

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы XVI Международной
научно-технической конференции молодых учёных,
посвященной 80-летию со дня рождения
профессора В.И. Калашникова

Пенза 2021

УДК 691 (063)
ББК 38.3
Т33

Т33 Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы XVI Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Калашникова / под общ. ред. М.О. Коровкина и Н.А. Ерошкиной. – Пенза: ПГУАС, 2021. – 192 с.

ISBN 978-5-9282-1707-5

Сборник содержит доклады, представленные на научно-технической конференции, в которых рассматриваются теоретические и практические проблемы повышения эффективности строительных материалов. Все материалы печатаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-9282-1707-5

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2021

УДК 666.3

А.Ю. Столбоушкин¹,
Е.В. Истерин²,
О.А. Фомина³

К вопросу применения керамических стеновых материалов матричной структуры в однослойных наружных стенах зданий

На примере Сибирского региона России рассмотрены условия возможного устройства наружных стен однослойной конструкции из эффективного керамического материала со стеклокристаллическим каркасом. Приведены способ изготовления и результаты лабораторных исследований образцов ячеистой керамики компрессионного формования матричной структуры.

Ключевые слова: эффективный керамический материал, гранулированное пеностекло, ячеистая керамика с матричной структурой.

A.Y. Stolboushkin¹,
E.V. Isterin²,
O.A. Fomina³

On the application of ceramic wall materials of matrix structure in single-layer external walls of buildings

Using the example of the Siberian region of Russia, the conditions for the possible arrangement of external walls of a single-layer structure made of an effective ceramic material with a glass-crystal frame are considered. The method of manufacturing and the results of laboratory studies of samples of cellular ceramics of compression molding matrix structure are given.

Key words: effective ceramic material, granular foam glass, cellular ceramics with matrix structure.

Введение

Сохранение тепла внутри жилища волновало человечество во все времена, особенно в климатических районах с длительной и холодной зимой. Такая природа характерна для большей части территории современной России. На количество теплопотерь в первую очередь влияют размеры и теплофизические характеристики наружного ограждения строительных объектов. И если оптимизация формы зданий с точки зрения сокращения площади ограждающей поверхности, прежде всего, задача архитекторов, то за увеличение общего термического сопротивления стены отвечают строители – материаловеды.

В 21 веке в связи с ужесточением нормативных требований к тепловой защите зданий большинство стеновых материалов оказались не пригодными при строительстве традиционных однослойных наружных стен с «классической» толщиной 350-770 мм [1]. Поэтому к середине 20-х годов в нашей стране укоренилась повсеместная практика возведения наружных стен многослойной конструкции при использовании эффективного теплоизоляционного материала. Однако, их эксплуатация в климатических условиях России, характеризующихся частым суточным переходом через ноль в осенне-весенние периоды, показывает недостаточную долговечность таких конструкций, вызванную целым рядом факторов [2], что приводит к разрушению стен в нормативные сроки эксплуатации зданий.

Таким образом, поиск и разработка новых конструкционно-теплоизоляционных стеновых материалов, обеспечивающих требуемую теплозащиту зданий [3] при устройстве однослойных стен является одной из актуальных задач современного строительства.

К сожалению, сегодня при большом разнообразии эффективных строительных материалов массовое производство эффективного керамического кирпича со средней плотностью черепка 1200 кг/м^3 и менее практически отсутствует [4]. Фактически эту нишу в линейке керамической продукции занимают, так называемые, теплые блоки крупного формата. Как правило, такие изделия имеют щелевые пустоты, заполненные в заводских условиях эффективным утеплителем волокнистой или ячеистой структуры. По теплотехническим характеристикам керамические блоки имеют высокие показатели, (приведенный коэффициент теплопроводности порядка $0,18-0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$) и могут использоваться при устройстве однослойных наружных стен на территории России.

В последнее время проводятся активные исследования по созданию эффективной ячеистой структуры керамических материалов [5]. Ячеистая керамика способна составить конкуренцию пено- и газобетонам, широко используемым при малоэтажном строительстве, и в перспективе сможет применяться в однослойных наружных стенах многоэтажных и высотных зданий.

Методы и материалы

По результатам ранее проведенных исследований авторами разработан способ изготовления эффективных стеновых керамических изделий на основе глинистого сырья и гранулированного пеностеклокристаллического материала. Пеностеклогранулы увлажняются и активно перемешиваются с сухим тонкодисперсным глинистым сырьем в турболопастном смесителе-грануляторе. После прессования, сушки и обжига формируется пространственная организованная структура керамического материала.

В качестве керамического сырья использовалась бердская глина (Бердское месторождение, Новосибирская обл.) Глинистая компонента шихты разрабатываемого стенового материала относится к умереннопластичному, полиминеральному сырью с высоким содержанием красящих оксидов ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ более 9 %). По количеству глинозема она принадлежит к группе полукислого сырья (Al_2O_3 около 14 %), по минеральному составу примесей – содержит включения кварца, железистых минералов, обломки горных пород и карбонатные конкреции.

В качестве «порообразующей» компоненты шихты применялся гранулированный пеностеклокристаллический материал из кремнеземистых пород опытного производства (г. Челябинск). Гранулированное пеностекло (ГПС) имеет фракционный состав класса $-2,5+0,14 \text{ мм}$. По фазовому составу ГПС содержит рентгеноаморфную фазу, кварц и полевые шпаты, преимущественно анортитовой природы. Результаты гранулометрического и химического состава сырьевых материалов представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Гранулометрический состав сырьевых материалов

Вид сырья	Содержание фракций в %, размер частиц в мм					Классификация по ГОСТ 9169-75
	>0,06	0,06-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	
Глинистое сырье	2,73	37,53	22,23	33,38	4,13	Низкодисперсное
ГПС	Частные остатки в %, на ситах с размером отверстий, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Дно
	0	5,3	84,5	8,6	1,6	0

Таблица 2. Химический состав сырьевых материалов

Вид сырья	Массовая доля компонентов, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	ппп	прим.
Глинистое сырье	56,11	14,09	8,23	7,72	3,28	0,47	2,96	0,81	0,18	0	6,14
ГПС	78,43	7,81	4,45	0,22	-	7,89	0,45	-	-	-	-

Результаты комплексного исследования сырьевых материалов, включая оценку их технологических характеристик, показали, что они могут служить потенциальным алюмосиликатным сырьем для производства стеновой керамики.

Результаты и их обсуждение

В соответствие с целью и задачами исследований в настоящей работе были проведены подбор и оценка материалов для устройства кирпичной наружной стены на основе эффективных керамических материалов. Из-за относительно невысоких прочности и морозостойкости эффективной керамики использовать ее для наружного стенового ограждения без устройства внешнего защитного слоя, на наш взгляд, нецелесообразно, о чем и свидетельствует сложившаяся строительная практика последних лет. С учетом передового опыта разработки конструктивных решений стен из керамических материалов [6] для ее защиты было решено использовать стеновой клинкер. Предлагаемое решение стеновой конструкции приведено на рис. 1.

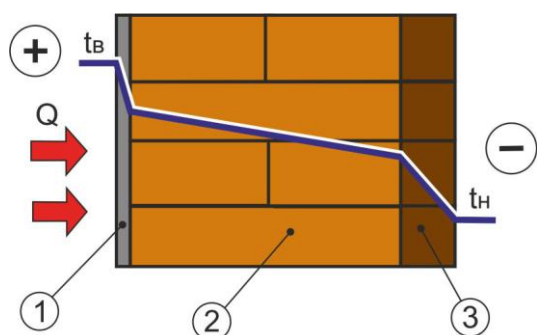


Рис. 1. Конструктивное решение стенового ограждения:

- 1 – цементно-песчаный раствор;
2 – ячеистая керамика с матричной структурой; 3 – клинкер

Требуемое термическое сопротивление стены из эффективных керамических материалов

$$R_{\text{нec.сл}}^{\text{тр}} = R_{\text{red}} - (R_{\text{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{ext}}),$$

где:

R_{int} – сопротивление теплообмену на внутренней поверхности;

R_{ext} – сопротивление теплообмену на наружной поверхности;

R_{red} – нормативное сопротивление теплопередачи стены;

R_1, R_2, R_3 – термическое сопротивление конструктивных слоев (рис. 1).

Для оценки эффективного слоя в лабораторных условиях разработанным способом [7] были получены ячеистые керамические материалы матричной структуры и проведено исследование их эксплуатационных характеристик [8]. Физико-механические свойства материалов для конструктивных слоев (рис. 1) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Физико-механические свойства материалов конструктивных слоев

№№ конструктивного слоя	Материал	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	Цементно-песчаный раствор	10-15	1600-1800	12-14	0,5-0,6
2	Ячеистая керамика с матричной структурой	12,3-15	900-1100	9-11	0,21-0,23
3	Стеновой клинкер	30-80	1900-2100	6-8	0,9-1,2

Оценка возможного использования эффективных керамических материалов матричной структуры в однослойных наружных стенах зданий проводилась на примере сибирского региона России, графически представленного на рис. 2 и характеризующегося преимущественно резкоконтинентальным климатом и, как уже отмечалось в начале статьи, длительной и холодной зимой. Нормативные температурные характеристики климата [9] для отдельных городов региона представлены в табл. 4.

Таблица 4. Климатические данные для оценки теплоэффективности ячеистой керамики

Название населенного пункта	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	Температура отапливаемого периода, °С	Продолжительность отапливаемого периода, сут.
Енисейск	-46	-9,6	245
Иркутск	-36	-8,5	240
Красноярск	-40	-7,1	234
Новокузнецк	-39	-7,3	227
Томск	-40	-8,4	236

В зависимости от широты (рис. 2) нормативные расчетные температуры наиболее холодных пяти суток для различных городов Сибири изменяются в широком диапазоне (от -37 °С до -55 °С). Напротив, продолжительность отапливаемого периода меняется незначительно и составляет в среднем 236 суток (см. табл. 4).

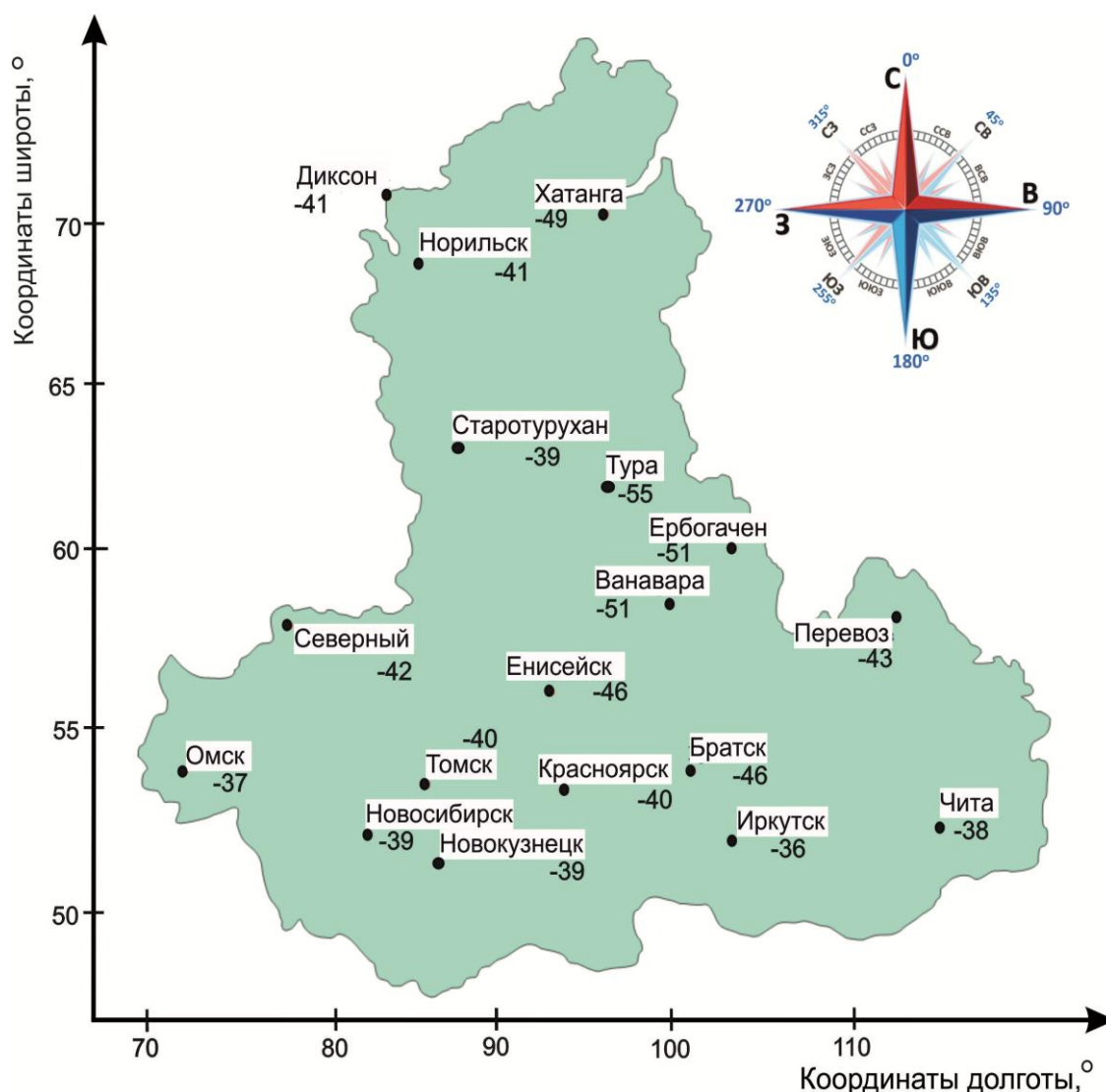


Рис. 2. Карта сибирского региона России с указанием расчетных зимних температур для возможного использования эффективных керамических материалов матричной структуры в однослойных наружных стенах зданий

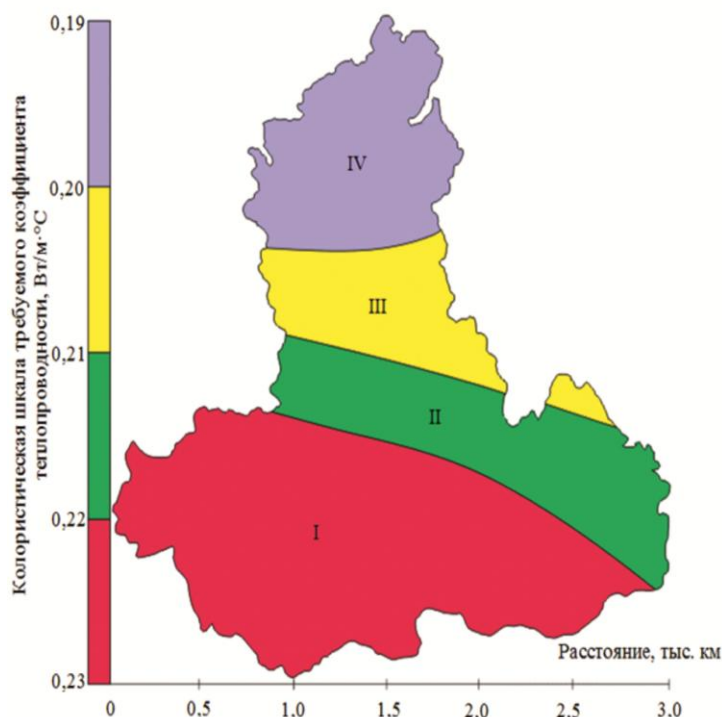
В соответствии с действующими правилами расчета [9] для обеспечения эффективности энергосбережения зданий в зимний период были установлены требуемые термические сопротивления для так называемой «однослойной» наружной стены запроектированной конструкции, согласно (рис. 1). Также с учетом зимних температур для каждого населенного пункта (рис. 2) была рассчитана необходимая толщина эффективного слоя из ячеистого керамического материала с матричной структурой. В качестве расчетных характеристик для ячеистой керамики были выбраны усредненные теплофизические параметры керамического материала: средняя плотность – 1100 кг/м^3 ; коэффициент теплопроводности – $0,23 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Для определения общего термического сопротивления конструкции термические сопротивления внутреннего штукатурного слоя из цементно-песчаного раствора и наружного защитного слоя из клинкерной керамики были приняты постоянными и рассчитаны для толщины слоев соответственно 30 и 120 мм. Результаты теплотехнического расчета приведены в табл. 5.

Таблица 5. Климатические данные для оценки теплоэффективности ячеистой керамики

Название населенного пункта	Требуемое термическое сопротивление $R_{тр}$, ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	Ячеистая керамика с матричной структурой, $\lambda = 0,23 \text{ Вт}/(m \cdot ^\circ C)$
		толщина слоя, мм
Омск	3,440	0,710
Новокузнецк	3,560	0,737
Красноярск	3,600	0,747
Новосибирск	3,700	0,770
Томск	3,750	0,781
Иркутск	3,790	0,790
Братск	3,890	0,813
Енисейск	3,930	0,822
Северный	4,010	0,841
Чита	4,060	0,852
Перевоз	4,370	0,924
Ванавара	4,490	0,951
Ербогачен	4,610	0,979
Туруханск	4,610	0,979
Тура	4,900	1,046
Хатанга	5,400	1,161
Диксон	5,410	1,163
Норильск	5,410	1,163

В результате анализа полученных расчетных данных установлено, что для обеспечения требуемого режима энергосбережения в отапливаемых зданиях толщина слоя эффективного керамики должна быть в пределах 0,7-1,2 м в зависимости от района строительства. И это без учета толщины защитных слоев, суммарная толщина которых составляет 0,15 м, что дополнительно увеличивает общую толщину стенового ограждения практически до одного метра и более. Таким образом, для строительства зданий в Сибири с кирпичными стенами общепринятой толщины 640-770 мм (2,5-3 кирпича стандартного формата 1 НФ) необходимо улучшать эффективность ячеистой керамики и снижать значение коэффициента теплопроводности материала ниже 0,23 Вт/(м·°C).

Приняв во внимание указанный постулат и, проведя теплотехнические расчеты, можно условно выделить в Сибирском федеральном округе 4 климатические зоны с требуемыми физико-механическими характеристиками ячеистого керамического материала (рис. 3).



*Трубчатые характеристики для
стенного ограждения:*

Зона I – средняя плотность: 950-1000 кг/м³;
коэффициент теплопроводности: 0,22-0,23 Вт/(м·°С).

Зона II – средняя плотность: 800-950 кг/м³;
коэффициент теплопроводности: 0,21-0,22 Вт/(м·°С).

Зона III – средняя плотность: 650-800 кг/м³;
коэффициент теплопроводности: 0,2-0,21 Вт/(м·°С).

Зона IV – средняя плотность: 650 кг/м³;
коэффициент теплопроводности: 0,19-0,2 Вт/(м·°С).

Рис. 3. Схема зонирования территории сибирского региона по требуемым физико-механическим характеристикам ячеистого керамического материала для устройства однослойных наружных стен толщины 640-770 мм

Заключение

Проведенные исследования показали, что ячеистая керамика матричной структуры со средней плотностью 950-1000 кг/м³ и теплопроводностью 0,22-0,23 Вт/(м·°С) пригодна для устройства однослойных наружных стен толщиной 640-770 мм для юга сибирского региона (рис. 3). Для северных районов региона необходимо применять общепринятые эффективные теплоизоляционные материалы с волокнистой или ячеистой структурой. Снижение средней плотности ячеистой керамики с матричной структурой до значений 600-700 кг/м³ при сохранении конструктивных свойств материала делает перспективным продолжение научных исследований.

Библиографический список

1. Гагарин В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП “Тепловая защита зданий” / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – № 8. – С. 2–6.
2. Блажко В.П. Наружные многослойные стены с облицовкой из кирпича в монолитных зданиях / В.П. Блажко // Жилищное строительство. – 2009. – № 8. – С. 6-8.
3. Давидюк А.Н. Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий / А.Н. Давидюк, Г.В. Несветаев // Жилищное строительство. – 2010. – № 3. – С. 16-21.

4. Семенов А.А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития / А.А. Семенов // Строительные материалы. – 2020. – №12. – С.4-5.
5. Столбоушкин А.Ю. Влияние температуры обжига на формирование структуры ячеистой керамики со стеклокристаллическим каркасом / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Фомина // Строительные материалы. – 2019. – № 4. – С. 20-26.
6. Шембаков В.А. Инновационные технологии в домостроении, освоенные ГК «Рекон-СМК» за 20 лет работы на рынке РФ и СНГ / В.А. Шембаков // Жилищное строительство. – 2018. – № 3. – С. 36–43.
7. Пат. 2593832 РФ. Способ изготовления стеновых керамических изделий: № 2015121962/03: заявл. 08.06.2015: опубл. 10.08.2016 / Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. - 9 с.
8. Шевченко В.В. Инновационный способ получения теплоэффективных керамических материалов ячеистой структуры / В.В. Шевченко, А.Ю. Столбоушкин // «Инновации в строительстве – 2018»: материалы международной научно-практической конференции. – Брянск. – 2018. – С. 356-361.
9. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Введ. 25.06.2021. Москва: Минрегион России, 2020. 107 с.

¹Столбоушкин Андрей Юрьевич - д-р техн. наук, профессор архитектурно-строительного института Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк ул. Кирова д. 42, тел. 8-913-317-01-17, E-mail: stanyr@list.ru.

²Истерин Егор Валерьевич - аспирант архитектурно-строительного института Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк ул. Кирова д. 42, тел. 8-900-058-67-28, E-mail: Eisterin@gmail.com.

³Фомина Оксана Андреевна – канд. техн. наук, научный сотрудник ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук», г. Москва пр. Кривоарбатский д.12, тел.: 8-968-521-86-44, e-mail: soa2@mail.ru.

Содержание

Предисловие	3
Макридин Н.И., Максимова И.Н. О структурообразовании цементных композитов в присутствии пластифицирующих химических добавок	4
Акчурин Т.К., Гнедаш Е.Е., Стефаненко И.В. Жаростойкие бетоны с высокотемпературным наполнителем на основе минеральных отходов промышленности	18
Ананьев М.С., Закревская Л.В. Разработка технологии пеностеклокерамического заполнителя и свойства легкого самоуплотняющегося бетона на его основе	25
Баянов Д.С., Солонина В.А., Зимакова Г.А., Ашихмин О.В. Получение ячеистого бетона с оптимальной структурой	32
Белякова Е.А., Карташов А.А., Москвин Р.Н., Юрова В.С. Особенности процесса гидратации шлакощелочных материалов в зависимости от вида щелочных активизаторов	37
Бурханова Р.А., Чикова А.В., Лиховидова Д.Р., Акчурин Т.К. Модифицированные жаростойкие бетоны на шлаковых заполнителях	41
Викторова О.Л. Влияние вида заполнителя на формирование прочности мелкозернистого бетона на основе карбонатно-шлакового вяжущего	49
Глущенко Ю.А., Лазарев А.А., Маличенко В.Г. Практические аспекты управления качеством строительных изделий для обнаружения пожара	54
Джахметов А.А., Шингужиева А.Б. Оттаивание сезонно-мерзлых грунтов в зимних условиях Западно-Казахстанской области	59
Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Антипова Ю.В. Разработка составов сверхвысокопрочных порошковых архитектурно-декоративных бетонов	65
Журавлева А.А., Степанова М.П. Анализ конкурентоспособности силикатного кирпича, выпускаемого на предприятии ООО «Техносервис»	70
Зайцева М.В. Влияние наполнителя на прочность известковых композитов	76

Качко М.С., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Шлаки металлургического производства как активные минеральные добавки цементных систем	82
Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Сарабьева Ю.А. Использование отсева дробления бетонного лома в качестве основы органо-минерального модификатора для высокофункциональных бетонов	89
Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Лукшина Е.Д. Исследование силикатного бетона на основе известково-кремнеземистого вяжущего модифицированного суглинком	93
Лавров И.Ю. Перспективы применения цементных бетонов для изготовления базовых деталей станков	98
Макарова А.В., Мирюк О.А. Магнезиальные бетоны с различным заполнителем	106
Маркова Е.Д., Мокрова М.В. Технологические аспекты получения газогипса с применением алюминиевой пудры	112
Махнычев Е.В., Ананьев М.С., Раевская Д.А., Закревская Л.В. Исследование аутогенной усадки на ранних сроках твердения реакционно-порошковой матрицы бетона	119
Минок В.В., Хуснутдинов Д.А., Морозова Н.Н. Влияние фибры на свойства смеси на основе гипсоцементнопуццоланового вяжущего для послойного формования	127
Морозова Н.Н., Назипов Р.Р., Лаврентьева А.А. Мелкозернистые бетоны на песках различной природы	133
Пантелеев Д.А., Дронишинец М.В., Радтке М.Я. О методах оценки прочности сцепления фибры с матрицей	139
Разумова А.А., Жегера К.В. Статистическое управление качеством продукции при производстве свай железобетонных на ОАО «ЖБК-1»	144
Романенко И.И., Романенко М.И. Исследования свойств древесины лиственных пород после физико-механического воздействия	151
Столбоушкин А.Ю., Истерин Е.В., Фомина О.А. К вопросу применения керамических стеновых материалов матричной структуры в однослойных наружных стенах зданий	155

Научное издание

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы XVI Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Калашникова

Научные редакторы
Верстка и дизайн

М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина
Н.А. Ерошкина

Подписано в печать 25.11.2021 Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 12 Уч.-изд. л. 11,16. Тираж 80 экз.

Заказ № 165.

Издательство ПГУАС.
Отпечатано в цехе оперативной полиграфии ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28.