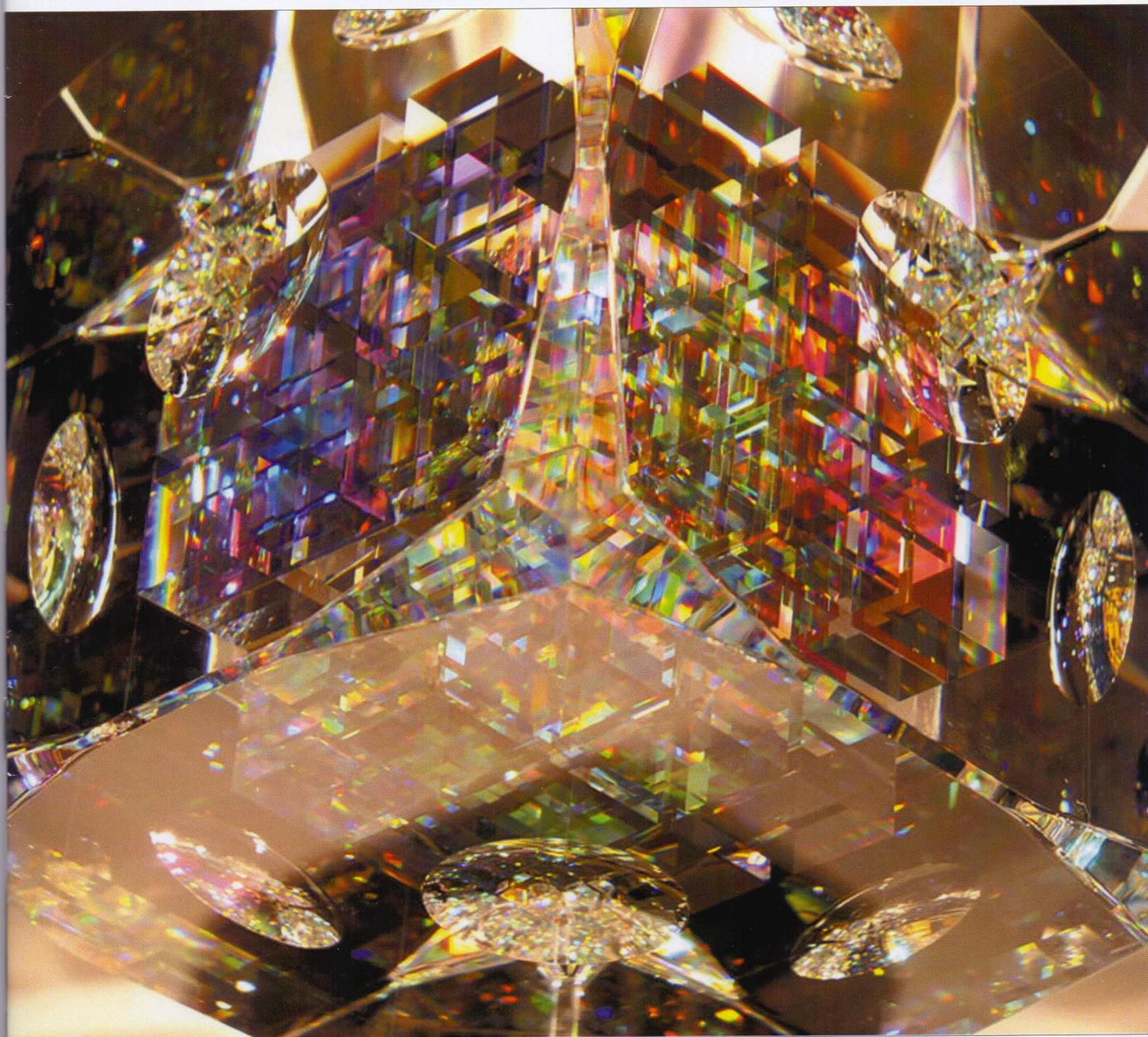


СТЕКЛО

ISSN 0131-9582

И КЕРАМИКА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



№ 2

февраль 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Наука – стеклольному производству	СЕМЕНОВ Б. А., ОЗЕРОВ Н. А. Косвенное определение фактических коэффициентов теплоотдачи в системах воздушного охлаждения действующих стекловаренных печей	3
Наука – керамическому производству	АКУЛИНИЧЕВ С. В., АНТАНОВИЧА А., ДЕРЖИЕВ В. И., ЗИБРОВ И. П., СЕМАКИНА Т. С., ФИЛОНЕНКО В. П., ЧАУШАНСКИЙ С. А. Получение иттербиевой керамики для медицинских радиоактивных источников	9
	ВОРОБЬЕВА А. А., ШАХОВА В. Н., ПИКАЛОВ Е. С., СЕЛИВАНОВ О. Г., СЫСОЕВ Э. П., ЧУХЛАНОВ В. Ю. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области	13
	СОКОЛОВ П. С., КОМИССАРЕНКО Д. А., ДОСОВИЦКИЙ Г. А., ШМЕЛЕВА И. А., СЛЮСАРЬ И. В., ДОСОВИЦКИЙ А. Е. Реологические свойства суспензий оксида циркония в акрилатных мономерах для использования в 3D-печати	18
Покрyтия	НИКИФОРОВ А. С., ПРИХОДЬКО Е. В., КИНЖИБЕКОВА А. К., КАРМАНОВ А. Е. Теплотехнические характеристики диатомитовых материалов в широком температурном диапазоне	24
На предприятиях и в институтах	КОВАЛЕНКО А. Ф. Лазерный импульсный отжиг стеклянных пластин при частичном их покрытии излучением	27
	БЛАЗНОВ А. Н., ЗУБКОВ А. С., ХОДАКОВА Н. Н., САМОЙЛЕНКО В. В., УГЛОВА Т. К. Исследование упруго-прочностных свойств базальто- и стеклопластиков с разными схемами намотки	32
	ТРОФИМОВА Т. В., САЙКОВА С. В., ПАНТЕЛЕЕВА М. В., ПАШКОВ Г. Л., БОНДАРЕНКО Г. Н. Анионообменный синтез порошков феррита меди	38

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

© Москва «Стекло и керамика», 2018

Перепечатка материалов из журнала при обязательном письменном согласовании с редакцией, ссылка на журнал обязательна

Журнал переводится на английский язык и издается в США
«SPRINGER SCIENCE + BUSINESS MEDIA, INC»

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ТЕХНИКА

ТЕХНОЛОГИЯ

ПРОИЗВОДСТВО ВСЕХ ВИДОВ

СТЕКЛА (строительное, техническое, сортовое, специальные стекла, хрусталь, зеркала и др.)

КЕРАМИКИ (фарфор, фаянс, грубая керамика, огнеупоры, техническая конструкционная, сверхпроводящая и другие виды специальной керамики)

СИТАЛЛОВ И СТЕКЛОКЕРАМИКИ

СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

ЭМАЛЕЙ И ГЛАЗУРЕЙ

КАМЕННОГО ЛИТЬЯ

МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

**ДРУГИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ
ОБЖИГОВЫХ НОВЫХ И
ТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- строительство
- товары народного потребления
- химия
- металлургия
- электроника и электротехника
- медицина
- оптика
- другие области

В журнале также помещаются статьи по следующим вопросам:

- Новая техника, оборудование
- Техническое перевооружение предприятий и производств
- Развитие сырьевой базы, рациональное использование сырья, в том числе местного, отходов промышленности
- Ресурсо- и энергосберегающие технологии. Охрана окружающей среды
- Хозяйственная деятельность предприятий в рыночных условиях, экономика, маркетинг
- Заводской опыт
- Информация, реклама

CONTENTS

SCIENCE FOR GLASS PRODUCTION

- SEMENOV B. A., OZEROV N. A. Indirect assessment of actual heat transfer coefficients in air cooling systems of operating glass kilns 3

SCIENCE FOR CERAMIC PRODUCTION

- AKULINICHEV S. V., ANTANOVICH A. A., DERZHIEV V. I., ZIBROV I. P., SEMAKINA T. S., FILONENKO V. P., CHAUSHANSKY S. A. Production of ytterbia ceramics for medical radioactive sources 9
- VOROB'EVA A. A., SHAKHOVA V. N., PIKALOV E. S., SELIVANOV O. G., SYSOEV E. P., CHUKHLANOV V. YU. Production of vitrified wall tiles from stiff clay and industrial waste of Vladimir region 13
- SOKOLOV P. S., KOMISSARENKO D. A., DOSOVITSKY G. A., SHMELEVA I. A., SLYUSAR V. I., DOSOVITSKY A. E. Rheological behaviour of zirconia in acrylate monomers dispersions for 3D-printing applications 18

COATINGS

- NIKIFOROV A. S., PRIKHOD'KO E. V., KINZHIBEKOVA A. K., KARMANOV A. E. Thermal performance of diatomite-based materials in a broad temperature range 24

AT THE ENTERPRISES AND INSTITUTES

- KOVALENKO A. F. Pulse laser annealing of glass plates under partial radiation covering 27
- BLAZNOV A. N., ZUBKOV A. S., KHODAKOVA N. N., SAMOYLENKO V. V., UGLOVA T. K. Study of elastic and strength characteristics of basalt-ang glass-reinforced plastics with different winding patterns 32
- TROFIMOVA T. V., SAYKOVA S. V., PANTELEEVA M. V., PASHKOV G. L., BONDARENKO G. N. Anion-exchange synthesis of copper ferrite powders 38

АДРЕС РЕДАКЦИИ (почтовый и для посещений):

125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20, корп. 3
(РХТУ им. Д. И. Менделеева), комн. 302

Телефон: (495) 495-39-76, (499) 391-87-06

E-mail: stiker1925@gmail.com

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИАТОМИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ

Д-р техн. наук **А. С. НИКИФОРОВ** (e-mail: aleke4599@mail.ru), канд. техн. наук **Е. В. ПРИХОДЬКО** (e-mail: john1380@mail.ru), канд. техн. наук **А. К. КИНЖИБЕКОВА**, **А. Е. КАРМАНОВ**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова (Казахстан, г. Павлодар)

Исследованы зависимости предела прочности при сжатии диатомита от температуры в диапазоне температур 50 – 700 °С. Предел прочности при сжатии при температуре 450 – 500 °С превосходит значения прочности при нормальных условиях примерно в 2 раза. Это позволяет рационализировать процесс разогрева футеровок на основе диатомита высокотемпературных агрегатов

Ключевые слова: предел прочности при сжатии, диатомит, разрушение, напряжения

Футеровка (обмуровка) представляет собой систему ограждений высокотемпературного агрегата, отделяющих среду с высокой температурой (расплавленный материал, продукты сгорания и др.) от окружающей среды.

По правилам технической эксплуатации, температура на поверхности оборудования не должна превышать 45 °С [1]. При этом рядом исследований установлено, что реальные тепловые потоки через футеровку (обмуровку) высокотемпературных агрегатов значительно превышают рекомендуемые значения [2, 3].

В высокотемпературных агрегатах в процессе разогрева в обмуровке возникают термические напряжения. Причина их возникновения заключается в неравномерном распределении температуры в различных частях кладки или ограничение возможности ее теплового расширения. Как правило, к термическим напряжениям, разрушающим материал, ведет слишком высокая скорость разогрева агрегатов и неравномерность температуры в различных участках кладки. При этом в высокотемпературном участке кладки возникают напряжения сжатия σ_c , а в низкотемпературном участке – напряжения растяжения σ_r .

При выборе скорости нагрева необходимо учитывать величину термических напряжений, возникающих в материале кладки.

На предприятиях в результате проводимых расчетов термических напряжений уточняется существующий график разогрева агрегата, и при необходимости его заменяют новым графиком разогрева оборудования, который исключает работу футеровки со скоростями нагрева, превышающими допустимые.

Поскольку в футеровках используются различные материалы, то и скорости прогрева и охлаждения всех этих материалов должны быть различными. Несоблюдение температурно-временных параметров разогрева агрегата может привести к возникновению температурных напряжений, превышающих допустимые и, как следствие, к появлению микротрещин, в дальнейшем и к разрушению материала.

Этот процесс может интенсифицироваться, если материал подвергается в одно и то же время воздействию различных температур. Например, слишком быстрый рост температуры при холодном старте чаще всего повреждает теплоизоляцию высокотемпературного агрегата. Тепловая изоляция имеет низкую теплопроводность и поэтому прогревается медленнее, чем огнеупорный слой или металл.

Следует отметить, что при простом оборудовании (когда оно не прогрето), материал футеровки поглощает влагу из воздуха. Медленный прогрев необходим для того, чтобы постепенно просушить футеровку и не допустить вскипания влаги, вызывающее растрескивание огнеупоров. Как правило, разогрев высокотемпературных агрегатов идет по графикам, рекомендуемым заводом-изготовителем оборудования. При этом не учитывается множество факторов: изменение свойств материалов футеровки в зависимости от температуры вследствие пропитки их металлом или воздействия агрессивных газов и др. Стандартные графики сушки и разогрева печей показаны на рис. 1. В зависимости от материала кладки предусматривается повышение температуры максимум на 60 °С в час [4].

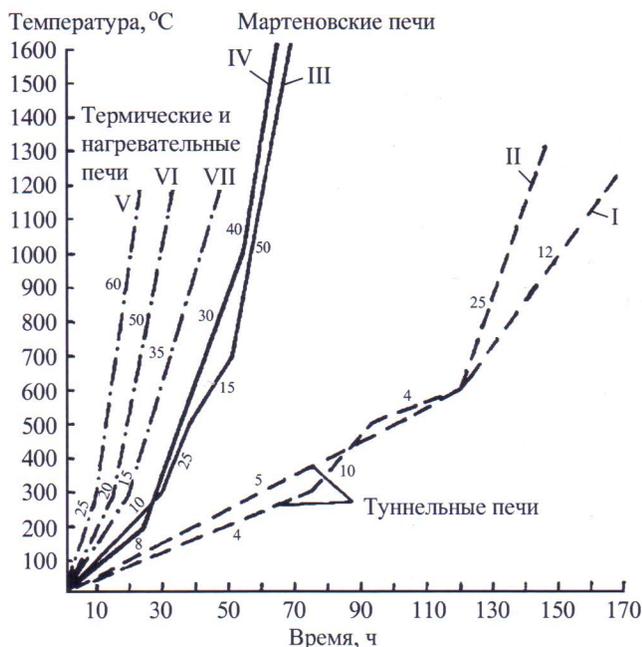


Рис. 1. График сушки и разогрева печей с футеровкой из огнеупорных материалов

туннельные печи: I – кладка из динаса; II – кладка из шамота; мартеновские печи: III – печи с динасовым сводом; IV – печь с хромомagneзитовым сводом; термические и нагревательные печи: V – кладка из шамота, объем кладки до 20 м³; VI – кладка из шамота, объем кладки до 50 м³; VII – кладка из шамота, объем кладки до 100 м³; арабские цифры на кривых обозначают скорость нагрева футеровки, °C/ч

В «Инструкции по сушке обмуровок стационарных котлов» при сушке обмуровок, выполняемых из жаростойких бетонов или огнеупорной кладки, максимальная измеренная скорость роста температуры обмуровки при нагреве до 150 °C не должна превышать 20 °C/ч, при нагреве от 150 до 500 °C должна быть не более 30 °C/ч, при дальнейшем нагреве – не более 60 °C/ч во избежание образования трещин и снижения прочности [5].

Оптимизация факторов, влияющих на возникающие температурные напряжения в футеровке, позволяет увеличить рабочую кампанию агрегатов и избежать увеличения потерь теплоты в окружающую среду. Даже не изменяя материал, используемый для футеровки, совершенствуя лишь условия эксплуатации (температурные режимы), можно добиться значительного результата.

Таким образом, процесс разогрева агрегатов рекомендуется вести с максимально возможными скоростями подъема температуры, при которых возникающие температурные напряжения будут ниже пределов прочности материалов кладки

(обмуровки) при данной температуре и скорости их релаксации.

При выборе скорости нагрева кроме величины термических напряжений важное значение имеет и предел прочности используемого материала при различных температурах.

Цель данной работы – исследование температурной зависимости предела прочности при сжатии диатомита для рационализации процесса разогрева футеровок высокотемпературных агрегатов.

Диатомит – один из наиболее распространенных формованных теплоизоляционных материалов. При проведении исследований был использован кирпич марки ПД-350.

Согласно заводским данным он имеет предел прочности при сжатии не менее 0,6 МПа при температуре 20 °C. В этих данных отсутствует характер изменения параметра в зависимости от температуры, и в заводских расчетах, выполненных для определения скорости разогрева агрегатов, использующих данный материал, величина предела прочности принимается постоянной, т.е. не зависящей от температуры.

Проведенный литературный обзор показал, что вопросам изучения зависимости предела прочности от температуры уделяется недостаточное внимание. Между тем полученные экспериментальные данные для периклазоуглеродистых материалов позволяют говорить об увеличении значения предела прочности при сжатии в интервале температур 150 – 300 °C (до 20 %), что дает дополнительный резерв для повышения скорости разогрева и снижения затрат времени и энергоресурсов на процесс разогрева [6].

При проведении исследований была использована методика измерения предела прочности материалов при повышенных температурах, приведенная в патенте [7]. Измерения проводили на специальном стенде.

Для испытаний использовали образцы из пенодиатомитового кирпича марки ПД-350, состав которого приведен в статье [8]. При этом заявляемый предел прочности при сжатии данного кирпича составляет не менее 0,6 МПа.

Исследования по определению предела прочности при сжатии проводили в диапазоне температур от 50 до 700 °C. Для проведения испытаний кирпич распиливали на образцы в форме куба с длиной ребра 20 мм.

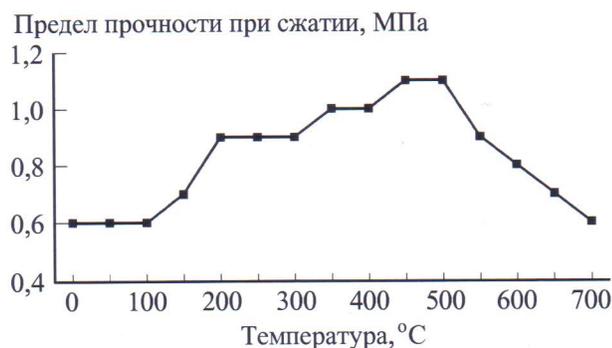


Рис. 2. Зависимость предела прочности пенодиатомита при сжатии от температуры

На рис. 2 представлена полученная зависимость предела прочности при сжатии пенодиатомита ПД-350 от температуры (коэффициент корреляции представленной зависимости составляет 0,97).

Данная зависимость имеет следующие тенденции: начальное значение предела прочности при сжатии образца, составляющее 0,6 МПа, при повышении температуры испытания до 100 °C остается неизменным. При дальнейшем повышении температуры прочность увеличивается и достигает при температуре 450 – 500 °C максимума 1,1 МПа. Далее идет плавное снижение предела прочности до 0,6 МПа при температуре 700 °C.

В данном случае увеличение предела прочности образцов в диапазоне температур 100 – 500 °C можно объяснить снижением общей пористости без химических превращений. Дальнейшее снижение предела прочности при нагреве выше 500 °C объясняется началом химических реакций. Полученные данные по снижению прочности можно обосновать в соответствии с выводами авторов работ [9, 10]: исследования структуры микрокремнезема методом рентгеноструктурного анализа позволили обнаружить структурные перестройки полиморфных модификаций диоксида кремния при температуре около 500 °C.

В заключение следует отметить, что проведенные нами исследования показали, что предел прочности при температуре 400 – 500 °C превосходит значение прочности при нормальных условиях примерно в 2 раза. Это дает возможность не только вести процесс разогрева кладки (футеровки) со

скоростями, при которых они не будут разрушаться, но и сократить затраты времени и энергоресурсов на процесс разогрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила технической эксплуатации* электрических станций и сетей. Утверждены приказом министра энергетики Республики Казахстан от 30 марта 2015 г. № 247.
2. *Кинжибекова А. К.* Методы исследования обмуровок энергетических котлов: учеб. пособие. Павлодар: Инновационный Евразийский университет, 2015. 92 с.
3. *Никифоров А. С., Приходько Е. В., Карманов А. Е.* Физическое моделирование процесса разогрева футеровок высокотемпературных агрегатов // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. 2012. № 9 – 10. С. 88 – 89.
4. *Сооружение промышленных печей* / под ред. И. А. Шишкова. М.: Стройиздат, 2007. 413 с.
5. *Временная инструкция* по сушке обмуровок стационарных котлов ТЭС. М.: Союзтехэнерго, 1980.
6. *Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е.* Исследование предела прочности периклазоуглеродистых огнеупорных материалов и анализ их прочностных характеристик при повышенных температурах // Стекло и керамика. 2014. № 4. С. 32 – 35. [Nikiforov A., Prikhod'ko E., Kinzhibekova A., Karmanov A. Investigation of the Ultimate Strength of Periclase-Carbon Refractory Materials and Analysis of Their High Temperature Strength // Glass and Ceram. 2014. V. 73. N 3 – 4. P. 137 – 139.]
7. *Приходько Е. В., Никифоров А. С., Шанов И. В.* Способ термомеханических испытаний материалов и устройство для его осуществления: Инновационный патент № 21807 Республика Казахстан. Опубл. 15.10.2009 // Бюл. 2009. № 10. 4 с.
8. *Маневич В. Е., Субботин Р. К., Никифоров Е. А. и др.* Диатомит – кремнеземосодержащий материал для стекольной промышленности // Стекло и керамика. 2012. № 5. С. 34 – 39. [Manevich V. E., Subbotin R. K., Nikiforov E. A. et al. Diatomite – siliceous material for the glass industry // Glass and Ceram. 2012. V. 69. N 5 – 6. P. 168 – 172.]
9. *Селяев В. П., Неверов В. А., Маишаев О. Г., Колотушкин А. В.* Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей // Magazine of Civil Engineering. 2013. N 7. P. 15 – 25.
10. *Иванов С. Э., Беляков А. В.* Диатомит и области его применения // Стекло и керамика. 2008. № 2. С. 18 – 21. [Ivanov S. E., Belyakov A. V. Diatomite and its applications // Glass and Ceram. 2008. V. 65. N 1 – 2. P. 48 – 51.]



**Подписка на журнал “Стекло и керамика”
принимается во всех отделениях связи
Индекс 70881**

Телефон редакции: (499) 391-87-06 , (495) 495-39-76