



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2023, ТОМ 19, НОМЕР 2, 61–70

EDN: ZEDNTY

УДК 666.974.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ЗУЕВСКОЙ ТЭС

А. Н. Лищенко

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация, 286123.

E-mail: a.n.lischenko@donnasa.ru

Получена 13 мая 2023; принята 23 мая 2023.

Аннотация. В работе приведены результаты сравнительного исследования зависимости прочности при сжатии щелочных жаростойких бетонов от вида золошлакового отхода Зуевской ТЭС, концентрации раствора щелочи и длительности твердения в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании. Установлено, что при твердении в нормальных условиях прочность бетона незначительная и составляет 2,8–10,5 МПа. При тепловлажностной обработке, особенно автоклавной, она существенно возрастает. Марка бетонов на основе шлака Зуевской ТЭС в 1,5–2 раза превышает марку аналогичных составов на основе золы-уноса. На основе разработанных шлакощелочных вяжущих получены пропаренные и автоклавированные шлакощелочные бетоны соответственно марок 100–200 и 300–400. Исследовано изменение физико-механических свойств щелочных бетонов на основе шлака при обычной температуре, после сушки и обжига при температуре 1000 °С. Установлено, что щелочные жаростойкие бетоны на основе каменноугольного молотого шлака Зуевской ТЭС обладают повышенными жаростойкими свойствами. Таким образом, доказана возможность и целесообразность использования каменноугольного молотого шлака при изготовлении щелочных жаростойких бетонов.

Ключевые слова: шлакощелочное вяжущее, жаростойкий бетон, линейная усадка, прочность, шлак ТЭС, пропаривание.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛУЖНИХ ЖАРСТІЙКИХ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ЗУЇВСЬКОЇ ТЕС

Г. М. Ліщенко

ФДБОУ ВО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація, 286123.

E-mail: a.n.lischenko@donnasa.ru

Отримана 13 травня 2023; прийнята 13 травня 2023.

Анотація. У роботі наведено результати порівняльного дослідження залежності міцності при стиску лужних жаростійких бетонів від виду золошлакового відходу Зуївської ТЕС, концентрації розчину лугу та тривалості твердіння в нормальних умовах, при пропарюванні та автоклавованні. Встановлено, що при твердінні в нормальних умовах міцність бетону незначна і становить 2,8–10,5 МПа. При тепловологій обробці, особливо автоклавній, вона значно зростає. Марка бетонів на основі шлаку Зуївської ТЕС у 1,5–2 рази перевищує марку аналогічних складів на основі золи-винесення. На основі розроблених шлаколужних в'язучих отримані пропарені та автоклавовані шлаколужні бетони відповідно марок 100–200 та 300–400. Досліджено зміну фізико-механічних властивостей лужних бетонів на основі шлаку при звичайній температурі, після сушіння та випалу при температурі 1000 °С. Встановлено, що лужні жаростійкі бетони на основі кам'яновугільного меленого шлаку Зуївської ТЕС мають підвищені жаростійкі властивості. Таким чином, доведено можливість і доцільність використання кам'яновугільного меленого шлаку при виготовленні лужних жаростійких бетонів.



Ключові слова: шлаколу́жное в'язуче, жаростійкий бетон, лінійна усадка, міцність, шлак ТЕС, пропарювання.

INVESTIGATION OF ALKALINE HEAT-RESISTANT CONCRETE BASED ON ASH AND SLAG WASTE OF THE ZUEVSKAYA TPP

Anna Lischenko

*FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, Russian Federation, 286123.*

E-mail: a.n.lischenko@donnasa.ru

Received 13 May 2023; accepted 13 May 2023.

Abstract. The paper presents the results of a comparative study of the dependence of the compressive strength of alkaline heat-resistant concretes on the type of ash and slag waste from the Zuevskaya TPP, the concentration of the alkali solution and the duration of hardening under normal conditions, during steaming and autoclaving. It has been established that during hardening under normal conditions, the strength of concrete is insignificant and amounts to 2.8–10.5 MPa. With heat and moisture treatment, especially autoclave, it increases significantly. The brand of concrete based on the slag of the Zuevskaya TPP is 1.5–2 times higher than the brand of similar compositions based on fly ash. Based on the developed slag-alkali binders, steamed and autoclaved slag-alkali concretes of grades 100–200 and 300–400, respectively, were obtained. The change in the physical and mechanical properties of alkaline concretes based on slag at ordinary temperature, after drying and firing at a temperature of 1000 °C was studied. It has been established that alkaline heat-resistant concretes based on ground coal slag from the Zuevskaya TPP have increased heat-resistant properties. Thus, the possibility and expediency of using ground coal slag in the manufacture of alkaline heat-resistant concretes has been proved.

Keywords: slag-alkali binder, heat-resistant concrete, linear shrinkage, strength, slag TPP, steaming.

Актуальность темы

Жаростойкий бетон представляет собой специальный вид материалов, которые под воздействием высоких температур (до 1800 °C) способны сохранять в установленных границах собственные физико-механические характеристики. Жаростойкие смеси с успехом применяются во всех сферах промышленного строительства, ни в чем не уступая мелкоштучным огнеупорным материалам. Так, например, жаростойкие бетоны, в сравнении с обычными огнеупорными материалами, не нуждаются в специальном предварительном обжиге. Термообработку (обжиг) жаростойкий бетон проходит при первом нагреве готовой конструкции, в момент пуска теплового агрегата.

Плотные тяжелые жаростойкие бетоны применяются для изготовления огнестойких строительных конструкций и в качестве жаростойкой футеровки в тепловых агрегатах: рекуператоров

доменных печей, на предприятиях химической промышленности, в печах для обжига строительного кирпича, при строительстве дымовых труб и др. Применение тяжелых термостойких растворов позволяет значительно сократить сроки ремонта и строительства тепловых агрегатов и при этом снизить себестоимость и трудоемкость процессов.

При производстве жаростойких и огнеупорных бетонов в качестве вяжущего вещества используют портландцемент с тонкомолотыми кислыми добавками, шлакопортландцемент, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, шлаковые вяжущие, жидкое стекло с различными отвердителями, периклазовый цемент и фосфатные связующие, в частности алюмофосфатные, алюмохромфосфатные, цирконийфосфатные, магнийфосфатные, железифосфатные и др. [1, 2, 6].

В щелочной и нейтральной среде рекомендуется применять бетон на шлакопортландцементе

и портландцементе; в кислой газовой среде – смеси на жидком стекле; углеродная, фосфорная и водородная среда требует применения растворов на глиноземистых и высокоглиноземистых цементах. Для совершенствования структуры цементного состава и повышения прочности конструкций в вяжущее добавляют минеральные компоненты (бой магнезитового или шамотного кирпича, андезит, доменный гранулированный шлак, лессовидный суглинок, золунос и шлаки ТЭС и др.), обладающие необходимыми показателями огнеупорности.

Наиболее стойкими к агрессивным средам являются жаростойкие бетоны на основе жидкого стекла. Жидкое стекло является сложным в химическом отношении веществом, в котором проявляются свойства ионных, коллоидных и полимерных растворов. Строение жидкого стекла аналогично строению стекольного расплава и его застывшей формы, с одной стороны, силикатного коллоидного раствора и геля, с другой стороны. В результате многих исследований было установлено, что вяжущие свойства бетонов и растворов на жидком стекле обеспечиваются введением отвердителей. Наиболее распространенным является кремнефтористый натрий [3, 4].

Жаростойкие бетоны на жидком стекле характеризуются комплексом достоинств: быстро твердеют, проявляют высокую адгезию практически ко всем минеральным материалам, теряют незначительную часть прочности при дегидратации, имеют высокие показатели термической и химической стойкости, большинство из них водостойки. Недостатком известных видов жидкостекольных бетонов является то, что отвердители жидкого стекла (кремнефторид натрия, металлургические шлаки, нефелиновый шлам, глиноземистый цемент) содержат до 5 % плавней и более. Это оказывает значительное воздействие на снижение огнеупорности и особенно температуры деформации под нагрузкой, что существенно ограничивает сферу применения бетонов.

Анализ литературы позволяет полагать, что этот недостаток можно свести к минимуму или избежать его полностью при использовании щелочных и шлакощелочных вяжущих. Известно, что шлакощелочные вяжущие проявляют высокую активность по отношению к таким материалам, как золошлаковые отходы ТЭС от сжигания каменного угля.

Одним из основных отходов промышленности Донбасса являются золошлаковые отходы тепловых электростанций (ТЭС). Только на семи крупных и средних электростанциях Донбасса, без учета малых ведомственных, при работе на полную мощность ежегодно образуется около семи млн тонн этих отходов. Максимальный уровень их утилизации в конце 80-х годов 20 века не превышал 4 %. В основном золошлаковые отходы использовались как активная минеральная добавка и заполнитель в цементных бетонах. Расход отходов ТЭС в таких бетонах колебался от 1 до 10 % от массы бетона.

Новым направлением широкого применения зол и шлаков ТЭС в стройиндустрии может стать производство бетонов на основе щелочных алюмосиликатных вяжущих. Расход золошлаковых отходов в таких бетонах может достигать 98 % по массе.

Известно, что зола-унос по структуре существенно отличается от шлака ТЭС [1]. В золе-унос до 40–50 % материала может находиться в кристаллическом состоянии, шлак жидкого удаления на 100 % остеклован. Причем важно, что в золе-унос практически весь оксид алюминия находится в кристаллической фазе. Это, как установлено [2–8], является решающим фактором растворимости оксида алюминия в щелочных растворах и синтеза водостойких гидроалюмосиликатов типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4)SiO_2 \cdot nH_2O$.

Ранее в исследованиях шлакощелочных вяжущих на фактор различной степени аморфизации оксида алюминия в золе-унос и шлаке ТЭС внимание не акцентировалось.

Цель исследования

Целью исследования является получение жаростойких щелочных бетонов на основе золошлаковых отходов Зуевской ТЭС путем установления закономерностей влияния их вида (зола, шлак) на процессы синтеза прочности при различных условиях твердения.

Основной материал

В исследованиях использовались: щелочной раствор NaOH, шлак Зуевской ТЭС, полученный отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,316 мм с последующим помолом в лабораторной

шаровой мельнице до остатка на сите № 008–8%. Зола-унос отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08–0,16 мм. В качестве крупного и мелко-заполнителя использовался отсев из золошлаковой смеси соответственно фракции 2,5–10 мм и 0,16–2,5 мм. Рентгенограммы шлака и золы, показанные на рисунке 1, указывают на то, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического муллита, плохо растворимого в щелочных водных растворах (межплоскостные расстояния 0,335, 0,220, 0,341, 0,256 нм).

Испытание прочности шлакощелочных бетонов производилось на образцах-кубах с ребром 4 см. Усадка изучалась на балочках 4x4x16 см с корундовыми реперами. Уплотнение смеси выполнялось в лаборатории на виброплощадке с вибропригрузом по ГОСТ 18105–2018 в течение 20–40 секунд до полной усадки смеси. Образцы бетона твердели в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании. Нормальное твердение образцов происходило над

водой, в эксикаторе. Тепловлажностное твердение осуществляли после 16–20 часов выдержки в формах с изолированной верхней поверхностью по режиму 2,5+7+2 часа при температуре 95 °С. Автоклавирование производилось по режиму 2+8+2 часа при температуре 173 °С и давлении насыщенного пара 0,8 МПа. Перед обжигом образцы просушивались в течение суток до постоянной массы при температуре 110 °С. Обжиг производился по режиму: нагрев и охлаждение со скоростью 200 °С/ч, выдержка при максимальной температуре в течение 4 часов.

Результаты сравнительного исследования зависимости прочности бетонов от вида золошлаковых отходов, концентрации раствора щелочи и длительности твердения в нормальных условиях, приведенные на рисунках 2 и 3, свидетельствуют о низкой прочности бетонов. Однако они показывают, что прочность бетонов на основе шлака существенно превышает прочность соответствующих композиций на золе, с увеличением концентрации раствора щелочи прочность образцов из обеих композиций, особенно шлаковых, заметно возрастает, с повышением плотности раствора щелочного компонента прочность вяжущих непрерывно растет.

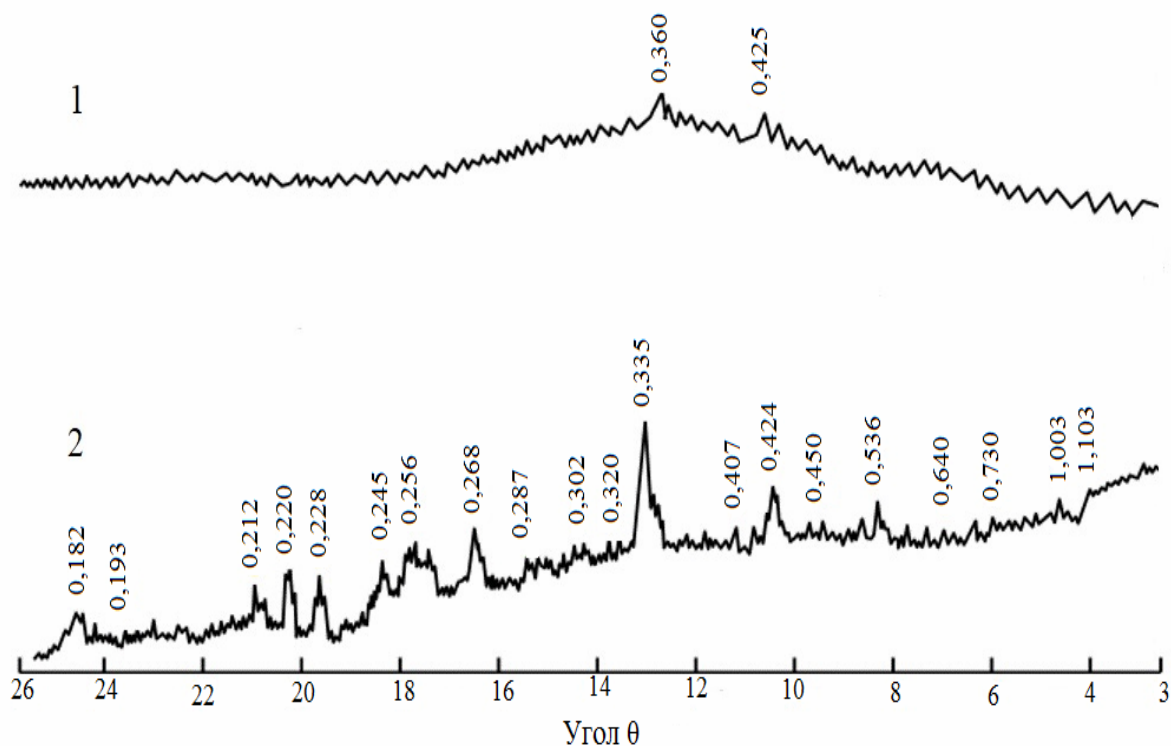


Рисунок 1 – Дифрактограммы: 1 – шлак Зуевской ТЭС; 2 – зола Зуевской ТЭС.

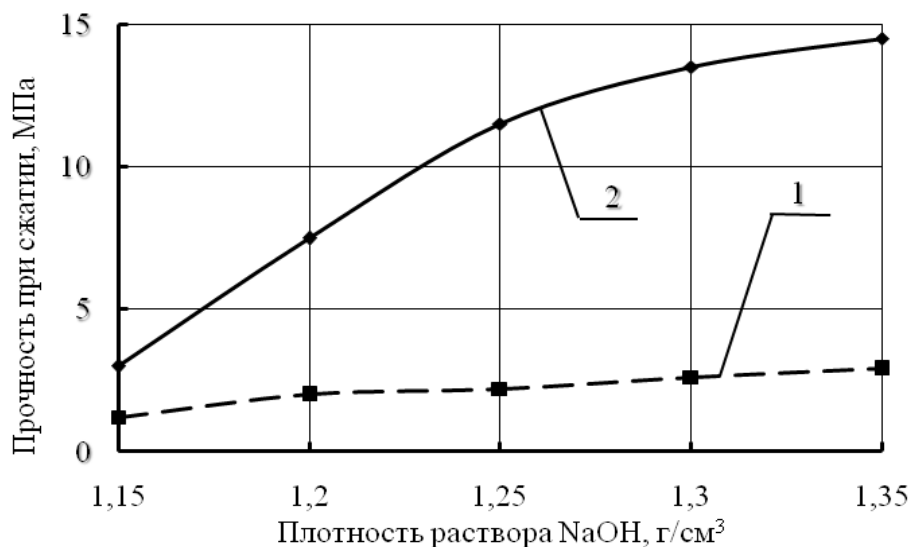


Рисунок 2 – Зависимость прочности бетонов нормального твердения на основе золы-унос (1) и молотого шлака (2) Зуевской ТЭС от плотности раствора NaOH.

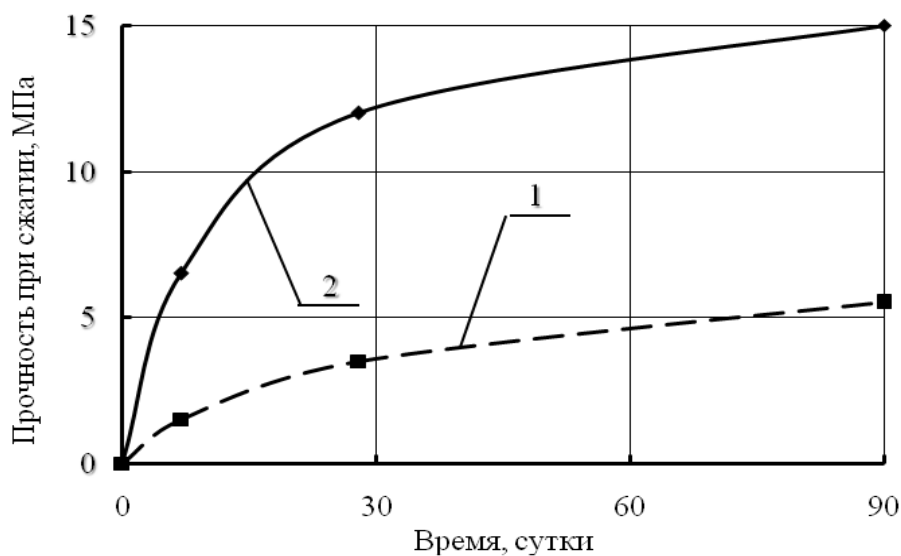


Рисунок 3 – Зависимость прочности бетонов нормального твердения на основе золы-унос (1) и молотого шлака (2) Зуевской ТЭС от длительности твердения.

Результаты аналогичных исследований пропаренных бетонов (рисунки 4 и 5), свидетельствуют о существенном росте прочности бетонов, особенно шлаковых, с увеличением плотности раствора щелочи с 1,15 до 1,25 г/см³. Похожий рост прочности образцов наблюдается при увеличении длительности изотермической выдержки до 6–8 часов. При оптимальной концентрации раствора щелочи – 1,25 г/см³ и оптимальной длительности изотермической выдержки

прочность бетонов на шлаке в 3–3,5 раза превышает прочность зольных бетонов.

Наибольшие показатели прочности оба вида бетонов показали при автоклавной обработке. По сравнению с пропаренными образцами она возрастает в 1,5–2 раза, до 23 МПа на основе золы и до 50 МПа на основе шлака (рисунок 6).

Исследования влияния давления пара при автоклавировании показали, что наибольший рост прочности и зольных, и шлаковых составов наблюдается

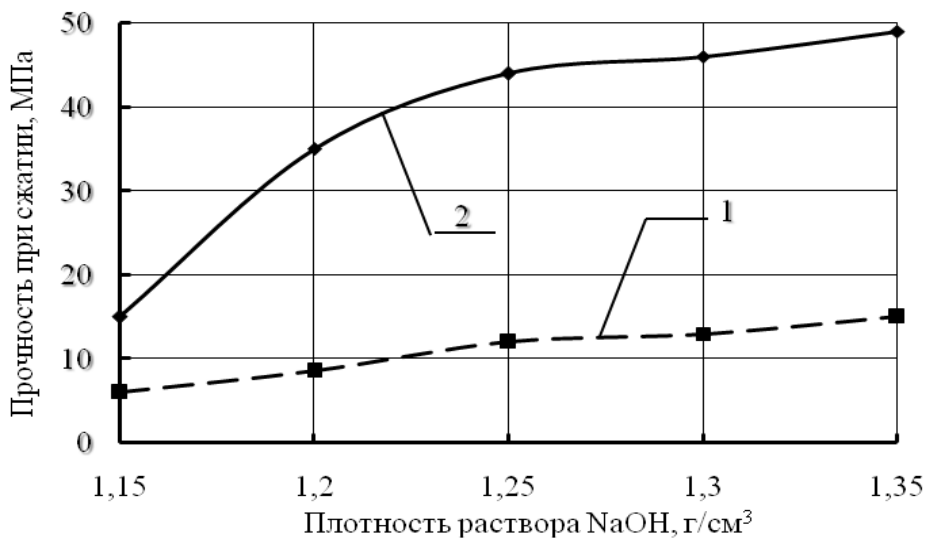


Рисунок 4 – Зависимость прочности пропаренных бетонов на основе золы-унос (1) и молотого шлака (2) Зуевской ТЭС от плотности раствора NaOH.

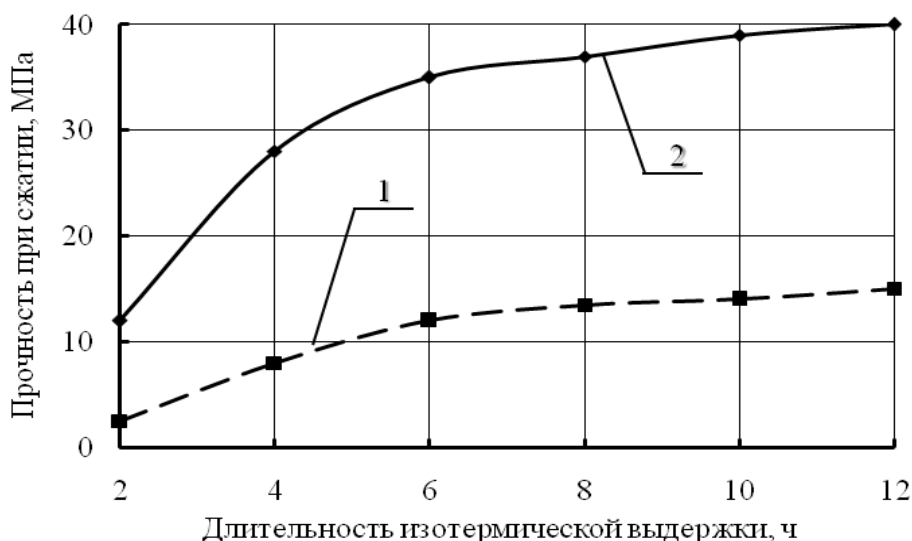


Рисунок 5 – Зависимость прочности пропаренных бетонов на основе золы-унос (1) и молотого шлака (2) Зуевской ТЭС от длительности твердения.

при подъеме давления до 6–8 атм. При этом прочность шлаковых бетонов более чем в 2 раза превышает прочность аналогичных зольных бетонов.

Зависимость предела прочности на сжатие шлакощелочных бетонов от температуры прогрева представлена в таблице.

Пропаренные шлакощелочные бетоны имеют прочность, равную 41 МПа. После сушки до постоянной массы она увеличивается примерно на 15%.

Прогрев при температуре 400 °С повышает

прочность и плотность искусственного камня.

После обжига при температуре 600 °С относительная остаточная прочность образцов – R_{600}/R_{110} составляет 82 %, у автоклавированных образцов она повышается до 89 %.

Результаты исследований, приведенные на рисунке 7, показывают, что при нагреве в температурном интервале 110–700 °С все образцы претерпевают усадку, увеличивающуюся практически прямо пропорционально повышению температуры.

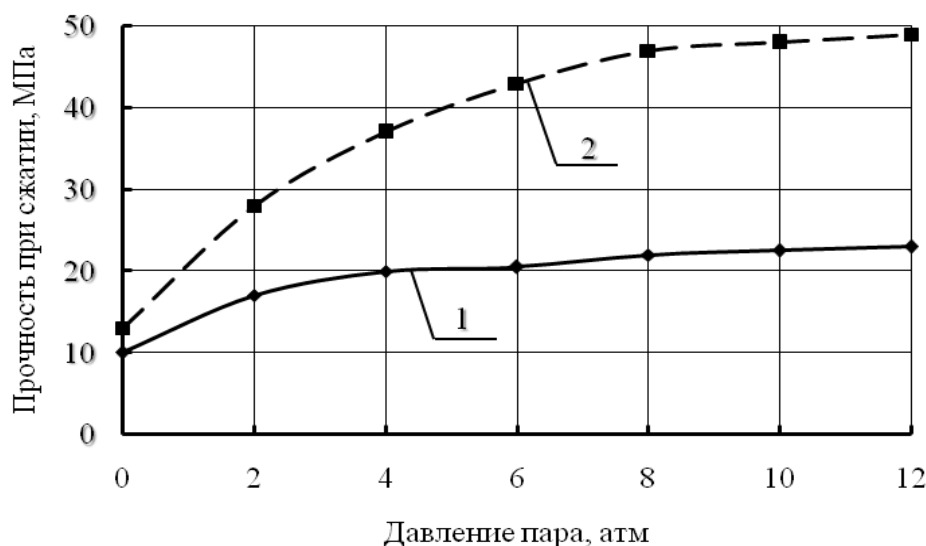


Рисунок 6 – Зависимость прочности автоклавированных бетонов на основе золы-уноса (1) и молотого шлака (2) Зуевской ТЭС от давления пара.

Таблица. Зависимость прочности шлакощелочных бетонов при сжатии (МПа – числитель, % – знаменатель) от температуры прогрева

Условия твердения образцов	Температура прогрева, °С						
	20	110	400	500	600	800	1000
пропаривание		<u>48.5</u>	<u>53</u>	<u>43.7</u>	<u>41.8</u>	<u>42.2</u>	<u>45.3</u>
	41	100	109	90	82	86	93
автоклавирование		<u>55.3</u>	<u>58.6</u>	<u>50.6</u>	<u>49.2</u>	<u>52.5</u>	<u>57.2</u>
	48	100	106	91	89	95	103

После обжига при температуре 1000 °С рост относительной прочности R_{1000}/R_{110} для пропаренных и автоклавированных образцов бетона составляет соответственно 93 % и 103 %.

При подъеме температуры до 1000 °С линейные размеры образцов шлакощелочных бетонов начинают увеличиваться. Связано это, вероятно, с переходом реликтового стекла шлака в пиропластическое состояние и его вспучиванием.

Выводы

Исследовано влияние вида золошлаковых отходов Зуевской ТЭС, концентрации раствора щелочи и длительности твердения в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании на показатели прочности при сжатии щелочных жаростойких бетонов. Прочность щелочных

бетонов на основе шлаков ТЭС в 1,5–2 раза превышает прочность аналогичных составов на основе золы-уноса, и основным определяющим фактором этого является практически полная аморфизация шлаков, особенно их алюмосиликатной составляющей, которая в золах в существенной мере закристаллизована. На основе разработанных вяжущих получены пропаренные и автоклавированные шлакощелочные жаростойкие бетоны соответственно марок 100–200 и 300–400.

На основании результатов исследования изменения физико-механических свойств щелочных бетонов при обычной температуре, после сушки и обжига при температуре 1000 °С установлено, что бетоны на основе каменноугольного молотого шлака Зуевской ТЭС обладают повышенными жаростойкими свойствами.

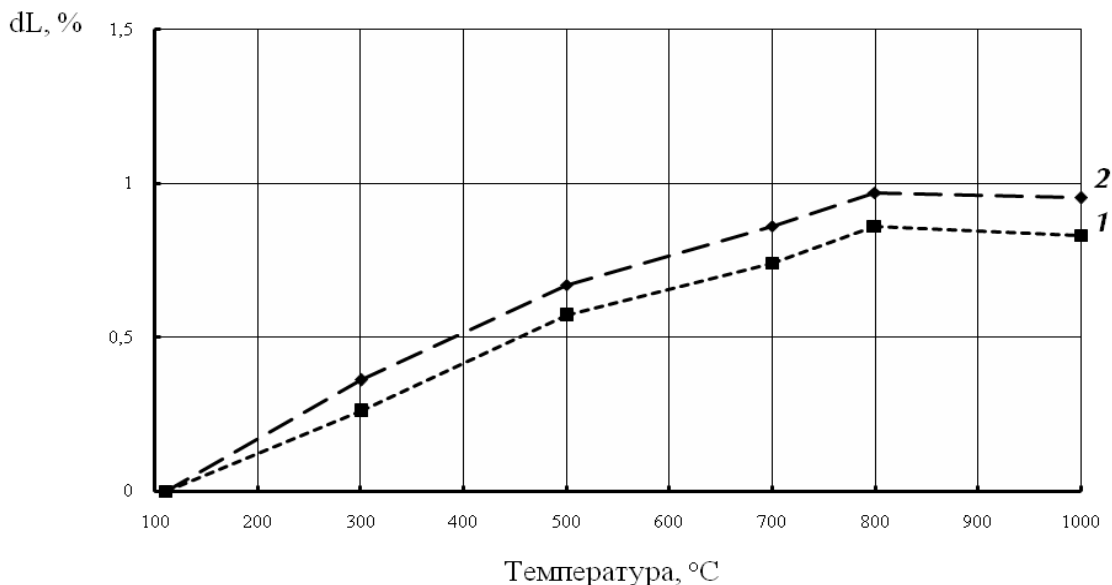


Рисунок 7 – Зависимость усадки (dL) шлакощелочного бетона от температуры обжига: 1 – пропаренные образцы; 2 – автоклавированные образцы.

Литература

1. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 256 с. – Текст : непосредственный.
2. 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.
3. Некрасов, К. Д. Жароупорный бетон / К. Д. Некрасов. – Москва : Промстройиздат, 1957. – 283 с. – Текст : непосредственный.
4. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе / А. П. Тарасова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 133 с. – Текст : непосредственный.
5. Влияние вида золошлаковых отходов теплоэлектростанций Донбасса на прочностные свойства щелочных алюмосиликатных вяжущих и бетонов на их основе / А. Н. Ефремов, Е. А. Рудич, В. Г. Вешневская [и др.] – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2003. – Випуск 1(38). Композиційні матеріали для будівництва. – С. 60–62.
6. Ефремов, А. Н. Влияние добавок шлака и золы-уноса ТЭС на жаростойкие свойства портландцементного камня / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко. –

Reference

1. Volzhenskii, A. V.; Ivanov, I. A.; Vinogradov, B. N. The use of ashes and fuel slags in the production of building materials. – Moscow : Stroizdat, 1984. – 256 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Dvorkin, L. I.; Dvorkin, O. L. Building materials from industrial waste : educational and reference guide. – RostovonDon : Feniks, 2007. – 369 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Nekrasov, K. D. Refractory concrete. – Moscow : Promstroizdat, 1957. – 283 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Tarasova, A. P. Heatresistant binders on liquid glass and concretes based on them. – Moscow : Stroizdat, 1982. – 133 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Efremov, A. N.; Rudich, E. A.; Veshnevskaja, V. G. [et. al.]. Influence of the type of ash and slag wastes of Donbass thermal power plants on the strength properties of alkaline aluminosilicate binders and concretes based on them. – Text : direct. – In: *Bulletin of DNACEA*. – 2003. – Issue 20031(38) Composite materials for construction. – P. 60–62. (in Russian)
6. Efremov, A. N.; Lishchenko, A. N. Influence of additives of slag and fly ash from thermal power plants on the heatresistant properties of Portland cement stone. – Text : direct. – In: *Bulletin of DNACEA*. – 2010. – Issue 20101(81) Modern building materials. – P. 221–225. (in Russian)
7. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and

- Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Випуск 1(81). – Макіївка : ДонНАСА, 2010. – С.221–225.
7. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and Structures: 50 Years of Theory and Practice / P. Krivenko. – Текст : непосредственный // International Conference «Alkaline Activated Materials». – Research, Production and Utilization. – Praha : «Zeithamlova Milena, Ing.» 2007. – P. 313–347.
 8. Palomo, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polimers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers / A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez // International Conference «Alkali Activated Materials». – Research, Production and Utilization. – Praha : «Zeithamlova Milena, Ing.» 2007. – P. 509–522.
 9. Lee, W. E. Evolution of situ refractories in the 20th century / W. E. Lee, R. E. Moore. – Текст : непосредственный // Journal American Ceramic Society. – 1998. – Volume 81, № 6. – P. 1385–1410.
 10. 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.
 11. The effect of pozzolanas on the tricalcium aluminate hydration / M. Collepardi, G. Baldini, M. Pauri [et. al.]. – Текст : непосредственный // Cement and Concrete Research. – 1978. – Volume 8, Issue 6. – P. 741–752.
 12. Semler, C. T. Refractories industry. Status and trends / C. T. Semler. – Текст : непосредственный // Industrial minerals. – 1997. – № 356. – P. 29–37.
 13. 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-otходов-v-kachestve-dopolnitelnogo-tsementiruyuschego-materiala> (дата обращения: 02.09.2022).
 14. Kendall, T. Lafarge refractories monolithiques / T. Kendall. – Текст : непосредственный // Industrial minerals. – 1997. – № 360. – P. 101–107.
 15. Low-cement-bonded castable refractories / T. Eguchi, J. Takita, J. Yoshito [et. al.]. – Текст : непосредственный // Taikabutsu; Overseas. – 1989. – Volume 9, № 1. – P. 10–25.
- Structures: 50 Years of Theory and Practice. – Text : direct. – In: *International Conference «Alkaline Activated Materials»*. – Research, Production and Utilization. – Praha. – 2007. – P. 313–347.
8. Palomo, A.; Fernandez Jimenez, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polimers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers. – Text : direct. – In: *2007 International conference Alkali Activated Materials Research, Production and Utilization: Proceedings / Zeithamlova Milena (editor)*. – Praha. – 2007. – P. 509–522.
 9. Lee, W. E.; Moore, R. E. Evolution of situ refractories in the 20th century. – Text : direct. – In: *Journal American Ceramic Society*. – 1998. – Volume 81. – № 6. – P. 1385–1410.
 10. Vatin, N. I.; Petrosov, D. V.; Kalachev, A. I. [et. al.]. The use of ashes and ash and slag waste in construction. – Text : direct. – In: *Engineering and construction magazine*. – 2011. – № 4. – P. 16–22. (in Russian)
 11. Collepardi, M.; Baldini, G.; Pauri, M. The effect of pozzolanas on the tricalcium aluminate hydration. – Text : direct. – In: *Cement and Concrete Research*. – 1978. – № 8(6). – P. 741–752.
 12. Semler, C. T. Refractories industry. Status and trends. – Text : direct. – In: *Industrial minerals*. – 1997. – № 356. – P. 29–37.
 13. Lam, Tang Van; Khung, Ngo Suan; Bulgakov, B. I. [et. al.]. The use of ash and slag waste as an additional cementing material. – Text : electronic. – In: *Bulletin of BSTU named after Shukhov V. G.* – 2018. – № 8. – P. 19–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoloshlakovyh-otходов-v-kachestve-dopolnitelnogotsementiruyuschegomateriala> (date of access: 02.09.2022). (in Russian)
 14. Kendall, T. Lafarge refractories monolithiques. – Text : direct. – In: *Industrial minerals*. – 1997. – № 360. – P. 101–107.
 15. Eguchi, T.; Takita, J.; Yoshito, J. [et. al.]. Lowcement bonded castable refractories. – Text : direct. – In: *Taikabutsu. Overseas*. – 1989. – Volume 9. – № 1. – P. 10–25.

Лиценко Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Лищенко Ганна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів; жаростійкі і вогнетривкі бетони.

Lisichenko Anna – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.