



ЛУЖНІ В'ЯЖУЧІ СИСТЕМ $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ ДЛЯ ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ РОЗЧИННИХ СИЛІКАТІВ І АЛЮМІНАТІВ НАТРІЮ

О. М. Єфремов, Т. П. Кіценко, К. Т. Шірінова

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державина, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

E-mail: eshirinova@yandex.ru

Отримана 28 квітня 2007; прийнята 21 вересня 2007.

Анотація. Розроблено лужні в'язучі систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ на основі водних розчинів силікатів і алюмінатів натрію. В якості отверджуючих (структурутворюючих) компонентів запропоновано вогнетривкі мінеральні матеріали. Це дало можливість вводити в бетони не більш 2% оксиду плавню - Na_2O , що практично не впливає на їх граничну температуру застосування. Вивчено структурно-фазові зміни продуктів твердіння в'язучих після нагріву при звичайній (20-110°C), середній (800-900°C) і високій (1200-1700°C) температурах. Досліджено вплив 2-6% Na_2O на вогнетривкість і температуру деформації під навантаженням алюмосилікатних (30-95% Al_2O_3), магнезійних (40-90% MgO) і магнезійно-алюмінатних (95% $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$) композицій.

Ключові слова: лужні в'язучі, розчинні силікати і алюмінати натрію, вогнетривкі бетони.

ЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ СИСТЕМ $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ ДЛЯ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ РАСТВОРИМЫХ СИЛИКАТОВ И АЛЮМИНАТОВ НАТРИЯ

А. Н. Ефремов, Т. П. Киценко, Е. Т. Ширинова

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

E-mail: eshirinova@yandex.ru

Получена 28 апреля 2007; принята 21 сентября 2007.

Аннотация. Разработаны щелочные вяжущие систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ на основе водных растворов силикатов и алюминатов натрия. В качестве отверждающих (структурообразующих) компонентов предложены огнеупорные минеральные материалы. Это дало возможность вводить в бетоны не более 2% оксида плавня - Na_2O , что практически не влияет на их предельную температуру применения. Изучены структурно-фазовые изменения продуктов твердения вяжущих после нагрева при обычной (20-110°C), средней (800-900°C) и высокой (1200-1700°C) температурах. Исследовано влияние 2-6% Na_2O на огнеупорность и температуру деформации под нагрузкой алюмосиликатных (30-95% Al_2O_3), магнезильных (40-90% MgO) и магнезильно-алюминатных (95% $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$) композиций.

Ключевые слова: щелочные вяжущие, растворимые силикаты и алюминаты натрия, огнеупорные бетоны.

ALKALINE BINDERS OF $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ SYSTEMS FOR REFRACTORY CONCRETES BASED ON SOLUBLE SODIUM SILICATES AND ALUMINATES

O. M. Yefremov, T. P. Kitsenko, K. T. Shirinova

The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavin str., Makiyivka 86123, Ukraine.

E-mail: eshirinova@yandex.ru

Received 28 April 2007; accepted 21 September 2007.

Abstract. Alkaline binders of the $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ systems have been developed on the basis of water solutions of sodium silicates and aluminates. Refractory mineral materials are proposed as hardening (structure forming) components. That made it possible to admix not more than 2% of flux oxide - Na_2O to concretes that does not practically influence their limiting service temperature. The structure-phase changes of binder hardening products after heating at ordinary (20-110°C), average (800-900°C) and high (1200-1700°C) temperatures have been studied. The influence of 2-6% Na_2O on refractoriness and deformation temperature indices under the load of alumino-silicate (30-95% Al_2O_3), magnesia (40-90% MgO), and magnesia-aluminate (95% $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$) compositions have been investigated.

Keywords: alkaline binders, soluble sodium silicates and aluminates, refractory concrete.

Актуальность работы

Огнеупорные материалы являются важнейшим технологическим продуктом. Их мировое производство достигло 25 млн тонн в год, что в стоимостном выражении составляет более 25 млрд долларов США [1]. За последние 45 лет в структуре производства огнеупорных материалов произошли кардинальные изменения, связанные, в первую очередь, с повышением роли огнеупорных бетонов. В Японии, США, в промышленно развитых странах Западной Европы доля бетонов в общем объеме огнеупорных материалов увеличилась за указанный период с 1,3-2,9% до 30-37% [2, 3]. Это достигнуто вследствие высокой технической и экономической эффективности бетонов. По сравнению с обжиговыми мелкоштучными изделиями применение огнеупорных бетонов позволяет: в 1,5-2 раза сократить расход природного газа, в 3-4 раза уменьшить трудозатраты, в 1,3-2 раза увеличить срок службы футеровок за счет уменьшения термических напряжений, повышения химической стойкости [2, 4, 5]. Последнее особенно важно и стало возможным благодаря структурным преимуществам бетонов: примерно вдвое более низкой открытой пористости, меньшим средним размером пор, более высокой долей условно-замкнутых пор вяжущей матрицы [6-9].

Термомеханические свойства огнеупорных бетонов определяются, в основном, качеством заполнителей и наполнителей. Вяжущая матрица - наиболее слабое звено бетонов, т.к. именно в ее составе в бетон вводятся оксиды-плавни (CaO , Na_2O , Fe_2O_3 и др.). В то же время, вяжущее призвано обеспечить исходную прочность, необходимую для транспортирования, монтажа и первого разогрева футеровки. Поэтому исходная прочность изделий или монолитной футеровки может быть небольшой, 1-5 МПа при условии существенного их упрочнения в процессе обязательной сушки и сравнительно "мягкого" первого прогрева. Тем более, в металлургии, основном потребителе огнеупоров, первый, как правило, холостой прогрев футеровок может производиться до температуры 800-1200°C, которая достаточна для спекания реакционноспособных компонентов вяжущего и образования керамической связи.

Идея снижения расхода цемента (плавней), введение химически активных, иногда супертопких, аморфных наполнителей заложена в так называемые низкоцементные огнеупорные бетоны, в результате применения которых, в основном, и стал возможным значительный прогресс в использовании огнеупорных бетонов, признанный основополагающим направлением в разработке,

производстве и применении огнеупоров в XXI веке [6, 10-14].

Согласно стандартам США (ASTM C-401-91) и Европейского Союза (ENV-1402) низкоцементные бетоны изготавливают на основе высокоглиноземистого цемента, в состав которого вводят не более 2,5% CaO. В Украине широко используют огнеупорные бетоны на основе жидкого стекла, с которым вводят не более 2% плавня - Na_2O . Флюсующее воздействие малых количеств CaO и Na_2O на большинство огнеупоров практически одинаковое [15, 16]. Однако стоимость высокоглиноземистого цемента примерно вдвое выше. Недостатком известных композиций жидкостекольных огнеупорных и жаростойких бетонов является ввод в состав отвердителей жидкого стекла до 5-10% плавней. Это снижает предельную температуру применения бетонов на 100-600°C и существенно ограничивает область их применения [4, 17].

Анализ литературы показал, что указанного недостатка можно избежать при применении щелочных вяжущих на основе водных растворов силиката натрия или его аналога - алюмината натрия [18], отвердителями которых могут быть материалы, не являющиеся плавнями по отношению к огнеупорным наполнителям и заполнителям.

Цель исследований

развитие научных основ производства огнеупорных бетонов с сопоставимой огнеупорностью вяжущей матрицы и заполнителей с термомеханическими свойствами, повышенными за счет установления и использования низко- и высокотемпературных закономерностей синтеза щелочных вяжущих на основе водных растворов силикатов и алюминатов натрия с применением структурообразующих (отверждающих) компонентов, которые не являются плавнями по отношению к основным огнеупорным системам.

Методы исследований

Процессы структурообразования вяжущих исследовались стандартными и специальными методами: химическим, термогравиметрическим, рентгенофазовым и ИК-спектроскопическим.

Анализ результатов исследований вяжущей системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$

В качестве минеральных отвердителей использовали следующие материалы:

- продукты, содержащие аморфный оксид алюминия для смесей, затворенных растворами силикатов натрия;
- продукты, содержащие аморфный оксид кремния для смесей, затворенных растворами силикатов натрия.

В качестве наполнителей применялись тонкодисперсные рядовой шамот, муллитокорунд и корунд, позволяющие изменять общее содержание Al_2O_3 композиций в пределах 30-95%. Дисперсность отвердителей и наполнителей соответствовала их полному проходу через сито 90 мкм. Твердение вяжущих в нормальных условиях происходит вследствие образования гидронефелина $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, который после обжига при температуре 800°C дегидратируется в $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. В результате прогрева при температуре 930-950°C в композициях с избытком кремнезема по отношению к $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ нефелиновая связка частично или полностью перекристаллизовывается в альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. После обжига композиций с 90-95% Al_2O_3 и 4% Na_2O , 80% Al_2O_3 и 6% Na_2O при температуре 1300°C $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ превращается в $\pm \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ или образует эвтектику с $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CHAl}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$. В температурном интервале 1100-1500°C щелочные минералы переходят в расплав и, в зависимости от содержания Al_2O_3 и Na_2O , в вяжущей матрице фиксируются только $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $\pm \text{Al}_2\text{O}_3$ и I- Al_2O_3 . В общем, при температурах выше 950°C структурно-фазовые изменения алюмосиликатных кристаллических фаз, а только они способны держать нагрузку при высоких температурах, идут по схеме, приведенной в табл. 1. Результаты исследования влияния содержания Na_2O и Al_2O_3 на огнеупорность композиций показаны в табл. 2. Из нее следует, что при содержании 30-50% Al_2O_3 и введении 2% Na_2O огнеупорность алюмосиликатных композиций снижается на 10-15°C или 5-7,5°C на каждый процент Na_2O .

С последующим ростом содержания Na_2O падение огнеупорности возрастает тем больше,

Таблица 1. Структурно-фазовые изменения алюмосиликатных композиций при 950-1500°C.

Температура обжига, °C	Содержание, %		Фазы связки
	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	
1	2	3	4
950	30-70	2-6	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂
	80	2, 4	
	80	6	
	90	4, 6	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂
	95	4	
	90, 95	2	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ , Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂
1200	30-50	2-6	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂
	60	2, 4	
	80	6	
	90	4, 6	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ , α-Al ₂ O ₃
	95	4	
	70	2	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ , α-Al ₂ O ₃
	60	6	
	70	4, 6	α-Al ₂ O ₃
	80	2, 4	
	90,95	2	
1	2	3	4
1300	30-50	2-6	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂
	60	2, 4	
	80	6	
	90	4, 6	α- Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ , α-Al ₂ O ₃
	95	4	
	70	2	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ , α-Al ₂ O ₃
	70	4, 6	
	80	2, 4	α-Al ₂ O ₃
	90, 95	2	
1500	30-50	2-6	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂
	60	2, 4	
	70	2	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ , α-Al ₂ O ₃
	70	4, 6	
	80, 90	2-6	α-Al ₂ O ₃
	95	2	
	95	4	α-Al ₂ O ₃ , β-Al ₂ O ₃

чем больше вводится щелочи. По сравнению с бесщелочными композициями введение 4 и 6% Na₂O снижает огнеупорность на 50-55 и 85-105°C соответственно. В композициях с 60-80% Al₂O₃ зависимость огнеупорности от содержания щелочи сокращается. Для смесей с 2, 4 и 6% Na₂O характерно снижение огнеупорности соответственно на 2-3, 3-10 и 3-12°C на каждый процент введенного щелочного оксида. Оно тем меньше, чем выше содержание глинозема.

Тенденция к сокращению зависимости огнеупорности от содержания щелочи еще более возрастает для корундовых композиций. В композициях с 90-95% Al₂O₃ введение 2% Na₂O практически не сказывается на огнеупорности, а введение

6% снижает огнеупорность всего на 5-15°C.

После плавления щелочных алюмосиликатов в качестве вяжущей матрицы камня выступают 3Al₂O₃·2SiO₂, α-Al₂O₃ and I-Al₂O₃, которые формируют связку в результате растворения высокоглиноземистых наполнителей и рекристаллизации их кристаллических высокоогнеупорных фаз.

Анализ результатов исследований вяжущих систем Na₂O-MgO-SiO₂-H₂O и Na₂O-MgO-Al₂O₃-H₂O.

В качестве отвердителей и наполнителей вяжущих систем на основе растворов силиката и

Таблица 2. Влияние содержания оксидов Na_2O и Al_2O_3 на огнеупорность алюмосиликатных композиций.

Содержание Na_2O , %	Огнеупорность, °С, при содержании Al_2O_3 , %							
	30	40	50	60	70	80	90	95
0	1715	1770	1820	1850	1870	1880	1960	2000
2	1700	1760	1810	1845	1850	1875	1960	2000
4	1660	1720	1770	1790	1845	1870	1950	1995
6	1610	1680	1710	1780	1825	1860	1945	-

Таблица 3. Структурно-фазовые изменения магниевых композиций при 800-1600°С.

Температура обжига, °С	Содержание, %				Фазы связки
	Na_2O	MgO	SiO_2	Al_2O_3	
800-1200	1	93	3	-	MgO , $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$
1200-1600					MgO
800-1200	2	89	6	-	MgO , $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$
1200-1600					$2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, MgO
800-1200	1	71	-	27	$\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, MgO , $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$
1200-1600					$\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
800-1200	2	70.5	-	26.5	$\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, MgO , $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$
1200-1600					$\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{MgO}\cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$

алюмината натрия использовались порошки периклаза, муллитокорунда, корунда и аморфного микрокремнезема с содержанием 96,76% MgO , 92,2-98,5% Al_2O_3 и 94,9% SiO_2 . Дисперсность отвердителей и наполнителей тоже соответствовала их полному проходу через сито 90 мкм.

Твердение вяжущей системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ на основе жидкого стекла в нормальных условиях происходит вследствие гидратации MgO и примесного CaO . В результате образуются $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ и гидросиликаты типа $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$. Твердение системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ на основе раствора алюмината натрия идет за счет гидратации MgO и SiO_2 . Как результат, помимо $\text{Mg}(\text{OH})_2$, синтезируется гидросиликат типа нефелина $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$. Вследствие этого нестабильный раствор алюмината натрия выпадает в осадок и формируется дополнительная связка из $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$,

водостойкая при обычной температуре.

После обжига при температуре 800-1600°С структурно-фазовые изменения в магниевых композициях происходят по схеме, приведенной в табл. 3.

Согласно данным табл.3 вяжущая матрица системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ в пределах температуры 800-1200°С состоит из MgO , $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$. В температурном интервале 1200-1600°С $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ и $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ переходят в расплав, а $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ и MgO формируют керамическую связку.

Вяжущая матрица системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ в температурном интервале 800-1200°С состоит из слабозакристаллизованной шпинели – $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, MgO , $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$. При подъеме температуры до 1200-1600°С щелочной алюмосиликат вместе с примесями плавится и основными кристаллическими фазами керамической связки

Таблица 4. Влияние содержания Na_2O на температуру деформации магнизиальных композиций под нагрузкой 0,2 МПа.

Содержание, %				Температура деформации, °С		
Na_2O	MgO	SiO_2	Al_2O_3	начало	4%	разрушение
0	97	-	-	1800	1860	-
1	93	3	-	1770	1830	1850
2	89	6	-	1720	1780	1800
0	28	-	72	1780	1810	1840
1	27	-	71	1770	1800	1825
2	26.5	-	70.5	1750	1780	1800

остаются хорошо закристаллизовавшаяся $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$.

Влияние 1-2% Na_2O на огнеупорность систем $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ не определено, т.к. для принятых композиций она была выше 2000°С, а нагревать принятые кристолы печи выше этой температуры было нерационально. Однако, если судить по данным табл. 4, введение 1-2% Na_2O практически не влияет огневые свойства системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. При введении 4-8% $\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2$ температура деформации композиций системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ под нагрузкой 0,2 МПа сокращается всего на 30-80°С.

Установленные закономерности влияния определяющих оксидов на структурно-фазовые изменения и огневые свойства принятых композиций позволили получить вяжущие, твердеющие в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании с пределом прочности при сжатии в пределах 4,5-80 МПа, а после последующей сушки - 15-120 МПа. Относительная прочность камня вяжущих после обжига при 800-1400°С (R_t/R_{110}) изменяется в пределах 0,6-4.

Таким образом, проведенные исследования позволяют подбирать вяжущие с прогнозируемыми термомеханическими свойствами, сопоставимыми со свойствами заполнителей бетона. Это дает возможность более рационально использовать огнеупорные заполнители и заменить высокоглиноземистый цемент, который отличается высокой стоимостью.

Литература

- Потудин Д.В. Сценарий развития индустрии огнеупорных материалов - мир и Китай // Огнеупоры и техническая керамика. - 2003. - №7. - С.31-37.
- Пивинский Ю.Е. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – №1. – С.11-15.
- Гавриш Д.И., Карлит А.К., Гильштейн Г.А. и др. Совершенствование ассортимента огнеупоров // Огнеупоры. – 1977. - №11. – С.2-7.
- Огнеупорные бетоны: Справочник / Р.С. - Замятин, А.К. Пургин, Л.Б. Хорошавин и др. – М.: Металлургия, 1982. – 192 С.
- Сербезов С.А. Неформованные огнеупоры в черной металлургии: Обзор по системе «Информсталь» / Ин-т «Черметинформация». – 1987. – Вып. 18(294). – 30 С.
- Аксельрод Л.М. Огнеупорные бетоны нового поколения в производстве чугуна и стали // Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – №8. – С.35-42.
- Yuan S. Selfflowing castables with ultra-low cement-content // Interceram. – 1996. – V.45. – №4. – P.244, 246, 248.
- Батраков В.Г., Батаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф. и др. Бетоны на вяжущих с низкой водопотребностью // Бетон и железобетон. – 1988. – №11. – С.4-6.
- Пивинский Ю.Е. Огнеупорные бетоны нового поколения. Низкоцементные бетоны, наливные вибрационные тиксотропные огнеупорные массы // Огнеупоры. – 1990. – №7. – С. 1-10.
- Пивинский Ю.Е. Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы – основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке. Часть I. Тенденции развития, вяжущие си-

- стемы // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – №2. – С.4-13.
11. Semler C/T/ Refractories industry. Status and trends // Industrial minerals. - 1997. - №356. - P.29-37.
12. Lee W.E., Moore R.E. Evolution of situ refractories in the 20th century // Journal American Ceramic Society // 1998. - V.81. – №6. – P.1385-1410.
13. Eguchi T., Takita J., Yoshito J. Et. Al. Low-cement-bonded castable refractories // Taikabutsu. Overseas. – 1989. – V.9. – №1. – P.10-25.
14. Kendall T. Lafarge refractories monolithiques // Industrial minerals. 1997. – №360. – P. 101-107.
15. Полубояринов Д.Н., Калига Г.П. Влияние некоторых плавней на температуру деформации под нагрузкой при высоких температурах алюмосиликатных огнеупорных материалов // Огнеупоры. – 1952. – № 12. – С.543–551.
16. Диаграммы состояния силикатных систем. Выпуск третий. Тройные силикатные системы / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин и др. – Л.: Наука, 1972. – 448 с. 17. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. – М.: Стройиздат, 1982. – 132 с. 18. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны/ Под общ. ред. В.Д. Глуховского. – К.: Вища школа, 1979. – 232 С.

Єфремов Олександр Миколайович працює доцентом кафедри "Технологія будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг". Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів; жаростійкі і вогнетривкі бетони.

Кищенко Тетяна Петрівна працює асистентом кафедри "Технологія будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг". Наукові інтереси: вогнетривкі алюмосиликатні і кремнеземні бетони на основі силікату натрію.

Шірінова Катерина Тасєрівна є аспірантом кафедри "Технологія будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг". Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Ефремов Александр Николаевич работает доцентом кафедры "Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог". Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов; жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Кищенко Татьяна Петровна работает ассистентом кафедры "Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог". Научные интересы: огнеупорные алюмосиликатные и кремнеземные бетоны на основе силиката натрия.

Ширинова Екатерина Таировна является аспирантом кафедры "Технология строительных материалов, изделий и автомобильных дорог". Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Yefremov Olexander Mykolayovych An associated professor of the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial wastes; heat-resistant concretes.

Kitsenko Tetyana Petrivna An assistant of the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads. Scientific interests: heat-resistant alumina-silicate and silica concretes on the basis of sodium silicate.

Shirinova Katerina Tayerivna A post-graduate student of the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads. Scientific interests: heat-resistant binders and concretes.