

Яцук Л.В., канд.техн.наук, зав. лабораторией, ГП «НИИСМИ»,
 Константиновский А.П., канд.техн.наук, доцент,
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛЫ-УНОС ЛАДЫЖИНСКОЙ ГРЭС

К наиболее актуальным проблемам строительного комплекса Украины относится снижение энергоемкости производства материалов и изделий, уменьшение расхода дорогих материальных ресурсов, к которым относятся в первую очередь портландцемент. Снижение энергоемкости наиболее массовых строительных материалов – бетонов и растворов, достигается комплексом технологических способов, в том числе и применением эффективного техногенного сырья. Зола-унос тепловых электростанций традиционно применяется в строительстве при изготовлении бетонных и растворных смесей с целью улучшения их строительно-технических свойств и экономии цемента [1-2].

Исследованиями, проведенными в ГП «НИИСМИ», изучены физико-технические характеристики золы-уноса Ладыжинской ГРЭС – аутогезионная способность, коэффициент виброуплотнения, слеживаемость, текучесть, активность, а также показатели качества золоцементных композиций.

Аутогезионная способность

Аутогезионная способность представляет собой сравнительную характеристику сыпучего материала и означает интенсивность аутогезии, т.е. силы взаимодействия между частицами материала, которая препятствует их разъединению.

При хранении и транспортировке сыпучих материалов аутогезия является нежелательной: она способствует слеживанию, образованию сводов при истечении сыпучих материалов, затрудняет опорожнение емкостей, снижает производительность бункеров. В этих случаях на преодоление аутогезии необходимо дополнительно затратить определенные усилия или провести дополнительные мероприятия [3].

Количественная оценка аутогезии позволяет предсказать поведение сыпучих материалов в различных производственных процессах и предупредить ее отрицательное действие, которое может проявляться в забивании трубопроводов и отверстий, слеживании при хранении, комковании и забивке ячеек сит при просеивании и др.

В качестве основного показателя, характеризующего аутогезионную способность сыпучих материалов, можно принять прочность на разрыв. По величине этого показателя предложено классифицировать пылевидные материалы на следующие четыре группы: неслипающиеся, слабослипающиеся, среднеслипающиеся, сильнослипающиеся. Классификация сыпучих материалов представлена в таблице 1 [4].

Таблица 1.

Классификация сыпучих материалов

Разрывная прочность, Па (метод разъемного цилиндра)	Характеристика материала
60-300	Слабослипающиеся (зола после сжигания углей)
300-600	Среднеслипающиеся (сухой цемент)
более 600	Сильнослипающиеся (гипс, алебастр, увлажненный цемент, глина)

Существует ряд косвенных методов оценки аутогезии сыпучих материалов, которые применяются в инженерной практике благодаря их простоте. К ним относятся: просеивание пробы через набор сит; рассев материала на сите, имеющем ячейки размером 5x5 мм, за определенный период времени; определение коэффициента виброуплотнения, а также коэффициента текучести.

Исследование аутогезионной способности золы-уноса Ладыжинской ГРЭС проводили параллельно исследованию аутогезионной способности цемента.

Коэффициент виброуплотнения

Коэффициент виброуплотнения золы и цемента определяли по формуле:

$$k_b = \frac{\rho_{\text{Ву}} - \rho_{\text{Н}}}{\rho_{\text{Ву}}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{Ву}}$ – плотность сыпучего материала после виброуплотнения, кг/м³; $\rho_{\text{Н}}$ – плотность сыпучего материала до виброуплотнения, кг/м³.

В таблице 2 представлены результаты определения коэффициента виброуплотнения.

Таблица 2.

Классификация сыпучих материалов

Показатель	Зола	Цемент
Плотность после виброуплотнения, кг/м ³	1280	1405
Плотность до виброуплотнения, кг/м ³	1130	1240
Коэффициент виброуплотнения	0,12	0,13

Аутогезионная способность

Аутогезионную способность золы и цемента определяют по результатам просеивания проб через набор сит σ_1 , σ_2 и σ_3 с разным размером ячеек. После просеивания взвешивали остатки на ситах, а затем вычисляли аутогезионную способность материалов по формуле:

$$A = (50\sigma_1 + 30\sigma_2 + 10\sigma_3), \quad (2)$$

В таблице 3 приведены результаты испытаний.

Таблица 3.

Классификация сыпучих материалов

Размер отверстий сит, мм	Остатки на ситах, г	
	Зола	Цемент
0,63	15	5
0,314	10	5
0,14	35	750
менее 0,14	940	150
Аутогезионная способность, %	1400	7900

Как видно из приведенных данных, зола обладает меньшей склонностью к аутогезии, чем цемент.

Слеживаемость

При длительном нахождении сыпучих материалов в неподвижном состоянии прочность их увеличивается, они теряют свойства текучести и превращаются в единый монолит. Это явление называется слеживанием. На практике для оценки слеживаемости, кроме непосредственного измерения прочности сыпучих материалов, применяют ряд относительных методов: рассев порошка, пенетрацию, измельчение в шаровой мельнице, сопротивление столбика материала под действием сжимающей нагрузки.

Применяют метод оценки слеживаемости по рассеву материала на сите, имеющем ячейки размером 5x5 мм. Степень слеживания оценивают по 12-бальной системе и рассчитывают по формуле:

$$C_{сл} = 5 \tau / M, \quad (3)$$

где $C_{сл}$ – степень слеживаемости в баллах;

τ – продолжительность рессева, с;

M – масса рессеиваемого материала, кг.

Максимальная слеживаемость в 12 баллов соответствует рессеву 50 кг порошка в течении 120 с [4].

В таблице 4 приведены результаты определения слеживаемости золы и цемента.

Таблица 4.

Классификация сыпучих материалов

Наименование показателей	Показатели	
	Зола	Цемент
Масса, кг	2	2
Время, с	3	4
Степень слеживаемости, $C_{сл}$	7,5	10

Как показывают результаты исследований, степень слеживаемости у золы меньше, чем у цемента.

Текучесть

Текучесть сыпучих материалов – золы и цемента – оценивали по коэффициенту текучести k_T , учитывающему зависимость скорости истечения порошка от радиуса отверстия воронки r [4].

Эта зависимость выражается следующей формулой:

$$k_T = \frac{\tau \cdot r^{2,58}}{\sigma}, \quad (4)$$

где σ – масса сыпучего материала; τ – время истечения.

Чем меньше k_T , тем лучше текучесть порошка. Для металлических порошков $k_T = 0,5-2,5$ [4].

В таблице 5 приведены результаты определения коэффициента текучести золы и цемента.

Таблица 5.

Классификация сыпучих материалов

Наименование показателей	Показатели	
	Зола	Цемент
Масса, кг	1	1
Время истечения, с	4	10
Радиус воронки, см	2	2
Коэффициент текучести	23,9	59,8

Текучесть порошков характеризуют также отношением плотности порошка после виброуплотнения к плотности в свободном состоянии – коэффициентом виброуплотнения.

Коэффициент виброуплотнения составляет [4]:

– для гранул – 0,05-0,15;

– для текучих материалов – 0,22-0,28;

– для сильносвязанных материалов – более 0,38.

Результаты определения коэффициента текучести (таблица 5) и коэффициента виброуплотнения (таблица 2) показывают, что зола Ладыжинской ГРЭС является более текучим материалом, чем цемент.

На основании проведенных определений аутогезионной способности золы Ладыжинской ГРЭС и цемента можно сделать вывод, что зола менее склонна к аутогезии, чем цемент, и для ее использования в технологии производства бетонов, растворов, сухих строительных смесей могут быть использованы системы для хранения, транспортировки и подачи цемента.

Активность

Одной из основных качественных характеристик золы-унос является ее активность. К оценке этой характеристики еще нет единого подхода. Активность пылевидной золы целесообразно оценивать с учетом следующих важнейших критериев:

– способности к самостоятельному твердению при затворении водой (по аналогии с вяжущими материалами). Характеристикой активности в этом случае является прочность затвердевших образцов;

– способности вступать во взаимодействие с продуктами гидратации клинкерных минералов, ни снижая прочности твердеющего камня. Показателем активности служит доля пылевидной золы в составе золоцементного вяжущего, при которой не наблюдается снижение прочностных характеристик образцов состава 1:3 (золоцементное вяжущее:песок) по сравнению с образцами, изготовленными из цемента и песка без добавки золы. Изготовление и испытание образцов-балочек производят в соответствии с методикой ДСТУ Б В 2.7-187-2009 [5]. Активность золы проверяют при твердении ее как в естественных условиях, так и при пропаривании;

– способности к проявлению вяжущих свойств в сочетании с гидратной известью. Критерием активности в этом случае является прочность пропаренных образцов-балочек, изготовленных из золоизвесткового теста состава 4:1 (зола:известь) нормальной густоты с добавкой тонкомолотого гипсового камня в количестве 3%;

– способности пылевидной золы, смешанной с гидратной известью в пропорции 80:20 (зола:известь) образовывать схватывающиеся в течение 1-7 сут составы, обладающие после схватывания достаточной водостойкостью. Характеристикой активности золы при этом считается время (в сутках), в течение которого зола обеспечивает схватывание и необходимую водостойкость указанной смеси;

– способности к поглощению извести из известкового раствора. Количество поглощенной через 30 сут извести (в мг) на 1 г золы служит в этом случае показателем активности.

Зола Ладыжинской ГРЭС содержит оксид кальция в небольшом количестве и поэтому не обладает способностью к самостоятельному твердению.

Определение активности золы Ладыжинской ГРЭС осуществляли согласно ДСТУ Б В.2.7-100-2000 (ГОСТ 25094-94) [6].

В таблице 6 приведены результаты определения активности золы.

Таблица 6.

Исследование активности золы

Наименование показателей	Показатели
Конец схватывания смеси	24 часа
Водостойкость смеси	образец не имел повреждения граней и поверхности в течение 30 сут
Прочность, МПа	
– при сжатии	10,5
– при изгибе	3,8

Активность золы определяли также согласно ДСТУ Б В.2.7-264:2011 (ГОСТ 9758-86, MOD) [1] по формуле:

$$M = M_1 \cdot m, \quad (5)$$

где M_1 – число мг CaO, поглощенной 1 г песка фракции 0-0,14 мм, мг; m – число граммов песка фракции 0-0,14 мм, содержащейся в 1 дм³ испытываемого песка. M – число мг CaO, поглощенной 1 дм³ испытываемого материала.

В таблице 7 представлены сравнительные результаты испытаний золы и других дисперсных материалов.

Таблица 7.

Физико-технические характеристики золоцементных композиций

Наименование материала	Гидравлическая активность (число мг CaO, поглощенной 1 дм ³ материала)
Песок днепровский:	
– немолотый, уд. поверхность 37 м ² /кг	0-3
– молотый, уд. поверхность 150 м ² /кг	3-7
Зола Ладыжинской ГРЭС	52-55
Зола Трипольской ГРЭС	40-42

На основании проведенных исследований зола-унос Ладыжинской ГРЭС относится к активному мелкодисперсному материалу.

В таблице 8 приведены физико-технические характеристики золоцементных композиций с использованием золы-уноса Ладыжинской ГРЭС.

Как видно из таблицы 8, с увеличением добавки золы водоцементное отношение повышается, средняя плотность золоцементно-песчаного раствора понижается. Прочность раствора снижается пропорционально количеству введенной золы.

Согласно ДСТУ Б В.2.7-124-2004 [7] в строительных растворах можно использовать цементы, характеризующиеся прочностью при сжатии 20 МПа (ЦБР 200), 30 МПа (ЦБР 300) и 35 МПа (ЦБР 350). Следовательно, полученные позитивные результаты по использованию золы-уноса Ладыжинской ГРЭС в цементно-золных композициях, содержащих до 60% мас. золы, обуславливают перспективу их применения в строительных растворах, сухих строительных смесях.

Таблица 8.

Физико-технические характеристики золоцементных композиций

№ состава	Содержание в смеси, %		В/Ц	Сроки схватывания, ч-мин		Насып. плотн. кг/м ³	Сред. плотн. раствора, кг/м ³	Прочность раствора на сжатие на 28 сутки, МПа
	цемент	зола		начало	конец			
1	100	0	0,28	3-25	6-10	1250	2050	47
2	90	10	0,34	3-30	6-15	1170	1880	44
3	80	20	0,38	3-40	6-20	1160	1860	42
4	70	30	0,37	3-45	7-30	1150	1820	40
5	60	40	0,49	3-48	8-23	1150	1810	36
6	50	50	0,63	3-55	8-48	1140	1670	31
7	40	60	0,78	4-00	9-23	1140	1560	22
8	30	70	1,099	4-05	9-45	1140	1500	17
9	20	80	1,60	4-07	10-15	1130	1450	9
10	10	90	3,11	4-12	10-28	1120	1430	3

Литература:

1. ДСТУ Б В.2.7-264:2011 (ГОСТ 9758-86, MOD) Заповнювачі пористі неорганічні для будівельних робіт. Методи випробувань.
2. Кривенко П.В. Прогнозная оценка долговечности цементного камня // Строительные материалы и изделия. – 2003. – №95, стр.13-15.
3. Cement: a question of responsible use: Proceeding of the Intern. Confer. Held at the University of Dundee [«Cement combination for durable concrete»], (Scotland, 7.07.2005) / R.K.Dhir. – Scotland, Thomas Telford, UK. – P.1-12.
4. Зимон А.Д. Аутогезия сыпучих материалов / Зимон А.Д., Андрианов Е.И. – М.: Металлургия, 1978. с 287.
5. ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск».
6. ДСТУ Б В.2.7-100-2000 (ГОСТ 25094-94) «Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні для цементів. Методи випробувань».
7. ДСТУ Б В.2.7-124-2004 Цементи для будівельних розчинів. Технічні умови.

Релаксол

ключ к решению задач технологии
бетона, цемента и сухих
строительных смесей

Не замораживайте стройку!



Химические и минеральные добавки

- противоморозные добавки
- регуляторы структуры бетона
- ускорители и замедлители схватывания
- пластификаторы и суперпластификаторы

Конкретной цели – конкретный продукт

Запорожье
69057, пр. Ленина 158, 223
+38 (061) 224 66 21,
289 14 95, 224 67 74

Днепропетровск
+38 (067) 614 61 94

Мелитополь
72315, ул. Воровского, 3
+38 (0619) 43 87 04

Одесса
65005, ул. Балковская, 130
+38 (048) 733 33 58

budlab@mail.ru www.relaxol.com.ua www.bi.zp.ua