



## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Д. Д. Бучинков<sup>1</sup>, А. Н. Литвиненко<sup>2</sup>, С. В. Лахтарина<sup>3</sup>, Е. В. Егорова<sup>4</sup>, Е. А. Бобылев<sup>5</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> buchinkov.d.d-psk-48@donnasa.ru, <sup>2</sup> litvinenko.a.n-psk-48@donnasa.ru,  
<sup>3</sup> s.v.lahtarina@donnasa.ru, <sup>4</sup> e.v.egorova@donnasa.ru, <sup>5</sup> bobylev.e.a-psmik-50@donnasa.ru

Получена 08 ноября 2021; принята 26 ноября 2021.

**Аннотация.** В работе исследовано влияние частичной замены портландцемента минеральными добавками техногенного происхождения: золой-уноса Зуевской ТЭС, молотой отвальной золошлаковой смеси Зуевской ТЭС и молотой отвальной золошлаковой смеси Старобешевской ТЭС в процентном соотношении 10...30 %. Исследования показали, что введение в состав цементного вяжущего от 10 % до 30 % одного из видов зол не отражается на равномерности изменения объема. Все изученные составы камня вяжущего имеют довольно высокие значения предела прочности на сжатие как в ранние, так и в поздние сроки твердения. Таким образом, доказана возможность и целесообразность частичной замены цемента золой-уноса или отвальной молотой золошлаковой смесью от сжигания угля на тепловых электростанциях. Также альтернативные вяжущие позволяют увеличить сырьевую базу приготовления цемента и уменьшить урон, причиняемый при его производстве окружающей среде.

**Ключевые слова:** цементное вяжущее, золошлаковая смесь, зола-уноса, прочность, нормальная густота, степень гидратации.

## ЗАСТОСУВАННЯ ЗОЛ І ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ЯК МІНЕРАЛЬНОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНОГО В'ЯЖУЧОГО

Д. Д. Бучинков<sup>1</sup>, А. М. Литвиненко<sup>2</sup>, С. В. Лахтаріна<sup>3</sup>, О. В. Єгорова<sup>4</sup>, Є. А. Бобилев<sup>5</sup>

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> buchinkov.d.d-psk-48@donnasa.ru, <sup>2</sup> litvinenko.a.n-psk-48@donnasa.ru,  
<sup>3</sup> s.v.lahtarina@donnasa.ru, <sup>4</sup> e.v.egorova@donnasa.ru, <sup>5</sup> bobylev.e.a-psmik-50@donnasa.ru

Отримана 08 листопада 2021; прийнята 26 листопада 2021.

**Анотація.** У роботі досліджено вплив часткової заміни портландцементу мінеральними добавками техногенного походження: золою-винесення Зуївської ТЕС, меленої відвальної золошлакової суміші Зуївської ТЕС та меленої відвальної золошлакової суміші Старобешівської ТЕС у відсотковому співвідношенні 10...30 %. Дослідження показали, що введення до складу цементного в'язучого від 10 % до 30 % одного з видів золи не позначається на рівномірності зміни об'єму. Усі вивчені склади каменю в'язучого мають досить високі значення межі міцності на стиск як у ранні, так і у більш пізні терміни твердіння. Таким чином, доведено можливість і доцільність часткової заміни цементу золою-винесення або відвальною меленою золошлаковою сумішшю від спалювання вугілля на теплових електростанціях. Також альтернативні в'язучі дозволяють збільшити сировинну базу приготування цементу і зменшити шкоду, заподіяну при його виробництві навколишньому середовищу.

**Ключові слова:** цементне в'язуче, золошлакова суміш, зола-винесення, міцність, нормальна густота, ступінь гідратації.

## APPLICATION OF ASH AND WASTE ASH AS A MINERAL ADDITIVE FOR A CEMENT BINDER

Dmitry Buchinkov<sup>1</sup>, Anastasia Litvinenko<sup>2</sup>, Sergey Lakhtaryna<sup>3</sup>, Elena Yegorova<sup>4</sup>,  
Evgeny Bobylev<sup>5</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

*E-mail: <sup>1</sup> buchinkov.d.d-psk-48@donnasa.ru, <sup>2</sup> litvinenko.a.n-psk-48@donnasa.ru,  
<sup>3</sup> s.v.lakhtarina@donnasa.ru, <sup>4</sup> e.v.egorova@donnasa.ru, <sup>5</sup> bobylev.e.a-psmik-50@donnasa.ru*

*Received 08 November 2021; accepted 26 November 2021.*

**Abstract.** The paper investigates the effect of partial replacement of Portland cement with mineral additives of technogenic origin: fly ash from Zuevskaya TPP, ground dump ash and slag mixture of Zuevskaya TPP and ground dump ash and slag mixture of Starobeshevskaya TPP in a percentage ratio of 10...30 %. Studies have shown that the introduction of 10 % to 30 % of one of the types of ash into the composition of the cement binder does not affect the uniformity of the volume change. All the studied compositions of the binder stone have rather high values of the ultimate compressive strength, both in the early and late periods of hardening. Thus, the possibility and expediency of partial replacement of cement with fly ash or dump ground ash and slag mixture from coal combustion at thermal power plants has been proved. Also, alternative binders can increase the raw material base for cement preparation and reduce the damage caused to the environment during its production.

**Keywords:** cement binder, ash and slag mixture, fly ash, strength, normal density, degree of hydration.

### Актуальность темы

Портландцемент в качестве вяжущего компонента, обладая универсальными технологическими и эксплуатационными свойствами, находит широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства [1, 2]. Однако, кроме дороговизны и дефицитности, производство цемента сопряжено с причинением экологического ущерба окружающей среде путем выбросов в атмосферу большого объема углекислого газа. Поэтому цемент пытаются заменять композитными минеральными добавками, из которых самыми распространенными являются доменные гранулированные шлаки, золошлаковые смеси, зола-уноса.

В зависимости от вида сжигаемого угля, способа сжигания, температуры факела, способа золоудаления, сбора и хранения золы на ТЭС образуются следующие виды золошлаковых отходов:

1. Зола-уноса при сухом золоудалении с осаждением частиц золы в циклонах и электрофильтрах и накоплением в силосах.

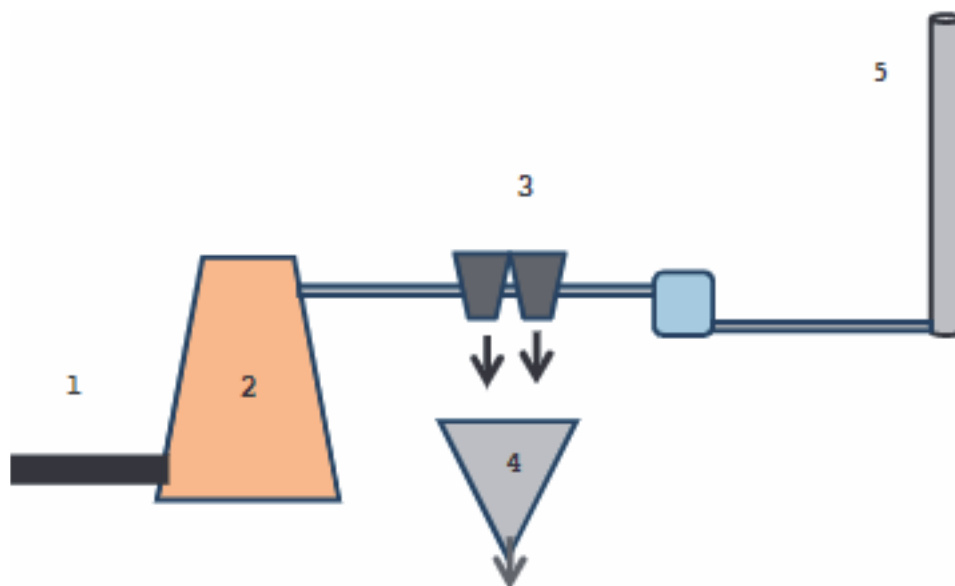
2. Топливные шлаки при полном либо частичном плавлении минеральной части топлива, осаждении расплава в нижней части топки котла и грануляции расплава водой аналогично придоменной грануляции доменных шлаков.

3. Золошлаковая смесь при совместном мокром удалении уловленной обеспыливающими устройствами золы-уноса и топливных шлаков, образующихся в котле [3].

К наиболее распространенным промышленным отходам, пригодным для использования в качестве минеральных добавок, относится образующаяся при сжигании угля на тепловых электростанциях зола-уноса (рисунок 1).

Зола-уноса – мелкая, состоящая преимущественно из шарообразных стекловидных частиц пыли, образующаяся при сгорании мелкого смолотого угля и обладающая пуццолановыми свойствами и/или гидравлической активностью [4].

Зола-уноса составляет около 90 % угольной золы, из которых не более 40 % находит применение в различных отраслях, до 20 % используется



**Рисунок 1.** Схема образования золы-уноса: 1 – уголь, 2 – котел, 3 – фильтр, 4 – бункер, 5 – газы.

при производстве бетона, и только небольшая часть находит применение в производстве вяжущих.

Согласно стандарту ASTM C 618 (AASHTO M 295) [5] золы от сжигания углей по химическому составу и свойствам разделяют на два класса:

- зола-уноса класса F – продукт сжигания антрацита и битуминозных углей, содержит обычно менее 5 % аналитически определяемого оксида кальция  $\text{CaO}$  (низкокальцевая), суммарное содержание оксидов ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) не менее 70 %; обладает явно выраженными пуццолановыми свойствами;
- зола-уноса класса С – продукт сжигания бурого угля, лигнита и низкобитуминозных углей, содержит обычно более 10 % аналитически определяемого оксида кальция  $\text{CaO}$  (высококальцевая), суммарное содержание оксидов ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) не менее 50 %; обладает как пуццолановыми, так и слабыми вяжущими свойствами [5].

Золошлаковая смесь (ЗШС), как вторичный минеральный ресурс для использования в тяжелых, мелкозернистых и легких бетонах, строительных растворах, силикатных бетонах плотной и ячеистой структуры и золобетонах, по способу применения подразделяются на три вида в качестве крупного и мелкого заполнителя и минераль-

ных добавок с переменными строительно-техническими свойствами и однородностью по гранулометрическому, химическому и фазово-минералогическому составу.

Золошлаковые смеси, удаляемые в золоотвал, состоят из золы составляющей (частицы золы и шлака размером менее 0,315 мм) и шлаковой, включающей зерна шлака размером от 0,315 до 5 мм – как мелкого заполнителя и зерна шлака, размером свыше 5 мм – как крупного заполнителя [6].

Использование промышленных отходов горения угля относится к 90-м гг. прошлого века. В 1986 г. в цементной промышленности СССР было применено около 1 млн тонн золы-уноса энергетических предприятий, к 1987 г. объём переработки золы достиг 1,5 млн тонн. Также известен опыт применения золы-уноса и золошлаковой смеси из отвалов на цементном заводе в городе Новороссийске – золошлаковые отходы городской районной электростанции применяли в качестве составной части сырьевой смеси клинкера в печах с конвейерными кальцинаторами [9, 11].

По материалам исследований [7, 8] уровень утилизации топливных отходов в России составляет около 10 %, в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % годового объема сухих зол-уноса и топливных золных остатков. Кроме

того, во многих странах проводится государственная политика, стимулирующая этот процесс. Так, в Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту золошлаковых отходов.

В таблице 1 приводится обзор некоторых практических результатов использования золошлаковых отходов при производстве строительных материалов.

### Цель исследования

Возможность использования техногенных отходов, в частности золошлаковых отходов ТЭС в полном объеме, в качестве минеральных добавок для замены части портландцемента.

### Основной материал

В данной работе было проведено исследование возможности использования золошлаковых отходов Зуевской ТЭС в виде золы-уноса, молотой отвальной золошлаковой смеси, а также молотой отвальной золошлаковой смеси Старобешевской ТЭС в качестве замены части портландцемента.

Было исследовано влияние замены от 10 % до 30 % от массы портландцемента в составе вяжущего молотой золошлаковой смеси или золы-уноса ТЭС на кинетику набора прочности камня вяжущего, которые твердели в течение от 3 до 56 суток в нормальных условиях. Предварительно отвальные золошлаковые смеси высушивали и механоактивировали измельчением до состояния мелкодисперсного порошка, до тонкости

помола сравнимого с тонкостью помола цементного клинкера с помощью шаровой мельницы.

Свойства вяжущих определялись по стандартным методикам. Физико-механические испытания вяжущих выполнялись на образцах 5×5×5 см, изготовленных из теста нормальной густоты. Уплотнение образцов осуществлялось на стандартной лабораторной виброплощадке, время вибрации составляло 30 сек. Образцы твердели при нормальных условиях в эксикаторе.

Составы и свойства вяжущих приведены в таблице 2.

Установлено, что при частичной замене портландцемента минеральными добавками техногенного происхождения: золой-уноса Зуевской ТЭС, молотой отвальной золошлаковой смеси Зуевской ТЭС и молотой отвальной золошлаковой смеси Старобешевской ТЭС в процентном соотношении 10...30 % не приводит к существенному увеличению нормальной густоты теста вяжущего.

Зависимость предела прочности на сжатие камня, вяжущего от количества золы-уноса и золошлаковых смесей Зуевской ТЭС и Старобешевской ТЭС, введенных взамен части цемента, в различных возрастах нормального твердения представлена в таблице 3.

Установлено, что при шаговой замене части цемента в количестве 10 %, 20 % и 30 % минеральными добавками отходов ТЭС, происходит снижение предела прочности на сжатие камня вяжущего в раннем возрасте во всех случаях в пределах 15...43 %, особенно при увеличении доли минеральной добавки (рисунок 2).

В то же время, в марочном возрасте и в более поздние сроки твердения частичная замена цемента добавками на основе отходов ТЭС не

**Таблица 1.** Использование золошлаковых отходов в качестве сырья для производства строительных материалов

Год	Авторы	Название исследования	Виды материалов
1998	Баженов Ю. М. и др.	Мелкозернистый бетон [9]	Мелкозернистый бетон
2005	Malhotra V. M., Mehta P. K.	High-Performance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary cementing materials for sustainable development [10]	High performance concrete
2012	Энтин Э. Б. и др	Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона [12]	Цемент и бетон
2018	Tang Van Lam, Boris Bulgakov & etc.	Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete [13]	High performance concrete

Таблица 2. Составы и свойства вяжущих

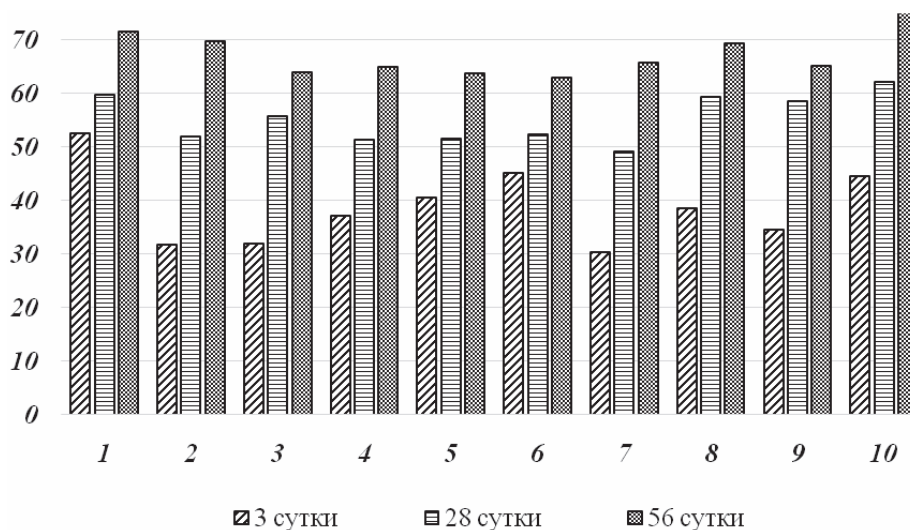
№ п/п	Содержание минеральных компонентов, %				Свойства цементного теста
	Портландцемент	Зола-уноса ТЭС	ЗШС Зуевской ТЭС	ЗШС Старобешевской ТЭС	Нормальная густота цементного теста, %
1	100	–	–	–	26
2	90	10	–	–	25
3	80	20	–	–	26
4	70	30	–	–	26
5	90	–	10	–	24
6	80	–	20	–	27
7	70	–	30	–	26
8	90	–	–	10	23
9	80	–	–	20	27
10	70	–	–	30	26

Таблица 3. Пределы прочностия сжатия образцов камня вяжущего

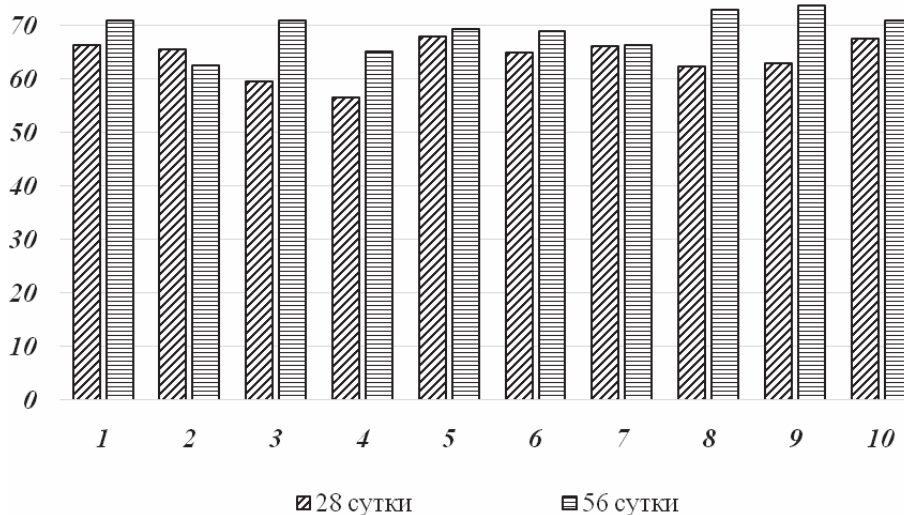
№ п/п	Предел прочности при сжатии, МПа		
	3 суток твердения	28 суток твердения	56 суток твердения
1	52,65	59,73	71,58
2	31,75	51,97	69,75
3	32,02	55,85	63,86
4	37,20	51,41	64,95
5	40,53	51,46	63,69
6	45,22	52,26	62,90
7	30,39	49,14	65,84
8	38,49	59,40	69,34
9	34,52	58,47	65,08
10	44,59	62,22	75,10

Таблица 4. Показатели степени гидратации камня вяжущего

№ п/п	Степень гидратаций камня вяжущего, %	
	28 суток твердения	56 суток твердения
1	66,45	70,88
2	65,55	62,56
3	59,63	70,88
4	56,62	65,08
5	67,97	69,29
6	64,97	68,90
7	66,11	66,44
8	62,27	72,90
9	63,03	73,78
10	67,56	70,97



**Рисунок 2.** Пределы прочности при сжатии образцов камня вяжущего в зависимости от возраста твердения.



**Рисунок 3.** Показатели степени гидратации камня вяжущего в зависимости от возраста твердения.

приводит к существенному снижению значения предела прочности на сжатие камня вяжущего, а в некоторых случаях даже приводит к незначительному увеличению, что, в свою очередь подтверждает проявление пуццолановой активности минеральных добавок. Особенно этот эффект заметен при использовании в качестве минеральной добавки молотой золошлаковой смеси Старобешевской ТЭС (составы 8–10), даже при увеличении доли минеральной добавки в составе.

Результаты исследований степени гидратации камня вяжущего по методике [14], представ-

ленные в таблице 4, на рисунке 3, подтверждают факт пуццолановой активности добавок золы-уноса и молотых отвальных золошлаковых смесей за счет не уменьшения степени гидратации камня вяжущего, даже при увеличении количества минеральных добавок до 30 %.

Исследование влияния количества золы-уноса и золошлаковых смесей на равномерность изменения объема затвердевшего вяжущего теста представлены на рисунке 4. Установлено, что изменение количества минеральных добавок не оказало отрицательного влияния на исследуемый параметр.





**Рисунок 4.** Изучение влияния количества минеральной добавки на равномерность изменения объема затвердевшего вяжущего теста.

Из полученных результатов исследований следует, что сокращение расхода цемента и его замена на золу-уноса и золошлаковую смесь Зуевской ТЭС и Старобешевской ТЭС на 3-и сутки приводит к снижению прочности на 28-е сутки к увеличению прочности, как и на 56-е сутки.

### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что замена в пределах 10...30 % по массе цемента на, соответственно, золу-уноса и золошлаковые смеси Зуевской ТЭС и Старобешев-

ской ТЭС в составе вяжущего хотя и ведет к снижению прочности камня вяжущего в возрасте 3-х суток твердения, однако, не приводит к снижению марочной активности камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения. Таким образом, выявлена возможность частичной замены цемента золой-уноса и золошлаковой смесью от сжигания угля на тепловых электростанциях, которая подтверждается экспериментально и должна корректироваться в конкретных условиях. При этом вовлечение в производство альтернативных вяжущих позволяет увеличить сырьевую базу приготовления цемента и уменьшить ущерб окружающей среде.

### Литература

1. Der Braunkohlentagebau Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt / R. D. Stoll, Ch. Niemann-Delius, C. Drebenstedt, K. Mhllensiefen. – Berlin : Springer Verlag, 2009. – 605 p. – Текст : непосредственный.
2. Анализ перспективности применения золы-уноса в технологии геополимеров / М. О. Коровкин, В. М. Володин, Н. А. Ерошкина [и др.]. – Текст : непосредственный // Молодежный научный вестник. – 2017. – № 10(23). – С. 70–77.

### Reference

1. Stoll, R. D.; Niemann-Delius, Ch.; Drebenstedt, C.; Mhllensiefen, K. Der Braunkohlentagebau Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt. – Berlin : Springer Verlag, 2009. – 605 p. – Text : direct. (in German)
2. Korovkin, M. O.; Volodin, V. M.; Yeroshkina, N. A. [at. al.]. Analysis of the prospects for the use of fly ash in the technology of geopolymers. – Text : direct. – In: *Youth Scientific Bulletin*. – 2017. – № 10 (23). – P. 70–77. (in Russian)

3. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 369 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 25818-2017. Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия = Thermal plant fly-ashes for concretes. Specifications : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 сентября 2017 г. № 103-П) : взамен ГОСТ 25818-91 : дата введения 2018-03-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева) АО «НИЦ «Строительство» при участии ООО «ПЦВ». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 23 с. – Текст : непосредственный.
5. ASTM C618 fly ash specification : Comparison with other specifications, shortcomings, and solutions / P. Suraneni, L. Burris, C. R. Shearer [at. al.]. – Текст : электронный // ACI Materials Journal. – 2021. – Volume 118, № 1. – P. 157–167. – URL: <https://doi.org/10.14359/51725994> (дата обращения: 01.11.2021).
6. ГОСТ 25592-2019. Смеси золошлаковые тепловых электростанций. Технические условия = Mixes of fly-ash and slag of thermal plants for concretes. Specifications : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 апреля 2019 г. № 118-П) : взамен ГОСТ 25592-91 : дата введения 2020-06-01 / разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 144 «Строительные материалы и изделия». – Москва : Стандартинформ. – 2019. – 20 с. – Текст : непосредственный.
7. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н. И. Ватин, Д. В. Петросов, А. И. Калачев [и др.]. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4. – С. 16–22.
8. Путилин, Е. И. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е. И. Путилин, В. С. Цветков. – Москва : Союздорнии, 2003. – 58 с. – Текст : непосредственный.
9. Мелкозернистые бетоны : учебное пособие / Ю. М. Баженов, У. Х. Магдеев, Л. А. Алимов [и др.]. – Москва : Московский государственный строительный университет, 1998. – 148 с. – Текст : непосредственный.
10. Malhotra, V. M. High-Performance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa : [s. n.], 2005. – 124 p. – Текст : непосредственный.
3. Dvorkin, L. I; Dvorkin, O. L. Building materials from industrial waste : a study guide. – Rostov-on-Don : Feniks, 2007. – 369 p. – Text : direct. (in Russian)
4. GOST 25818-2017. Thermal plant fly-ashes for concretes. Specifications. – Moscow : Standardinform, 2017. – 23 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Suraneni, P.; Burris, L.; Shearer, C. R. [at. al.]. ASTM C618 fly ash specification: Comparison with other specifications, shortcomings, and solutions. – Text : electronic. – In: *ACI Materials Journal*. – 2021. – Volume 118, № 1. – P. 157–167. – URL: <https://doi.org/10.14359/51725994> (accessed date: 01.11.2021). (in English)
6. GOST 25592-2019. Mixes of fly-ash and slag of thermal plants for concretes. Specifications. – Moscow : Standardinform. – 2019. – 20 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Vatin, N. I.; Petrosov, D. V.; Kalachev, A. I. [at. al.]. The use of ash and ash and slag waste in construction. – Text : direct. – In: *Engineering and construction journal*. – 2011. – № 4. – P. 16–22. (in Russian)
8. Putilin, Ye. I.; Tsvetkov, V. S. The use of fly ash and ash and slag mixtures in the construction of highways. Survey information of domestic and foreign experience of using waste from solid fuel combustion at TPPs. – Moscow : Soyuzdornii, 2003. – 58 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Bazhenov, Yu. M.; Magdeyev, U. Kh.; Alimov, L. A. [at. al.]. Fine-grained concrete : text edition. – Moscow : Moscow State University of Civil Engineering, 1998. – 148 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Malhotra, V. M.; Mehta, P. K. High-Performance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. – Ottawa : [s. n.], 2005. – 124 p. – Text : direct. (in English)
11. Lam, Tang Van; Khung, Ngo Suan; Bulgakov, B. I. [at. al.]. Use of ash and slag waste as an additional cementing material. – Text : electronic. – In: *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhova*. – 2018. – № 8. – P. 19–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoloshlakovykh-othodov-v-kachestve-dopolnitelnogo-tsementiruyuschego-materiala> (accessed date: 02.11.2021). (in Russian)
12. Entin, E. B.; Nefedova, L. S.; Strzhalkovskaya, N. V. Ash TPP – raw materials for cement and concrete. – Text : direct. – In: *Cement and its application*. – 2012. – № 2. – P. 40–46. (in Russian)
13. Lam, Tang Van; Bulgakov, Boris; Aleksandrova, Olga [at. al.]. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high-performance concrete. – Text : electronic. – In: *E3S Web of Conferences*. – 2018. – Volume 33. – P. 1–13. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030> (accessed date: 02.11.2021).
14. Powers, T. C. The Nonevaporable Water Content of Hardened Portland Cement Paste: Its Significance



11. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала / Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Б. И. Булгаков [и др.]. – Текст : электронный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – № 8. – С. 19–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoloshlakovyh-othodov-v-kachestve-dopolnitelnogo-tsementiruyuschego-materiala> (дата обращения: 02.11.2021).
  12. Энтин, Э. Б. Золо ТЭС – сырье для цемента и бетона / Э. Б. Энтин, Л. С. Нефедова, Н. В. Стржалковская. – Текст : непосредственный // Цемент и его применение. – 2012. – № 2. – С. 40–46.
  13. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete / Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova [et. al.]. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences. – 2018. – Volume 33. – P. 1–13. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030> (дата обращения: 02.11.2021).
  14. Powers, T. C. The Nonevaporable Water Content of Hardened Portland Cement Paste : Its Significance for Concrete Research and Its Method of Determination / T. C. Powers. – Chicago : Portland Cement Association, 1949. – 17 p. – Текст : непосредственный.
- for Concrete Research and Its Method of Determination. – Chicago : Portland Cement Association, 1949. – 17 p. – Text : direct. (in English)

**Бучинков Дмитрий Дмитриевич** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками.

**Литвиненко Анастасия Николаевна** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: минеральные вяжущие с добавкой из отходов промышленности.

**Ляхтарина Сергей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: легкие высокопрочные бетоны.

**Егорова Елена Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: самоуплотняющиеся бетоны.

**Бобылев Евгений Александрович** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с применением отходов промышленности Донбасса.

**Бучинков Дмитро Дмитрович** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони з високими експлуатаційними характеристиками.

**Литвиненко Анастасія Миколаївна** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: мінеральні в'язучі з добавкою з відходів промисловості.

**Ляхтарина Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: легкі високоміцні бетони.

**Егорова Олена Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: самоуплотняювальні бетони.

**Бобылев Євген Олександрович** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони із застосуванням відходів промисловості Донбасу.

**Buchinkov Dmitry** – Master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes with high performance characteristics.

**Litvinenko Anastasia** – Master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: mineral binders with additives from industrial waste.

**Lakhtaryina Sergey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: lightweight highstrength concrete.

**Yegorova Elena** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: self-compacting concretes.

**Bobylyev Yevheny** – Master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes with the use of industrial waste from Donbas.