

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТОВ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПО ВЯЖУЩИМ, КЕРАМИКЕ, СТЕКЛУ И ЭМАЛЯМ

Том 26, № 2

Апрель – Июнь, 2019

## Статья 1

**Свентская Н. В., Потапова Е. С.**

**Цеолитсодержащие биокомпозиционные материалы для костно-пластической хирургии**

*Свентская Н. В.* (s.w.natali@mail.ru), канд. техн. наук, *Потапова Е. С.*, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

**Ключевые слова:** биокомпозиционные материалы, гидроксипатит, цеолит, технология получения, пористость

## Аннотация

Отработана технология получения биокомпозиционных материалов на основе нейтральных и высокощелочных матричных стекол и наполнителей – кальций дефицитного гидроксипатита и микропористого цеолита. Полученные композиционные материалы обладают регулируемой поровой структурой и регулируемым размером пор. Введение цеолита в состав композиционных материалов приводит к образованию в материале открытых пор малых размеров и повышает его проницаемость. Установлено, что параметрами регулирования поровой структуры полученных материалов являются: введение газообразователя, изменение соотношения доли стекла в композиции к доле наполнителя, использование наполнителей большего гранулометрического размера. Оптимизированы составы композиционных материалов, приближающихся по уровню свойств к трабекулярной костной ткани.

## Литература

1. Пат. 2479319 Российская Федерация, МПК А61L27/42, А61L27/12, А61F2/28. Биокерамика силикокальцийфосфатная («БКС») и способ ее изготовления / Шаповалов А. Б., Солунин В. Л., Гурский Б. Г., Власова Е. Б., Шуйский В. И., Никитин А. А., Кедров А. В., Царев В. Н. – № 2011146171/15; заявл. 15.11.2011; опубл. 20.04.2013. Бюл. No 11.
2. Матрюкова Д. Л., Белецкий Б. И., Полухина О. В. Стеклокерамика с регулируемой поровой структурой для медицины // Стекло и керамика. – 2007. – № 4. – С. 23–26.
3. Carlisle E. Si: a possible factor in bone calcification // Science. – 1970. – Vol. 167. – P. 279–280.
4. Hench L. The story of Bioglass // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2006. – Vol. 17. – P. 967–978.
5. Andersson O. H., Karlsson K. H. On the bioactivity of silicate glass // J. Non-Crystalline Solids. – 1991. – Vol. 129. – P. 145–151.
6. Свентская Н. В., Белецкий Б. И., Лукина Ю. С. Регулирование поровой структуры высокощелочных кальцийсиликофосфатных биокомпозиционных материалов для костно-пластической хирургии // Техника и технология силикатов. – 2017. – Т. 24. – № 4. – С. 17–23.
7. Sanchez-Robles M., Gamero-Melo P., Cortes-Hernandez D. In vitro hydroxiapatite formation on the Ca doped surface of ZSM-5 [Ga] type zeolite // Ceramics International. – 2013. – 39. – P. 7387–7390.
8. Firling C., Evans G., Wakley G., Sibonga J., Turner R. Lack of an effect of sodium zeolite A on rat tibia histomorphometry // Journal of Bone and Mineral Research. – 1996. – Vol. 11. – Iss. 2. – P. 254–263.

## Статья 2

**Рахимбаев Ш. М., Аниканова Т. В.**

**Перспективные пути совершенствования силикатных вяжущих материалов**

*Рахимбаев Ш. М.* (i\_rahim@mail.ru), д-р техн. наук, проф., *Аниканова Т. В.* (anik.tv@yandex.ru), канд. техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

**Ключевые слова:** возобновляемое сырье, минеральные добавки, ускорители твердения цементных систем

## Аннотация

Рассмотрены пути повышения экологичности и снижения материалоемкости производства строительных материалов путем более широкого применения газонаполненных систем, а также использования возобновляемого сырья и различных отходов. Из минеральных добавок

перспективны сульфоалюминат кальция и алунит. Изложены принципы подбора неорганических ускорителей твердения портландцементов. Наибольший прирост прочности камня дает применение понизителей вязкости, снижающие водопотребность цементных систем, но анионные добавки (С-3, Melflux) разжижают лишь цементное тесто, мало действуя на заполнитель. Предложены принципы поиска новых добавок. Для широкого вовлечения гипсовых отходов в производство строительных материалов нужны добавки, связывающие соли фтора, бора и лимонной кислоты.

## Литература

1. Рамачандран В. С., Фельдман Р. Ф., Бодуэн Д. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение. М.: Стройиздат, 1986. 278 с.
2. Соломатов В. И. Развитие полиструктурной теории композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1985. – № 8. – С. 58–64.
3. Рагозина Т. А. Влияние  $\text{CaSO}_4$  на фазовый состав силикатов и алюминатов кальция при обжиге // Узбекский химический журнал. – 1952. № 2. – С. 23–24.
4. Рагозина Т. А. О взаимодействии трехкальциевого алюмината с солями при высоких температурах // Узбекский химический журнал. – 1965. – № 2. – С. 80.
5. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 426с.
6. Глекель Ф. Л. Специальные цементы на основе портландцемента и алунитов. Ташкент: Изд-во «Фан», 1969. 80 с.
7. Рахимбаев Ш. М., Половнева А. В., Аниканова Т. В. Влияние новых добавок электролитов на свойства мелкозернистого бетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. № 11–12 (683–684). – С. 12–17.
8. Рахимбаев Ш. М., Толыпина Н. М., Хахалева Е.Н. Повышение эффективности мелкозернистых бетонов на основе теории электроповерхностных явлений. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 87 с.
9. Schneider L. T. Экономия энергии в цементопромышленных установках // World cem. 1985. V. 16. № 2. P. 42–50.
10. Череватова А. В., Гащенко Э. О. Строительные некомпозиты на основе ВКВС кремнеземсодержащего сырья // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2007. № 1. – С. 25–30.
11. Beretka J. Гидратация полуводного сульфата кальция в присутствии фосфорной кислоты и извести. Фосфогипс. // J. Chem. Tech. Biotechnol. 1986. V. 36. № 11. P. 512–518.
12. Погромский А. С., Духовный Г. С., Аниканова Т. В., Рахимбаев Ш. М. Применение электросталеплавильных шлаков в конструкциях нежестких дорожных одежд. Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 100 с.

## Статья 3

**Медведева Г. А., Мударисова Л. Р.**

**Получение современных стеновых материалов с повышенными эксплуатационными свойствами на основе отходов теплоэнергетики**

*Медведева Г. А. (medvedevaga79@mail.ru), д-р техн. наук, Мударисова Л. Р., студентка, Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы; сера; серные бетоны; теплоизоляционные материалы

## Аннотация

Применение вторичных продуктов промышленности очень актуально, поскольку предоставляет производству богатые источники дешевого и, часто, уже подготовленного сырья; уменьшают степень загрязнения окружающей среды. Важной задачей государства является последовательное увеличение уровня применения вторичных продуктов промышленности. Основной целью данного исследования является получение цементных бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами из отходов нефтехимии и теплоэнергетики. Исследованы образцы четырех разных составов с различным водоцементным соотношением (В/Ц) и различным составом наполнителя ЗШО. Оптимизацию составов и исследование свойств композиционных материалов проводили с использованием следующих физико-химических методов: определение прочности, плотности, водостойкости и теплопроводности. Методом пропитки в серном расплаве бетона, на поверхности образуется защитный водостойкий и упрочняющий слой. При этом улучшаются прочностные, теплоизоляционные и водостойкие свойства материала, что, в свою очередь, расширяет область применения полученных материалов, к примеру, для теплоизоляции в наружных стенах.

## Литература

1. Данилович И. Ю., Сканава Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: Учеб. пособие для СПТУ. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.

2. Юсупова А. А., Ахметова Р. Т. Повышение водостойких свойств композиционных материалов пропиткой в модифицированном серном расплаве // Вестник Казанского технологического университета. 2011. – № 17. – С. 102-106.
3. Медведева Г. А., Ахметова Р. Т. Технология утилизации техногенных золошлаковых и серных отходов при изготовлении силикатных бетонов повышенной прочности // Известия КГАСУ. – 2014. – № 3 (29). – С. 167.
4. Ахметова Р. Т., Медведева Г. А. Технология цементных бетонов с использованием отходов теплоэнергетики в присутствии активатора хлорида фосфора (III) // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 24. – С. 40-44.
5. Павленко С. И. Бетоны на основе золы и шлака ТЭС и комплексное их использование в строительстве. Сб. доклад. Всесоюзной научно-технической конференции. – Новокузнецк, 1990. – Т. 1 – С. 3-19.
6. Ильичев В. А., Карпенко Н. И., Ярмаковский В. Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. – 2011 – № 4. – С. 36-40.
7. ГОСТ 25818-91. Зола уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
8. ГОСТ 25592-91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.
9. Рекомендации по применению золы, шлаков и золошлаковых смесей тепловых электростанций в тяжелом бетоне и строительных растворах. – М.: Стройиздат, 1996. – 30 с.
10. Королев Е. В., Прошин А. П., Ерофеев В. Т. Строительные материалы на основе серы. – Пенза: ПГУАС; Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 372 с.
11. Дворкин Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебно-справочное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.

#### Статья 4

**Ларсен О. А., Дмитриев Н. С., Наруть В. В., Швецова В. А.**

**Повышение эффективности бетонов с использованием рециклингового заполнителя**

*Ларсен О. А.* (larsen.oksana@mail.ru), канд. техн. наук, *Дмитриев Н. С.*, магистрант, *Наруть В. В.*, аспирант, *Швецова В. А.*, бакалавр, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

**Ключевые слова:** бетонная смесь, двухступенчатое перемешивание, период формирования структуры, рециклинговый заполнитель, водопотребность, контактная зона, зола-унос, гидроксид кальция, нормальная густота, ультразвуковой метод

#### Аннотация

В статье рассматривается вопрос, связанный с улучшением технологических свойств бетонных смесей, содержащих в своем составе вторичный крупный заполнитель из бетонного лома. Бетоны, изготовленные на крупных заполнителях из бетонного лома, обладают более низкими показателями прочности. Целью данного исследования является повышение технологических свойств бетонных смесей путем использования технологии двухступенчатого перемешивания. Исследование свойств крупного заполнителя из бетонного лома производилось на основании положений структурно-технологической теории бетона. С помощью ультразвукового метода определены структурные характеристики бетонных смесей. Определены прочностные показатели изготовленных образцов из бетонных смесей с контрольным заполнителем и заполнителем, подвергнутым специальной обработке. Применение специальных методов обработки вторичного заполнителя из бетонного лома способствует устранению негативного влияния его структурных особенностей, повышению технологических и прочностных свойств. Установлено увеличение прочности в возрасте 28 суток на 16 % с достижением повышенной сохраняемости смеси, что доказывает целесообразность применения метода двухступенчатого перемешивания при приготовлении бетонных смесей на вторичных заполнителях из бетонного лома.

#### Литература

1. Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. М.: 2013. 204 с.
2. Алимов Л. А., Воронин В. В., Коровяков В. Ф., Ларсен О. А., Гальцева Н. А. Оценка трещиностойкости бетонов. – М.: БСТ, 2018. – № 9. – С. 55-56.
3. Alimov L., Voronin V., Larsen O., Korovyakov V. Effect of the structural characteristics on frost resistance of concrete // Journal of Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. P. 601-607.
4. Баженов Ю. М., Воронин В. В., Алимов Л. А., Соловьев В. Н., Ларсен О. А. Эффективные малоцебеночные бетоны // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9. – № 6. – С. 50.

5. Алимов Л. А., Стенечкина К. С., Воронин В. В., Ларсен О. А. Влияние температурно-влажностных условий на формирование структуры бетонов с наномодификаторами // Научно-практический журнал «Научное обозрение». № 10-1. - М. - 2015. - С. 122-125.
6. Головин Н. Г., Алимов Л. А., Воронин В. В. Проблема утилизации железобетона и поиск эффективных путей ее решения // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». - М. - 2011. - № 2. - С. 65-71.
7. Балакшин А. С. Свойства малощебеночного бетона с органоминеральной добавкой на основе отсеков дробления бетонного лома // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». - М. - 2011. - № 1. - С. 253-258.
8. Koenders E., Pepe M., Martinelli E. Compressive strength and hydration processes of concrete with recycled aggregates // Journal of Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 56. P. 203-212.
9. Naruts V., Larsen O., Bakhrakh A. SCC with activated recycled concrete fines//MATEC Web Conf. 2018. P. 239. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901024>.
10. Beauchemin S., Fournier D., Duchesne J. Evaluation of the concrete prisms test method for assessing the potential alkali-aggregate reactivity of recycled concrete aggregates // Journal of Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 104. P. 25-36.
11. Jianzhuang Xiao, Long Li, Luming Shen, Chi Sun Poon. Compressive behavior of recycled aggregate concrete under impact loading // Journal of Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 71. P. 46-55.
12. Leemann, A., Loser, R. Carbonation resistance of recycled aggregate concrete // Journal of Construction and Building Materials. 2019. Vol. 204. P. 335-341.
13. Pacheco J., de Brito J., Chastre C., Evangelista L. Experimental investigation on the variability of the main mechanical properties of concrete produced with coarse recycled concrete aggregates // Journal of Construction and Building Materials. 2019. Vol. 201. - P. 110-120.
14. Florea M.V.A. Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use // Journal of Cement and Concrete Research. 2013. Vol 52. P. 11-21.
15. Surya M., Kanta Rao V.V.L., Lakshmy P. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure // Journal of Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 104. P. 1158-1167.
16. Kou S. C., Poon C. S. Properties of concrete prepared with PVA-impregnated re-cycled concrete aggregates // Journal of Cement and Concrete Composites. 2010. Vol. 32. P. 649-654.
17. Señas L., Priano C., Marfil S. Influence of recycled aggregates on properties of self-consolidating concretes // Journal of Construction and Building Materials. 2016. Vol. 113. P. 498-505.
18. Tahar Z. A., Ngo T. T., Kadri E. H., Bouvet A. Effect of cement and admixture on the utilization of recycled aggregates in concrete // Journal of Construction and Building Materials. 2017. Vol. 149. P. 91-102.
19. Thomas C., Setién J., Polanco J. A., Cimentada A. I. Influence of curing conditions on recycled aggregate concrete // Journal of Construction and Building Materials. 2018. Vol. 172. P. 618-625.
20. Abreu V., Evangelista L., Brito J. The effect of multi-recycling on the mechanical performance of coarse recycled aggregates concrete // Journal of Construction and Building Materials. 2018. Vol. 188. - P. 480-489.
21. Thomas J., Thaickavil N. N., Wilson P. M. Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 19. P. 349-365.

## Статья 5

**Самченко С. В., Егоров Е. С.**

### **Влияние ультрадисперсной добавки из предварительно гидратированного цемента на свойства цементной пасты**

*Самченко С. В. (samchenko@list.ru), д-р техн. наук, проф., Егоров Е. С. (Egoroves\_ystu@mail.ru), аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»*

**Ключевые слова:** наномодификация, гидратация цемента, зародышеобразование, регулирование свойств материалов, добавка в бетоны

## Аннотация

Изучено влияние предварительно гидратированных цементных суспензий на свойства затвердевших цементных паст. Предварительная гидратация цемента происходила в течение 2, 4-х и 6-ти часов и принудительном перемешивании цементной суспензии. Изучено изменение дисперсности частиц в результате гидратации. Показано, что при предварительной гидратации цемента в результате зародышеобразования увеличивается дисперсность частиц, что обуславливает увеличение зародышеобразования гидратных фаз. Определено влияние предварительно гидратированных цементных суспензий на свойства твердеющих цементных паст. Показано, что введение предварительно гидратированной добавки приводит к повышению водопотребности цементного теста на 12, 17 и 14% при продолжительности предварительной гидратации 2, 4 и 6 часов соответственно, и к сокращению сроков схватывания за счет образования в цементных пастах дополнительных

зародышей кристаллогидратов, что ускоряет процессы структурообразования цементных паст. Скорость набора прочности твердеющих цементных паст с добавкой 10% предварительно гидратированной цементной суспензии растёт с увеличением продолжительности предварительной гидратации добавки. Полученные результаты позволяют рекомендовать добавку предварительно гидратированного цемента в виде цементной суспензии в качестве цементного геля для наномодифицирования бетона.

## Литература

1. Лесовик В. С., Строкова В. В. Нанотехнологии в производстве цемента. Обзор направлений исследования и перспективы развития // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 93-101.
2. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А. Особенности влияния углеродных наночастиц на уровни структуры дорожных цементных бетонов // Технологии бетонов. 2014. № 8 (97). С. 13-17.
3. Самченко С. В., Кривобородов Ю. Р. Влияние дисперсности специального цемента на структуру твердеющего камня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2003. № 5-2. С. 238-240.
4. Гусев Б. В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве // нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2009. Т. 1. № 2. С. 5-9.
5. Красникова Н. М., Морозов Н. М., Казанцева А. С. О возможности использования шлама переработки бетонных отходов // известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1 (31). С. 121-126.
6. Пшеничный Г. Н., Галкин Ю. Ю. О механизме действия высокодисперсных минеральных добавок // Технологии бетонов. 2014. № 11. С. 41-45.
7. Birgisson B., Mukhopadhyay A. K., Geary G., Khan M., Sobolev K. Nanotechnology in A Concrete Materials Synopsis // TRB Transportation Research Circular. December 2012. No. E-C170.
8. Богуславский Л. И. Методы получения наночастиц и их размерно-чувствительные физические параметры // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 5. С. 3-13.
9. Cuesta A., Zea-Garcia J. D., Londono-Zuluaga D., De la Torre A. G., Sanracruz I., Vallcorba O., Dapiaggi M., Sanfelix S. G., Aranda M.A.G. Multiscale understanding of tricalcium silicate hydration reactions // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. No. 8544.
10. Kumar A., Walder B.J., Mohamed A.K., Hofsetter A., Srinivasan B., Rossini A.J., Scrivener K., Emsley L., Bowen P. The Atomic-Level Structure of Cementitious Calcium Silicate Hydrate // The Journal of Physical Chemistry. 2017. No. 121 (32). Pp. 17188-17196.
11. Самченко С. В. Формирование и генезис структуры цементного камня/ Монография – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 284 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49874>.
12. Лотов В. А. О взаимодействии частиц цемента с водой или вариант механизма процессов гидратации и твердения цемента // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 1. С. 99-110.
13. E. Gallucci, P. Mathur, K. L. Scrivener., Microstructural development of early age hydration shells around cement grains // Cement and Concrete Research. 2010. No. 40. Pp. 4-13.
14. Bullard J. W., Jennings H. M., Livingston R. A., Nonat A., Scherer G. W., Schweitzer J. S., Scrivener K.L., Thomas J.J. Mechanisms of cement hydration // Cement and Concrete Research. 2011. No. 41. Pp. 1208–1223.
15. Кузнецова Т. В., Самченко С. В. Микроскопия материалов цементного производства. М.: МИКХиС, 2007. – 304 с.
16. Самченко С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов. РХТУ им. Д. И. Менделеева. – М., 2005, 154 с.
17. Бутт Ю. М., Окорков С. Д., Сычев М. М., Тимашев В. В. Технология вяжущих веществ. Москва: Высшая школа, 1965.
18. Хорева Е. А., Талдонова Н. В., Прищепа И. А., Шепеленко Т. С. Исследование процессов структурообразования цементного камня // Перспективные материалы в технике и строительстве. 2015. С. 390-392.
19. Scrivener K. L., Juilland P., Monteiro P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement // Cement and Concrete Research. 2015. No. 78. Pp. 38–56.
20. Scrivener K. L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future // Cement and Concrete Research. 2011. No. 41. Pp. 651–665.

## Статья 6

**Бикмухаметов А. Р., Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Потапова Л. И.**

**Активированные щелочами цементы на основе мергеля с добавкой известняка**

*Бикмухаметов А. Р.* (alfbot@mail.ru), аспирант, *Рахимов Р. З.*, д-р техн. наук, проф., *Рахимова Н. Р.* (rahimova.07@list.ru), д-р техн. наук, проф., *Потапова Л. И.* (ludmilapo@mail.ru), канд. хим. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

**Ключевые слова:** каолинит, мергель, щелочь, механические свойства, продукты реакции

## Аннотация

Расширение сырьевой базы – одно из необходимых условий дальнейшего развития неорганических вяжущих. Настоящая работа посвящена исследованию возможности использования мергеля в качестве алюмосиликатного компонента и известняка в качестве минеральной добавки для получения активированного щелочами цемента. Определена оптимальная температура термообработки мергеля, обеспечивающая его реакционную способность. Исследованы механические свойства, микроструктура и продукты твердения образцов камня на основе разработанного вяжущего.

## Литература

1. Ma, C.-K., Awang, A. Z., Omar, W. (2018). Structural and material performance of geopolymer concrete: A review // *Constr. Build. Mater.*, 186(10), 90-102.
2. Yang, K., Yang, C., Zhang, J., Pan, Q., Yu, L., Bai, Y. (2018). First structural use of site-cast, alkali-activated slag concrete in China // *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 171(10), 800-809.
3. Mehta A., Siddique R., An overview of geopolymers derived from industrial by-products // *Constr. Build. Mater.* 127 (2016) 183-198.
4. Provis J. L., Bernal S. A., Milestones in the analysis of alkali-activated binders // *J. Sust. Cem.-Based Mater.* 2 (2014) 74-84.
5. Lothenbach B., Scrivener K. L., Hooton R. D., Supplementary cementitious materials // *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) P. 1244-1256.
6. Ludwig H. M., CO<sub>2</sub>-arme Zemente für nachhaltige Betone. Proceedings of 19. Internationale Baustofftagung Ibausil (H.B. Fischer, C. Boden, and M. Neugebauer (eds)), F.A. Finger-Institute, Weimar, Germany, 7-32, 2015.
7. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Influence of the calcinated light loam on the properties of the hardened Portland cement paste, *Roman. J. Mater.* 4 (2017) 484-490.
8. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Properties of Portland cement paste enriched with addition of calcined marl, *J. Build. Eng.* 11 (2017) 30-36.
9. Aldabsheh I., Houry H., Wastiels J., Rahier H. Dissolution behavior of Jordanian clay-rich materials in alkaline solutions for alkali activation purpose. Part I, *Appl. Clay Sci.* 115 (2015) 238-247.
10. Boussem S., Sghaier D., Chaabani F., Jamoussi B., Messaoud S. B., Bennour A. The rheological, mineralogical and chemical characteristic of the original and the Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-activated Tunisian swelling clay (Aleg Formation) and their utilization as drilling mud, *Appl. Clay Sci.* 118 (2015) 344-353.
11. Dietel J., Warr L. N., Bertmer M., Steudel A., Grathoff G. H., Emmerich K. The importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay, *Appl. Clay Sci.* 139 (2017) 99-107.
12. González-García D. M., Téllez-Jurado L., Jiménez-Álvarez F. J., Balmori-Ramírez H., Structural study of geopolymers obtained from alkali-activated natural pozzolan feldspars, *Ceram. Int.* 43 (2017) 2606-2613.
13. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone, *Cem. Concr. Res.* 42(12) (2012) 1579-89.
14. Arora A., Sant G., Neithalath N. Ternary blends containing slag and interground/blended limestone: Hydration, strength, and pore structure, *Constr. Build. Mater.* 102(1) (2016) 113-24.
15. Avila-López U., Almanza-Robles J. M., Escalante-García J. I., Investigation of novel waste glass and limestone binders using statistical methods, *Constr. Build. Mater.* 82 (2015) 296-303.
16. Boonjaeng S., Chindaprasirt P., Pimraksa K., Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone, *Appl. Clay Sci.* 95 (2014) 357-64.
17. Chong L., Shi, C., Yang J., Jia H. Effect of limestone powder on the water stability magnesium phosphate cement-based materials. Proceedings of the 14th International Congress on the Chemistry of Cement, Beijing, China, 2015, 421.
18. Cwirzen A., Provis J. L., Penttala V., Habermehl-Cwirzen K. The effect of limestone on sodium hydroxide-activated metakaolin-based geopolymers, *Constr. Build. Mater.* 66 (2014) 53-62.
19. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Naumkina N. I., Khuzin A. F., Osin Y. N. Influence of limestone content, fineness, and composition on the properties and microstructure of alkali-activated slag cement, *Cem. Concr. Compos.* 72 (2016) 268-274.
20. Yip C. K., Provis J. L., Lukey G. C., Deventer J. S. J., Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers, *Cem. Concr. Compos.* 30(3) (2008) 979-85.
21. Aboulayt A., Riahi M., Ouazzani T.M., Hannache H., Gomina M., Moussa R. Properties of metakaolin based geopolymer incorporating calcium carbonate, *Adv. Powd. Tech.* 28 (2017) 2393-2401.
22. Qian J., Song M., Study on influence of limestone powder on the fresh and hardened properties of early age metakaolin based geopolymer, Proceedings of 1st International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Lausanne, 2015, 235-259.

23. Rashad A. M., Hassan A. A., Zeedan S. R., An investigation on alkali-activated Egyptian metakaolin pastes blended with quartz powder subjected to elevated temperatures, *Appl. Clay Sci.* 132–133 (2016) 366–376.
24. Tchakoute H. K., Rüscher C. H., Djobo J. N. Y., Kenne B. B. D., Njopwouo D. Influence of gibbsite and quartz in kaolin on the properties of metakaolin-based geopolymer cements, *Appl. Clay Sci.* 107 (2015) 188–194.
25. Wan Q., Rao F., Song S., Cholico-Gonzalez D. F., Ortiz N. L. Combination formation in the reinforcement of metakaolin geopolymers with quartz sand, *Cem. Concr. Compos.* 80 (2017) 115–122.
26. Alonso S., Palomo A. Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio, *Mater. Lett.* 47 (2001) 55–62.
27. Boonjaeng S., Chindaprasirt P., Pimraksa K., Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone, *Appl. Clay Sci.* 95 (2014) 357–364.
28. Guo X., Shi H. Metakaolin, fly ash- and calcium hydroxide-based geopolymers: effect of calcium on performance, *Adv. Cem. Res.*, 27(10) (2015) 559–566.
29. Yip C. K., Lukey G. C., Deventer S. Js., The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate gel at the early stage of alkaline activation, *Cem. Concr. Res.* 35(9) (2005) 1688–97.