическим приводом;

на складе хранения расходные течки оборудованы вместо лотковых двухсекторными затворами с электромеханическим приводом;

в надбункерном отделении установлен поворотный лоток с углом наклона не менее 65° вместо 45° для существующих лотков;

расходный бункер золошлаковой смеси оборудован вместо односекторного двухсекторным затвором с пневмоцилиндром;

изменена конструкция затвора;

рукава от сборника к смесителю установлены под углом не менее 65°.

4. Двухсекторный затвор на бункерах приема золошлаковой смеси из вагонов должен иметь увеличенное и регулируемое выход-

* Предложение ВНИИЖелезобетона.

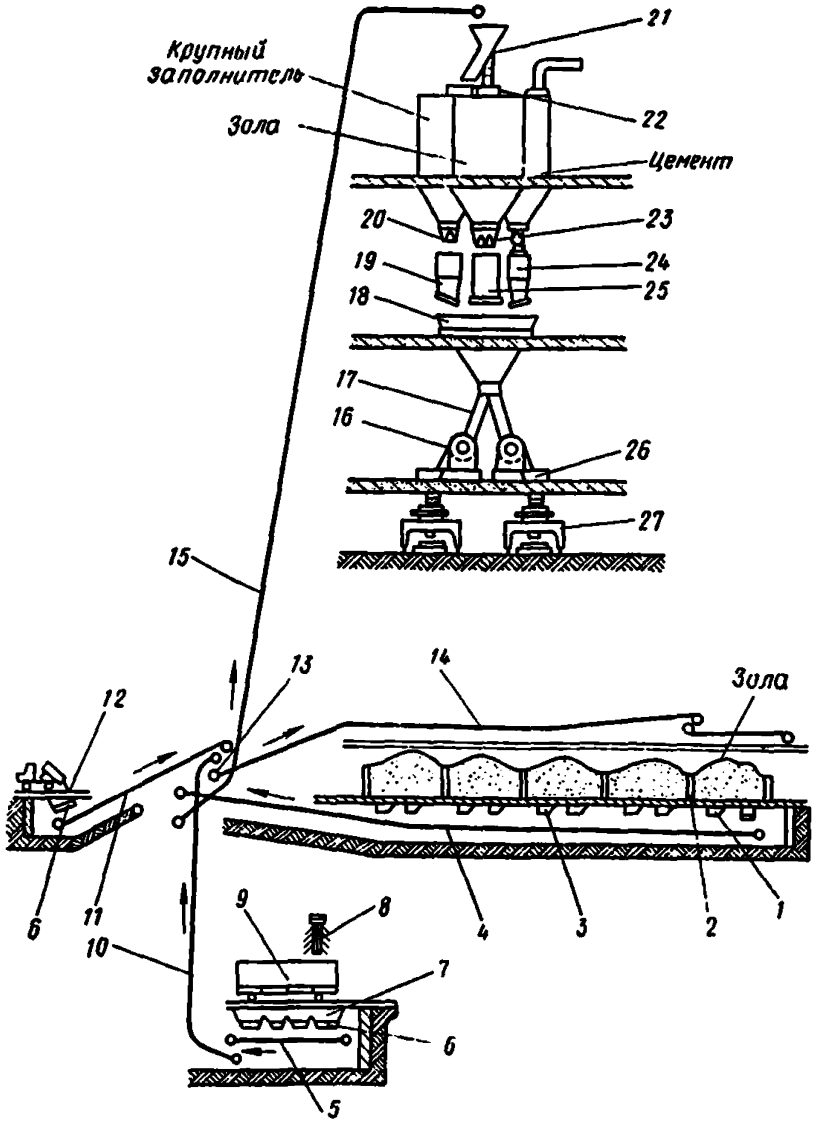


Рис. 16. Принципиальная схема подачи материалов на заводе ЖБИ, применяющем золу в качестве добавки в бетонную смесь

1 — двухсекторный затвор с механическим приводом; *2* — разделительные стенки склада; *3* — лотковый подпорный затвор; *4* — транспортер подземной галереи; *5* — горизонтальный транспортер; *6* — двухсекторные затворы с гидроприводом; *7* — приемный бункер; *8* — рыхлительная машина; *9* — железнодорожный вагон; *10* — горизонтально-наклонный транспортер; *11* — наклонный транспортер; *12* — приемный бункер при автозагрузке; *13* — передающее устройство; *14* — транспортер с сбрасывающей тележкой; *15* — наклонный транспортер; *16* — смеситель; *17* — рукав; *18* — сборник; *19* — дозатор крупного заполнителя; *20* — затвор на бункере крупного заполнителя; *21* — поворотный лоток; *22* — приемный люк; *23* — двухсекторный затвор с пневмоприводом; *24* — затвор на бункере цемента; *25* — дозатор золы; *26* — бункер-накопитель смеси; *27* — бетоноукладчик

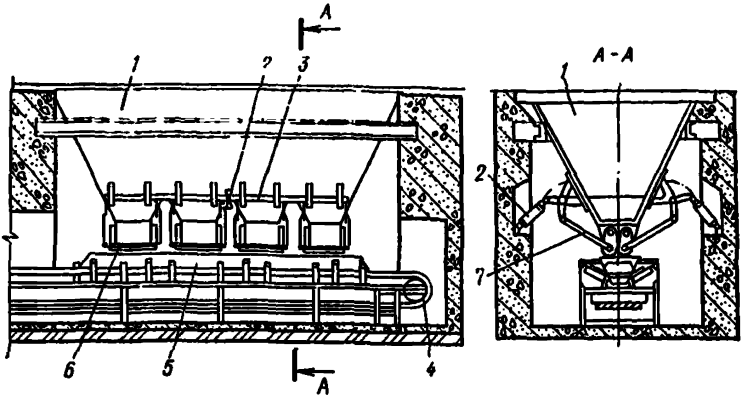


Рис. 17. Оборудование бункера приема золы из железнодорожных вагонов

1 — бункер; *2* — пневмоцилиндр; *3* — ось на кронштейнах; *4* — транспортер; *5* — приемный лоток; *6* — двухсекторный затвор; *7* — тяги пневмоуправления затвором

Рис. 18. Оборудование бункера приема золы из автотранспорта

1 — бункер; *2* — двухсекторный затвор; *3* — транспортер; *4* — приемный лоток

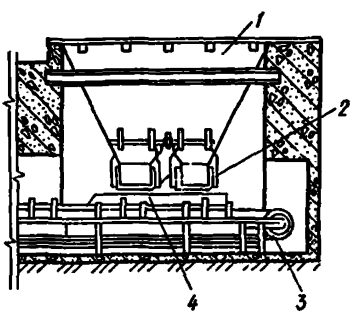
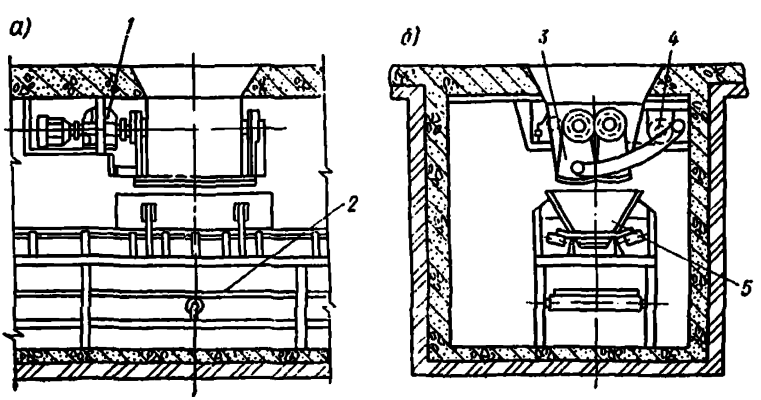


Рис. 19. Оборудование расходной течки подземной галереи

а — продольный разрез; *б* — поперечный разрез; *1* — электромеханический привод; *2* — транспортер; *3* — двухсекторный затвор; *4* — кривошипно-шатунный механизм; *5* — приемный лоток



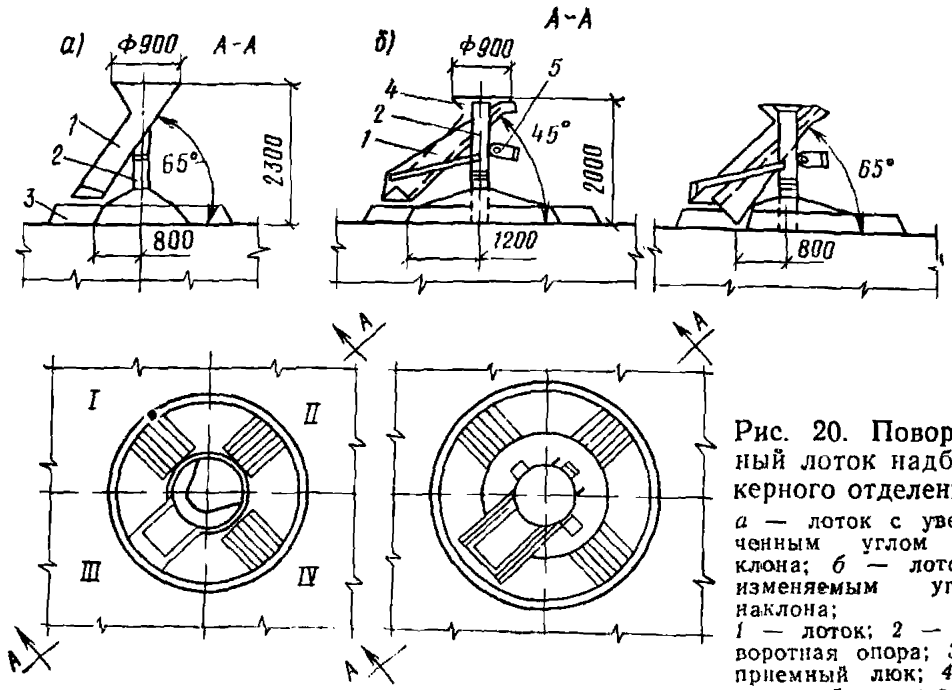


Рис. 20. Поворотный лоток надбункерного отделения

а — лоток с увеличенным углом наклона; *б* — лоток с изменяемым углом наклона;
1 — лоток; *2* — поворотная опора; *3* — приемный люк; *4* — кожух; *5* — привод

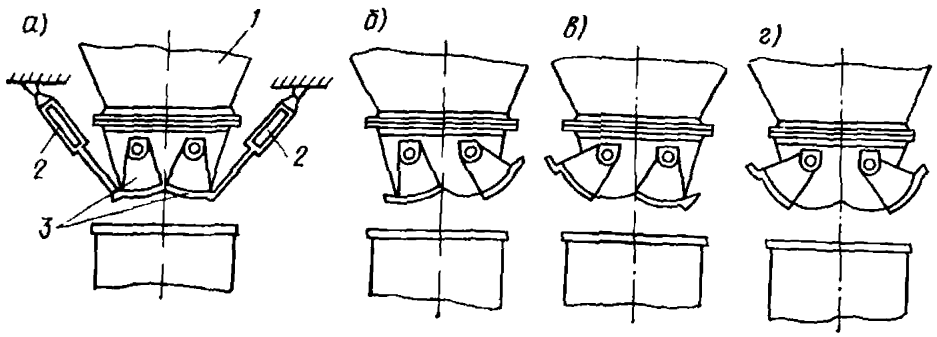


Рис. 21. Затвор расходного бункера золы

а, б, в, г — положения затвора при разных режимах работы; *1* — бункер; *2* — пневмопривод; *3* — двухсекторный затвор

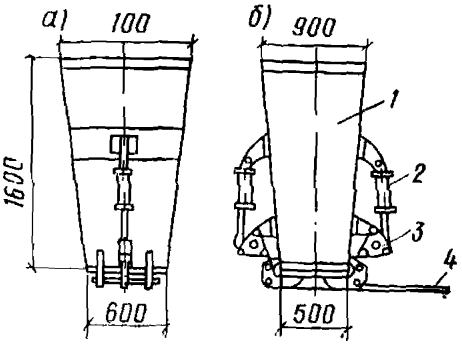


Рис. 22. Дозатор золы

а — вид сбоку; *б* — вид спереди; *1* — бункер; *2* — пневмопривод; *3* — фиксатор; *4* — затворы

ное отверстие (рис. 17). Угол наклона стенок между затворами должен быть 60—75°. Дальнейшее увеличение угла нецелесообразно во избежание уменьшения объема бункера. Эта система обеспечивает работу одного или двух секторов поочередно, с учетом влажности и скорости истечения золы.

5. Бункер приема золошлаковой смеси из автотранспорта (рис. 18) имеет меньший объем и оборудован аналогичной системой затворов, как и бункер приема из вагонов.

6. Расходная течка подземной галереи склада хранения золошлаковой смеси (рис. 19) оборудована двухсекторным затвором с увеличенным выходным отверстием (500×800 мм). Работа секторов осуществляется через шестерни от кривошипного устройства с круговым движением эксцентрикового вала. При модернизации лоткового затвора выходное отверстие течки увеличено до 400×500 мм и вибратор перенесен на корпус стенки.

7. В поворотных лотках надбункерного отделения (рис. 20) кроме увеличения угла наклона увеличены также диаметр горловины (900 мм вместо 600 мм) и ширина лотка (600 мм вместо 350—400 мм). В тех случаях, когда невозможно увеличить угол наклона лотка за счет высоты, применяют лоток с изменяемым углом наклона.

8. Расходный бункер золошлаковой смеси оборудован двухсекторным затвором (рис. 21) с увеличением выходного сечения 500××600 мм вместо 350×350 мм). Сектора могут работать независимо друг от друга, как показано на рис. 21. Два сектора работают одновременно только в случае зависания зольной массы.

9. Типовые дозаторы для заполнителей имеют цилиндрический корпус диаметром 900—1000 мм с переходом на конус в основании с диаметром отверстия 300—350 мм и малопригодны для дозирования влажной золы. Рекомендуется применять дозатор для золы (рис. 22), бункер которого имеет вертикальные или почти вертикальные стенки и выходное отверстие сечением 500×600 мм.

10. Рекомендуемая модернизация оборудования на трактах подачи материалов обеспечивает разгрузку, транспортировку и дозирование влажной золошлаковой смеси, а также полностью пригодна для подачи других компонентов бетона.

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:

а) расчетно-экспериментальным методом производят подбор состава бетона без добавки золы в соответствии с Руководством [3] и с учетом настоящих Рекомендаций;

б) подобранный состав бетона принимают за исходный. На этом составе приготовляют 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 (значение В/Ц или В/В) устанавливают путем пробных замесов исходя из условия, чтобы подвижность бетонных смесей без золы и с добавкой различного количества золы была практически одинаковой;

в) 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 этих образцов в проектном возрасте строят графики зависимости $R_{сж} = f$ (Ц), $R_р = f$ (Ц) и В $= f$ (Ц), где Ц — расход смешанного вяжущего (цемент+зола), кг на 1 м^3 бетона. На эти же графики наносятся результаты испытаний образцов бетона исходного состава (без добавки золы) в проектном возрасте;

г) за окончательную дозировку золы принимают ту дозировку, при которой бетон с золой отвечает всем проектным требованиям;

д) для бетона с выбранной дозировкой золы по методике Руководства [3] уточняют оптимальное содержание песка, которое, как правило, оказывается несколько меньше, чем для исходного состава бетона без добавки золы.

Уточненный состав бетона считают окончательно подобранным.

Пример. Требуется подобрать состав гидротехнического бетона марки М250, В-8, с добавкой золы. Прочность и водонепроницаемость обеспечивается в возрасте 180 сут. Осадка конуса бетонной смеси 2—3 см, наибольшая крупность гравия 80 мм.

---

* Разработаны ВНИИГ им. Б. Е Веденеева.

Материалы: шлакопортландцемент (активность 32,7 МПа), удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178—76 с изм.;

сухая электрофильтровая буроугольная зола-унос с удельной поверхностью 2900 см²/г, влажностью (W) 0,16%, содержанием несгоревших углеродистых частиц (п.п.п.) 1,18%, следующего химического состава, %: SiO_2 — 57,65; Fe_2O_3 — 6,54; Al_2O_3 — 6,57; CaO — 20,91; MgO — 4,26; SO_3 — 2,25; Na_2O — 0,25; K_2O — 0,38; $CaO_{св}$ — 2,91;

гравий с максимальной крупностью зерен 80 мм, отвечающий требованиям ГОСТ 10268—80, имеющий плотность $\rho_{гр}=2{,}80$ г/см³, насыпную объемную плотность $\gamma_{гр}=1650$ кг/м³;

осадка конуса смеси 2—3 см, наибольшая крупность гравия 80 мм;

песок средней крупности, отвечающий требованиям ГОСТ 10268—80, имеющий плотность $\rho_{п}=2{,}67$ г/см³, насыпную объемную плотность $\gamma_{п}=1570$ кг/м³.

Предварительная оценка свойств и качеств золы. В соответствии с требованиями разд. 2 настоящих Рекомендаций данная зола по удельной поверхности, влажности и содержанию $SiO_2+Al_2O_3+F_2O_3$, SO_3, MgO, несгоревших углеродистых частиц (п.п.п.), может быть использована в качестве минеральной добавки взамен части цемента для приготовления гидротехнического бетона.

Ввиду повышенного содержания свободного оксида кальция ($CaO_{св}=2{,}9\%$) зола, добавляемая к цементу в смешанном вяжущем, должна выдержать испытание в автоклаве при 2,1 МПа.

Испытание цемента и смешанного вяжущего. Результаты испытания цемента и смешанного вяжущего в соответствии с требованиями настоящих Рекомендаций приведены в табл. 9.

Таблица 9. **Свойства золоцементного вяжущего**

Состав смешанного вяжущего			Сроки схватывания, ч-мин		Нормальная густота, %	Равномерность изменения объема кипячением	Активность вяжущего в возрасте 28 сут, МПа
цемент,		зола, %	начало	конец			
г	%						
400	100	0	4—45	6—50	25,5	Выдержал	32,7
360	90	10	4—50	6—50	25,5	То же	31
320	80	20	4—50	7—00	25,5	»	29,5
280	70	30	5—15	7—10	25,75	»	26

Определение равномерности изменения объема смешанного вяжущего, состоящего из 70% шлакопортландцемента и 30% золы, испытанием образцов-призм в автоклаве при давлении 2,1 МПа

показало, что величина относительного удлинения составила 0,09% и не превышает предельно допустимую величину (0,20%).

Подбор состава бетона без добавки золы проводят по методике Руководства [3].

Состав бетона, удовлетворяющего заданным требованиям, приведен в табл. 10.

Таблица 10. **Состав и свойства бетонной смеси (бетон М250, В-8)**

Состав бетонной смеси и ее характеристика	Значение показателей	Состав бетонной смеси и ее характеристика	Значение показателей
Шлакопортландцемент, кг	240	Вода, л	120
		СДБ, кг	0,48
Песок, кг	675	В/Ц	0,5
Гравий, кг, фракций, мм:		Содержание песка в смеси заполнителей, по массе	0,32
5—20	490		
20—40	490	Осадка конуса, см	2—3
40—80	455	Средняя плотность, кг/м³	2470

Из замесов, различающихся по количеству вводимой золы, а именно: 10, 20 и 30% (от массы смешанного вяжущего, равного 240 кг/м³), изготовляют образцы на прочность и водонепроницаемость.

Результаты испытаний бетона на прочность и водонепроницаемость приведены в табл. 11 и на рис. 23.

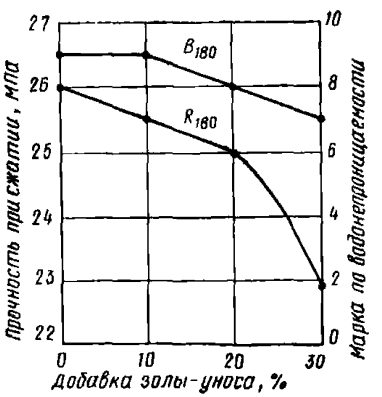


Рис. 23. Прочность и водонепроницаемость бетона с добавкой золы-уноса в возрасте 180 сут

На основании полученных данных по прочности и водонепроницаемости бетона рекомендуется добавка золы в количестве 20 % массы смешанного вяжущего. При такой дозировке золы бетон подобранного состава удовлетворяет требованиям проектируемой марки.

Таблица 11. **Состав и свойства бетонной смеси и бетона на смешанном вяжущем (бетон М250, В-8)**

Основные параметры бетонной смеси								
Вяжущее, % по массе		Ц	З	В/Ц или В/В	П / (Гр + П)	СДБ, %	ОК, см	Пл, кг/л
шлакопортландцемент	зола	кг/м³						
100	0	240	0	0,50	0,32	0,2	2	2,47
90	10	216	24	0,50	0,32	0,2	2	2,47
80	20	192	48	0,49	0,32	0,2	2	2,46
70	30	168	72	0,48	0,32	0,2	2	2,46

Продолжение табл. 11

Прочность бетона при сжатии, МПа, возраст образцов, сут				Марка бетона по водонепроницаемости в возрасте 180 сут
7	28	90	180	
10,7	19	24,2	26,6	В-9
8,9	17,2	23,3	25,5	В-9
7,1	15,4	22,4	25,0	В-8
5,6	13,1	20,2	22,9	В-7

Примечание. В/В — водовяжущее отношение.
П — содержание песка в смеси заполнителей, Гр — то же, гравия.
$П_л$ — средняя плотность бетонной смеси.

Таблица 12. **Состав и свойства бетонной смеси на смешанном вяжущем (бетон М250, В-8)**

Составляющие бетонной смеси и ее характеристика	Величина показателей	Составляющие бетонной смеси и ее характеристика	Величина показателей
Цемент, кг	192	Вода, л	118
Зола, кг	48	СДБ, кг	0,48
Песок, кг	655	В/Ц	0,49
Гравий, кг, фракций, мм:		Содержание песка в смеси заполнителей, по массе	0,31
5—20	495	Осадка конуса, см	2—3
20—40	495	Средняя плотность, кг/м³	2465
40—80	460		

Примечание. Смешанное вяжущее состоит из 80 % шлакопортландцемента и 20 % золы.

Для состава с установленным расходом смешанного вяжущего, состоящего из 80% шлакопортландцемента и 20% золы, проводят повторное определение оптимального содержания песка в смеси заполнителей согласно Руководства [3].

Оптимальное содержание песка по объему в смеси заполнителей составило 0,31. Окончательно установленный состав бетона (расход материалов на 1 м³ бетона) приведен в табл. 12.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛЫ И ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ*

Подбор составов тяжелого бетона с добавкой золы взамен части цемента и заполнителей

В состав тяжелых бетонов на плотных естественных и искусственных заполнителях золу следует вводить в оптимальном количестве, равном усредненно 150 кг на 1 м³ пропариваемого бетона и 100 кг на 1 м³ бетона, твердеющего без тепловой обработки. При этом достигают экономии цемента в количестве 50—70 кг на 1 м³ пропариваемого бетона и 30—40 кг на 1 м³ бетона, твердеющего без тепловой обработки. Золу следует вводить в бетонную смесь взамен одновременно части цемента, части щебня и песка без изменения принятого соотношения между ними или взамен только части цемента и части песка.

Подбор состава бетона с добавкой золы производится следующим образом. Предварительно определяют расход всех компонентов смеси одним из способов, изложенных в Руководстве по подбору составов [1] тяжелого бетона без золы. Количество вводимой в состав бетона золы принимают в соответствии с рекомендациями настоящего приложения.

Введением золы в бетонную смесь незначительно изменяют ее среднюю плотность и водопотребность. Поэтому для корректировки состава следует сократить расход цемента в рекомендуемых пределах и уменьшить расход заполнителей на величину, равную разности между массой золы и массой сокращаемого расхода цемента. Расход крупного и мелкого заполнителей следует уменьшить без изменения принятого между ними соотношения.

Расход воды для каменноугольной золы от сжигания донецкого угля практически остается неизменным. Для золы угля других месторождений расход воды необходимо корректировать.

---

* Разработаны Донецким Промстройниипроектом.

При подборе состава бетона с добавкой золы расход цемента можно также определять, исходя из предварительно устанавливаемой в производственных условиях графической или аналитической зависимости $R_б = f$ (Ц/В) или $R_б = f$ (Ц).

Расчет состава тяжелого бетона с заполнителем из золошлаковой смеси

Определяют Ц/В по формуле

$$Ц/В = R_б/R_ц \cdot 1/A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 (К - 0{,}4R_ц/1000), \quad (1)$$

где A_1 — коэффициент, учитывающий зерновой состав применяемой золошлаковой смеси, принимается по табл. 13; A_2 — коэффициент, учитывающий содержание в золошлаковой смеси несгоревших частиц, принимается по табл. 14.

Таблица 13. **Коэффициент по зерновому составу**

Содержание в золошлаковой смеси зерен, проходящих через сито № 0,315, % по массе	Значение коэффициента A_1
20—30	1
31—40	0,95
41—45	0,9
46—50	0,85

Таблица 14. **Коэффициент по содержанию несгоревших частиц**

Содержание в золошлаковой смеси несгоревших частиц, % по массе	Значение коэффициента A_2
0—3	1,05
3,1—6	1
6,1—10	0,95

При расчете состава бетона марок М100 и М200 коэффициент A_2 можно принимать равным 1 независимо от содержания несгоревших частиц в золошлаковой смеси. 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; $A_4 = 1$ для пропаренного бетона в месячном возрасте; $A_4 = 0{,}8$ для бетона твердеющего в естественных условиях при положительной температуре в месячном возрасте; $A_4 = 1$ в трехмесячном возрасте.

К — коэффициент, для бетона марки М100—М300 равный 0,61, а для М350—М500 — 0,58.

Необходимое количество воды затворения (В) принимают по табл. 15 в зависимости от насыпной плотности применяемой золошлаковой смеси и требуемой удобоукладываемости бетонной смеси.

Таблица 15. Расход воды в бетоне

Удобоукладываемость бетонной смеси	Расход воды В на 1 м³ бетона, л, при насыпной плотности золошлаковой смеси, кг/м³			
	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

Расход воды приведен для золошлаковой смеси, 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 5%, а при 40—50% — увеличивается на 10%.

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

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

$$Ц = Ц/В \cdot В. \qquad (2)$$

Расход золошлаковой смеси, кг на 1 м³ бетона, вычисляют по формуле

$$ЗШС = (1000 - ВВ - В - Ц/\rho_ц)\,\rho_{зшс}, \qquad (3)$$

где ВВ — объем вовлеченного воздуха.

Плотность зерен золошлаковой смеси для донецких углей можно принимать ориентировочно по табл. 16.

Таблица 16. Плотность зерен золошлаковой смеси из донецких углей

Насыпная плотность золошлаковой смеси, кг/м³	Плотность зерен золошлаковой смеси, кг/л
1400	2,45
1500	2,5
1600	2,55
1700	2,6

Объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха (ВВ) можно принимать по усредненным данным, приведенным в табл. 17.

Таблица 17. **Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси**

Удобоукладываемость бетонной смеси	Объем вовлеченного воздуха, л/м³
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 $R_б = f(Ц/В)$ и $R_б = f(Ц)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЗОЛЫ, ШЛАКА И ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ *

Настоящие рекомендации устанавливают методику расчета составов тяжелых бетонов с применением золы, плотных шлаков и золошлаковых смесей в целях установления оптимальной дозировки золы, улучшения гранулометрии мелких заполнителей, частичной или полной замены щебня и песка из природных каменных материалов шлаком или золошлаковой смесью.

При расчетах и подборах составов бетона с применением золошлаковых материалов в целях обеспечения долговечности бетонов и конструкций необходимо соблюдать требования по концентрации несгоревших углеродистых частиц в смеси золы и цемента, которые не должны превышать, % по массе: для неармированных конструкций 12; для конструкций с обычным армированием 8; для предварительно напряженных конструкций 4.

* Разработаны Днепропетровским ИСИ.

После проведения расчетов составов бетона выполняют опытные замесы с проверкой удобоукладываемости бетонной смеси и при необходимости производят корректировку расхода воды для получения требуемой удобоукладываемости. Окончательные составы бетона определяют после испытания контрольных образцов.

Расчеты составов бетона производят по методу абсолютных объемов с учетом следующих показателей и характеристик материалов, где:

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

$a_п$ — содержание пылевидной золы в золошлаковом сырье, % по массе;

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

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

$M_к^{шп}$ — 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;

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

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

$\rho_0^{пщ}$ — плотность зерен шлакового щебня, г/см³;

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

A_{016} — полный остаток на сите 0,16 мм, характеризующий содержание шлаковых зерен в золошлаковой смеси, % по массе;

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

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

Определение оптимальной дозировки золы в тяжелых бетонах

Настоящая методика предусматривает оптимизацию состава бетона с применением золы ТЭС, обеспечивающего наименьший расход клинкерного цемента при сохранении заданных (проектных) характеристик бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Методика основана на определении наибольшего значения коэффициента эффективности использования цемента в золоцементных

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

Определение оптимального расхода материалов производят в два этапа. На первом этапе формуют 4 серии образцов из равноподвижных с исходным составом смесей, в которых 12, 25, 37 и 50 % массы цемента исходного состава заменено соответствующим количеством золы (ЗУ). Можно принимать другие величины замены цемента золой, например: 10, 20, 30 и 40%. Условия и режим твердения назначают одинаковыми с принятым на производстве.

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

$$К_э = R/Ц, \qquad (4)$$

где R — прочность бетона в серии на сжатие, МПа;

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

$К_э$ — коэффициент эффективности использования цемента в бетоне этой серии.

Выбирают наибольшее значение коэффициента эффективности ($К_э^{макс}$) и фиксируют оптимальное значение содержания золы в составе золоцементного вяжущего ($ЗУ^{опт}$).

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

Вычисляют разницу расхода цемента (ΔЦ) в составах бетона исходном ($Ц_б$) и с оптимальным золоцементным вяжущим ($Ц_N$).

В следующих опытных замесах, цель которых состоит в получении бетона заданной прочности, сохраняют оптимальный состав смешанного золоцементного вяжущего.

Для получения бетона заданной прочности изготовляют два дополнительных замеса, в которых расход смешанного вяжущего увеличивают по сравнению с оптимальным золоцементным вяжущим составом. Расход воды подбирают из условия получения равноподвижных смесей. Расход цемента в первом и втором дополнительных замесах ($Ц_1$ и $Ц_2$, кг на 1 м³ бетона, соответственно) назначают из условия

$$Ц_1 = Ц_N + ΔЦ/3;$$
$$Ц_2 = Ц_N + 2ΔЦ/3.$$

Расход золы двух дополнительных замесов, кг на 1 м³ бетона, вычисляют по формулам

$$m'_{зу} = Ц_1 \cdot ЗУ^{опт} / (100 - ЗУ^{опт}); \qquad (5)$$

$$m''_{зу} = Ц_2 \cdot ЗУ^{опт}/(100 - ЗУ^{опт}). \quad (5а)$$

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

$$\Delta П' = (Ц_1/\rho_0^{ц} + m'_{зу}/\rho_0^{зу} - Ц_б/\rho_0^{ц})\,\rho_0^{п}; \quad (6)$$

$$\Delta П'' = (Ц_2/\rho_0^{ц} + m''_{зу}/\rho_0^{зу} - Ц_б/\rho_0^{ц})\,\rho_0^{п}. \quad (7)$$

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 из смеси заданной удобоукладываемости от содержания в нем цемента, выбирают расход цемента, обеспечивающий требуемую прочность и уточняют расход материалов на 1 м³ бетона.

Пример. Определить оптимальную дозировку золы в пропариваемом бетоне марки М300 при исходном составе:

Цемент — 350 кг; щебень — 1200 кг; песок — 590 кг; вода — 190 л на 1 м³ бетона.

Результаты испытания бетона исходного состава и составов с заменой цемента золой в количестве 12, 25, 37 и 50% по массе приведены в табл. 18.

Таблица 18. **Результаты испытания бетона**

№ состава бетона	Содержание золы в смешанном вяжущем, % по массе	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг					Прочность после пропаривания в возрасте 28 сут, МПа	Водовяжущий фактор $\frac{В}{Ц+ЗУ}$	$К_э$
		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	0,57	0,097

По максимальному значению коэффициента эффективности, равному 0,106, принимают оптимальный состав смешанного вяжущего № 3, содержащий 37% золы.

Вычисляют разницу расхода цемента ΔЦ в исходном составе и в составе с оптимальным количеством смешанного вяжущего

* — исходный состав.

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

расход цемента, золы и песка:

на первый дополнительный замес

$Ц' = 220 + 130:3 = 264$ кг, $m'_{зу} = 264 \cdot 37 : (100 - 37) = 155$ кг,

$П_р = П - \Delta П = 590 - (274:3{,}1 + 155:2{,}14 - 350:3{,}1)\, 2{,}64 = 472$ кг,

на второй дополнительный замес

$Ц'' = 220 + (130:3)\, 2 = 307$ кг, $m''_{зу} = 307 \cdot 37 : (100 - 37) = 180$ кг,

$П_р = П - \Delta П = 590 - (307 : 3{,}1 + 180:2{,}14 - 350 : 3{,}1)\, 2{,}64 = 405$ кг.

В расчете приняты значения: $\rho_0^ц = 3{,}1$; $\rho_0^{зу} = 2{,}14$; $\rho_0^п = 2{,}64$ г/см³.

Результаты испытания образцов из бетона первого и второго дополнительного составов приведены в табл. 19.

Таблица 19. **Результаты испытания бетона**

Состав	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг					Водовяжущий фактор $\frac{В}{Ц+ЗУ}$	Прочность после пропаривания в возрасте 28 сут, МПа
	цемент	зола	щебень	песок	вода		
1 (доп.)	264	155	1200	472	209	0,5	27,9
2 (доп.)	307	180	1200	405	214	0,44	31,4

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

Расчет составов бетона на плотных шлаках ТЭС для улучшения гранулометрии мелких заполнителей

Этот метод применяют для корректировки производственных составов бетона, когда из-за отсутствия средних и крупных песков используют мелкие и очень мелкие пески.

Расчет состава производят из соображений частичной замены кварцевого песка шлаковым, чтобы модуль крупности смешанного песка был равен 2,67. Крупные фракции, входящие в состав шлакового песка, заменяют соответствующую долю щебня из природного камня.

Расчет расхода материалов на 1 м³ бетона при использовании топливного шлака (содержание пылевидной золы не более 5%) производят в следующем порядке.

Содержание шлакового песка С, %, *в общей массе мелкого заполнителя* (кварцевый песок плюс шлаковый песок) вычисляют из выражения

$$C \quad (2{,}67 \quad M_к^п)/(M_к^{шп} \quad M_к^п). \qquad (8)$$

Количество шлакового песка (ШП, кг) находят из выражения

$$ШП = П \cdot С \cdot К, \qquad (9)$$

где П — расход кварцевого песка, кг на 1 м³ бетона в исходном составе;

К — *поправочный коэффициент*, учитывающий изменение объема при замене кварцевого песка более легким шлаковым

$$К = 1[1 + С\,(\rho_0^п/\rho_0^{шп} - 1)]. \qquad (10)$$

Количество кварцевого песка $П_р$, кг, остающегося после замены части его шлаковым песком, находят из выражения

$$П_р = П \cdot К\,(1 - С). \qquad (11)$$

Общий расход топливного шлака $ШТ_р$, кг на 1 м³ бетона находят по формуле

$$ШТ_р = 100ШП/[100 - (N_{шщ} + а_п)]. \qquad (12)$$

Количество шлакового песка совместно с измельченными шлаковыми частицами, прошедшими через сито с отверстием 0,16 мм ШП′, кг на 1 м³ бетона, определяют из выражения

$$ШП' = ШП + а_п \cdot ШТ_р/100. \qquad (13)$$

Количество шлакового щебня, кг, в составе топливного шлака находят из выражения

$$ШЩ = ШТ_р \cdot N_{шщ}/100. \qquad (14)$$

Расход цемента $Ц_р$ и воды $В_р$, кг на 1 м³ бетона, назначают на 6—10% меньше по сравнению с исходным.

Расход щебня $Щ_р$, кг на 1 м³ бетона с учетом частичной его замены шлаковым щебнем и содержания вовлеченного воздуха в бетонной смеси, равного 3%, определяют по формуле

$$Щ_р = [970 - (Ц_р/\rho_0^ц + ШЩ/\rho^{шщ} + ШП^1/\rho^{шп} + П_р/\rho_0^п + В_р/\rho_0^в)]\,\rho_0^щ. \qquad (15)$$

Пример. Рассчитать состав бетона марки М300 с использованием топливного шлака для улучшения гранулометрии мелкого песка.

Расход материалов на 1 м³ бетона исходного состава: цемента — 350 кг; щебня — 1216 кг; песка — 564 кг; воды — 192 л.

Ситовый анализ топливного шлака приведен в табл. 20.

Таблица 20. **Гранулометрический состав зóлошлáковых материалов**

Материал	Наименование остатков	Единица измерения	Условное обозначение	Остатки на ситах с размером отверстий, мм							
				10	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,16	$d_п$
Исходное золошлаковое сырье	Ч	г	—	60	196,3	321,7	163,5	125,5	54,6	38,4	40
	Ч	%	a_i	6	19,63	32,17	16,35	12,55	5,46	3,84	4
	П	%	A_i	6	25,63	57,8	74,15	86,7	92,16	96	—
Топливный шлак (шлаковый песок)	Ч	%	a''_i	—	—	45,7	23,2	17,8	7,75	5,45	—
	П	%	A''_i	—	—	45,7	68,9	86,7	94,45	100	—

Примечание. Ч — частные остатки, П — полные. 0,16 мм — размер сита для рассева песка по ГОСТ 25592—83.

$N_{шщ} \to A_5 = 25{,}63$ %; $a_п = 4$ %;

$$M_к^{шп} = (A''_{2,5} + A''_{1,25} + A''_{0,63} + A''_{0,315} + A''_{0,16})100 =$$
$$= (45{,}7 + 68{,}9 + 86{,}7 + 94{,}45 + 100)\ 100 = 3{,}96.$$

Характеристика исходных материалов: $M_к^п = 1{,}32$; $\rho_0^ц = 3{,}1$ г/см³; $\rho_0^щ = 2{,}68$ г/см³; $\rho_0^п = 2{,}64$ г/см³; $\rho_0^{шщ} = 2{,}4$ г/см³; $\rho_0^{шп} = 2{,}4$ г/см³.

Решение

1. $С = (2{,}67 - M_к^п)/(M_к^{шп} - M_к^п) = (2{,}67 - 1{,}32)/(3{,}96 - 1{,}32) = 0{,}51$;
2. $К = 1/[1 + С\ (\rho_0^п/\rho_0^{шп} - 1)] = 1/[1 + 0{,}51\ (2{,}64/2{,}4 - 1)] = 0{,}95$;
3. $ШП = П \cdot С \cdot К = 564 \cdot 0{,}51 \cdot 0{,}95 = 273$ кг;
4. $П_р = П\ (1 - С)\ К = 564\ (1 - 0{,}51) \cdot 0{,}95 = 263$ кг;
5. $ШТ_р = 100ШП/[100 - (N_{шщ} + a_п)] = 100 \cdot 273/[100 - (25{,}63 + 4)] = 388$ кг;
6. $ШП' = ШП + a_п \cdot ШТ_р/100 = 273 + 4 \cdot 388/100 = 289$ кг;
7. $ШЩ = ШТ \cdot N_{шщ}/100 = 388 \cdot 25{,}63/100 = 100$ кг;
8. $П_р = Ц - 0{,}08Ц = 350 - 0{,}08 \cdot 350 = 322$ кг;
9. $В_р = В - 0{,}08В = 192 - 0{,}08 \cdot 192 = 176{,}6$ кг;
10. $Щ_р = [970 - (Ц/\rho_0^п + ШЩ/\rho_0^{шп} + ШП/\rho_0^{шп} + П_р/\rho_0^п + В_р/\rho_0^в)]\ \rho_0^щ = [970 - (322/3{,}1 + 100/2{,}4 + 289/2{,}4 + 263/2{,}64 + 176{,}6/1)]\ 2{,}68 = 427{,}86 \cdot 2{,}68 = 1147$ кг;

расчетный состав бетона, кг на 1 м³: $Ц_р = 322$; $Щ_р = 1147$; $П_р = 263$; $ШТ_р = 388$; $В_р = 176{,}6$.

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

Оптимальное количество золошлаковой смеси определяют расчетным путем с учетом фактических характеристик используемого сырья. Расчет состава бетона производят из соображений частичной замены кварцевого песка шлаковым песком и золой (при содержании золы в составе золошлаковой смеси до 15%) или полной замены кварцевого песка (при содержании золы в составе золошлаковой смеси более 15%).

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

Расчет расхода материалов на 1 м³ бетона при использовании золошлаковой смеси, содержащей 15% и менее золы, производят по следующей схеме.

По формуле (8) определяют содержание шлакового песка С в общей массе мелкого заполнителя (кварцевый песок плюс шлаковый песок).

Затем определяют количество шлакового песка, кг, вводимого в бетонную смесь, с целью обеспечения оптимальной гранулометрии мелкого заполнителя.

$$ШП = ПС. \quad (16)$$

Общий расход золошлаковой смеси, кг на 1 м³ бетона находят по формуле

$$ЗШС_р = 100ШП/[100 - (N_{шщ} + а_п)]; \quad (17)$$

количество золы, кг, введенной вместе с золошлаковой смесью

$$ЗУ = ЗШС_р \cdot а_п/100; \quad (18)$$

количество шлакового щебня, кг, вводимого в бетон в составе золошлаковой смеси

$$ШЩ = ЗШС_р - ШП - ЗУ. \quad (19)$$

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. $(V_{шп}+V_{зу}) \geqslant V_п$, 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

$$П_р = (П/\rho_0^п - ШП/\rho_0^{шп} - ЗУ/\rho_0^{зу})\,\rho_0^п. \quad (20)$$

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

Расход воды на 1 м³ бетона может несколько увеличиться за счет введения дисперсной золы и его назначают с учетом поправок, приведенных в табл. 21.

Таблица 21. **Увеличение расхода воды по сравнению с исходным составом (ориентировочно)**

Содержание золы в бетоне	Увеличение расхода воды на 1 м³ бетона, л, при нормальной густоте зольного теста	
	до 32%	св. 32%
ЗУ $\leqslant$ 0,2 Ц	$\Delta В = 0$	$\Delta В = 0{,}05\ В$
ЗУ $>$ 0,2 Ц	$\Delta В = \frac{ЗУ - 0{,}2\ Ц}{8}$	$\Delta В = 0{,}05 \cdot В + \frac{ЗУ - 0{,}2\ Ц}{5}$

Расход цемента на 1 м³ бетона снижается за счет улучшения гранулометрического состава мелкого заполнителя и введения активного микронаполнителя. Ориентировочная величина этого снижения принимается по табл. 22.

Таблица 22. **Снижение расхода цемента по сравнению с исходным составом (ориентировочно)**

Содержание золы в бетоне	Снижение расхода цемента на 1 м³ бетона, при нормальной густоте зольного теста	
	до 32%	св. 32%
ЗУ $\leqslant$ 0,2 Ц	8—12	6—10
ЗУ $>$ 0,2 Ц	12—20	10—12

Количество щебня, оставшегося в составе бетона после частичной замены шлаковым, кг, находят из выражения

$$Щ_р = [970 - (Ц_р/\rho_0^ц + ШЩ/\rho_0^{шщ} + ШП/\rho_0^{шп} + ЗУ/\rho_0^{зу} + П_р/\rho_0^п + В_р/\rho_0^в)]\,\rho_0^{щ}. \quad (21)$$

Расход материалов на 1 м³ бетона с добавкой золошлаковой смеси, содержащей св. 15 % золы-уноса, определяют:

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

$$ШПЗ = П \cdot \rho_0^{шпз}/\rho_0^{п}; \quad (22)$$

плотность смеси шлакового песка и золы

$$\rho_0^{ШПЗ} = [(A_{0,16} - N_{шщ})\,\rho_0^{шп} + a_п \cdot \rho_0^{зу}]/(100 - N_{шщ}); \quad (23)$$

общий расход золошлаковой смеси, кг на 1 м³ бетона

$$ЗШС_р = (100 \cdot ШПЗ)/(100 - N_{шщ}); \quad (24)$$

количество золы, вводимой в бетон с золошлаковой смесью, кг,

$$ЗУ = ЗШС_р \cdot a_п/100; \quad (25)$$

количество шлакового песка, вводимого в бетон с золошлаковой смесью, кг,

$$ШП = ШПЗ - ЗУ; \quad (26)$$

количество шлакового щебня, вводимого в бетон с золошлаковой смесью, кг,

$$ШЩ = ЗШС_р - ШПЗ. \quad (27)$$

Расход воды и цемента на 1 м³ бетона назначают в соответствии с указаниями табл. 21 и 22.

Расход щебня, *оставшегося в составе бетона после частичной* его замены шлаковым, кг, находят по формуле (21).

Пример. Рассчитать 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.

Характеристика исходных материалов: $a_п = 12\%$; $N_{шщ} = 23{,}5\%$ (по результатам ситового анализа); $\rho_0^{шп} = 2{,}4$ г/см³; $\rho_0^{шщ} = 2{,}4$ г/см³; $\rho_0^{зу} = 2{,}14$ г/см³; $НГ_{зу} = 30\%$; $\rho_0^{щ} = 2{,}68$ г/см³; $\rho_0^{п} = 2{,}64$ г/см³; $M_к^{щ\,п} = 3{,}96$; $M_к^{п} = 1{,}32$; $\rho_0^{щ} = 3{,}1$ г/см³.

Решение

Поскольку в составе золошлаковой смеси содержание золы составляет 12%, расчет состава ведем по следующей схеме:

1. $С = (2{,}67 - M_к^{п})/(M_к^{шп} - M_к^{п}) = (2{,}67 - 1{,}32)/(3{,}96 - 1{,}32) = 0{,}51$;
2. $ШП = П \cdot С = 564 \cdot 0{,}51 = 288$ кг;
3. $ЗШС_р = 100ШП/[100 - (N_{шщ} + a_п)] = 100 \cdot 288/[100 - (23{,}5 + 12)] = 446$ кг;
4. $ЗУ = ЗШС_р \cdot a_п/100 = 446 \cdot 12/100 = 54$ кг.

5. $ШЩ = ЗШС_р — ШП — ЗУ = 446 — 288 — 54 = 104$ кг.

6. Сравниваем суммарный абсолютный объем шлакового песка и золы с абсолютным объемом кварцевого песка в исходном составе бетона

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

$$V_п = 564/2{,}64 = 214 \text{ л};$$

7. Поскольку $(V_{шп}+V_{зу}) < V_п$; $П_р = (П/\rho_0^п - ШП/\rho_0^{шп} - ЗУ/\rho_0^{зу})\,\rho_0^п =$

$= (564/2{,}64 - 288/2{,}14 - 54/2{,}14)/2{,}64 = 180$ кг;

8. $В_р = В = 192$ кг, т. е. расход воды равен расходу ее в исходном составе.

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

9. $Ц_р = Ц - 0{,}1Ц = 350 - 0{,}1 \cdot 350 = 315$ кг;

10. $Щ_р = [970 - (Ц_р/\rho_0^ц + ШЩ/\rho_0^{шщ} + ШП/\rho_0^{шп} + ЗУ/\rho_0^{зу} + П_р/\rho_0^п +$

$+ В_р/\rho_0^в)]\,\rho_0^щ = [970 - (315/3{,}1 + 104/2{,}4 + 288/2{,}4 +$

$+ 54/2{,}14 + 180/2{,}64 + 192/1)]\,2{,}68 = 1052$ кг;

11. Расчетный расход материалов на 1 м³: цемент — 315 кг, щебень — 1052 кг, песок — 180 кг, золошлаковая смесь — 446 кг, вода — 192 л.

Расчет состава бетона с использованием золошлаковой смеси или шлака для частичной замены кварцевого песка и природного щебня

Настоящая методика расчета состава бетона применима при использовании золошлаковой смеси и шлака с содержанием пылевидной золы не более 35%.

В основу расчета положена замена в исходном составе бетона 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 от 20 до 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 соответственно: св. 50%, 40—50% и до 40%.

В качестве шлакового щебня целесообразно принять зерна крупнее 3 мм, т. е. остаток на сите 2,5 мм

$$(N_{шщ} \rightarrow A_{2{,}5}).$$

Состав бетона определяют:

количество шлакового щебня, кг, вводимого с целью замены части природного щебня,

$$ШЩ = Щ \cdot l \cdot \rho_0^{шщ}/\rho_0^{щ}; \quad (28)$$

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

общее количество золошлаковой смеси, кг, вводимой в бетонную смесь (с учетом содержащихся в ней песчаной и пылевидной фракции),

$$ЗШС_р = 100ШЩ/N_{шщ}; \quad (29)$$

абсолютный объем золошлаковой смеси, л,

$$V_{ЗШС_р} = ЗШС_р/\rho_0^{зшс}; \quad (30)$$

среднюю плотность золошлаковой смеси

$$\rho_0^{зшс} = [N_{шщ} \cdot \rho_0^{шщ} + (A_{0,16} - N_{шщ})\,\rho_0^{шп} + a_п\rho^{зу}]/100. \quad (31)$$

Сравнивают абсолютный объем золошлаковой смеси с суммарным абсолютным объемом щебня, заменяемого золошлаковой смесью и песка, содержащегося в исходном составе бетона.

Если выполняется условие

$$V_{ЗШС_р} < (Ш \cdot l/\rho_0^{щ} + П/\rho_0^{п}), \quad (32)$$

то определяют:

количество кварцевого песка, кг, остающееся в исходном составе после замены его части шлаковым песком и золой по формулам (18), (19) и (20).

Если содержание кварцевого песка меньше 100 кг, его расход на 1 м³ бетона принимают равным 100 кг.

При замене природного щебня шлаковым расход цемента уменьшают на 6—10% по сравнению с исходным составом, сохраняя водоцементное отношение без изменения.

Расход воды и цемента находят с учетом данных табл 21 и 22.

Расчетный расход щебня определяют по формуле

$$Щ_р = [970 - (Ц_р/\rho_0^{ц} + ЗШС_р/\rho_0^{зшс} + П_р/\rho_0^{п} + В_р/\rho_0^{в})]\,\rho_0^{щ}. \quad (33)$$

Если условие (32) не выполняется, то при дальнейшем расчете определяют:

общее количество вводимой в бетон золошлаковой смеси

$$ЗШС' = (Щ/\rho_0^{щ} + П/\rho_0^{п})\,\rho_0^{зшс}; \quad (34)$$

абсолютный объем золошлаковой смеси

$$V_{ЗШС'} = ЗШС/\rho_0^{зшс}. \quad (35)$$

При содержании золы в золошлаковой смеси св. 15% количество кварцевого песка в новом составе принимают равным нулю.

Содержание золошлаковой смеси в новом составе бетона будет равно вычисленному по формуле (34), т. е. ЗШС=ЗШС′.

Расход воды и цемента назначают в соответствии с табл. 21 и 22.

Расчетный расход щебня определяют по формуле (33).

При содержании золы в золошлаковой смеси до 15% дальнейший расчет производится в следующем порядке.

Находят количество кварцевого песка, которое необходимо добавлять к золошлаковой смеси с целью улучшения гранулометрии заполнителя и обеспечения подвижности смеси

$$П_{уг} = (0{,}21ЗШС' \cdot A_{0,16}/100\rho_0^{шт} - ЗШС' \cdot a_п/100\rho_0^{зу})\,\rho_0^п. \quad (36)$$

Усредненный эмпирический коэффициент, равный 0,21, обозначает долю кварцевого песка, которая должна содержаться (для оптимизации зернового состава) в единице объема рыхло насыпанной смеси из необогащенного шлака ТЭС и кварцевого песка.

Вычисляют среднюю плотность топливного шлака

$$\rho_0^{шт} = [N_{шщ} \cdot \rho_0^{шщ} + (A_{0,16} - N_{шщ})\,\rho_0^{шп}]/A_{0,16}; \quad (37)$$

абсолютный объем кварцевого песка, который необходимо добавлять к топливному шлаку

$$V_{п_{уг}} = П_{уг}/\rho_0^п; \quad (38)$$

количество золошлаковой смеси, вводимой в бетонную смесь

$$ЗШС_р = V_{зшс} - [V'_{зшс}/(V_{зшс'} + V_{п_{уг}})]\,\rho_0^{зшс}; \quad (39)$$

количество кварцевого песка, оставшееся в исходном составе

$$П_р = [V_{П_{уг}} \cdot V_{зшс}/(V_{зшс'} + V_{п_{уг}})]\,\rho_0^п. \quad (40)$$

При использовании топливного шлака расход цемента и воды уменьшают на 6—10% по сравнению с исходным составом. При использовании золошлаковой смеси расходы воды и цемента назначают по табл. 21 и 22. Расчетный расход щебня определяют по формуле (33).

Пример. Рассчитать состав бетона марки М300 с использованием золошлаковой смеси 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: $\rho_0^ц$=3,1 г/см³; $\rho_0^щ$ =2,68 г/см³; $\rho_0^п$=2,64 г/см³; $\rho_0^{шт}$=2,4 г/см³; $\rho_0^{шп}$=2,4 г/см³; $\rho_0^{зу}$=2,14 г/см³; $N_{шщ} \to A_{2,5}$=48%; $a_п$=20%; $A_{0,16}$=80%.

Решение

1. $ШЩ = Щ \cdot l \cdot \rho_0^{шщ} / \rho_0^{ш} = 1266 \cdot 0{,}5 \cdot 2{,}4/2{,}68 = 567$ кг;
2. $ЗШС_р = 100ШЩ/N_{шщ} = 100 \cdot 567/48 = 1181$ кг;
3. $\rho_0^{зшс} = [N_{шщ} \cdot \rho_0^{шщ} + (A_{0,16} - N_{шщ})\,\rho_0^{ш\pi} + a_п \cdot \rho_0^{зу}]/100 =$
$= [48 \cdot 2{,}4 + (80 - 48) \cdot 2{,}4 + 20 \cdot 2{,}14]/100 = 2{,}35$;
4. $V_{ЗШС_р} = ЗШС_р/\rho_0^{зшс_р} = 1181/2{,}35 = 503$ л;
5. $Щ \cdot l/\rho_0^{щ} + П/\rho_0^{п} = 1266 \cdot 0{,}5/2{,}68 + 594/2{,}64 = 461$ л;
6. Поскольку $503 > 461$, следовательно, принимаем меньшее значение.
7. $ЗШС' = (Щ \cdot l/\rho_0^{щ} + П/\rho_0^{п})\,\rho_0^{зшс} = (1266 \cdot 0{,}5/2{,}68 + 594/2{,}64) \times$
$\times 2{,}35 = 1083$ кг;
8. $a_п = 20 > 15$, следовательно $П_р = 0$;
9. $ЗШС_р = ЗШС' = 1083$ кг;
10. $ЗУ = ЗШС_р \cdot a_п/100 = 1083 \cdot 20/100 = 217$ кг;
11. Поскольку $ЗУ > 0{,}2$ Ц $(217 > 70)$ и $НГ_{зу} < 32$, расход воды определен из выражения $В_р = В + (ЗУ - 0{,}2Ц)/8 = 192 + (217 - 0{,}2 \times$
$\times 350)/8 = 210$ л;
12. $П_р = Ц - Ц \cdot 0{,}12 = 350 - 350 \cdot 0{,}12 = 308$ кг;
13. $Щ_р = [970 - (Ц_р/\rho^{ц} + ЗШС_р/\rho_0^{зшс} + П_р/\rho_0^{п} + В/\rho_0^{в})]\,\rho_0^{щ} =$
$= [970 - (308/3{,}1 + 1083/2{,}35 + 0 + 192)] \cdot 2{,}68 = 584$ кг;
14. Расчетный расход материалов на 1 м³ бетона: цемент — 308 кг, щебень — 584 кг, золошлаковая смесь — 1083 кг, вода — 210 л.

Расчет состава бетона при использовании плотных шлаков ТЭС взамен заполнителей из природных каменных материалов

Шлаки ТЭС состоят из остроугольных частиц неправильной формы. Зерновой состав необогащенных шлаков в большинстве случаев неоптимален и имеет повышенную межзерновую пустотность. Поэтому бетонная смесь на его основе обладает повышенным коэффициентом внутреннего трения и жесткостью. Для снижения жесткости бетонной смеси, повышения плотности и прочности затвердевшего бетона на основе топливного шлака, в его состав следует вводить некоторое количество речного кварцевого песка.

Следует учитывать также, что плотность бетонной смеси на топливном шлаке ниже, чем на традиционных заполнителях (гранитном щебне и кварцевом песке). Поэтому при одинаковой жесткости бетонная смесь на шлаковом заполнителе имеет меньшую осадку конуса.

Расчет расхода материалов на 1 м³ бетона на топливном шла-

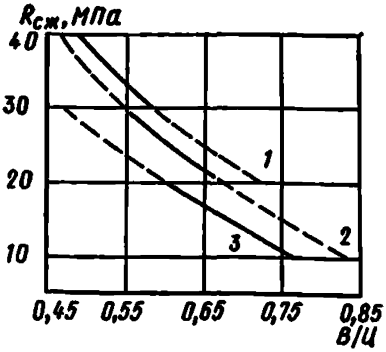


Рис. 24. Значение водоцементного отношения для бетонов различных марок

1 — при использовании цемента марки 500; *2* — то же, марки 400; *3* — то же, марки 300

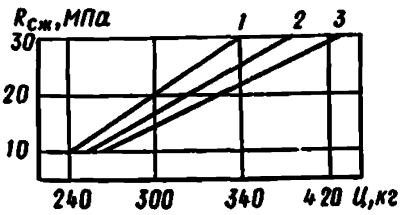


Рис. 25. Расход цемента марки 300 на 1 м³ бетона при жесткости

1 — 20—40 с; *2* — 10—20 с; *3* — 5—10 с

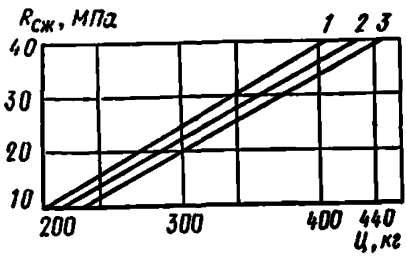


Рис. 26. Расход цемента марки 400 на 1 м³ бетона при жесткости

1 — 20—40 с; *2* — 10—20 с; *3* — 5—10 с

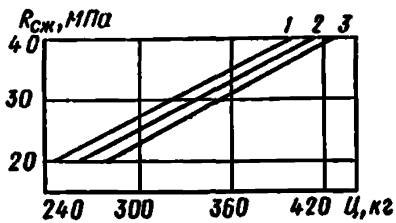


Рис. 27. Расход цемента марки 500 на 1 м³ бетона при жесткости

1 — 30—40 с; *2* — 10—20 с; *3* — 5—10 с

ке производят в следующем порядке: водоцементное отношение, обеспечивающее требуемую прочность бетона на цементе заданной марки находят по графику (рис. 24); расход цемента на 1 м³ бетона находят по графикам (рис. 25, 26 и 27) в зависимости от марки применяемого цемента; расход воды, л на 1 м³ бетона, вычисляют из выражения

$$В = Ц \cdot В/Ц. \qquad (41)$$

Расход кварцевого песка назначают в зависимости от требуемой подвижности бетонной смеси и расхода цемента на 1 м³ бетона по табл. 23.

Расход топливного шлака находят из выражения

$$ШТ = [970 - (Ц/\rho^{ц} + П/\rho_0^{п} + В/\rho^{в})]\rho_0^{шт}; \qquad (42)$$

Пример. Рассчитать состав бетона марки М300 с жесткостью 11—20 с, на цементе марки М400 с использованием топливного шлака взамен заполнителей из природных каменных материалов.

Зерновой состав шлака характеризуется ситовым анализом, приведенным в табл. 20.

Таблица 23. Расход песка в бетонной смеси

Жесткость бетонной смеси, с	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг		
	цемент	песок с модулем крупности (ориентировочно)	
		$М_{кр}^{п} > 1,5$	$М_{кр}^{п} = 1,1—1,4$
5—10	Св. 400	285	285
	до 400	570	420
11—20	Св. 380	285	285
	до 380	570	420
21—40	Св. 350	285	285
	до 350	570	420

Характеристика исходных материалов: $М_{к}^{п}=1,39$; $\rho_0^{ц}=3,1$ г/см³; $\rho_0^{п}=2,64$ г/см³; $\rho_0^{шл}=2,4$ г/см³; $\rho_0^{шп}=2,4$ г/см³; $А_5=25,63\%$.

Решение

1. По графику (см. рис. 24) находим

$$В/Ц = 0,55;$$

2. По графику (см. рис. 26) находим Ц=358 кг;

3. $В = Ц \cdot В/Ц = 358 \cdot 0,55 = 197$ л;

4. По табл. 23 находим П=420 кг;

5. $ШТ = [970 — (Ц/\rho^{ц} + П/\rho_0^{п} + В/\rho^{в})]\,\rho_0^{шт} =$

$= [970—(358/3,1 + 420/2,64 + 197/1)]\,2,4 = 1196$ кг.

Расчетный расход материалов на 1 м³ бетона:

цемент — 358 кг, шлак топливный — 1196 кг, песок — 420 кг, вода — 197 л.

Расчет состава мелкозернистого бетона при использовании золошлаковой смеси взамен песка

Расход материалов на 1 м³ бетона на основе отвальной золошлаковой смеси рассчитывают в следующей последовательности.

Определяют по графику (рис. 28) водоцементный фактор В/Ц, *обеспечивающий требуемую прочность бетона на основе золошлаковой смеси.* График составлен для случая использования золошлаковой смеси, содержащей 16% золы. При использовании золошлаковой смеси с содержанием золы 24—30% водоцементный фактор, най-

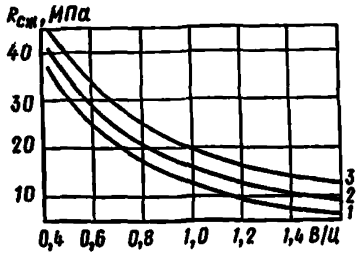


Рис. 28. Зависимость прочности золошлакобетона от водоцементного отношения бетонной смеси при марке цемента
1 — 300; *2* — 400; *3* — 500

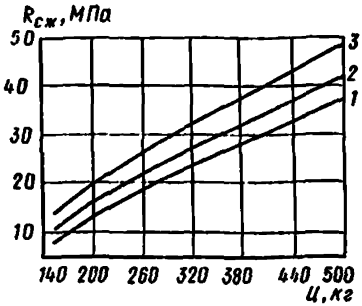


Рис. 29. Зависимость прочности золошлакобетона от расхода цемента марки
1 — 300; *2* — 400; *3* — 500

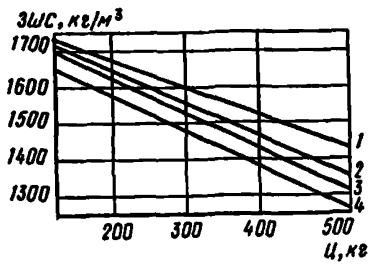


Рис. 30. Расход золошлаковой смеси в зависимости от расхода цемента и содержания золы в золошлаковой смеси
1 — 16%; *2* — 24%; *3* — 30%; *4* — 35%

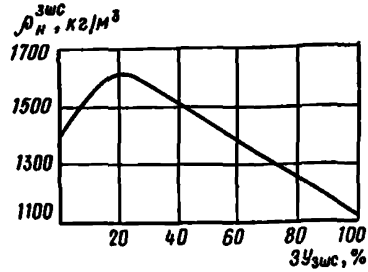


Рис. 31. Зависимость насыпной плотности золошлаковой смеси от содержания золы-уноса

денный на рис. 28, следует увеличить для бетона марки М200 и ниже на 0,15 — 0,2, а для бетона марки св. М200 — на 0,1.

Расход цемента на 1 м³ бетона заданной марки находят по графику, приведенному на рис. 29. График составлен для случая использования золошлаковой смеси, содержащей 16% золы. При содержании золы в пределах 24—30%, расход цемента, найденный по рис. 29, уменьшают на 15—20 кг для бетона марки М200 включительно и на 20—60 кг для бетона марки св. М200.

Расход воды, л на 1 м³ бетона, находят по формуле

$$В = Ц \cdot В/Ц.$$

Графики (см. рис. 28 и 29) приведены для бетонной смеси

жесткостью, равной 10 с по ГОСТ 10181.1—81. Бетонную смесь большей или меньшей жесткости подбирают опытным путем, уменьшая или увеличивая одновременно расход воды и цемента. Ориентировочный расход золошлаковой смеси на 1 м³ бетона в зависимости от содержания в ней золы определяют по графику (рис. 30). Количество золошлаковой смеси с содержанием золы, отличающимся от приведенного на графике, определяют интерполяцией. График составлен для золошлаковой смеси, насыпная плотность которой и содержание золы в ней связаны зависимостью, приведенной на рис. 31. При использовании смеси с другими характеристиками расход ее, найденный по графику (см. рис. 30), умножают на коэффициент q, который вычисляют по формуле

$$q = \rho_н^{зшс'} / \rho_н^{зшс}, \qquad (43)$$

где $\rho_н^{зшс'}$ — насыпная плотность фактически используемой золошлаковой смеси, кг/м³;

$\rho_н^{зшс}$ — насыпная плотность золошлаковой смеси, определенная по графику на рис. 31 при равном содержании золы.

Пример. Подобрать бетон марки М200 на цементе марки 400 и золошлаковой смеси, содержащей 16% золы. Жесткость бетонной смеси 10—12 с.

Решение

Находят: по графику на рис. 28

$$В/Ц = 0,82;$$

по графику на рис. 29 расход цемента на 1 м³ бетона

$$Ц = 240 \text{ кг};$$

расход воды

$$В = Ц \cdot В/Ц = 240 \cdot 0,82 = 197 \text{ л};$$

по графику на рис. 30 расход золошлаковой смеси ЗШС= 1635 кг.

Расчетный расход материалов на 1 м³ бетона:

цемент — 240 кг, золошлаковая смесь — 1635 кг, вода — 197 л.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И ПОДБОРУ СОСТАВОВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ *

Золу и золошлаковую смесь ТЭС применяют при изготовлении легких конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных бето-

* Разработаны ВНИИЖелезобетоном.

нов на пористых заполнителях в целях: снижения расхода цемента; экономии энергоемких дефицитных искусственных пористых заполнителей (в первую очередь керамзита, используемого для получения дробленого керамзитового песка); уменьшения средней плотности, массы и повышения теплозащитных свойств легкого бетона за счет отказа от применения или уменьшения расхода плотного песка.

Для приготовления конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона марок М50—М100 рекомендуется использовать преимущественно золу и золошлаковую смесь с удельной поверхностью 1500—2500 см²/г, для конструкционного бетона марок М150—М200 золу и золошлаковую смесь с удельной поверхностью 2500—3500 см²/г, а для конструкционного легкого бетона марок М300—М400 золу с удельной поверхностью не менее 2800 см²/г.

При приготовлении конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона золу и золошлаковую смесь ТЭС используют в качестве мелкого заполнителя, полностью или частично заменяя пористый или плотный песок. При приготовлении конструкционного легкого бетона марок М150—М200 золу и золошлаковую смесь ТЭС используют для частичной замены мелкого заполнителя.

При приготовлении конструкционного легкого бетона марок М300—М400 золу вводят взамен части цемента и мелкого заполнителя.

Составы легкого бетона с применением золошлаковых материалов рассчитывают, подбирают и назначают в соответствии с методикой, изложенной в Руководствах [4, 5]. При расчете состава легкого бетона на золошлаковых материалах учитывают повышенную водопотребность золы и золошлаковой смеси, которая увеличивает водосодержание бетонной смеси и снижает плотность бетона в сухом состоянии. Значение водопотребности золы и золошлаковой смеси определяют по методике ГОСТ 9758—77. Ориентировочные значения водопотребности золы и золошлаковой смеси приведены в табл. 24.

Таблица 24. **Значения водопотребности золы ТЭС (ориентировочно)**

Вид золы	Удельная поверхность, см²/г	Водопотребность $В_п$, % по массе
Антрацитовая	3000—4000	25—30
	2500—3500	25—35
Буроугольная	2000—2500	20—25
	1500—2000	15—20

При расчете состава бетона на золе и золошлаковой смеси значение *плотности зерен золы определяют в цементном тесте по* ГОСТ 9758—77 или принимают ориентировочно равным 2000 кг/м³.

При организации производства изделий из конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона с применением в качестве мелкого заполнителя золошлаковых материалов значения ожидаемой проектной плотности бетона устанавливают по табл. 25.

Таблица 25. Характеристика керамзитобетона с золой в качестве мелкого заполнителя

Марка бетона	Марка керамзита по *насыпной* плотности	Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³	Расход материала на 1 м³ бетона			
			цемент, кг	керамзит, м³	зола, м³	добавка СДБ, кг
50	300	750	210	1,2	0,1—0,15	0,5—0,7
	400	800	200	1,15	0,1—0,15	0,5—0,7
	500	900	200	1,1	0,1—0,15	0,5—0,7
	600	1000	200	1,05	0,1—0,15	0,5—0,7
75	300	800	230	1,2	0,15—0,2	0,45—0,6
	400	850	220	1,15	0,15—0,2	0,4—0,6
	500	950	210	1,1	0,15—0,2	0,4—0,6
	600	1050	200	1,05	0,15—0,2	0,4—0,6
100	400	950	250	1,15	0,2—0,25	0,4—0,5
	500	1000	230	1,1	0,2—0,25	0,4—0,5
	600	1100	220	1,05	0,2—0,25	0,4—0,5

Примечания: 1. Данные таблицы справедливы для золы и золошлаковой смеси: буроугольной с S=1500—2500 см²/г и антрацитовой с S=3000—4000 см²/г.

2. В составе керамзита содержится фракция 10—20 мм в количестве 0,75—0,85 м³, фракция 2,5—10 мм в количестве 0,25—0,35 м³.

3. Расход добавки СДБ по ТУ 13-05-02-83 приведен для буроугольной грубодисперсной золы S=1500—2500 см²/г. Для высокодисперсной золы его повышают в 1,5—2 раза.

По сравнению с керамзитобетоном на дробленом керамзитовом песке средняя плотность конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона *на золе не меняется или снижается примерно на* 50 кг/м³. При этом расход керамзита (с учетом потребности на дробление) уменьшается на 0,4—0,6 м³/м³. По сравнению с керамзитобетоном с воздухововлекающими добавками на плотном кварцевом песке расход керамзита не изменяется, расход цемента снижается на 20—40 кг/м³, а средняя плотность бетона той же марки

уменьшается на 100—200 кг/м³, приводя к возможности снижения толщины ограждающей конструкции или повышения на 15—20% ее теплоизолирующей способности.

Ориентировочные составы конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов с использованием в качестве мелкого заполнителя золы или золошлаковой смеси ТЭС приведены в табл. 25.

Расход воды определяют по формуле

$$В = 160 + 0{,}5К\,(W_к - 15)/100 + 0{,}012 \cdot ЗУ\,(В_п - 7), \quad (44)$$

где $W_к$ — водопоглощение керамзита за 1 ч по ГОСТ 9758—77, % по массе;

К — расход керамзита по массе, кг/м³;

ЗУ — расход сухой золы по массе, кг/м³;

$В_п$ — водопотребность золы по ГОСТ 9758—77 или табл. 24.

При изготовлении конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона без воздухововлекающих добавок расход керамзита следует принимать равным 0,95—1,05 м³/м³, расход цемента — по табл. 25.

Расход золы вычисляют по формуле

$$ЗУ = 1000 - Ц/3{,}1 - К/\gamma_к - 180)/[0{,}32 + 0{,}012\,(В_п - 7)], \quad (45)$$

где $\gamma_к$ — плотность керамзита в цементном тесте определяется по ГОСТ 9758—77.

Средняя плотность керамзитобетона в сухом состоянии на золе ТЭС без воздухововлекающих добавок при той же насыпной плотности керамзита и марке бетона по сравнению с данными табл. 25 повышается на 150—200 кг/м³, отпускная влажность увеличивается на 3—5%.

При приготовлении легкого конструкционно-теплоизоляционного бетона на недефицитных пористых песках (шлакопемзовый и природный пористый песок) золу можно вводить взамен части песка в количестве 80—120 кг для улучшения зернового состава песка и удобоукладываемости смеси с одновременным снижением на 5—10% расхода цемента.

При подборе составов конструкционного легкого бетона оптимальное содержание золы в составе бетона устанавливают экспериментально на основе опытных замесов бетона с различным содержанием золы. Для проведения опытов рекомендуют следующие дозировки золы:

для бетона марок М150—М200 — 100, 200 и 300 кг/м³;

для бетона марок М300—М400 — 50, 100 и 150 кг/м³.

Для каждой дозировки золы проводят расчет состава и соответственно замеси при трех значениях расхода цемента. Расход цемента принимают по табл. 25, увеличивая и уменьшая его на 15 % по массе.

При подборе состава конструкционного легкого бетона марок М150—М200 можно полностью заменять мелкий заполнитель грубодисперсной золошлаковой смесью или золой ТЭС с удельной поверхностью до 2500 см²/г. В этом случае расчет состава проводят так, как и для бетона на пористом песке. Содержание золы в составе бетона определяют расчетом, исходя из условий получения заданной плотности и структуры бетона.

При сухом прогреве изделий из керамзитозолобетонов в камерах ямного, туннельного и щелевого типа, оборудованных термоэлектронагревателями (ТЭН), паровыми регистрами, калориферами, инфракрасными излучателями, режимы тепловлажностной обработки *назначают по табл. 26*

Таблица 26. Режимы тепловлажностной обработки

Периоды, ч	Бетоны плотные	Бетоны поризованные
Предварительная выдержка при 15—20 °С, ч	1,5—2,5	1
Предварительная выдержка при 40 °С, ч	—	2
Подъем температуры до 120—140 °С, ч	1,5—2,5	3—4
Изотермическая выдержка, ч	6—8	4—6
Остывание, ч	1—2	2

При прогреве в камерах острым паром режим принимают одно*паковый для бетонов плотных и поризованных:*

Предварительная выдержка, ч	2,5—3,5
Подъем температуры до 80—95° С, ч . . .	2,5—3,5
Изотермическая выдержка, ч	4—6
Остывание, ч	1—2

Большие значения относятся к панелям толщиной 300—400 мм, меньшие к панелям толщиной 200—250 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВАМ ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ *

Настоящее приложение распространяется на применение золы в качестве дисперсной (пылевидной) добавки и золошлаковой смеси в качестве заполнителя для жаростойкого бетона на портландцементе с температурой службы до 1000°С.

Выбор исходных материалов для приготовления жаростойкого

* Предложение НИИЖБ и Донецкого Промстройниипроекта.

бетона, расчет и назначение составов, приготовление опытных замесов и испытание контрольных образцов следует осуществлять в соответствии с требованиями СН 156-79.

Ориентировочные составы жаростойких бетонов с добавкой золы и различными заполнителями приведены в табл. 27 и в табл. 28— жаростойких бетонов с золошлаковой смесью.

Таблица 27. Состав жаростойких бетонов с добавкой золы

№ состава	Вид заполнителей	Предельно допустимая температура применения, °С	Расход материала, кг на 1 м³ бетона			
			портландцемент, т	зола-унос	заполнитель фракции	
					0,14—5 мм	5—20 мм
1	Вспученный перлит	600	300	100	200	250
2	Андезит, базальт, диорит, диабаз	700	350	120	850	900
3	Шлак доменный отвальный или литой	700	350	120	900	1000
4	Топливный шлак	800	350	120	500	600
5	Бой обыкновенного глиняного кирпича	900	350	120	600	600
6	Аглопорит	1000	400	200	450	450
7	Керамзит	1000	350	120	400	450
8	Керамзит и вермикулит	1000	320	100	100	280
9	Вермикулит	1000	300	100	150	—
10	Шамот	1000	350	120	650	650

Объемная насыпная плотность, кг/м³: вермикулита — 150; керамзита —400—650; перлита — 300.

Расход воды для приготовления жаростойких бетонов назначают с учетом водопоглощения заполнителей и с таким расчетом,

Таблица 28. Состав жаростойких бетонов на золошлаковой смеси

№ состава	Предельно допустимая температура применения, °С	Расход материала на 1 м³ бетона, кг			
		портландцемент	золошлаковая смесь		шлаковая пемза фракции 5—20 мм
			каменноугольная	антрацитовая	
11	800	360	1000	—	520
12	800	320	1700	—	—
13	800	360	—	930	450
14	800	330	—	1465	—

чтобы подвижность бетонной смеси не превышала 2 см по осадке конуса.

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ СОСТАВЫ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В соответствии с указаниями СНиП 5.01.23-83 расход цементно-зольного вяжущего в бетоне неармированных изделий или сооружений должен быть не менее 200 кг/м³ и в бетоне железобетонных конструкций не менее 220 кг/м³ (п. 7.4 настоящих Рекомендаций). При этом содержание портландцемента или шлакопортландцемента должно быть не менее 150 и 180 кг/м³ соответственно.

Перед применением ориентировочных составов бетонов, приведенных в табл. 29—40, их следует проверить в опытных затворениях на фактически применяемых материалах: цементе, заполнителях, золошлаковых материалах, пластифицирующих добавках.

По опытным данным института возможно применение золы от сжигания бурых углей Канско-Ачинского месторождения с содержанием свободной окиси кальция до 7% по массе в тяжелом бетоне и до 10% в легком бетоне.

При содержании в золе свободной окиси кальция до 14% по массе ее можно применять после домола до удельной поверхности не менее 3400 см²/г, или при приготовлении бетонной смеси на горячей воде с температурой 70°С, или с подогревом паром в процессе перемешивания бетонной смеси.

По опыту СибЗНИИЭП зола от сжигания бурых углей Канско-Ачинского месторождения, содержащая оксид кальция до 36,5% по массе в том числе свободного до 8%, является бесцементным вяжущим и обеспечивает прочность бетона до 10 МПа.

Таблица 29. **Ориентировочные составы пропаренного тяжелого бетона на гранитном щебне фракции 10—20 мм с добавкой золы углей Донецкого месторождения (по данным Донецкого Промстройниипроекта)**

Марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материалов на 1 м³ бетона, кг														
			шлакопортландцемент М300					портландцемент М400					портландцемент М500				
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент	зола	щебень	песок	вода	цемент	зола	щебень	песок	вода	цемент	зола	щебень	песок	вода
М100	5—9	—	155	150	1275	600	180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
М200	5—9	—	270	150	1200	545	185	240	150	1220	555	185	210	150	1255	585	180
	1—4	—	255	150	1225	550	170	220	150	1245	565	170	190	150	1285	600	165
	—	5—10	240	150	1240	565	155	200	150	1265	580	155	170	150	1315	605	150
	—	11—20	230	150	1250	570	150	180	150	1280	590	150	150	150	1355	620	145
М300	5—9	—	420	150	1105	465	190	350	150	1155	500	185	300	150	1180	535	185
	1—4	—	390	150	1135	480	175	325	150	1180	515	170	260	150	1220	550	170
	—	5—10	370	150	1160	490	160	300	150	1205	530	155	230	150	1255	560	155
	—	11—20	350	150	1180	495	155	270	150	1225	545	150	220	150	1255	575	150
М400	5—9	—	—	—	—	—	—	490	150	1050	435	190	460	150	1085	445	190
	1—4	—	—	—	—	—	—	440	150	1100	455	175	400	150	1130	475	175
	—	5—10	—	—	—	—	—	400	150	1140	470	160	360	150	1170	490	160
		11—20	—	—	—	—	—	375	150	1155	485	155	340	150	1185	500	155

Таблица 30. **Ориентировочные составы тяжелого бетона с использованием золы от сжигания донецких углей, твердеющего при пропаривании**

Марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материала на 1 м³ бетона, кг								
			при марке цемента								
			300		400		500				
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент	зола	цемент	зола	цемент	зола	щебень	песок	вода
М100	5—9	—	160	220	—	—	—	—	1105	560	210
	1—4	—	145	200	—	—	—	—	1165	565	200
	5—9	—	—	—	145	220	—	—	1110	565	215
М150	5—9	—	200	200	—	—	—	—	1117	540	215
	1—4	—	185	180	—	—	—	—	1170	550	200
	—	5—10	175	165	—	—	—	—	1221	560	190
	—	11—20	160	150	—	—	—	—	1272	570	180
	4—6	—	—	—	195	190	—	—	1100	545	215
	1—3	—	—	—	175	160	—	—	1170	560	200
	—	5—10	—	—	165	145	—	—	1220	570	190
	—	11—20	—	—	155	130	—	—	1260	580	190
М200	5—9	—	270	210	—	—	—	—	1040	525	215
	1—4	—	245	180	—	—	—	—	1126	535	200
	—	5—10	235	160	—	—	—	—	1182	542	190
	—	11—20	225	140	—	—	—	—	1240	550	180
М200	5—9	—	—	—	255	210	—	—	1060	535	215
	1—4	—	—	—	230	180	—	—	1140	546	200
	—	5—10	—	—	215	160	—	—	1195	553	190
	—	11—20	—	—	200	140	—	—	1250	560	180
	5—9	—	—	—	—	—	230	220	1060	545	215
	1—4	—	—	—	—	—	200	190	1148	560	200
	—	5—10	—	—	—	—	185	175	1205	570	190
	—	11—20	—	—	—	—	170	160	1265	580	180
М300	5—9	—	405	190	—	—	—	—	1050	420	220
	1—4	—	385	165	—	—	—	—	1115	450	200
	—	5—10	365	150	—	—	—	—	1158	470	190
	—	11—20	350	120	—	—	—	—	1200	490	180
	5—9	—	—	—	340	190	—	—	1065	455	220
	1—4	—	—	—	315	165	—	—	1140	475	200
	—	5—10	—	—	300	150	—	—	1195	495	190

Продолжение табл. 30

Марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материала на 1 м³ бетона, кг								
			при марке цемента								
			300		400		500				
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент	зола	цемент	зола	цемент	зола	щебень	песок	вода
М300	—	11—20	—	—	280	120	—	—	1250	520	180
	5—9	—	—	—	—	—	315	190	1050	500	215
	1—4	—	—	—	—	—	270	150	1140	520	202
	—	5—10	—	—	—	—	245	130	1205	535	190
	—	11—20	—	—	—	—	230	120	1270	550	180
М400	5—9	—	—	—	465	190	—	—	1035	385	230
	1—4	—	—	—	420	160	—	—	1106	428	205
	—	5—10	—	—	390	140	—	—	1157	455	192
	—	11—20	—	—	370	120	—	—	1208	480	180
	5—9	—	—	—	—	—	385	190	1025	465	230
	1—4	—	—	—	—	—	340	150	1114	480	205
	—	5—10	—	—	—	—	320	135	1180	490	192
	—	11—20	—	—	—	—	300	120	1248	500	180

Примечание. СДБ вводится в количестве 0,2 % массы цемента.

Таблица 31. Составы бетонов на основе топливных шлаков (по данным Днепропетровского ИСИ)

Марка бетона	Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг					
			цемент марки			шлак топливный	песок	вода
			300	400	500			
М100	1—4	—	268	—	—	1155	570	195
	—	5—10	250	—	—	1175	570	190
	—	11—20	240	—	—	1205	570	180
	1—4	—	—	230	—	1180	570	193
	—	5—10	—	215	—	1220	570	181
	—	11—20	—	200	—	1265	570	170

Продолжение табл. 31

Марка бетона	Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг					
			цемент марки			шлак топливный	песок	вода
			300	400	500			
М150	1—4	—	290	—	—	1130	570	200
	—	5—10	280	—	—	1155	570	190
	—	11—20	270	—	—	1175	570	185
	1—4	—	—	260	—	1155	570	195
	—	5—10	—	245	—	1190	570	185
	—	11—20	—	230	—	1230	570	175
М200	1—4	—	340	—	—	1075	570	205
	—	5—10	330	—	—	1100	570	208
	—	11—20	320	—	—	1120	570	190
	1—4	—	—	300	—	1105	570	205
	—	5—10	—	285	—	1141	570	198
	—	11—20	—	270	—	1180	570	180
	1—4	—	—	—	276	1120	570	205
	—	5—10	—	—	260	1165	570	190
	—	11—20	—	—	245	1210	570	175
М300	1—4	—	430	—	—	1245	285	210
	—	5—10	395	—	—	1325	285	190
	—	11—20	360	—	—	1390	285	170
	1—4	—	—	376	—	1040	570	211
	—	5—10	—	356	—	1080	570	195
	—	11—20	—	340	—	1120	570	185
	1—4	—	—	—	360	1050	570	210
	—	5—10	—	—	335	1095	570	195
	—	11—20	—	—	310	1155	570	180
М400	1—4	—	—	450	—	1225	285	210
	—	5—10	—	430	—	1265	285	200
	—	11—20	—	410	—	1305	285	190
	1—4	—	—	—	430	1245	285	210
	—	5—10	—	—	415	1275	285	203
	—	11—20	—	—	400	1300	285	195

Примечания: 1. При подборе составов использовали песок с $M_{кр}=1{,}6$.

2. Расход цемента для бетонов марок М100, М150 назначен из условия удобоукладываемости смеси. При введении пластификаторов расход цемента в этих составах может быть снижен на 20—30 кг.

3. При использовании золошлаковой смеси с содержанием пылевидной золы 8—12% расход цемента в приведенных составах снижается на 20—40 кг.

4. Составы разработаны для получения 70-процентной прочности бетона после пропаривания.

Таблица 32. Ориентировочные составы мелкозернистого пропаренного бетона на каменноугольной золошлаковой смеси (по данным Донецкого Промстройниипроекта)

Марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материала на 1 м³ бетона, кг												
			шлакопортландцемент марки 300			портландцемент марки 400			портландцемент марки 500			портландцемент марки 600		
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода
М100	5—9	—	180	1675	245	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1—4	—	165	1710	225	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5—10	5—10	150	1745	205	—	—	—	—	—	—	—	—	—
М200	5—9	—	330	1585	245	270	1625	245	240	1635	245	—	—	—
	1—4	—	305	1630	225	250	1665	225	220	1675	225	—	—	—
	—	5—10	280	1675	205	230	1705	205	200	1717	200	—	—	—
	—	11—20	255	1720	185	210	1745	185	180	1735	185	—	—	—
М300	5—9	—	—	—	—	400	1550	250	350	1580	250	315	1600	245
	1—4	—	—	—	—	370	1600	230	325	1625	230	290	1645	225
	—	5—10	—	—	—	340	1650	210	300	1670	210	265	1690	205
	—	11—20	—	—	—	310	1700	190	275	1715	190	240	1735	185
М400	1—4	—	—	—	—	530	1475	245	460	1530	230	430	1540	230
	—	5—10	—	—	—	485	1540	215	420	1590	210	395	1595	210
	—	11—20	—	—	—	440	1605	195	380	1650	190	360	1650	190
М500	1—4	—	—	—	—	—	—	—	585	1430	235	545	1460	235
	—	11—20	—	—	—	—	—	—	535	1500	215	500	1525	215
	—	5—10	—	—	—	—	—	—	485	1570	195	455	1590	195

Таблица 33. **Ориентировочные составы мелкозернистого бетона на антрацитовой золошлаковой смеси (по данным Донецкого Промстройниипроекта)**

Марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материала на 1 м³ бетона, кг											
			шлакопортландцемент марки 300			портландцемент марки 400			портландцемент марки 500			портландцемент марки 600		
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода	цемент	золошлаковая смесь	вода
М100	5—9	—	200	1610	270	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1—4	—	185	1645	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	5—10	170	1680	240	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	11—20	155	1715	210	—	—	—	—	—	—	—	—	—
М200	5—9	—	385	1505	270	305	1555	270	260	1590	270	—	—	—
	1—4	—	340	1550	250	280	1600	250	240	1630	250	—	—	—
	—	5—10	315	1595	230	255	1645	230	220	1670	230	—	—	—
	—	11—20	290	1640	210	230	1690	210	200	1710	210	—	—	—
М300	5—9	—	—	—	—	460	1425	275	405	1470	275	365	1505	270
	1—4	—	—	—	—	425	1480	255	375	1520	255	340	1550	250
	—	5—10	—	—	—	390	1535	235	345	1570	235	315	1595	230
	—	11—20	—	—	—	355	1590	215	315	1620	215	290	1640	210

Таблица 34. **Ориентировочные составы бетонов на основе золошлаковой смеси из донецких углей, содержащей 16—18% золы при жесткости смеси 5—10с (по данным Днепропетровского ИСИ)**

Марка бетона	Расход материала на 1 м³, кг				
	цемент марки			золошлаковая смесь	вода
	300	400	500		
М100	170	—	—	1695	195
	—	155	—	1700	200
М150	220	—	—	1655	195
	—	190	—	1680	200
М200	275	—	—	1620	200
	—	240	205	1645	195
	—	—	—	1670	200
М250	340	—	—	1565	200
	—	295	—	1600	200
	—	—	245	1635	200
М300	405	—	—	1520	205
	—	355	—	1560	200
	—	—	300	1600	200
М400	—	475	—	1640	210
	—	—	405	1520	203

Таблица 35. **Ориентировочные составы тяжелого бетона с применением буроугольной золы с удельной поверхностью 3600—4400 см²/г (по данным Тульского политехнического института)**

Марка бетона	Расход материала на 1 м³ бетона, кг				
	цемент	зола	щебень	песок	вода
На шлакопортландцементе марки 300					
М100	215	—	1200	725	190
	200	20	1200	725	190
	200	50	1200	695	190
М150	265	—	1180	710	185
	240	25	1180	710	190
	240	50	1180	685	195
	240	70	1180	665	195
М200	335	—	1180	640	185
	300	35	1180	640	185
	300	70	1180	605	195
	300	100	1180	575	195

Продолжение табл. 35

Марка бетона	Расход материала на 1 м³ бетона, кг				
	цемент	зола	щебень	песок	вода
На портландцементе марки 400					
М200	295	—	1180	675	185
	265	30	1180	675	185
	265	70	1180	735	190
	265	100	1180	605	195

Примечание. Щебень карбонатный фракции 10—20 мм, песок с $M_{кр}=2{,}1$, подвижность бетонной смеси 1—4 см, твердение при тепловой обработке.

Таблица 36. **Ориентировочные составы бетонной смеси высокой подвижности (ОК=20—24 см) для кассетного формования (по данным Новокузнецкого отделения УралНИИстромпроекта и треста Кузбассжелезобетон Главшахтостроя Минуглепрома СССР)**

Марка бетона	Расход материалов на 1 м³ бетона, кг					
	цемент М400	щебень фракции 5—20 мм	песок $M_{кр}=2{,}5$	зола $S=3000$ см²/г	вода, л	СДБ, % массы цемента
М150	190	1000	670	200	210	0,3
М200	260	1000	580	200	230	0,25
М300	350	980	480	200	250	0,2

Таблица 37. **Составы керамзитобетона на высокодисперсных золах гидроудаления Московских ТЭС с повышенным содержанием несгоревших углеродистых частиц (по данным НИЛ ФХММиТП Главмоспромстройматериалов)**

Материал	Единица измерения	Расход материала на 1 м³ бетона марок	
		М60	М75—М100
		при жесткости бетонной смеси, с	
		5—10	15—20
Цемент М400	кг	220—230	200—210
Керамзит:			
фракции 10—20 мм	л	500—750	700—750
» 2,5—10 »	»	500—300	300—250
Зола гидроудаления	»	180—150	350—400
Добавка СДБ	% массы цемента	0,7—1	0,2—0,3
Вода	л	210—220	240—250

Примечания: 1. Составы смесей даны при условии приготовления их в смесителе СБ-93.

2. Бетоны марки М75—700 следует применять для конструкций, работающих в сухих условиях при влажности воздуха до 60%. Для применения их в панелях наружных стен расход цемента должен быть повышен.

Таблица 38. Составы бетонов для изготовления неармированных блоков стен подвалов на природном песке и с применением высокодисперсных зол гидроудаления Московских ТЭС на ЗСЖБ Главмоспромстройматериалов

Материал	Расход материала на 1 м³ бетона марок, кг		
	М150	М100	М150
	при Мрз		
	50	75/150	100/200
Цемент 400	200	150/150	200/200
Щебень известняковый	1200	1200/1200	1200/1200
Песок природный	750	—	—
Зола гидроудаления	—	460/440	425/400
Вода	210	310/320	260/280
Морозостойкость	50	75/150	100/200

Примечание. До черты — при удельной поверхности 4000 см²/г, за чертой — 6000 см²/г.

Таблица 39. Составы тяжелого бетона с добавкой высококальциевой золы бурого угля Канско-Ачинского бассейна (по данным Новосибирского ИСИ)

Марка бетон	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход материалов на 1 м³ бетона, кг				
	осадка конуса, см	жесткость, с	цемент марки 400	зола	щебень	песок	вода
М150	5—9	—	250	70	1180	647	190
М200	—	40—50	260	80	1100	725	180
	0	15—30	255	80	1120	715	200
	5—9	5—15	275	75	1100	671	210
	10—15	—	340	80	1150	747	240
М300	1—4	15—20	330	70	1270	600	260

Таблица 40. Состав керамзитобетона с добавкой высококальциевой золы бурого угля Канско-Ачинского бассейна

Марка бетона	Расход материалов на 1 м³ бетона							
	портландцемент 400, кг	зола, кг	керамзитовый гравий фракции 10—20 мм		дробленый керамзит фракции 0—10 мм		вода, л	СНВ, % массы цемента
			кг	м³	кг	м³		
М75	180	220	342	0,65	300	0,45	260	0,05
М100	200	200	316	0,6	366	0,55	280	0,05
М150	220	180	264	0,5	433	0,65	300	0,05

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОУДАЛЕННОЙ ЗОЛЫ ЮЖНО-КУЗБАССКОЙ ГРЭС В ВИДЕ ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Отделение приготовления шлама рассчитано на производство 30 тыс. м³ железобетонных изделий в год и может быть расширено для обеспечения производства 100 тыс. м³ изделий в год.

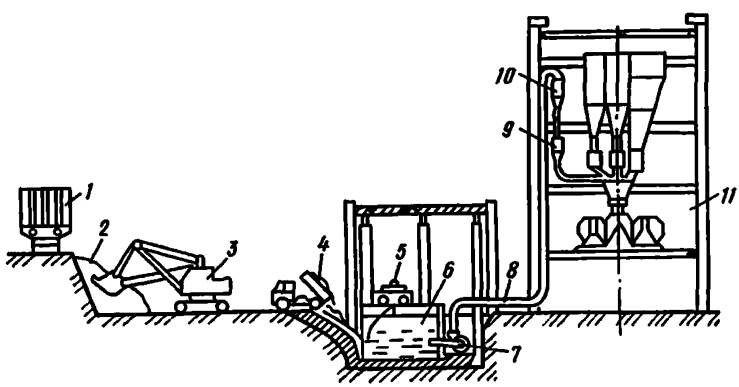


Рис. 32. Схема переработки золошлаковой смеси и использования шлама

1 — железнодорожный полувагон; *2* — открытый склад золошлаковой смеси, доставленной из отвала; *3* — экскаватор на гусеничном ходу; *4* — самосвал для подачи золошлаковой смеси в бассейн; *5* — самоходная шламомешалка; *6* — бассейн для приготовления шлама; *7* — шламонасос; *8* — шламопровод в бункер для шлама; *9* — дозатор для шлама; *10* — бункер для шлама; *11* — бетоносмесительное отделение

Зола в отвале перемещается с помощью бульдозера в бурты, экскаватором грузится в железнодорожные полувагоны и доставля-

ется на завод. За пять летних месяцев на заводе создается запас золы на всю зиму в открытом складе.

В отделении приготовления шлама (рис. 32) имеются два шламбассейна емкостью по 36 м^3, работающие поочередно на приготовление и расход шлама. Экскаватор грузит золу из открытого склада в автосамосвал, который перемещает ее в шламбассейн. Скоростные самоходные мешалки перемешивают смесь с водой и добавкой СДБ в количестве, обеспечивающем получение шлама постоянного состава и консистенции. Шлам насосом перекачивается в дозировочное отделение бетоносмесительного узла и расходуется через жидкостный автоматический дозатор. Дозируемое количество шлама содержит 90—100% необходимого количества воды для получения бетонной смеси. Получаемая бетонная смесь имеет осадку конуса 20—24 см (см. табл. 36).

Возможная экономия складывается из уменьшения расхода цемента и дефицитного песка, а также исключения затрат на работы по отделке поверхностей панелей под окраску. Снижение стоимости изделий составляет до 4%.

Разработанная технология изготовления панелей стен и перекрытий позволила достигнуть высокого качества поверхности изделий, уменьшить время уплотнения смеси (с требуемой осадкой конуса 20—24 см) в кассетах конструкции Гипростроммаша до 2—3 с и отказаться от шпаклевки поверхностей изделий под окраску. Одновременно в результате сокращения длительности вибрирования кассет значительно улучшились условия труда в цехе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. — М.: Стройиздат, 1979.

2. Руководство по производству бетонных работ. — М.: Стройиздат, 1975.

3. Руководство по проектированию состава гидротехнических бетонов. — Л.: Энергия, 1974.

4. Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях. — М.: Стройиздат, 1975.

5. Руководство по заводской технологии изготовления наружных стеновых панелей из легких бетонов на пористых заполнителях. — М.: Стройиздат, 1980.

6. Руководство по применению химических добавок в бетоне. — М.: Стройиздат, 1981.

7. Рекомендации по определению реакционной способности заполнителей бетона со щелочами цемента. — М.: 1972.

8. Руководство по изготовлению изделий и конструкций из высокопрочных легких бетонов на пористых заполнителях. — М.: [illegible]ат, 1979.

gost.e-ecolog.ru