

УДК 662.613.13

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ БЕТОНОВ

ПАВЛЕНКО Т. М., канд. техн. наук, доц.

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (097) 333-55-14, e-mail: tmj@ukr.net, ORCID ID: [0000-0003-4325-7562](https://orcid.org/0000-0003-4325-7562)

Аннотация. *Цель* - разработка научно-технических основ производства и использования бетонов на основе золошлаковых смесей ТЭС. *Методика.* Предложена новая технология приготовления золошлаковой бетонной смеси. Сначала золошлаковую смесь рассеивают через сито с отверстиями 5 мм на мелкозернистую фракцию и шлак. Затем в соответствии с составом бетона отдельно дозируют в смеситель полученную мелкозернистую фракцию, шлак, а также цемент и воду затворения. *Результаты.* Доказана высокая эффективность предложенной технологии производства золошлаковых бетонов. Установлено, что данное технологическое решение позволяет повысить прочность бетона на 20...30 %, а при получении равнопрочных бетонов уменьшить расход цемента на 15...20 %. *Научная новизна.* Разработана новая технология использования золошлаковых смесей. Бетонная смесь на основе золошлаковой смеси имеет оптимальный гранулометрический состав, при котором обеспечивается наилучшее уплотнение и, соответственно, наибольшая прочность золошлакового бетона при заданном расходе цемента. *Практическая значимость.* Результаты исследований способствуют массовому применению золошлаковых смесей ТЭС в строительстве, получению изделий из предложенных бетонов низкой стоимости с высокими физико-механическими свойствами. *Вывод.* Доказана высокая эффективность предложенной технологии производства золошлаковых бетонов. Установлено, что данное технологическое решение позволяет повысить прочность бетона, а при получении равнопрочных бетонов уменьшить расход цемента. Широкое использование таких бетонов в строительстве дает возможность решить проблему заполнителей для бетонов, способствует утилизации отходов ТЭС и, соответственно, охране окружающей среды.

Ключевые слова: золошлаковые смеси ТЭС; заполнители; дозирование; бетон; прочность

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ БЕТОНІВ

ПАВЛЕНКО Т. М., канд. техн. наук, доц.

Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (097) 333-55-14, e-mail: tmj@ukr.net, ORCID ID: [0000-0003-4325-7562](https://orcid.org/0000-0003-4325-7562)

Анотація. *Мета* - розроблення науково-технічних основ виробництва і використання бетонів на основі золошлакових сумішей ТЕС. *Методика.* Запропоновано нову технологію приготування золошлакової бетонної суміші. Спочатку золошлакову суміш розсіюють через сито з отворами розміром 5 мм на дрібнозернисту фракцію і шлак. Потім у відповідності зі складом бетону окремо дозують у змішувач отриману дрібнозернисту фракцію, шлак, а також цемент і воду замішування. *Результати.* Доведено високу ефективність запропонованої технології виробництва золошлакових бетонів. Установлено, що дане технологічне рішення дозволяє підвищити міцність бетону на 20...30 %, а у праці отримання рівномірних бетонів зменшити витрату цементу на 15...20 %. *Наукова новизна.* Розроблено нову технологію використання золошлакових сумішей. Бетонна суміш на основі золошлакової суміші має оптимальний гранулометричний склад, за якого забезпечується найкраще ущільнення і, відповідно, найбільша міцність золошлакового бетону при заданій витраті цементу. *Практична значимість.* Результати досліджень сприяють масовому використанню золошлакових сумішей ТЕС у будівництві, отриманню виробів із запропонованих бетонів низької вартості з високими фізико-механічними властивостями. *Висновок.* Доведено високу ефективність запропонованої технології виробництва золошлакових бетонів. Це технологічне рішення дозволяє підвищити міцність бетону, а для отримання рівномірних бетонів зменшити витрату цементу. Широке використання таких бетонів у будівництві дає можливість вирішити проблему заповнювачів для бетонів, сприяє утилізації відходів ТЕС і, відповідно, охороні навколишнього середовища.

Ключові слова: золошлакові суміші ТЕС; заповнювачі; дозування; бетон; міцність

NEW TECHNOLOGY OF ASH AND SLAG CONCRETES

PAVLENKO T. M., Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.

Department of Technology of Building Materials, Products and Constructions, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (097) 333-55-14, e-mail: tmj@ukr.net, ORCID ID: [0000-0003-4325-7562](https://orcid.org/0000-0003-4325-7562)

Summary. *Purpose.* Development of scientific-technical bases of manufacture and application of concrete on the basis of ash and slag mixes of thermal power plants. *Methods.* It is proposed a new technology of preparation of ash and slag concrete mixes. First the ash and slag mix is dispersed through the sieve with meshes 5 mm in a fine-grained

fraction and slag. Then, in accordance with the composition of the concrete, obtained fine-grained fraction, slag, cement and tempering water are separately dosed into the mixer. **Results.** It is proven the high efficiency of the proposed technology of manufacture of ash and slag concretes. It is established that this technological solution allows to increase the strength of concrete by 20...30 %, and in the preparation of full-strength concrete to reduce the cement consumption by 15...20 %. **Scientific novelty.** It is developed the new technology of ash and slag mixes application. The concrete mix on the basis of ash and slag mix has an optimal particle size distribution, which ensures the best compaction and, accordingly, the greatest strength of ash and slag concrete with the given cement consumption. **Practical significance.** The research results promote the mass application of ash and slag mixes of thermal power plants in construction, obtaining of products from the proposed concretes of low cost with high physical-mechanical properties. **Conclusion.** It is proven the high efficiency of the proposed technology of production of ash and slag concretes. It is established that this technological solution allows increasing concrete strength, and obtaining full-strength concrete to reduce cement consumption. The extensive application of such concrete in construction makes it possible to solve the problem of aggregates for concrete, promotes recycling of TPP waste and consequently the protection of the environment.

Keywords: ash and slag mixes of thermal power plants; aggregates; dosing; concrete; strength

Постановка проблемы. Утилизация золошлаковых отходов ТЭС способствует решению сразу нескольких проблем: охрана окружающей среды, рациональное использование сырьевых ресурсов, снижение общей энергоёмкости, а, соответственно, и себестоимости строительных конструкций. В то же время, с каждым годом возрастает дефицит природных сырьевых материалов для строительной индустрии, и применение золошлаковых отходов является хорошей альтернативой дорогостоящим природным заполнителям.

В нашем регионе одной из важнейших задач является утилизация золошлаковых отходов Приднепровской ТЭС. До начала 80-х годов XX века отходы этой ТЭС поступали в отвалы в виде золошлаковых смесей. Теперь производится раздельное золошлакоудаление. Таким образом, в настоящее время на ТЭС имеется три вида твёрдых отходов:

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

Шлаки ТЭС довольно успешно используются в дорожном строительстве.

Золы ТЭС достаточно хорошо изучены и рекомендованы строителям как активная минеральная добавка при производстве вяжущих веществ или при приготовлении бетонов и строительных растворов, как минеральный порошок в асфальтобетоны, используют золы при производстве силикатных и керамических изделий [7].

Использование золошлаковых смесей затруднено в связи с непостоянством зернового состава в различных местах отвалов.

Цель статьи - разработка научно-технических основ производства и использования бетонов на основе золошлаковых смесей ТЭС.

Анализ публикаций. Наиболее массовой утилизации этих отходов можно достигнуть при их использовании в строительстве в качестве заполнителей для бетонов [6]. Однако золошлаковые смеси в отвалах ТЭС имеют непостоянный зерновой состав, как по содержанию мелкозернистой фракции, так и по содержанию шлака. Кроме того известно, что оптимальное соотношение между мелкозернистой фракцией и шлаком в бетонах с изменением расхода вяжущего тоже изменяется. Это является основной причиной значительного перерасхода цемента при получении бетонов необходимой прочности (класса) на существующих золошлаковых смесях по сравнению с бетонами оптимального состава по крупности заполнителей.

Первое полное обобщение результатов научных исследований, а также производственного опыта по использованию золошлаковых отходов ТЭС приведено в работах В. А. Кинда, С. Д. Окорокова [1], Б. Г. Скрамтаева [5]. Уже в 30-е годы прошлого столетия была доказана высокая эффективность использования золошлаковых отходов ТЭС при производстве пуццолановых цементов, изготовлении стеновых камней, для производства легких

заполнителей, приготовления легких (теплых) бетонов.

Во второй половине XX века мировая энергетика перешла на котлоагрегаты нового типа, в которых осуществляется сжигание угля в пылевидном состоянии. Во всем мире возникла проблема утилизации образующихся при использовании таких технологий отходов – золошлаковых смесей. Следует отметить, что в этот период объемы использования золошлаковых смесей ТЭС в строительстве и промышленности строительных материалов стали быстро увеличиваться. Огромный вклад в изучение свойств отходов (золошлаковых смесей) современных ТЭС с целью их использования в производстве строительных материалов внесли работы ученых А. В. Волженского, Л. И. Дворкина, И. А. Иванова, И. А. Пашкова, Н. Бабачева (Болгария) и других.

Золошлаковые смеси, получаемые при сжигании пылевидного топлива на современных тепловых электростанциях в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением, меньше изучены как сырье для бетонов, чем зола уноса. Первоначально исследования таких смесей проводились в направлении использования их в качестве компонента вяжущего при совместном помоле с клинкером.

Новый подход к использованию в строительстве отходов ТЭС был предложен А. М. Сергеевым [3; 4]. Так, зола ТЭС рассматривалась как важнейший ингредиент, играющий роль активного микрозаполнителя и выполняющий функцию структурообразующего и структурирующего микрокомпонента. Были пересмотрены сложившиеся ранее представления о роли золы в золоцементных составах и предложен новый механизм твердения золоцементных систем, удовлетворительно объясняющий высокую прочность высоконаполненного золоцементного

камня и бетона в сравнительно раннем возрасте и в более поздние сроки.

Таким образом, золошлаковые смеси, золы и шлаки ТЭС могут представлять особый интерес для предприятий строительной индустрии как компонент бетона. Все возрастающие запасы этого сырья смогли бы значительно снизить существующий дефицит заполнителей бетона. Однако непостоянный зерновой состав золошлаковых смесей в различных местах отвала затрудняет их использование в качестве заполнителей. Многокомпонентность этих смесей и их изменчивость усложняют выбор рационального состава бетона. Расход цемента при использовании золошлакового сырья часто оказывался выше, чем при изготовлении бетонов тех же характеристик на традиционных заполнителях, а, как известно, этот показатель является одним из критериев, по которым судят об эффективности новых разработок, в том числе, направленных на использование в строительстве отходов промышленности.

Основной материал. Физико-механические характеристики топливных шлаков от сжигания донецких углей в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением имеют следующие значения. 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 (ДСТУ Б В.2.7-71-98), 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 1 250...1 450 кг/м³. Гранулометрический состав шлаков Приднестровской ТЭС приведен в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав шлаков Приднестровской ТЭС

Остатки на ситах, %	Размеры отверстий сит, мм								Прошло через сито
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	0,6	6,2	10,8	22,7	28,3	16,4	8,6	3,2	2,7
Полные	0,6	6,8	17,6	40,3	68,6	85	93,6	96,8	99,5

Прочностные характеристики топливных шлаков, определяемые путем испытания их в цилиндре, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Прочностные характеристики шлаков ТЭС

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

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.

При испытании шлака на морозостойкость по методике ДСТУ Б В.2.7-71-98 (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.

Предлагается новая технология приготовления золошлаковой бетонной смеси, которая сводится к следующему. Сначала золошлаковая смесь рассеивается через сито с отверстиями 5 мм на мелкозернистую фракцию и шлак. Изучаются характеристики полученных мелкого и крупного заполнителей, после чего подбирается состав бетона в соответствии с требуемым классом. Затем отдельно дозируется в смеситель полученная мелкозернистая фракция, шлак, а также цемент и вода затворения [2].

При выполнении всех исследований использовали портландцемент М400 Балаклевского завода, удовлетворяющий требованиям ДСТУ Б В.2.7-46-96. В качестве заполнителя для приготовления бетонных смесей применяли золошлаковую смесь Приднeпровской ТЭС, работающей на донецких углях (таблица 3).

Таблица 3

Характеристики золошлаковой смеси Приднeпровской ТЭС

Основные свойства	Показатели
Насыпная плотность, кг/м ³	1 400...1 600
Истинная плотность, г/см ³	2,10...2,48
Удельная поверхность, см ² /г	1 500...2 500

Гранулометрический состав мелкозернистой золошлаковой смеси приведен в таблице 4. Модуль крупности такой смеси – $M_k = 3,77$.

Таблица 4

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	100
Насыпная плотность, кг/м ³	1300	1170	1200	1230	1350	-

Составы золошлаковых бетонных смесей и результаты их испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5

Показатели золошлаковых бетонных смесей и бетонов на их основе

Виды материалов. Плотность и прочность бетона	Единица измерения	Расход материалов для приготовления золошлаковых бетонных смесей (кг/м ³) и характеристики бетонов (составы № 1 – № 6)					
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Исходные составы							
Цемент	кг	213	252	309	356	407	461
Золошлаковая смесь	кг	1 670	1 640	1 607	1 567	1 543	1 511
Вода	л	230	225	225	220	220	220
Плотность	кг/м ³	2 113	2 117	2 131	2 143	2 171	2 192
Прочность	МПа	13,7	16,6	18,5	22,2	25,4	28,7
Предлагаемая технология							
Цемент	кг	206	243	312	361	413	458
Мелкозернистая фракция	кг	609	596	561	531	506	482
Шлак	кг	1 286	1 274	1 254	1 244	1 236	1 222
Вода	л	220	220	215	215	210	215
Соотношение мелкозернистая фракция : шлак		1 : 2,11	1 : 2,13	1 : 2,23	1 : 2,34	1 : 2,44	1 : 2,53
Плотность	кг/м ³	2 321	2 333	2 342	2 351	2 365	2 377
Прочность	МПа	17,6	22,7	23,9	28,0	32,1	35,9

Полученные результаты показывают преимущества предлагаемой технологии изготовления изделий из золошлаковых бетонных смесей как по плотности полученного тяжелого бетона, так и по прочности при всех принятых расходах цемента. Представляется возможность повысить прочность бетона на 20...30 %, а при получении равнопрочных бетонов уменьшить расход цемента на 15...20 %.

Вывод. Доказана высокая эффективность предложенной технологии производства золошлаковых бетонов. Широкое использование таких бетонов в строительстве дает возможность решить проблему заполнителей для бетонов, способствует утилизации отходов ТЭС и, соответственно, охране окружающей среды.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кинд В. А. Строительные материалы и их получение, свойства и применение / В. А. Кинд, С. Д. Окороков. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1934. – 684 с.
2. Спосіб виготовлення виробів із золошлакових бетонних сумішей : пат. 71606 UA : МПК С04В 7/28 / А. П. Приходько, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова ; патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – № у 2011 13364 ; заявл. 14.11.2011 ; опубл. 25.07.2012 ; Бюл. № 14. – 4 с.
3. Применение местных материалов в строительстве : монография / А. М. Сергеев, Г. Д. Дибров, Е. И. Шмит'ко, С. К. Ковалев ; под ред. А. М. Сергеева. – Киев : Будівельник, 1975. – 184 с.
4. Сергеев А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности : монография / А. М. Сергеев. – Киев : Будівельник, 1984. – 120 с.
5. Строительные материалы / Б. Г. Скрамтаев, Н. А. Попов, Н. А. Герливанов, Г. Г. Мудров. – Москва : Госстройиздат, 1954. – 644 с.
6. Siddique R. Waste materials and by-products in concrete / R. Siddique. – Berlin : Springer, 2008. – 413 p.
7. Waste materials used in concrete manufacturing / ed. by S. Chandra. – U.S.A. : Noyes Publications, 1997. – 677 p.

REFERENCES

1. Kind V.A. and Okorokov S.D. *Stroitelnye materialy i ikh poluchenie, svoystva i primeneniye* [Building materials and their obtaining, properties and applications]. Moskva, Leningrad: Gosstroyizdat, 1934, 684 p. (in Russian).
2. Prikhodko A.P., Pavlenko T.M. and Abbasova A.R. *Sposib vyhotovlennia vyrobiv iz zoloshlakovykh betonnykh sumishei* [Method of articles production from ash and slag concrete mixes]. Pat. 71606 UA: IPC C 04 B 7/28. 2012. (in Ukrainian).
3. Sergeev A.M., Dibrov G.D., Shmit'ko E.I. and Kovalev S.K. *Primeneniye mestnykh materialov v stroitelstve* [Application of local materials in construction]. Kiev: Budivelnyk, 1975, 184 p. (in Russian).
4. Sergeev A.M. *Ispolzovanie v stroitelstve otkhodov energeticheskoy promyshlennosti* [Application of energy industry wastes in construction]. Kiev: Budivelnyk, 1984, 120 p. (in Russian).
5. Skramtaev G.G., Popov N.A., Gerlivanov N.A. and Mudrov G.G. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. Moskva: Gosstroyizdat, 1954, 644 p. (in Russian).
6. Siddique R. *Waste materials and by-products in concrete*. Berlin: Springer, 2008, 413 p.
7. Chandra S., ed. *Waste materials used in concrete manufacturing*. USA: Noyes Publications, 1997, 677 p.

Рецензент: Дерев'янюк В. М. д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 12.04.2017 р. Прийнята до друку: 27.04.2017 р.