

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

## УДК 662.613.13

Н. А. СТОРОЖУК<sup>1\*</sup>, Т. М. ПАВЛЕНКО<sup>2\*</sup>, А. Р. АББАСОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (050) 607 48 77, эл. почта storozhukpsacea@gmail.com, ORCID 0000-0002-3132-8864

<sup>2\*</sup>Каф. «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (066) 574 20 57, эл. почта tmj@ukr.net, ORCID 0000-0003-4325-7562

<sup>3\*</sup>Научно-исследовательская лаборатория, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (050) 743 39 37, эл. почта abbasova003@gmail.com, ORCID 0000-0001-9643-5305

## ОСОБЕННОСТИ ЗОЛЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КАК ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ

**Цель.** Научная работа посвящена разработке научно-технических основ производства и использования бетонов на основе зол ТЭС. **Методика.** Исследованы свойства золы ТЭС, а также особенности ее поведения в бетонной смеси в качестве мелкого заполнителя. Показано, что в золобетоне гидролиз и гидратация цемента происходят в окружении активной среды – золы, имеющей огромную удельную поверхность. Это существенно влияет на ход указанных процессов и качество получаемых бетонов. Предложена новая технология применения зол ТЭС для приготовления бетонной смеси. Испытаны виброуплотненные и вибровакуумированные 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). **Результаты.** Результаты испытаний показали возможность получения бетонов классов С20/25–С25/30 на основе шлаков и зол ТЭС при умеренных расходах цемента. Показано, что бетоны на традиционных заполнителях имеют меньшую прочность, чем бетоны, где в качестве мелкого заполнителя использована зола. Результаты выполненных исследований способствуют увеличению объемов использования золы в строительстве, что решает проблему заполнителей, а также утилизации отходов ТЭС. **Научная новизна.** Разработаны новые способ и технология использования зол ТЭС в бетонах. Золобетонная смесь имеет рациональную подвижность, при которой достигается наибольшая прочность вакуумзолобетона. Эта прочность по сравнению с прочностью виброуплотненного золобетона из бетонной смеси с подвижностью П1 больше в 2 и более раза. **Практическая значимость.** Приведены физико-химические свойства золы ТЭС как заполнителя для бетонов. Показано существенное отличие золы от обычных заполнителей. Обоснована химическая активность золы. Предложены особые условия твердения цемента в случае использования золы как заполнителя для бетонов. Обоснованы преимущества золы перед традиционным заполнителем. Результаты исследований способствуют массовому применению зол ТЭС в строительстве, получению изделий из предложенных бетонов низкой стоимости с высокими физико-механическими свойствами. Особенно высока эффективность золы как заполнителя в вибровакуумированных бетонах.

*Ключевые слова:* зола ТЭС; свойства; заполнители; бетон; формование; вибровакуумирование

### Введение

Утилизация золы и шлаков тепловых электростанций является одной из важнейших экологических проблем [12, 14–16]. Вблизи мощных тепловых электростанций накопились сотни миллионов тонн этих материалов, что наносит существенный вред окружающей среде. Одним из путей решения этой проблемы является использование так называемых лежалых зол и шлаков в строительстве как составляю-

щих бетонов и строительных растворов [3, 5, 10].

### Цель

Разработка высокоэффективных технологий использования зол ТЭС в бетонах.

### Методика

Авторами исследованы свойства золы ТЭС, влияющие на свойства бетонов на ее основе,

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

а также разработана технология применения зол ТЭС для приготовления бетонной смеси.

Минералогический состав золы зависит от вида используемого на ТЭС топлива и условий его сжигания. В ней содержится метакаолин, кварц различных модификаций,  $\gamma$ -глинозем, муллит, различные соединения железа, сернистые соединения и другие вещества, но уже в очень незначительном количестве [1]. Минералогический состав золы предопределяет их активность, химический состав и некоторые другие свойства.

Истинная плотность отдельных фракций золы в большей части топлива может колебаться в пределах от 2 до 5 г/см<sup>3</sup>. Большая плотность отдельных составляющих золы объясняется тем, что в ней преобладают частицы, состоящие в основном из соединений железа или минералов, со значительной плотностью. Разная истинная плотность частичек золы, полученных при сжигании одного и того же топлива, связана с различным химическим составом отдельных фракций. В. Х. Кикас установил, что легкие фракции с истинной плотностью менее 2,4 г/см<sup>3</sup> содержат большое количество кремнезема и глинозема и почти не содержат свободной извести. Гидро модуль этих фракций очень низкий. С увеличением истинной плотности золы возрастает и ее гидро модуль. Наилучшими вяжущими свойствами обладают фракции с истинной плотностью 3,1–3,3 г/см<sup>3</sup>, составляющие около 10 % золы.

Несмотря на большое различие в показателях истинной плотности отдельных фракций золы, обычно среднее значение истинной плотности всей пробы золы для различных видов угля колеблется в узких пределах – 2,2–2,4 г/см<sup>3</sup> [13].

Плотность золы в насыпном состоянии колеблется в пределах 600–1 300 кг/м<sup>3</sup> и во многом зависит от температуры сжигания топлива. Наибольшую плотность имеет сухая зола. При небольшом увлажнении плотность золы резко снижается, а при дальнейшем увеличении влажности – постепенно возрастает (рис. 1). При виброуплотнении плотность сухой золы повышается примерно на 10 %, а влажной – на 25–30 %.

Углеродистая составляющая золы достаточно хорошо изучена. Имеется большое количество

публикаций по этой проблеме. Нами приведены некоторые из них.

В Западно-Сибирском филиале Академии строительства и архитектуры СССР для исследования характера метаморфизма, который претерпевает уголь при сгорании в топках котлов ТЭС, были выполнены химические, термографические и микроструктурные анализы молотого каменного угля, несгоревших частиц и минеральной части золы [9, 11]. Исследованиями доказано, что в золе несгоревшие частицы – это частицы кокса и полукокса. Очень хорошо исследовано влияние несгоревших частиц на свойства золобетонных, в том числе на морозостойкость. Получены вполне удовлетворительные результаты.

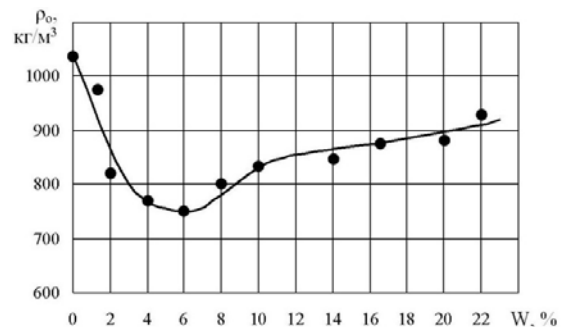


Рис. 1. Плотность золы в зависимости от ее влажности

Fig. 1. Density of ash depending on its humidity

Гидравлическую активность аморфных компонентов золы можно разделить на два основных вида:

- гидравлическая активность аморфизованного глинистого вещества;
- гидравлическая активность шлакового стекла.

При сгорании органической части топлива глинистые примеси, которые входят в минеральную часть топлива, дегидратируются и аморфизируются. Температурные интервалы дегидратации глинистого вещества зависят от его минералогического состава. Первоначально выделяется основная часть воды без разрушения кристаллической решетки минерала. После этого полученный материал отличается по физическим свойствам от исходного минерала, имеет искаженную кристаллическую структуру и повышенную реакционную способность.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Дальнейшее нагревание приводит к окончательному обезвоживанию и разрушению кристаллической решетки глинистого минерала, в результате чего образуется аморфный материал, состоящий из очень дисперсной механической смеси окислов кремния, алюминия, железа, магния и др. Одновременно за счет реакций в твердой фазе кристаллизуются: магнезиальная шпинель  $MgO \cdot Al_2O_3$ , силлиманит, магнетит или гематит и позднее муллит и кристобалит. Как отмечалось ранее, в высокоглиноземистых (каолинистых) глинах возможно образование  $\gamma - Al_2O_3$  [2].

При дальнейшем повышении температуры начинается спекание аморфизованного глинистого вещества за счет появления легкоплавких эвтектик на контактах аморфных фаз разного состава, а затем происходит плавление аморфизованного вещества.

Указанные особенности фазовых превращений глинистого вещества минеральной части угля при его сжигании приводят к появлению в золах различных по составу и свойствам фаз, объединенных условно в следующие три группы:

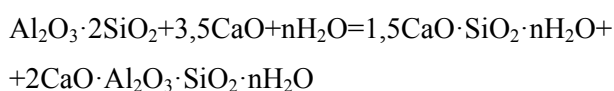
1) не полностью дегидратированное и аморфизованное глинистое вещество, сохраняющее искаженную кристаллическую решетку и способное к регидратации; для каолинистых глин такая фаза носит название метакаолинита;

2) аморфизованное, но не спекшееся вещество, которое характеризуется весьма развитой удельной поверхностью и состоит в основном из очень дисперсной механической смеси аморфного кремнезема и глинозема;

3) спекшееся и частично (с поверхности агрегатов) остекленное вещество, имеющее значительно меньшую удельную поверхность.

Фазы первой группы (особенно метакаолинит) характеризуются наибольшей гидравлической активностью по сравнению с другими.

Идентификацию продуктов взаимодействия между известью и веществами в указанных фазах в нормальных условиях провел В. Стрэтлинг [2]. Применяя оптические, химические и рентгенографические методы исследования, он установил наличие следующей реакции между метакаолинитом и известью:



Что касается гидравлической активности шлакового стекла, то необходимо отметить следующее. В этом стекле основным стеклообразующим компонентом является кремнезем. В соответствии с общепринятыми теориями строения стекла обычно считают, что шлаковое стекло представляет собой микронеоднородный материал, состоящий из участков однородной структуры, связанных прослойками аморфного неоднородного вещества.

Экспериментальные исследования последних лет показывают, что для силикатных расплавов характерна тенденция к агрегации структурных элементов – ионных группировок сходного состава, приводящих к метастабильной ликвации расплава. Такие ионные группировки в зависимости от их состава и строения названы Р. М. Мюллером аморфитами или кристаллитами [2]. Аморфиты не являются зародышами кристаллов. Но иногда в своем составе они могут их иметь.

Размеры аморфитов колеблются в широких пределах и могут достигать нескольких микронов. Кристаллиты имеют значительно меньшие размеры. По результатам рентгеноструктурных исследований размеры кристаллитов в натриево- и кальциевосиликатных стеклах не превышают 10–25 нм.

Результаты исследований показывают, что в золах тепловых электростанций в аморфитах происходит концентрация катионов двухвалентного железа, кальция и магния. Значительно реже в роли катионов фигурируют алюминий и трехвалентное железо. Основность вещества аморфита, как правило, выше основности входящих в их состав минералов [2, 4].

Анионы, входящие в состав аморфитов и в решетку кристаллитов, представлены кремне(алюмо)кислородными группами  $(SiO_4^{4-})$ ,  $(Si_2O_7^{6-})$  или  $(Al_2SiO_7^{4-})$  и  $(SiO_2^-)_n$ .

Аморфиты, преобладающие в составе шлаковых стекол, имеют рыхлую субмикроструктуру и относительно высокую проницаемость, обусловленную наличием пустот между ионными группировками. Поэтому они очень легко гидратируются и гидролизуются. Эти соображения подтверждаются повышенной реакционной способностью стекол, соответствующих по составу минералам шлаков, и состоящих главным образом из аморфитов.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Гидравлическая активность кристаллитов в стекле, исходя из имеющихся результатов исследований, также превышает активность соответствующих минералов, при этом направление процессов гидратации или гидролиза и характер гидратных новообразований не изменяются.

Активность промежуточного аморфного вещества шлакового стекла определяется соотношением глинозема и кремнезема. Чем больше в нем глинозема, тем легче, быстрее оно гидратируется в щелочной или сульфатно-щелочной среде.

Кремнеземистое промежуточное вещество реагирует с гидратом окиси кальция медленнее, чем глиноземисто-кремнеземистое (при одинаковых условиях твердения).

В общем случае шлаковое стекло является материалом, содержащим упорядоченные участки, близкие по составу (аморфиты) и строению (кристаллиты) с очень высокой удельной поверхностью, а также неупорядоченные глиноземисто-кремнеземистые прослойки между такими участками.

Таким образом, при использовании золы как заполнителя для бетонов, цемент находится в особых условиях. В обычном бетоне цемент подвергается гидролизу и гидратации в условиях окружения его относительно крупным заполнителем – малоактивной средой с незначительной удельной поверхностью. Цемент в этом случае твердеет в продуктах собственного гидролиза. В противоположность этому, при золе как заполнителе, гидролиз и гидратация цемента происходит в окружении активной среды – золы, имеющей огромную удельную поверхность, что существенно влияет на ход этих процессов и качество получаемых бетонов [6, 17].

### Результаты

При проведении исследований испытаны виброуплотненные и вибровакуумированные 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 конуса – ОК = 3–4 см. Из каждого вида бетонной смеси формовали образцы размером 15×15×7 см для определения плотности и прочности бетона в возрасте 28 суток при

следующих режимах и способах уплотнения. Из подвижной бетонной смеси образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 25–30 с, вибровакуумированные – после предварительного виброуплотнения (продолжительностью 10–15 с), подвергали вакуумированию при разрежении 0,7 (полный вакуум принят за единицу) продолжительностью 6 мин. В процессе вакуумирования применяли периодическое вибрирование (два приема по 10–12 с через каждые 2 мин).

Составы бетонов и результаты их испытания приведены в табл. 1.

Результаты испытаний показали возможность получения бетонов классов С20/25–С25/30 на основе шлаков и зол ТЭС при умеренных расходах цемента. Данные 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.

При выполнении исследований нами учтены разработки японских ученых М. Кокубу и Д. Ямада [7, 8]. Они для повышения эффективности использования золы предложили ее предварительно перемешивать с водой до образования шлама с отношением воды к золе около 50 %. Это повысило однородность свойств бетона и облегчило контроль его качества. При этом может быть применена даже смесь двух различных видов золы. Поскольку подобным способом можно подготавливать золы во времени схватывающиеся и уплотняющиеся, имеющие в составе агрегаты, микро- и макроконгломераты, предлагаемый технологический прием имеет очень большое практическое значение. Кроме того, при этом заметно улучшается удобообрабатываемость золобетонных смесей и долговечность бетона. По мнению авторов указанных работ, причинами улучшения удобообрабатываемости и долговечности бетона

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

при применении так называемого «шламового метода» является разобщение водой отдельных частиц золы путем разрушения агрегатов, мик-

ро- и макроконгломератов. Кроме этого удаляется воздух, заключенный в порах между частицами золы.

Таблица 1

## Состав, плотность и прочность золошлаковых и обычных бетонов

Table 1

## Composition, density and strength of ash-and-slag and ordinary concretes

Вид бетона	В/Ц	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>						Виброуплотненный бетон		Вибровакуумированный бетон	
		Цемент	Зола	Шлак	Щебень	Песок	Вода	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
На шлаке и золе	0,67	314	224	1 441	–	–	209	2 188	23,8	2 226	31,8
На гранитном щебне и золе	0,62	339	241	–	1 558	–	212	2 350	26,6	2 430	38,5
На гранитном щебне и кварцевом песке	0,63	340	–	–	1 250	670	182	2 442	24,3	2 473	32,4

Базируясь на этих результатах, предложенная нами технология приготовления золобетонной смеси сводится к следующему. В роторном смесителе готовят зольный шлам с водозольным соотношением 0,5 (с учетом переменной влажности золы, поступающей из отвала). Затем в приготовленный шлам дозируют цемент и, (при необходимости) дополнительное количество воды, затем приготавливают золобетонную смесь необходимой пластичности. При формовании изделий из такой смеси методом вибровакуумирования излишняя вода затвердения удаляется. В результате этого получают хорошо уплотненный золобетон с высокой структурной прочностью, позволяющей производить немедленную распалубку, и прочностью в возрасте 28 суток.

Ниже приведены результаты наших экспериментальных исследований по оптимизации состава золобетонной смеси для вакуумирования по предлагаемой технологии. Использовали золобетонную смесь состава 1:4 (цемент: зола). За счет изменения расхода воды подвижность золобетонной смеси изменяли в широких пределах (от ОК = 2–3 см до ОК = 12–14 см). Из такой смеси формовали образцы вибровакуумированием и (для сравнения) вибрационным способом. Виды образцов, режимы уплотнения

были те же, что и в предыдущих исследованиях. При формовании образцов из жесткой смеси продолжительность уплотнения вибрированием составляла 60–65 с.

Полученные результаты исследований приведены в табл. 2. Из приведенных данных видно, что рациональной подвижностью золобетонной смеси для вакуумирования является ОК = 8–10 см. При такой подвижности достигается наибольшая прочность вакуумзолобетона. Эта прочность, по сравнению с прочностью золобетона из подвижной бетонной смеси, больше ее в 2 и более раза. Виброуплотненный золобетон получен с максимальной прочностью из смеси с жесткостью 15–20 с. Следует отметить, что прочность вакуумзолобетона на 30–40 % больше, чем у виброуплотненного бетона из жесткой смеси.

### Научная новизна и практическая значимость

Авторами разработаны новые способ и технология использования зол ТЭС в бетонах. Результаты исследований способствуют массовому применению зол ТЭС в строительстве, получению изделий из предложенных бетонов низкой стоимости с высокими физико-механическими свойствами.

Таблица 2

## Плотность и прочность виброуплотненных и вибровакуумированных золобетонов

Table 2

## Density and strength of vibrated and vibrovacuumized ash concrete

Вид бетонной смеси	Виброуплотненный бетон			Вибровакуумированный бетон			
	В/Ц	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Количество извлеченной воды, л/м <sup>3</sup>	В/Ц	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа
Подвижные смеси, ОК (см):							
2...3	1,93	1 586	6,2	95	1,53	1 620	11,9
5...6	2,12	1 577	4,9	112	1,58	1 631	13,1
8...9	2,31	1 569	2,9	126	1,62	1 642	14,4
11...12	2,41	1 560	–	133	1,69	1 635	14,2
13...14	2,52	1 553	–	136	1,72	1 628	13,9
Жесткие смеси, жесткость (сек.):							
5...6	1,53	1 590	9,0	–	–	–	–
10...15	1,46	1 605	9,8	–	–	–	–
17...20	1,40	1 620	9,1	–	–	–	–
22...25	1,33	1 616	8,8	–	–	–	–

## Выводы

Приведенные физико-химические свойства золы ТЭС как заполнителя для бетонов, доказывают существенное отличие золы от обычных заполнителей и обосновывают химическую активность золы. Особые условия твердения

цемента в случае использования золы как заполнителя для бетонов доказывают преимущества золы перед традиционным заполнителем, чем достигается значительное повышение прочности. Отмечена высокая эффективность золы в вибровакуумированных бетонах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов, А. Т. Золобетон ячеистый и плотный / А. Т. Баранов, Г. А. Бужевич. – Москва : Стройиздат, 1960. – 226 с.
2. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1969. – 392 с.
3. Буравчук, Н. И. Использование техногенного сырья в технологии бетонов / Н. И. Буравчук // World Science : сб. тр. конф. (29–30 июня 2016 г., Карловы Вары – Москва). – Киров, 2016. – С. 34–45.
4. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 250 с.
5. Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента / С.-А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, Р. Г. Бисултанов, Т. С.-А. Муртазаева // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 74–79.
6. Ефективний спосіб використання золи ТЕС в будівництві / М. В. Савицький, І. А. Соколов, М. А. Сторожук, А. Р. Аббасова // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 91. – С. 133–140.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Кокубу, М. Зола и зольные цементы (основной доклад) / М. Кокубу // Пятый междунар. конгресс по химии цемента (7–11 октября 1968 г., Токио) / сокр. пер. с англ. и ред. О. П. Мчедлова-Петросяна, Ю. М. Бутта, В. И. Сатарина, А. И. Бойковой. – Москва, 1973. – С. 405–416.
8. Кокубу, М. Цементы с добавкой золы-уноса (основной доклад) / М. Кокубу, Д. Ямада ; под общ. ред. А. С. Болдырева // Шестой междунар. конгресс по химии цемента : труды. – Москва, 1976. – Т. 3 : Цементы и их свойства. – С. 83–94.
9. Попов, Н. А. Характеристика несгоревших частиц в золах ТЭС / Н. А. Попов, Н. А. Иванов // Труды / Западно-Сибирский филиал АН СССР. – Новосибирск, 1961. – Вып. 5 – С. 342–347.
10. Савицкий, Н. В. Вакуумбетон – особый вид бетона / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Бетон и железобетон. – 2016. – № 2. – С. 21–25.
11. Федьнин, Н. И. Об особенностях несгоревшего топлива в золах ТЭС и его влияния на свойства золобетонов / Н. И. Федьнин // Строительные материалы. – 1963. – № 4. – С. 9–12.
12. Хлопицький, О. О. Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України / О. О. Хлопицький // ScienceRise. – 2014. – Т. 4, № 2 (4). – С. 23–28. doi: 10.15587/2313-8416.2014.28511
13. Эффективные зольные цементы на основе летучих зол твердых топлив / В. Х. Кикас, Э. И. Пиксарв, А. А. Хайн, И. А. Лаул // Шестой междунар. конгресс по химии цемента. – Москва, 1976. – Т. 3. – С. 112–114.
14. A comprehensive review on the applications of coal fly ash / Z. T. Yao, J. H. Tang, Y. Q. Xi, X. S. Ji, L. Q. Ge, M. S. Xia, P. K. Sarker // Earth-Science Reviews. – 2015. – Vol. 141 – P. 105–121.
15. A new quantification method based on SEM-EDS to assess fly ash composition and study the reaction of its individual components in hydrating cement paste / P. T. Durdziński, C. F. Dunant, M. Ben Haha, K. L. Scrivener // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 73. – P. 111–122. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.02.008.
16. Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash / I. Ismail, S. A. Bernal, J. L. Provis, R. San Nicolas, J. S. J. Van Deventer, S. Hamdan // Cement and Concrete Composites. – 2014. – Vol. 45. – P. 125–135. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2013.09.006.
17. Savitskyi, N. Properties of thermal power plants ash and concretes made on its basis / N. Savitskyi, T. Pavlenko, A. Abbasova // Theoretical Foundations of Civil Engineering. – Warsaw, 2014. – Vol. 22. – P. 33–38.

М. А. СТОРОЖУК<sup>1\*</sup>, Т. М. ПАВЛЕНКО<sup>2\*</sup>, А. Р. АББАСОВА<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технологія будівельних матеріалів, виробів та конструкцій», Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (050) 607 48 77, ел. пошта storozhukpsacea@gmail.com, ORCID 0000-0002-3132-8864

<sup>2\*</sup>Каф. «Технологія будівельних матеріалів, виробів та конструкцій», Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (066) 574 20 57, ел. пошта tmj@ukr.net, ORCID 0000-0003-4325-7562

<sup>3\*</sup>Науково-дослідна лабораторія, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (050) 743 39 37, ел. пошта abbasova003@gmail.com, ORCID 0000-0001-9643-5305

## ОСОБЛИВОСТІ ЗОЛИ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ЯК ЗАПОВНЮВАЧА ДЛЯ БЕТОНІВ

**Мета.** Наукова робота присвячена розробці науково-технічних основ виробництва та використання бетонів на основі зол ТЕС. **Методика.** Досліджено властивості золи ТЕС, а також особливості її поведінки в бетонній суміші як дрібного заповнювача. Показано, що в золобетоні гідроліз та гідратація цементу відбуваються в оточенні активного середовища – золи, що має величезну питому поверхню. Це істотно впливає на хід зазначених процесів і якість одержуваних бетонів. Запропонована нова технологія застосування зол ТЕС для приготування бетонної суміші. Випробувані віброущільнені та вібровакуумовані бетони оптимального складу на шлаку і золі, а також на гранітному щебені і золі. Для порівняння наведені характеристики звичайних бетонів (на гранітному щебені й кварцовому піску). **Результати.** Результати випробувань показали можливість отримання бетонів класів С20/25...С25/30 на основі шлаків і зол ТЕС при помірних витратах цементу. Показано, що бетони на традиційних заповнювачах мають меншу міцність, ніж бетони, в яких

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

в якості дрібного заповнювача використана зола. Результати виконаних досліджень сприяють збільшенню обсягів використання золи в будівництві, що вирішує проблему заповнювачів, а також утилізації відходів ТЕС. **Наукова новизна.** Розроблено нові способи та технологія використання зол ТЕС в бетонах. Золобетонна суміш має раціональну рухливість, при якій досягається найбільша міцність вакуумзолобетону. Ця міцність в порівнянні з міцністю віброущільненого золобетону з бетонної суміші з рухливістю П1 вище в 2 та більше рази. **Практична значимість.** Наведено фізико-хімічні властивості золи ТЕС як заповнювача для бетонів. Показано суттєву відмінність золи від звичайних заповнювачів. Обґрунтована хімічна активність золи. Показано особливі умови твердіння цементу в разі використання золи як заповнювача для бетонів. Наведено переваги золи перед традиційним заповнювачем. Результати досліджень сприяють масовому застосуванню зол ТЕС в будівництві, отриманню виробів із запропонованих бетонів низької вартості з високими фізико-механічними властивостями. Особливо висока ефективність золи як заповнювача у вібровакуумованих бетонах.

*Ключові слова:* зола ТЕС; властивості; заповнювачі; бетон; формування; вібровакуумування

M. A. STOROZHUK<sup>1\*</sup>, T. M. PAVLENKO<sup>2\*</sup>, A. R. ABBASOVA<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Technology of Building Materials, Products and Constructions», State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24-a, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (050) 607 48 77, e-mail storozhukpsacea@gmail.com, ORCID 0000-0002-3132-8864

<sup>2\*</sup>Dep. «Technology of Building Materials, Products and Constructions», State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskiy St., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (066) 574 20 57, e-mail tmj@ukr.net, ORCID 0000-0003-4325-7562

<sup>3\*</sup>Scientific Research Laboratory, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24-a, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (050) 743 39 37, e-mail abbasova003@gmail.com, ORCID 0000-0001-9643-5305

## FEATURES OF ASH OF THERMAL POWER PLANTS AS AGGREGATE FOR CONCRETES

**Purpose.** The scientific work is dedicated to development of scientific-technical bases of production and application of concrete on the basis of ashes of thermal power plants (TPP). **Methodology.** The properties of TPP ash, as well as the peculiarities of its behavior in a concrete mix as a fine aggregate, have been studied. It is shown that the hydrolysis and hydration of cement occur in the active environment of ash, which has a huge specific surface area. This significantly affects the course of these processes and the quality of the concrete produced. A new technology of application of ash of TPP for preparation of concrete mixes is offered. Vibrated and vibrovacuumized concretes of optimum composition from slag and ash, as well as from granite crushed stone and ash, are tested. The characteristics of ordinary concrete (from granite crushed stone and quartz sand) are given to compare. **Findings.** The results of the tests showed the possibility of obtaining concretes of class C20/25...C25/30 on the basis of slag and ash of TPP at a limited consumption of cement. It is shown that the concrete with traditional aggregates has a lower strength than the concrete, which has ash as fine aggregate. This research results contribute to the increased use of ash in construction that solves the problem of aggregates as well as thermal power plants waste recycling. **Originality.** New method and technology of application of TPP ashes in concrete are developed. Ash concrete mix has rational flowability, which produces the greatest strength of ash vacuum concrete. This strength is twice or more as large as the strength of vibrated ash concrete mix with flowability S1. **Practical value.** The physico-chemical properties of TPP ash as aggregate for concrete are presented. Significant difference of ash from ordinary aggregates is shown. Chemical activity of the ash is justified. The special conditions of cement hardening in the case of using ash as aggregate for concrete are presented. The advantages of ash over traditional aggregate are shown. The research results contribute to the mass application of TPP ash in construction and obtaining the products from the proposed concrete of low cost with high physical-mechanical properties. Ash as an aggregate has a particularly high efficiency in vibrovacuumized concrete.

*Key words:* ash of thermal power plants; properties; aggregates; concrete; moulding; vibrovacuumizing



## REFERENCES

1. Baranov, A. T., & Buzhevich, G. A. (1960). *Zolobeton yacheistyy i plotnyy*. Moscow: Stroyizdat.
2. Volzhenskiy, A. V., Burov, Y. S., Vinogradov, B. N., & Gladkikh, K. V. (1969). *Betony i izdeliya iz shlakovykh i zolnykh materialov*. Moscow: Stroyizdat.
3. Buravchuk, N. I. (2016). Ispolzovaniye tekhnogenogo syrya v tekhnologii betonov. In *Proceeding of the World Science, June 29-30, Karlovy Vary-Moscow* (pp. 34-45). Warsaw: RS Global.
4. Volzhenskiy, A. V., Ivanov, I. A., & Vinogradov, B. N. (1984). *Primeneniye zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitelnykh materialov*. Moscow: Stroyizdat.
5. Murtazaev, S.-A. Y., Salamanova, M. S., Bisultanov, R. G., & Murtazaeva, T. S.-A. (2016). High-Quality Modified Concretes with the Use of a Binder on the Basis of a Reaction-Active Mineral Component. *Stroitelnyye materialy*, 8, 74-79.
6. Savitskiy, M. V., Sokolov, I. A., Storozhuk, M. A., & Abbasova, A. R. (2016). The effective method to use the ash of thermal power plants in construction. *Construction, Materials Science, Mechanical Engineering. Series: Innovative lifecycle technology of housing and civil, industrial and transportation purposes*, 91, 133-140.
7. Kokubu, M. (1968). Zola i zolnye tsementy. In *Proceedings of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, October 7-11*. Tokyo: Cement Association of Japan.
8. Kokubu, M., Yamada, D. (1976). Tsementy s dobavkoy zoly-unosa (osnovnoy doklad). In A. S. Boldyrev (Ed.), *Proceedings of the International Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, 1974, September 23-27* (pp. 83-94). Moscow: JSC NIICEMENT.
9. Popov, N. A., & Ivanov, N. A. (1961). Kharakteristika nesgorevshikh chastits v zolakh TES. *Trudy Zapadno-Sibirskogo filiala AN SSSR*, 5, 342-347.
10. Savitskiy, N. V., Pavlenko, T. M., & Abbasova, A. R. (2016). Vakuumbeton – osoby by vid betona. *Beton i zhelezobeton*, 2, 21-25.
11. Fedynin, N. I. (1963). Ob osobennostyakh nesgorevshego topliva v zolakh TES i yego vliyaniya na svoystva zolobetonov. *Stroitelnyye materialy*, 4, 9-12.
12. Khlopitskiy, O.O. (2014). State, problems and prospects of ash-slag waste recycling of Ukrainian thermal power stations. *ScienceRise*, 4, 2 (4), 23-28. doi:10.15587/2313-8416.2014.28511
13. Kikas, V. K., Piksarv, E. I., Khayn, A. A., & Laul, I. A. (1976). Effektivnyye zolnyye tsementy na osnove letuchikh zol tverdykh topliv. In A. S. Boldyrev (Ed.), *Proceedings of the International Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, 1974, September 23-27* (pp. 112-114). Moscow: JSC NIICEMENT.
14. Yao, Z. T., Tang, J. H., Xi, Y. Q., Ji, X. S., Ge, L.Q., Xia, M. S., & Sarker, P. K. (2015). A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*, 141, 105-121.
15. Durdziński, P. T., Dunant, C. F., Ben Haha, M., & Scrivener, K. L. (2015). A new quantification method based on SEM-EDS to assess fly ash composition and study the reaction of its individual components in hydrating cement paste. *Cement and Concrete Research*, 73, 111-122. doi:10.1016/j.cemconres.2015.02.008
16. Ismail, I., Bernal, S. A., Provis, J. L., Nicolas, R. S., Hamdan, S., & van Deventer, J. S. J. (2014). Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash. *Cement and Concrete Composites*, 45, 125-135. doi:10.1016/j.cemconcomp.2013.09.006
17. Savitskiy, N., Pavlenko, T., Abbasova, A. (2014). Properties of thermal power plants ash and concretes made on its basis. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*, 22, 33-38.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. И. Нетесой (Украина); д.т.н., проф. С. А. Щербаком (Украина)

Поступила в редколлегию: 09.06.2017

Принята к печати: 05.09.2017