



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2023, ТОМ 19, НОМЕР 4, 183–190

EDN: QAENYT

УДК 666.974.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКИХ ПЕНОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ

А. Н. Лищенко

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

*Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.*

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

Получена 20 ноября 2023; принята 24 ноября 2023.

Аннотация. В работе приведены результаты исследования влияния добавок молотых шамота и технического глинозема от массы смеси с глиноземистым и высокоглиноземистым цементом на жаростойкие свойства пенобетонов П400–П800. Определено влияние содержания тонкомолотых добавок на физико-механические свойства жаростойких ячеистобетонных композиций: прочность при обычной температуре, после сушки и обжига при температуре 800 °С, среднюю плотность, потери массы и линейную усадку пенобетонов. Установлено, что тонкомолотые шамот и глинозем снижая в приемлемом диапазоне исходную прочность пенобетонов на основе глиноземистого и высокоглиноземистого цемента, существенно повышает его прочность после обжига при температуре 800 °С. Добавки шамота и глинозема к глиноземистым цементам сокращают усадку, снижают среднюю плотность и повышают пористость вяжущей матрицы, что благоприятно влияет на теплозащитные свойства легких бетонов на их основе.

Ключевые слова: глиноземистый цемент, жаростойкий бетон, линейная усадка, шамот, глинозем, обжиг.

INVESTIGATION OF HEAT-RESISTANT FOAM CONCRETE BASED ON ALUMINA CEMENTS

Anna Lischenko

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286123, Makeevka, Derzhavin st., 2.

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

Received 20 November 2023; accepted 24 November 2023.

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of additives of ground chamotte and technical alumina from the mass of a mixture with alumina and high-alumina cement on the heat-resistant properties of foam concrete P400–P800. The influence of the content of finely ground additives on the physical and mechanical properties of heat-resistant cellular concrete compositions was revealed: strength at normal temperature, after drying and firing at a temperature of 800 °C, average density, mass loss and linear shrinkage of foam concrete. It was found that finely ground chamotte and alumina, reducing the initial strength of foam concrete based on alumina and high alumina cements in an acceptable range, significantly increases its strength after firing at a temperature of 800 °C. Additives of chamotte and alumina to alumina cements reduce shrinkage, reduce the average density and increase the porosity of the binder matrix, which favorably affects the heat-protective properties of light concretes based on them.

Keywords: alumina cement, heat-resistant concrete, linear shrinkage, chamotte, alumina, roasting.



Актуальность темы

Жаростойкий бетон представляет собой специальный вид материалов, которые под воздействием высоких температур (до 1 800 °С) 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.

Для жаростойких и огнеупорных бетонов в качестве вяжущих используют, в основном, портландский, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, а также вяжущие на основе жидкого стекла. Для технологии легких бетонов, особенно ячеистых, наиболее пригодны цементные вяжущие. В отличие, например, от бетонов на основе жидкого стекла при их изготовлении значительное увеличение затворителя, не вызывает снижения огневых свойств и стоимости бетонов [1–4].

Нормативными документами [5, 6] производство жаростойких теплоизоляционных ячеистых бетонов со средней плотностью 500 кг/м³ и менее, не предусмотрено. Для теплоизоляционно-конструкционных бетонов со средней плотностью 800–1 200 кг/м³ в качестве вяжущих рекомендуется использовать портландский или глиноземистый цементы, а в качестве модифицирующего наполнителя, увеличивающего физико-механические свойства керамической связки, спекающейся при температуре выше 800 °С – тонкомолотый шамот. При этом предельная температура применения бетона определена 1 100 °С.

Анализ литературы [1–4], а также наши исследования [8, 9], показывают, что применять глиноземистый цемент и шамот в ячеистых бетонах, работающих до температуры 900–1 000 °С нерационально, т.к. эти температуры выдерживают портландцементные композиции. При этом шамот, как добавка, обеспечивающая перевод высокоосновных силикатов и оксида кальция в структурноустойчивый при температурах выше 700–800 °С низкоосновный волластонит, может быть заменен дешевыми, но тугоплавкими золошлаковыми отходами ТЭС. Недостатком портландцементных бетонов является низкая остаточная прочность после нагрева при температуре 700–800 °С, которая составляет 20–40 % от исходной. Это предопределяет низкую термостойкость бетона в температурном интервале 20–800 °С.

Алюмосиликатные бетоны на глиноземистом цементе, содержащем 30–50 % Al₂O₃, более стойки к воздействию высоких температур, чем бетоны на основе портландцемента. В зависимости от состава глиноземистого цемента и вида применяемых заполнителей остаточная прочность цементного камня и бетонов после дегидратации при температуре 800 °С составляет 40–60 % от исходной. Алюмосиликатные бетоны на глиноземистом цементе характеризуются также более высокой термической стойкостью при попеременном нагреве и охлаждении.

В системе CaO–Al₂O₃–SiO₂ уже при температуре 1 345 °С образуется эвтектика, которая при неизбежном наличии в глиноземистом цементе примесей Fe₂O₃, R₂O и др. снижает предельную температуру применения шамотных бетонов на его основе до 1 200 °С [10, 11].

Существенному увеличению предельной температуры бетонов на основе глиноземистых цементов должно способствовать повышение содержания в них глинозема [12, 13].

Ячеистый бетон – один из наиболее эффективных теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных общестроительных материалов. Еще более эффективным он может стать при использовании в качестве футеровок и теплоизоляционных слоев в промышленных теплоагрегатах. В этом случае широкое применение дешевого и технологичного ячеистого бетона позволит не только сократить энергозатраты на проведение высокотемпературных процессов, но и продлит их существование при более высоких

температурах, что технически очень важно, например, при разливке стали.

Анализ известных технологий показывает, что по способу поризации из двух видов ячеистых бетонов для жаростойких и огнеупорных материалов более перспективными являются пенобетоны. В отличие от газобетонов, для поризации которых требуется высокая щелочность смеси, пенобетоны можно изготавливать на основе как глиноземистого, так и высокоглиноземистого цементов. На их основе вспучивание смесей посредством алюминиевой пудры практически невозможно.

В работах [8, 9] нами показано, что для температур до 1 000 °С пенобетоны можно изготавливать на портландцементе с добавкой 20–40 % золошлаковых отходов, до температур 1 200 °С глиноземистый цемент с тонкомолотым шамотом, для более высоких температур – глиноземистый или высокоглиноземистый цементы с тонкомолотым техническим глиноземом.

Цель исследования

Целью исследования работы является определение основных физико-механических свойств пенобетонов на глинозёмистых цементах с примерной средней плотностью 400–800 кг/м³, их зависимость от температуры прогрева в пределах 110–1 300 °С.

Основной материал

В исследованиях использовались: глиноземистый и высокоглиноземистый цементы марок соответственно 400 и 500, молотые шамот и глинозем марки Г-00 с остатком на сите 0,08 мм 7–9 %. Химический состав материалов, определенный по методикам ГОСТ 2642.2, ГОСТ 2642.8, 2642.11, который приведен в таблице 1.

Прочность и потери массы пенобетонов исследовались на образцах-кубах с ребром 7 см. Усадка изучалась на образцах-балочках 4×4×16 см с корундовыми реперами. Все образцы твердели 28 суток в нормальных условиях при температуре 20 °С и перед обжигом просушивались до постоянной массы при температуре 110 °С. Обжиг производился по режиму: нагрев и охлаждение со скоростью 200 °С/ч, выдержка при 800 °С в течение 4 часов.

Для поризации бетонов использовался пенообразователь ПО-6. Бетонные смеси готовились в одну стадию в скоростном смесителе при следующем порядке введения компонентов «вода + пенообразователь, 2–3 минуты перемешивания + сухая смесь компонентов, 2–3 минуты перемешивания». Согласно [7] регулирование средней плотности бетонов производилось изменением текучести смесей и расходом пенообразователя.

В исследованиях использовались пенобетоны, составы которых приведены в таблице 2. Составы вяжущих для пенобетонов были выбраны из условия получения максимальной прочности межпоровых перегородок после прогрева при 800 °С и возможности снижения усадки.

Анализ результатов исследований, приведенных в таблице 2, показывает, что теплоизоляционно-конструкционные бетоны на глиноземистом цементе со средней плотностью около 800 кг/м³ имеют исходную прочность 5,62–6,60 МПа. Несколько более низкая прочность бетона с добавкой глинозема связана, вероятно, с более высокой водопотребностью бетонной смеси.

После прогрева при 800 °С пенобетоны существенно разупрочняются, сохраняя 27–30 % прочности.

При переходе к теплоизоляционным бетонам со средней плотностью около 500 кг/м³ их исходная прочность при сжатии снижается до 0,76–0,91 МПа,

Таблица 1. Химический состав материалов

Материал	Содержание оксидов, %					ППП	Сумма
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	RO	R ₂ O		
Глиноземистый цемент	0,93	47,32	4,83	47,9	0,10	–	101,08
Высокоглиноземистый цемент	1,5	72,1	0,9	25,7	0,15	–	100,35
Шамот	56,91	40,21	0,95	0,66	0,36	–	99,09
Глинозем технический	0,01	98,50	0,01	-	0,31	0,45	99,28

Таблица 2. Составы и текучесть смесей, физико-механические свойства пенобетонов

№ пп	Расход материалов, % массы					В/Т смеси	Текучесть смеси, см	Плотность после сушки, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, после прогрева при:	
	ГЦ	ВГЦ	Шамот	Глинозём	ПО-6				110 °С	800 °С
1	80	–	20	–	0,60	0,50	15	805	6,60	1,78
2					0,80					
3	80	–	–	20	0,60	0,52	17	810	5,62	1,68
4					0,80					
5	–	80	–	20	0,40	0,52	18	820	7,05	3,24
6					0,55					

а относительная остаточная прочность после прогрева при 800 °С остается практически на прежнем уровне и составляет 30–32 % от исходной.

Существенным отличием пенобетонов на высокоглиноземистом цементе является большая устойчивость пены в смеси, что, вероятно, связано с меньшей щелочностью жидкой фазы бетонов. Возможно, именно по этой причине бетоны на высокоглиноземистом цементе характеризуются существенно более высокой исходной (7,05 и 0,98 МПа) и остаточной прочностью – 45–46 %.

После 28 суток нормального твердения и последующей сушки до постоянной массы при 110 °С теплоизоляционно-конструкционные бетоны на глиноземистом цементе с добавками шамота и глинозема теряют примерно одинаковое количество воды – 5,3–5,7 % от массы бетона (табл. 3).

Потери массы у аналогичного бетона на высокоглиноземистом цементе заметно выше – 6,8 %. При снижении средней плотности до 487–505 кг/м³ количество испаряемой воды возрастает соответственно до 8,1–8,4 и 11,2 %.

Линейная усадка высушенных пенобетонов на глиноземистом цементе с шамотом и глиноземом также соизмерима и равна для теплоизоляционно-конструкционных бетонов 0,76–0,87 %,

а для теплоизоляционных – 1,23–1,43 %. При соответствующих показателях средней плотности пенобетоны на высокоглиноземистом цементе характеризуются заметно большей усадкой, которая равна 0,90 и 1,51 %.

При последующем прогреве до температуры 500 °С потери воды бетонами на глиноземистом цементе растут практически прямо пропорционально температуре, увеличиваясь с понижением средней плотности бетонов (табл. 4). В температурном интервале 500–800 °С потери массы практически прекращаются, а при подъеме температуры до 1 000 °С масса образцов возрастает, что связано, вероятно, с окислением оксидов железа.

Увеличение температуры прогрева до 1 300 °С снова сопровождается незначительными потерями массы, связанными, возможно с удалением летучих серы, щелочей и т.п. Потеря массы теплоизоляционно-конструкционными пенобетонами после прогрева при конечной температуре равна 6,8–8,8 %, а теплоизоляционными – 9,7–11,2 %.

Бетоны на высокоглиноземистом цементе интенсивно, практически прямо пропорционально температуре теряют воду в процессе прогрева до 800 °С. У бетона со средней плотностью 820 кг/м³ она достигает 9,1 %, а у бетона средней плотностью 505 кг/м³ – 13,5 %. Дальнейшее повышение

Таблица 3. Потери массы и усадка пенобетонов на ГЦ и ВГЦ после сушки при 110 °С

Показатели свойств	Составы бетонов по табл. 1					
	1	2	3	4	5	6
Потери массы, %	5,3	8,1	5,7	8,4	6,8	11,2
Линейная усадка, %	0,76	1,23	0,87	1,43	0,90	1,51

Таблица 4. Зависимость потерь массы и линейной усадки пенобетонов на ГЦ и ВГЦ от температуры прогрева

Составы бетонов по табл. 1	Потери массы (над чертой) и усадка (под чертой) %, после прогрева при температуре, °С								
	110	300	500	600	700	800	1 000	1 150	1 300
1	<u>0</u> 0	<u>3.4</u> 0,93	<u>5.2</u> 1,4	<u>5.6</u> 1,47	<u>5.6</u> 1,5	<u>5.6</u> 1,5	<u>5.2</u> 1,4	<u>6.6</u> 0,58	<u>6.8</u> 0,5
2	<u>0</u> 0	<u>4.0</u> 1,23	<u>6.5</u> 1,59	<u>6.6</u> 1,66	<u>7.0</u> 1,72	<u>7.3</u> 1,72	<u>7.2</u> 1,61	<u>9.1</u> 1,13	<u>9.7</u> 0,89
3	<u>0</u> 0	<u>4.1</u> 1,1	<u>7.3</u> 1,5	<u>7.3</u> 1,57	<u>7.7</u> 1,60	<u>8.1</u> 1,60	<u>7.8</u> 1,52	<u>8.5</u> 0,68	<u>8.8</u> 0,59
4	<u>0</u> 0	<u>4.4</u> 1,29	<u>7.8</u> 1,67	<u>7.9</u> 1,73	<u>9.0</u> 1,80	<u>9.3</u> 1,80	<u>9.3</u> 1,72	<u>9.8</u> 1,34	<u>10.7</u> 1,05
5	<u>0</u> 0	<u>3.9</u> 1,45	<u>6.8</u> 1,98	<u>7.6</u> 2,22	<u>8.1</u> 2,41	<u>9.1</u> 2,58	<u>10.1</u> 2,60	<u>10.6</u> 2,78	<u>10.7</u> 2,83
6	<u>0</u> 0	<u>4.75</u> 1,95	<u>9</u> 2,8	<u>10.55</u> 3,03	<u>11.7</u> 3,35	<u>13.5</u> 3,55	<u>14.1</u> 3,55	<u>14.65</u> 3,8	<u>14.8</u> 3,85

температуры до 1 300 °С вызывает незначительное увеличение потерь массы: теплоизоляционно-конструкционных бетонов – 0,76–0,87 %, теплоизоляционных – 1,3–1,6 %.

Интенсивная дегидратация пенобетонов на глиноземистом цементе в температурном интервале 110–500 °С сопровождается значительным ростом усадки образцов. Для теплоизоляционно-конструкционных пенобетонов она достигает 1,4–1,5 %, для теплоизоляционных – 9,7–11,2 %. При температурах 500–1 000 °С сокращение образцов практически прекращается. Дальнейший прогрев до 1 150 °С сопровождается заметным, около 0,5 %, расширением. При последующем повышении температуры до 1 300 °С этот рост продолжается, хотя и уменьшается до 0,08–0,29 %. Рост свидетельствует об образовании в матрице бетонов менее плотных веществ.

Нагрев бетонов на высокоглиноземистом цементе сопровождается усадкой во всем температурном интервале. До температуры 800 °С ее прирост максимален (2,5–3,5 %) и практически прямо пропорционален температуре. В температурном промежутке 800–1 000 °С сокращения образцов практически не происходит. Последующий подъем температуры до 1 300 °С вызывает

новое сокращение образцов, которое равно 0,23–0,30 %. Общая огневая усадка бетона со средней плотностью 820 кг/м³ достигает 2,83 %, а у бетона средней плотностью 505 кг/м³ – 3,85 %.

Выводы

Исследовано влияние добавок молотых шамота и технического глинозема от массы смеси с глиноземистым и высокоглиноземистым цементом на жаростойкие свойства пенобетонов П400–П800. Выявлено, что тонкомолотые шамот и глинозем, снижая в приемлемом диапазоне исходную прочность пенобетонов на основе глиноземистого и высокоглиноземистого цементов, существенно повышают его прочность после обжига при температуре 800 °С.

На основании результатов исследования изменения физико-механических свойств пенобетонов при обычной температуре, после сушки и обжига при температуре 1 300 °С установлено, что добавки шамота и глинозема к глиноземистым цементам сокращают усадку, снижают среднюю плотность и повышают пористость вяжущей матрицы, что благоприятно влияет на теплозащитные свойства легких бетонов на их основе.

Литература

1. Некрасов, К. Д. Жароупорный бетон / К. Д. Некрасов. – Москва : Промстройиздат, 1957. – 283 с. – Текст : непосредственный.
2. Некрасов, К. Д. Жаростойкий бетон на портландцементе / К. Д. Некрасов, А. П. Тарасова. – Москва : Стройиздат, 1969. – 192 с. – Текст : непосредственный.
3. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе / А. П. Тарасова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 133 с. – Текст : непосредственный.
4. СН 156-79. Инструкция по технологии приготовления жаростойких бетонов : издание официальное : утверждена постановлением Государственного комитета СССР (ГОССТРОЙ СССР) по делам строительства от 6 марта 1979 г. № 26 : введена впервые : дата введения 1979-07-01 / подготовлена НИИЖБ Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1979. – 40 с. – Текст : непосредственный.
5. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур : издание официальное : разработаны Государственным комитетом СССР по делам строительства (ГОССТРОЙ СССР) с участием ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР : взамен СН 482-76 : дата введения : 1986-01-01 / подготовлены Главтехнормированием Госстроя СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 54 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 20910-2019. Бетоны жаростойкие. Технические условия : Национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 апреля 2019 г. №171-ст : дата введения 2019-09-01 / разработан Структурным подразделением АО «НИЦ «Строительство» – Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 20 с. – Текст : непосредственный.
7. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона : издание официальное : утверждена постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 7 февраля 1980 г. № 9 / подготовлена НИИЖБ Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1980. – 47с. – Текст : непосредственный.
8. Ефремов, А. Н. Влияние добавок шамота и технического глинозема на жаростойкие свойства камня глиноземистых цементов / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко. – Текст : непосредственный // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – 2010. – Выпуск 35. – С. 155–161.
9. Ефремов, А. Н. Влияние добавок шлака и золы-уноса ТЭС на жаростойкие свойства портландцементного камня / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Випуск 1(81) Сучасні будівельні матеріали. – 2010. – С. 221–225.

References

1. Nekrasov, K. D. Refractory concrete. – Moscow : Promstroizdat, 1957. – 283 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Nekrasov, K. D.; Tarasova, A. P. Heat-resistant concrete based on Portland cement. – Moscow : Stroyizdat, 1969. – 192 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Tarasova, A. P. Heatresistant binders on liquid glass and concretes based on them. – Moscow : Stroiizdat, 1982. – 133 p. – Text : direct. (in Russian)
4. SN 156-79. Instructions for the technology of preparing heat-resistant concrete : official publication : approved by the Decree of the State Committee of the USSR (GOSSTROY USSR) for Construction Affairs dated March 6, 1979 № 26 : introduced for the first time : date of introduction 1979-07-01 / prepared by the Research Institute for Concrete Construction of the USSR State Construction Committee. – Moscow : Stroyizdat, 1979. – 40 p. – Text : direct. (in Russian)
5. SNiP 2.03.04-84. Concrete and reinforced concrete structures intended for operation under conditions of exposure to elevated and high temperatures : official publication : developed by the USSR State Committee for Construction Affairs (GOSSTROY USSR) with the participation of VNIPI Teploproekt of the USSR Ministry of Montazhspestry : instead SN 482-76 : introduction date 1986-01-01 / prepared by Glavtekhnormirovanie of the USSR Gosstroy. – Moscow : CITP of the USSR State Construction Committee, 1985. – 54 p. – Text : direct. (in Russian)
6. GOST 20910-2019. Heat-resistant concrete. Technical conditions : National standard of the Russian Federation : official publication : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated April 26, 2019 № 17-st : introduction date 2019-09-01 / developed A structural subdivision of JSC «SRC «Construction» – Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after. A. A. Gvozdeva. – Moscow : Standartinform, 2019. – 20 p. – Text : direct. (in Russian)
7. SN 277-80. Instructions for the manufacture of products from cellular concrete : official publication : approved by Resolution of the USSR State Committee for Construction Affairs dated February 7, 1980 № 9 / prepared by the Research Institute for Concrete Construction of the USSR State Construction Committee. – Moscow : Stroyizdat, 1980. – 47 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Efremov, A. N.; Lishchenko, A. N. Influence of chamotte and technical alumina additives on the heat-resistant properties of aluminous cement stone. – Text : direct. – In: *Newsletter of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2010. – Issue 35. – P. 155–161. (in Russian)
9. 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 the Donbas National Academy of Civil Engineering and*

10. Диаграммы состояния силикатных систем. Выпуск третий. Тройные силикатные системы / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.]. – Ленинград : Наука, 1972. – 448 с. – Текст : непосредственный.
11. Стрелов, К. К. О подборе вяжущих для огнеупорных бетонов / К. К. Стрелов, С. Р. Замятин. – Текст : непосредственный // Огнеупоры. – 1977. – № 9. – С. 25–28.
12. Огнеупорные бетоны / Р. С. Замятин, А. К. Пургин, Л. Б. Хорошавин [и др.]. – Москва : Metallurgy, 1982. – 192 с. – Текст : непосредственный.
13. Замятин, С. Р. Влияние структурных и фазовых превращений на термомеханические свойства шамотного бетона / С. Р. Замятин, В. Д. Кокшаров, А. К. Пургин. – Текст : непосредственный // Огнеупоры. – 1977. – № 1. – С. 52–57.
14. 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.
15. Ватин, Н. И. 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.
16. 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.
17. Semler, C. T. Refractories industry. Status and trends / C. T. Semler. – Текст : непосредственный // Industrial minerals. – 1997. – № 356. – P. 29–37.
18. 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-zoloshlakovy-hothodovv-kachestve-dopolnitelnogotsementi-ruyushego-materiala> (дата обращения: 02.09.2023).
19. Kendall, T. Lafarge refractories monolithiques / T. Kendall. – Текст : непосредственный // Industrial minerals. – 1997. – № 360. – P. 101–107.
20. Low-cement-bonded castable refractories / T. Eguchi, J. Takita, J. Yoshito [et. al.]. – Текст : непосредственный // Taikabutsu: Overseas. – 1989. – Volume 9, № 1. – P. 10–25.
- Architecture. – 2010. – Issue 2010-1(81) Modern building materials. – P. 221–225. (in Russian)
10. Tоропов, N. A.; Barzakovsky, V. P.; Lapin, V. V. [et al.]. State diagrams of silicate systems. Issue three. Ternary silicate systems. – Leningrad : Science, 1972. – 448 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Strelor, K. K. On the selection of binders for refractory concrete / K. K. Strelor, S. R. Zamyatin. – Text : direct. – In: *Refractories*. – 1977. – № 9. – P. 25–28. (in Russian)
12. Zamyatin, R. S.; Purgin, A. K.; Khoroshavin, L. B. [et al.]. Fireproof concrete. – Moscow : Metallurgy, 1982. – 192 p. – Text : direct. (in Russian)
13. Zamyatin, S. R.; Koksharov, V. D.; Purgin, A. K. Influence of structural and phase transformations on the thermomechanical properties of fireclay concrete. – Text : direct. – In: *Refractories*. – 1977. – № 1. – P. 52–57. (in Russian)
14. 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.
15. 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)
16. 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.
17. Semler, C. T. Refractories industry. Status and trends. – Text : direct. – In: *Industrial minerals*. – 1997. – № 356. – P. 29–37.
18. 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-zoloshlakovy-hothodovv-kachestve-dopolnitelnogotsementi-ruyushego-materiala> (date of access: 02.09.2023). (in Russian)
19. Kendall, T. Lafarge refractories monolithiques. – Text : direct. – In: *Industrial minerals*. – 1997. – № 360. – P. 101–107.
20. Eguchi, T.; Takita, J.; Yoshito, J. [et. al.]. Lowcement bonded castable refractories. – Text : direct. – In: *Taikabutsu: Overseas*. – 1989. – Volume 9. – № 1. – P. 10–25.

Lischenko 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.