

500 лет), принадлежащие одному ветровому району, задача сводится к решению системы из двух уравнений относительно неизвестных \bar{V} и $\sigma(V)$:

$$\begin{cases} -\left[\frac{1.283}{\sigma} \cdot (1.034 - \bar{V}) + 0.577\right] = \ln\left[-\ln\left(\frac{500}{500+1}\right)\right] \\ -\left[\frac{1.283}{\sigma} \cdot (0.859 - \bar{V}) + 0.577\right] = \ln\left[-\ln\left(\frac{50}{50+1}\right)\right] \end{cases} \quad (15).$$

Получены значения:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= 0.603 \text{ м/сек;} \\ \sigma(V) &= 0.098 \text{ м/сек.} \end{aligned} \quad (16).$$

Подставив значения \bar{V} и $\sigma(V)$ из (16) в (13) получаем значение параметра:

$$K = 0.118.$$

Подставив значения $K = 0.118$ в выражение (14), получаем значение вероятностного фактора для скорости ветра:

$$C_{prob} = 1.426 \quad (17).$$

Поскольку ветровая нагрузка зависит от квадрата скорости ветра, значение коэффициента надежности по предельному расчетному значению ветровой нагрузки для заданного периода повторяемости 10000 лет составляет:

$$\gamma_{fm} = C_{prob}^2 = 1.426^2 = 2.0 \quad (18).$$

Выводы:

1. Вероятностный коэффициент надежности по предельному расчетному значению ветровой нагрузки с периодом повторяемости свыше 500 лет может быть определен по формуле (4.2) Еврокода EN 1991-1-4:2005 и статистическим характеристикам выборки годовых максимумов скорости ветра для интересующего района.
2. Нормативный документ ДБН В.1.2-2:2006 не содержит информации о статистических характеристиках выборок годовых максимумов скорости ветра для ветровых районов Украины, однако такие данные для выборки в целом по Украине, в предположении, что закон распределения является двойным экспоненциальным законом, могут быть получены.
3. Нормативный документ ДБН В.1.2-2:2006, в соответствии с рекомендациями Еврокода EN 1991-1-4:2005, должен быть дополнен сведениями о параметрах формулы (4.2) Еврокода EN 1991-1-4:2005, в идеале – для всех ветровых районов Украины.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ,

- 2006.
2. EN 1991-1-4:2005. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions. 2005 CEN.
3. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. -369 с.

УДК 662. 613. 13

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ И ШЛАКОВ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС

д.т.н., проф. Приходько А.П., к.т.н., доц. Павленко Т.М.,
к.т.н., доц. Дехта Т.Н., студ. Аббасова А.Р.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы. Проблема использования золошлаковых отходов возникла одновременно со строительством тепловых электростанций (ТЭС) в связи с необходимостью утилизации огромного количества этих веществ и решением проблемы охраны окружающей среды.

Золошлаковые отходы ТЭС представляют собой минеральные остатки от сжигания твердого топлива в топках котлоагрегатов. Уголь состоит из горючих органических соединений (углеводороды) и неорганической части, в состав которой входят различные минералы, которые в процессе горения топлива видоизменяются, образуя золы и шлаки. В нашем регионе одной из важнейших задач является утилизация золошлаковых отходов Приднепровской ТЭС. До начала 70-х годов XX века отходы на этой ТЭС поступали в отвалы в виде золошлаковых смесей. В настоящее время производится раздельное золошлакоудаление. Таким образом, в настоящее время на ТЭС имеется три вида твердых отходов:

- золошлаковая смесь (механическая смесь золы и шлака непостоянного состава);
- зола уноса (дисперсный материал);
- топливный шлак (зернистый материал с крупностью зёрен от 0,16 мм до 20 мм; изредка встречаются более крупные зёрна).

Из приведенного следует, что существует необходимость разработки эффективных технологий, позволяющих максимально использовать как золошлаковые смеси, так и золы и шлаки в строительстве.

Наиболее массовой утилизации золошлаковых отходов можно достичь при их использовании в строительстве в качестве заполнителей для бетонов. При этом возможно получение бетонов не только на золошлаковом сырье, а и в сочетании с традиционными заполнителями. Большой вклад в решение этой проблемы внесли Иванов И.А. [1], Сергеев А.М. [2, 3], Дворкин Л.И., Пашков И.А. [4], Бабачев Г. (Болгария) [5] и другие.

Целью настоящей работы является совершенствование технологии бетонов на основе золошлакового сырья за счет оптимизации состава бетонов, в которых в качестве заполнителей используются золошлаковая смесь, шлаки

и золы, традиционный крупный заполнитель и зола, а также за счет применения вибровакуумной обработки бетонных смесей. Основная задача исследований определяется необходимостью расширения сырьевой базы местных заполнителей для бетонов, а также решением экологических проблем, связанных с утилизацией отходов ТЭС.

Основной материал. Свойства золошлакового бетона, как и других бетонов, определяются характеристиками применяемых исходных материалов и рядом технологических факторов, особенно способом уплотнения бетонной смеси.

При выполнении всех исследований использовали местные вяжущие активностью 20 МПа. В качестве заполнителей для приготовления бетонных смесей применяли золошлаковую смесь, золу и шлак Приднепровской ТЭС, основные характеристики которых приведены ниже, а также традиционные гранитный щебень и кварцевый песок.

Таблица 1

Характеристики золошлаковой смеси Приднепровской ТЭС

Основные свойства	Показатели
Насыпная плотность, кг/м ³	1400...1600
Истинная плотность, г/см ³	2,10...2,48
Удельная поверхность, см ² /г	1500...2500

Таблица 2

Химический состав золошлаковой смеси Приднепровской ТЭС

Содержание оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+ +Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.
41...53	15...22	5...9	0,5	3...4	1...1,6	0,4...0,8	10...14

Золошлаковые смеси ТЭС имеют не постоянный состав в различных местах отвала, особенно по содержанию крупных фракций (шлаков фракции более 5 мм). Для частичного устранения этого недостатка нами предложено просеивать золошлаковую смесь через сито с отверстиями 5 мм и применять мелкозернистую смесь для приготовления бетонных смесей (бетонов). Полученная таким образом смесь по количеству является самой массовой в отвалах электростанций и характеризуется практически постоянным составом. После просеивания золошлаковой смеси, полученные шлаки крупностью более 5 мм характеризуются также практически постоянным составом и могут быть успешно использованы для приготовления бетонов, в дорожном строительстве, в качестве утеплителя и т.д.

Гранулометрический состав используемой золошлаковой смеси приведен в табл. 3. Модуль крупности такой смеси – $M_k = 3,77$.

Истинная плотность золы уноса Приднепровской ТЭС и других основных электростанций Украины, определенная по методике ГОСТ 9758-86, находится, как правило, в пределах 2,26...2,50 г/см³. Насыпная плотность этой золы находится в пределах 0,75...1,05 г/см³. Она зависит от гранулометрии, содержания несгоревших углеродистых частиц и восстановленного железа.

Средние результаты ситового анализа сбрасываемых в отвалы зол уноса характеризуются следующими данными: массовая доля остатка на сите с сеткой 016 – 3...9%, 008 – 8...16%. Дисперсность зол зависит от ступени

Таблица 3

Гранулометрический состав мелкозернистой золошлаковой смеси

Остатки на ситах, %	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	45,5	17,5	18,5	9,5	5,4	3,6
Полные	45,5	63	81,5	91	96,4	-
Насыпная плотность, кг/м ³	1300	1170	1200	1230	1350	-

золоулавливающих устройств, от которой отбирается проба. На первых ступенях улавливания отбираются сравнительно крупные фракции, характеризующиеся удельной поверхностью 1500...2000 см²/г, на последних – наиболее мелкие – 5000...6000 см²/г. Средняя дисперсность направляемых в отвалы зол находится в пределах 2600...3800 см²/г. В общем случае в результате естественного расслаивания материала на различных участках золоотвалов, формируемых гидравлической системой удаления отходов с ТЭС, оседают и накапливаются золы различной дисперсности, от 1800 до 7000 см²/г [2].

По химическому составу топливный шлак мало отличается от золы уноса соответствующих ТЭС. Различие состоит в том, что в результате дожига топлива в шлакоборниках шлаки практически не содержат несгоревших углеродистых частиц. Массовая доля таких частиц, независимо от марки сжигаемого угля, обычно составляет 0,4...0,8% и редко превышает 1%. При дожигании содержащихся в золе высокотемпературных остатков происходит углубление восстановительных процессов, в результате чего доля FeO в общей массе оксидов железа возрастает в шлаке до 60...90% против 20...30% в золе уноса. Выделяемые при этом газы образуют в шлаке микро- и макропоры [5].

Физико-механические характеристики топливных шлаков от сжигания донецких углей в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением имеют следующие значения [3]. Средняя плотность зерен находится в пределах 2,27...2,47 г/см³. Колебания плотности связаны с различным значением пористости в отдельных зернах. Истинная плотность шлака, определенная по стандартной методике (ГОСТ 8269) близка к значению 2,60 г/см³. Пористость

зерен шлака, вычисленная по результатам определения средней плотности зерен и истинной плотности, находится в пределах 6...13%. Насыпная плотность зависит от плотности зерен, гранулометрии и находится в пределах 1250...1450 кг/м³. Прочностные характеристики топливных шлаков, определяемые путем испытания их в цилиндре, приведены в табл. 4.

Из приведенных данных видно, что шлак мелкой фракции прочнее шлака крупной фракции, поскольку крупные зерна шлака имеют больше дефектов в виде крупных пор, раковин и микротрещин.

Таблица 4

Прочностные характеристики шлаков ТЭС

Размер фракции, мм	Дробимость (по ГОСТ 8269), %	Прочность при сдавливании в цилиндре (по ГОСТ 9758), МПа
3...10	19...26	4,8...5,1
10...20	31...34	3,6...3,8

При испытании шлака на морозостойкость по методике ГОСТ 8269 (фракция 5...10 мм) потери массы составили 1,85% – после 50 циклов, 3,8% – после 100 и 4,9% – после 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания [2].

В результате выполненных нами исследований, на основе золошлаковых смесей, зол и шлаков были получены следующие виды бетонов:

- виброуплотненные и вибровакуумированные мелкозернистые золошлаковые бетоны;
- бетоны оптимального состава на шлаке и золе;
- бетоны оптимального состава на гранитном щебне и золе;
- виброуплотненные и вибровакуумированные золобетоны.

Ниже приведены конкретные характеристики бетонных смесей, бетонов, а также методика исследований.

При исследовании бетонов на мелкозернистой золошлаковой смеси подвижность исходной бетонной смеси характеризовалась осадкой стандартного конуса – ОК = 1...2 см. Из каждого вида бетонной смеси формовали образцы размером 15 × 15 × 7 см для определения прочности в возрасте 28 суток при следующих режимах и способах уплотнения. Из подвижной бетонной смеси образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 25...30 с, при формовании образцов из жесткой смеси продолжительность уплотнения вибрированием составляла 60...65 с; вибровакуумированные – после предварительного виброуплотнения продолжительностью 25...30 с, подвергали вакуумированию при разрежении 0,7 (полный вакуум принят за единицу). В процессе вакуумирования применяли периодическое вибрирование (два приема по 10...12 с через каждые 2 мин) [6]. Общая продолжительность вибровакуумирования составляла 6 мин, при этом было удалено 96...100 л воды в пересчете на 1 м³ золошлакового вакуумбетона. Все образцы твердели в нормальных условиях.

Составы бетонов и результаты их испытаний приведены в табл. 5.

Вибровакуумирование позволило повысить прочность золошлакового бетона практически в 2 раза в сравнении с прочностью бетона исходного состава. Прочность же бетона из жесткой смеси только на 25% больше, чем у бетона из подвижной бетонной смеси. Существенно улучшены и другие показатели [7].

В дальнейших наших исследованиях испытаны бетоны оптимального состава на шлаке и золе, а также на гранитном щебне и золе. Для сравнения приведены характеристики обычных бетонов (на гранитном щебне и кварцевом песке). Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой

Таблица 5

Состав, плотность и прочность мелкозернистых золошлаковых бетонов

Вид бетона	В/Ц	Расход материалов, кг/м ³			Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
		Цемент	Золошлаковая смесь	Вода		
Виброуплотненный (исходного состава)	0,76	352	1402	268	2022	12,7
Вибровакуумированный	0,51	368	1495	186	2049	22,4
Виброуплотненный (из жесткой смеси)	0,52	364	1482	185	2031	16,2

стандартного конуса – ОК = 3...4 см. Формовали образцы размером 10 × 10 × 10 см вибрационным способом продолжительностью 20 с для определения прочности в возрасте 28 суток. Образцы твердели в нормальных условиях.

Составы бетонов и результаты их испытаний приведены в табл. 6.

Таблица 6

Состав, плотность и прочность бетонов

Вид бетона	В/Ц	Расход материалов, кг/м ³						Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
		Цемент	Зола	Шлак	Щебень	Песок	Вода		
На шлаке и золе	0,67	314	224	1441	-	-	209	2188	16,9
На гранитном щебне и золе	0,62	339	241	-	1558	-	212	2350	20,2
На гранитном щебне и кварцевом песке	0,63	340	-	-	1250	670	182	2442	18,6

Результаты испытаний показали возможность получения бетонов классов В12,5...В15 с использованием местного вяжущего, шлаков и зол ТЭС. Данные табл. 6 показывают, что бетоны на традиционных заполнителях имеют меньшую прочность, чем бетоны, в которых в качестве мелкого заполнителя использована зола.

Особенно необходимо отметить актуальность массового использования золы в качестве мелкого заполнителя для бетонов. Это связано не только с необходимостью утилизации огромных объемов данного материала в отвалах, но и с существующим в настоящее время дефицитом традиционного мелкого заполнителя.

Решению проблемы утилизации отходов ТЭС способствует использование золы уноса для производства золобетонов. Для определения основных характеристик золобетонов были изготовлены образцы вибрационным способом и методом вибровакуумирования. Подвижность исходной бетонной смеси характеризовалась осадкой стандартного конуса – ОК = 3...4 см. Из каждого вида бетонной смеси формовали образцы размером 15 × 15 × 7 см для определения прочности в возрасте 28 суток при следующих режимах и способах уплотнения. Из бетонной смеси исходного состава образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 5...10 с и вибровакуумированные (режим вакуумирования принят таким же, как и в предыдущих исследованиях). Общая продолжительность вибровакуумирования составляла 9 мин, при этом было удалено 63...80 л воды в пересчете на 1 м³ золобетона. Все образцы твердели в нормальных условиях.

Составы золобетонов и результаты их испытаний приведены в табл. 7.

Таблица 7

Состав, плотность и прочность золобетонов

Вид бетона	В/Ц	Расход материалов, кг/м ³			Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
		Цемент	Зола	Вода		
Виброуплотненный (исходного состава)	1,73	277	831	479	1587	2,6
	1,75	291	873	508	1672	2,7
Вибровакуумированный	1,44	274	1096	394	1764	4,8
	1,53	267	1068	408	1743	4,2

Вакуумная обработка золобетонной смеси при ее уплотнении предоставила возможность повысить прочность бетона практически в 2 раза и получить бетоны класса В3,5 при умеренных расходах местного вяжущего.

Плотность сухого золобетона находится в пределах 1400...1500 кг/м³, что дает возможность использовать золобетон как стеновой материал (стеновые камни, крупные стеновые блоки и др.)

Выводы. Получены бетоны рационального состава на основе золошлаковых смесей, шлаков, зол ТЭС и на местном вяжущем (М 200). Показана высокая эффективность вакуумной обработки таких бетонов – предоставляется возможность повысить прочность в 2 раза. Широкое использование таких бетонов в строительстве дает возможность решить проблему местных заполнителей, а также утилизации отходов ТЭС, способствует охране окружающей среды.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. – М.: Госстройиздат, 1972. – 127 с.
2. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.
3. Сергеев А.М., Дибров Г.Д. и др. Применение местных материалов в строительстве. – К.: Будівельник, 1975. – 184 с.
4. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 208 с.
5. Бабачев Г. Зола и шлаки в производстве строительных материалов. – К.: Будівельник, 1987. – 136 с.
6. Сторожук Н.А. Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона: Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 251 с.
7. Сторожук Н.А., Павленко Т.М., Романченко В.В. Вибровакуумированные мелкозернистые золошлаковые бетоны // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА. – Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения, 2007. – Вып. 43. – С. 537-543.

УДК 624:131.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

д.т.н., проф. Приходько А.П., д.т.н., проф. Савин Л.С.,

к.т.н., доц. Сторчай Н.С., маг. Кононов Д.В., маг. Энвальт Е.А.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы. В настоящее время наметившиеся тенденции в производстве строительных материалов определяют широкое применение различных вторичных продуктов производства (техногенных отходов). Это позволяет значительно повысить экономическую эффективность производства и снизить себестоимость современных материалов. Даже частичная замена природных сырьевых материалов отходами производств может дать значительный экономический эффект. Поэтому разработка теоретических основ модификации строительных материалов за счет реализации эффективного действия вторичных продуктов производства, является **актуальной проблемой**. Решение данной проблемы имеет большое научно-практическое значение, позволяющее расширить представления об изменении структуры и свойств в модифицированных строительных материалах, позволит также расширить сырьевую базу и, будет способствовать экологическому оздоровлению окружающей среды. К вторичным продуктам производства относятся крупнотоннажные отходы Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК).

Общие сведения. Филиал «Вольногорский горно-металлургический комбинат» ЗАО «Крымский титан» расположен в северо-восточной части г. Вольногорска и юго-западной части Верхнеднепровского района Днепропетровской области. Комбинат разрабатывает Малышевское месторождение редкостных минералов, которое расположено на расстоянии 80 км