

4. Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Батаев Г. К.-С., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. Регулирование сейсмической нагрузки на сооружения опорами из высокопрочного бетона на пропитанном крупнозернистом заполнителе / Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2011. – 488 с.
5. Патент 2374393 РФ, МПК E02D 27/00. Сейсмоизолирующий тарельчатый фундамент / Х.-М.С. Духаев, Х.Н. Мажиев, С.-М.К. Хубаев. – № 2007146296/03; заявл. 17.12.2007; опубл. 27.11.2009, Бюл. № 33. – 6 с. (0,4 п.л. (авт. – 0,1 п.л.)).
6. Экспериментальные исследования работы сейсмоизолирующей тарельчатой опоры / Х.Н. Мажиев, Д.К.-С. Батаев, Х.-М.С. Духаев, Д.Т. Озниева // Наука и образование в Чеченской Республике: состояние и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН, 7 апреля 2011 г. – Грозный, 2011. – С.173-175.
7. Алишаев М.Г., Батдалов М.М., Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. Возможности вязкой прослойки по защите сооружений от продольных сейсмических колебаний // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 3. С. 42-45.
8. Айзенберг, Я.М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты (монография) / Я.М. Айзенберг, М.М. Деглина, Х.Н. Мажиев [и др.] // Академия наук СССР, М.: Наука, 1983. – 142 с.
9. Моделирование работы сейсмоизолирующего тарельчатого фундамента / Х.Н. Мажиев, Д.К.-С. Батаев, Х.-М.С. Духаев, К.Х. Мажиев, А.Х. Мажиева // Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе. Труды III Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Владикавказ, 24-26 сентября, 2009. – С. 96-99.
10. Материалы и конструкции для повышения сейсмостойкости зданий и сооружений / Я.М. Айзенберг, Х.Н. Мажиев, Д.К.-С. Батаев, М.М. Батдалов, С.-А.Ю. Муртазаев. – М.: Комтехпринт, 2009. – 348 с.

УДК 666.974.2

Мантуров З.А.

**ДОПУСТИМЫЕ СКОРОСТИ ПЕРВОГО НАГРЕВА КОНСТРУКЦИЙ
ФУТЕРОВКИ ИЗ ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА С ШАМОТНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЛАНЦЕВЫХ ГЛИН**

Manturov Z.A.

**ADMISSIBLE SPEEDS OF THE FIRST HEATING OF DESIGNS OF LINING FROM
HEAT RESISTING CONCRETE WITH THE CHAMOTTE SEALER ON THE BASIS
OF LOCAL SHALES**

В работе приведены результаты комплексных исследований по определению изменения температур и коэффициента температуропроводности по толщине футеровки из жаростойкого бетона на карборунд-шамот-силикат-натриевом композиционном вяжущем при одностороннем нагреве в зависимости от времени нагрева. Приведены также результаты определения допустимых скоростей нагрева футеровки в интервале температур 200–1000°C.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, безводный силикат натрия, силикат-натриевое композиционное вяжущее

In work results of complex researches by definition of change of temperatures and thermal diffusivity factor on a thickness liner from a refractory concrete on a carborundum- chamotte - silicate- sodium composite knitting are resulted at single-sided heating depending on heating time. Results of definition of admissible speeds of heating liner in a temperature range 200-1000°C are resulted also.

Key words: refractory concrete, anhydrous silicate of sodium, silicate-sodium composite knitting

В настоящее время уже накоплен достаточно большой опыт проектирования жаростойких бетонов на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих с учетом различных технологических и эксплуатационных факторов с температурой службы 1000–1600°C при использовании в качестве заполнителя различных огнеупорных материалов [1–3].

Использование безводного силиката натрия (силикат-глыбы) в качестве одного из компонентов указанных композиционных вяжущих позволяет при правильном подборе других компонентов вяжущего синтезировать материалы по своему химическому и фазовому составу, а также по свойствам аналогичным применяющимся на практике обжиговым огнеупорам [1–3]. Кроме того, использование вместо жидкого стекла тонкоизмельченной силикат-глыбы с последующим ее твердением при низкотемпературной тепловой обработке от $90\pm 5^\circ\text{C}$ до $190\pm 5^\circ\text{C}$ по определенному режиму позволяет: исключить энергоемкую операцию получения жидкого стекла из силикат-глыбы, что характерно для материалов на основе жидкого стекла; повысить однородность бетонной смеси; снизить количество воды затворения, что обеспечивает существенное повышение когезионной прочности вяжущего; уменьшить содержание Na_2O (плавня) в композиции, а соответственно, и температуру эксплуатации материалов на их основе.

Особенностью конструкций из жаростойких бетонов является то, что окончательное формирование структуры происходит непосредственно в тепловом агрегате при одностороннем нагреве. При этом в бетонных элементах по степени его нагрева происходит ряд физико-химических процессов, связанных с объемными изменениями. Вследствие этого в нем возникают значительные внутренние напряжения, которые могут превосходить критические, в результате чего материал разрушается. Следовательно, знание характера распределения температуры в жаростойких бетонных элементах конструкций при одностороннем их нагреве позволит правильно оценить не только теплофизические свойства бетонов, но и физико-химические процессы и связанные с ним напряженное состояние при формировании их структуры.

Поэтому нами проведены исследования распределения температуры в блоках из жаростойкого бетона на карборунд-шамот-силикат-натриевом композиционном вяжущем размерами (500×250×200 мм) при одностороннем нагреве в условиях, близких к эксплуатационным. В качестве заполнителя в жаростойком бетоне нами принят относительно дешевый дегидратированный шамотный заполнитель из местных сланцевых глин.

При одностороннем нагреве измерение распределения температуры в бетонных блоках сопряжено с определенными трудностями. Одна из них – необходимость обеспечения тепловой изоляции боковых граней испытываемого блока.

Жаростойкие бетонные блоки для испытания были изготовлены по следующей технологии. При изготовлении каждого блока на различных расстояниях от каждого из его торцов устанавливали термопары, а затем формовали вибрированием. В процессе бетонирования в каждую из них были вмонтированы 12 термопар. В незатвердевшем

бетоне прорезали канавки, в которых термопары располагали так, чтобы горячий спай находился на заранее определенных расстояниях от краев блока. Твердели блоки в сушильной камере при температуре до 200°C по определенному режиму в течение 6 часов.

Температуру в блоках измеряли хромель-алюмелевыми (ХА) и платино-платинородиевыми (ППР) термопарами диаметром 0,5 мм. Расстояние между термопарами по горизонтали и по вертикали, а также расстояние от граней блока ближайших термопар составляло 50 мм.

В связи с тем, что в исследуемом жаростойком бетоне содержится незначительное количество силикат-глыбы (до 3% по массе), блоки нагревали в более жестком режиме. Средняя скорость нагрева на горячем торце блока составляла $300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Нагревание осуществляли до температуры 1480°C на горячей стороне блока. При этой температуре осуществляли изотермическую выдержку до установления постоянного градиента температуры в блоке.

Перед включением нагрева печи боковые поверхности блока тщательно теплоизолировали так, чтобы нагревался только один торец блока.

Для исследуемых жаростойких бетонов по результатам измерений распределения температуры в блоках построены графики изменения температуры по толщине на различных расстояниях от нагреваемого торца через каждые 20 мин, которые приведены на рис. 1.

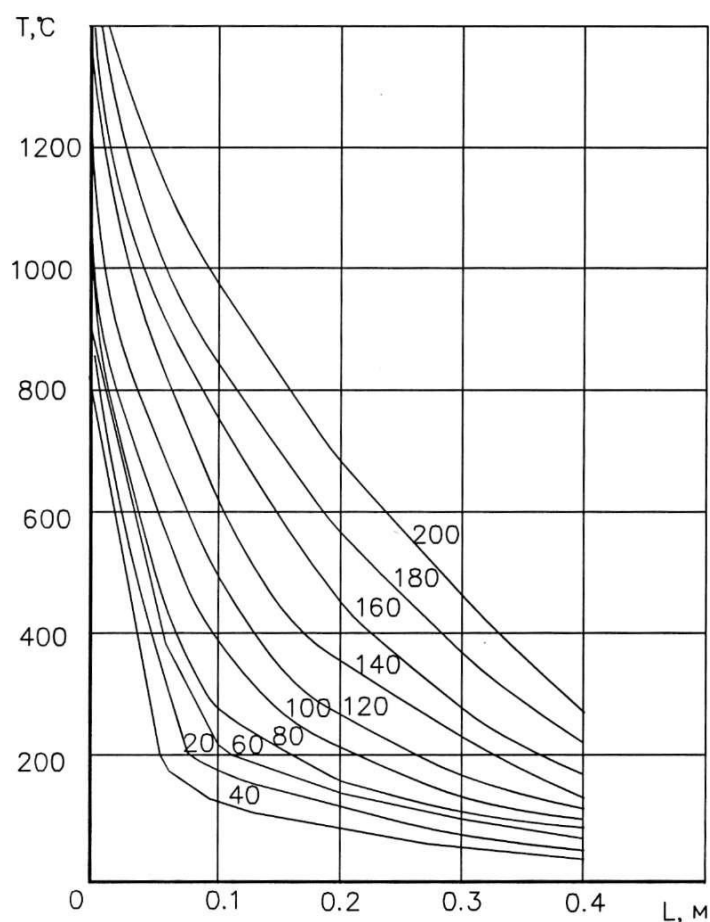


Рисунок 1 - Кривые зависимости температуры по толщине блока (цифры 20, 40, ..., 200 соответствуют времени нагрева торца блока в мин)

Нами в настоящей работе по данным распределения температурных полей в блоке, скорости нагрева и с учетом геометрических размеров блока при первом нагреве

температуропроводность была рассчитана по формуле: $a = \frac{kR^2}{\sigma \Delta t}$, где K – скорость нагрева образца, °С/ч; R – расстояние между спаями термопар, м; $\Delta t = t_{\text{пов}} - t_i$ – разность температур на нагреваемой поверхности и до каждого спая термопар в образце, °С; σ – коэффициент, зависящий от геометрических размеров исследуемого блока.

Результаты расчета температуропроводности исследуемого жаростойкого бетона по приведенной выше формуле представлены в виде графических зависимостей на рис. 2-3.

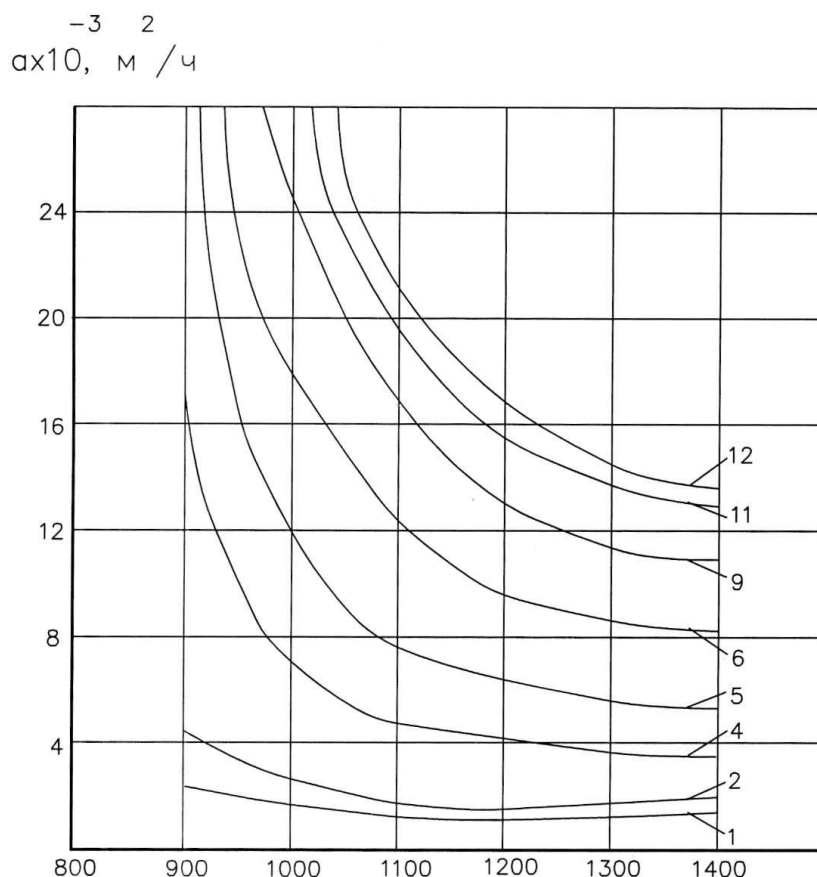


Рисунок 2 - Зависимость температуропроводности от температуры в различных точках блока из жаростойкого бетона (цифры 1, 2, ..., 12 соответствуют номерам термопар)

Из графика зависимости $a=f(T)$ (рис.2) видно, что на различных расстояниях от нагреваемой поверхности температуропроводность с увеличением температуры от 900 до 1000°C уменьшается резко, а выше 1000°C – плавно. Уменьшение температуропроводности в интервале температур 900–1000°C объясняется малым градиентом температур в бетоне из-за большого количества стеклофазы. С увеличением температуры часть стеклофазы кристаллизуется и структура бетона стабилизируется. С этим, возможно, связано плавное уменьшение температуропроводности при температурах от 1000 до 1450°C.

Аналогичное влияние стеклофазы на температуропроводность наблюдается и на графике зависимости $a=f(l)$ (рис.3.), т.е. с увеличением расстояния от горячего торца до измеряемой точки температуропроводность увеличивается на исследуемом расстоянии тем меньше, чем больше время и температура нагрева. Это объясняется, во-первых, уменьшением градиента температуры, во-вторых, увеличением объема связующей аморфной стеклофазы.

Таким образом, исследованиями распределения температуры в изучаемых жаростойких бетонных блоках при одностороннем нагреве установлены характер

изменения температуры в зависимости от расстояния и времени, а также температуропроводности от температуры нагрева и расстояниям между торцом и измеряемой точкой.

Установленные нами зависимости температуропроводности от перечисленных выше факторов позволяют правильно выбрать скорость первого нагрева разработанных нами жаростойких бетонов в конструкциях футеровок тепловых агрегатов.

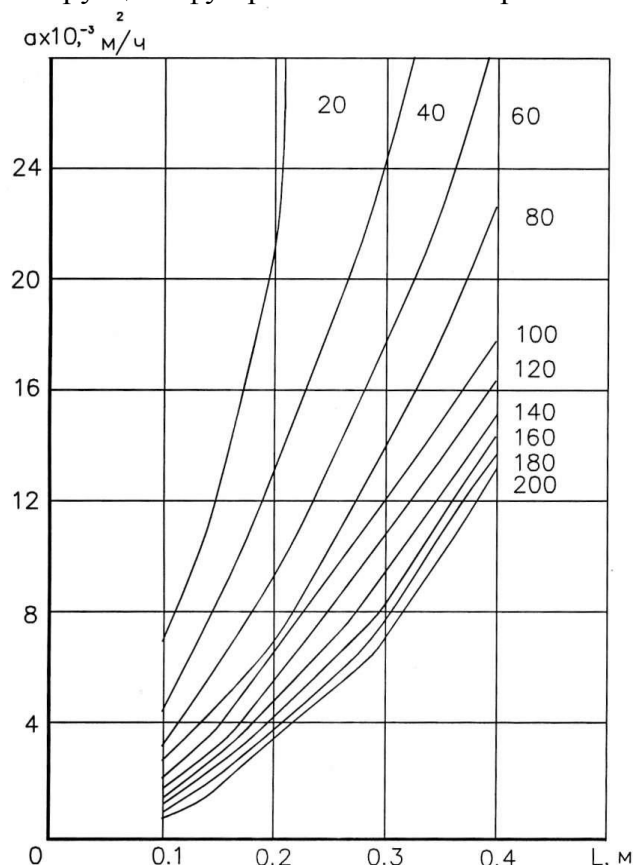


Рисунок 3 - Изменение температуропроводности по толщине блока из жаростойкого бетона (цифры 20, 40, ..., 200 соответствуют времени нагрева торца блока в мин)

В процессе ввода в эксплуатацию после ремонта или строительства тепловых агрегатов с футеровкой из жаростойкого бетона возникают температурные напряжения, превышающие прочности на растяжение, сжатие или сдвиг и вызывающее его трещинообразование. На процесс трещинообразования оказывают влияние вода и формы ее связи с твердыми компонентами, физико-химические процессы, протекающие под действием средних и высоких температур и ряд других факторов.

Поэтому, важное значение для практики имеют вопросы определения допустимых скоростей нагрева футеровки в процессе сушки и вывода тепловых агрегатов на рабочий режим.

С целью определения допустимых скоростей нагрева бетонных элементов до температуры $1000^{\circ}C$ нами были проведены специальные исследования. Для вычисления этого параметра мы пользовались ранее определенными нами термомеханическими характеристиками [3, 4], полученными при исследовании лабораторных образцов и данными распределения температуры при одностороннем нагревании изделий из жаростойкого бетона в условиях эксплуатации.

Для расчета допустимой скорости первого нагрева исследуемого жаростойкого бетона до $1000^{\circ}C$ нами применялась методика, разработанная в НИИЖБ В.В. Жуковым и другими сотрудниками [5]. Область температур выше $1000^{\circ}C$ нами не исследовалась, так как в диапазоне этих температур напряжения считаются релаксированными за счет размягчения аморфной фазы.

Эта методика основана на компенсации температурных деформаций бетона деформациями ползучести, усадки и деформациями, связанными с изменениями модуля упругости при нагреве. При выполнении этого условия допустимая скорость первого нагрева можно определить по формуле:

$$v_t = \frac{\frac{\sigma_{сж}^{кр}}{3\eta}}{\alpha_{\delta t} - k - \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\beta_i - \beta_{i+1}}{\beta_i \cdot \beta_{i+1}} \cdot \sigma_{сж}^{кр}},$$

где $\Delta T = T_{i+1} - T_i$ - температурный интервал, в котором определяется скорость подъема температуры; β_i, β_{i+1} - коэффициенты, учитывающие изменение модуля упругости бетона в состоянии, соответственно $i; i+1$; $\sigma_{сж}^{кр}$ - максимальный допустимый уровень напряжений; $\alpha_{\delta t}$ - абсолютное значение коэффициента линейной температурной деформации бетона; η - коэффициент эффективной динамической вязкости бетона, вычисляемый по формуле Траутона:

$$\eta = \frac{\sigma_o \cdot \Delta \tau \cdot (1 - \varepsilon_n)}{3\varepsilon_n},$$

где σ_o - постоянная нагрузка ($\sigma_o = 0,2$ МПа) ε_n - величина изменения деформации за время Δt ; k - коэффициент, характеризующий статическую необратимость рассматриваемого элемента; Δt - время, необходимое для достижения стабильного температурного градиента при заданной температуре нагрева торца изделия. Ее вычисляли по формуле $\Delta \tau = \frac{h^2}{8a}$, где a - коэффициент температуропроводности; h - толщина блока.

В связи с важностью термического расширения при одностороннем нагреве нами были определены значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) исследуемого жаростойкого бетона на образцах-цилиндрах диаметром 20 и высотой 80 мм после сушки и обжига при 1350°C [3], результаты которых в виде графических зависимостей приведены на рис. 4. При этом резких колебаний ТКЛР не наблюдалось, а некоторое различие в значениях при температуре около 1200°C можно объяснить модификационными превращениями кварца и образованием муллита. Предварительно обожженный бетон (см. рис. 4., кривая 2) весьма близок к термостойким шамотным огнеупорам.

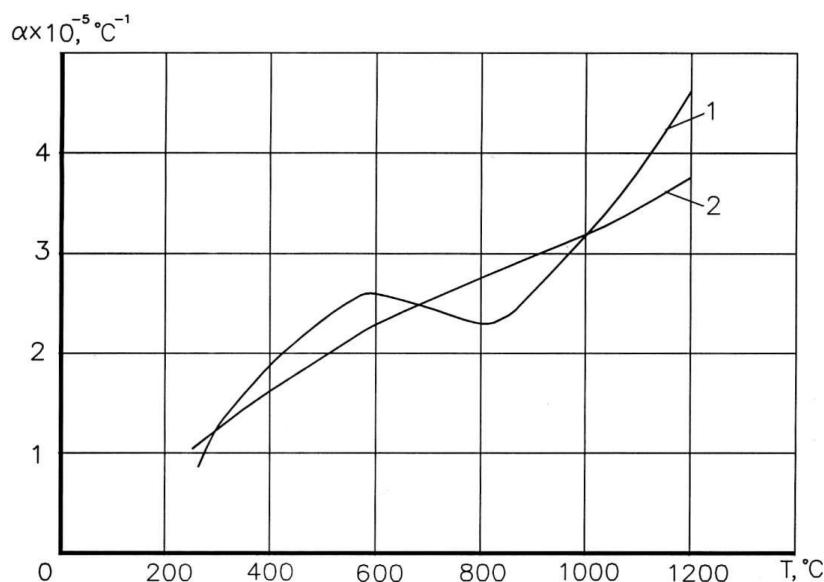


Рисунок 4 - Изменение значений температурного коэффициента линейного расширения жаростойкого бетона: кривая 1 – после сушки; кривая 2 – после обжига при 1350°C

Результаты расчета допустимых значений скоростей первого нагрева по приведенной выше формуле исследуемого нами жаростойкого бетона интервале от 200 до 1000°C приведены на рис. 5.

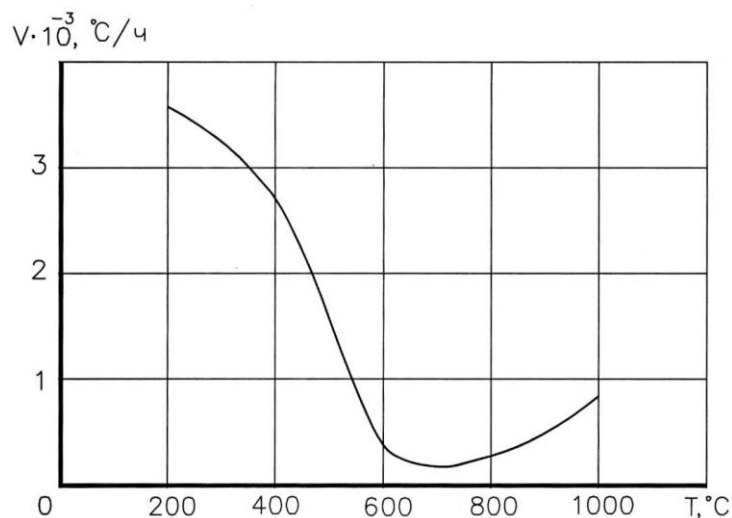


Рисунок 5 - Результаты расчета допустимых скоростей первого нагрева жаростойкого бетона в интервале температур от 200 до 1000°C

Полученные результаты расчета допустимой скорости первого нагрева были проверены в реальных условиях на блоках размером 1100x900x200 мм. Такие же блоки, для сравнения, подвергались нагреву со значительно меньшей скоростью, равной 50°C/ч. Результаты испытаний на прочность при сжатии выпиленных из этих блоков образцов (по три с нижней и верхней поверхностей и по три из середины) свидетельствуют о том, что исследуемый в данной работе жаростойкий бетон малочувствителен к действию температуры в интервале от 200 до 1000°C.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтвердили правильность расчетов по приведенной выше формуле допустимых скоростей первого нагрева, которые могут использоваться для разработки режимов сушки и разогрева до рабочих температур теплового агрегата из исследуемого в работе жаростойкого бетона на карборунд-шамот-силикат-натриевом композиционном вяжущем.

Библиографический список:

1. Жаростойкий бетон на основе композиций из природных и техногенных стекол/ Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, М.И. Зейфман, Б.Д.Тотурбиев. – М.: Стройиздат, 1986. – 144с.
2. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций. – М.: Стройиздат, 1988. – 208 с.
3. Мантуров З.А. Жаростойкий бетон с использованием местного сырья на силикат-натриевом композиционном вяжущем. Дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1995. – 198 с.
4. Мантуров З.А. Термомеханические свойства жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем // Изв. вузов. Сев.-Кавк. Регион. Технические науки. – 2012. – №6 (169). – С.64–66.
5. Сушка и первый нагрев тепловых агрегатов из жаростойких бетонов / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. – М.: Стройиздат, 1976. – 95 с.