

УДК 666.942.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-192-201

*А.Е. МЕСТНИКОВ¹, А.И. КУДЯКОВ², В.Н. РОЖИН¹,**¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,**²Томский государственный архитектурно-строительный университет,*

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ С ПРИРОДНЫМИ АКТИВНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Одним из эффективных и актуальных направлений энергосбережения в производстве портландцемента, получивших распространение во всем мире, является совместный помол портландцементного клинкера с вводимыми минеральными добавками в виде пуццолановых пород, зол и шлаков.

Основной целью исследования является научное обоснование возможности получения портландцемента стабильного качества путем совместного помола портландцементного клинкера с природными минеральными добавками с учетом условий размещения производства.

В качестве активной минеральной добавки к портландцементу изучены доступные речные (кварц-полевошпатовые) пески Ленского бассейна и многотоннажное сырье – цеолитсодержащие породы месторождения Хонгуруу. В исследованиях применялись стандартные методы испытаний вяжущих и бетонов на их основе, современный метод рентгенофазового анализа.

В статье приведены результаты определения активности изучаемых минеральных добавок к портландцементу. Исследованы основные свойства портландцемента из клинкера, гипсового камня и минеральных добавок применительно к организации производства портландцемента стабильного качества и изделий на его основе для ресурсного обеспечения объектов строительства в Северо-Восточной части Арктики и Севера России. Изучено влияние количества добавок и тонкости помола портландцемента из клинкера с цеолитсодержащей породой и кварц-полевошпатовым песком на нормальную плотность и сроки схватывания цементного теста, прочность стандартных образцов из цементного раствора.

Установлена возможность получения портландцемента типа ЦЕМ II/A-II 32,5Н и ЦЕМ II/A-II 42,5Н из привозного портландцементного клинкера и местных минеральных добавок при экономии 5–15 % портландцементного клинкера.

Ключевые слова: портландцементный клинкер; активные минеральные добавки; кварц-полевошпатовый песок; цеолитсодержащая порода; портландцемент; нормальная плотность; сроки схватывания; прочность на сжатие.

Для цитирования: Местников А.Е., Кудяков А.И., Рожин В.Н. Портландцемент с природными активными минеральными добавками // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 2. С. 192–201.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-192-201

*A.E. MESTNIKOV¹, A.I. KUDYAKOV², V.N. ROZHIN¹,**¹Ammosov North-Eastern Federal University,**²Tomsk State University of Architecture and Building*

PORTLAND CEMENT WITH NATURAL MINERAL ADDITIVES

One of the most effective developments of energy saving in the production of Portland cement used worldwide, is joint grinding of Portland cement clinker with injected mineral additives, such as pozzolanic rocks, ashes and slags.

The aim of this work is to substantiate the possibility of the quality cement production using joint grinding of Portland cement clinker with natural mineral additives with a view to the of production location.

River (quartz-feldspar) sands of the Lena basin and large-tonnage raw materials (zeolite-containing rocks of the Khonguruu deposit) are considered as mineral additives to Portland cement. The study uses both standard test methods and the X-ray phase analysis for binders and concretes.

The activity of the mineral additives to Portland cement is studied. The main properties of clinker, gypsum stone and mineral additives are studied to organize the production of quality Portland cement and products for the support of construction projects in the North-Eastern part of the Arctic and the North of Russia. The effect from additives and fineness of zeolite-containing clinker and quartz-feldspar sand is studied relative to the thickness and setting time of the cement paste and cement mortar strength.

It is shown that the types CEM II/A-P 32.5N and CEM II / A-P 42.5N Portland cement can be produced from imported Portland cement clinker and local mineral additives saving 5–15 % Portland cement clinker.

Keywords: portland cement; mineral additives; clinker; zeolite rock; quartz-feldspar sand; density; compressive strength.

For citation: Mestnikov A.E., Kudyakov A.I., Rozhin V.N. Portlandsement s prirodnyimi aktivnymi mineral'nymi dobavkami [Portland cement with natural mineral additives]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo univertsiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 2. Pp. 192–201. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-192-201

Введение

Для ресурсного обеспечения объектов строительства зданий и сооружений гражданского и военного назначения, морских причалов, платформ для добычи нефти и газа Северо-Якутской и Чукотской опорных зон Арктической зоны России, к которой относятся Республика Саха (Якутия) и Чукотский автономный округ, предусматривается развитие промышленности строительных материалов с максимальным использованием местного сырья [1, 2]. Основным материалом по назначению и объему использования для строительства зданий и сооружений является конструкционный и конструкционно-теплоизоляционный цементный бетон [3–5]. Высокая прочность и долговечность бетона, а также надежность в эксплуатации конструкций и зданий в целом зависят от качества используемого портландцемента. Обеспечение высокого и стабильного качества портландцемента, доставляемого в отдаленные от промышленных центров районы Арктики и Севера, является трудновыполнимой задачей из-за существенной потери его активности при длительном транспортировании и хранении. Установлено, что после 12 месяцев хранения портландцемента во влажных атмосферных условиях (например, морского климата Арктики) активность снижается на 68 %. Прочность же образцов из цемента, приготовленного из портландцементного клинкера (далее клинкер), хранившегося в тех же условиях, снижается на 26 % [6].

Научное обоснование возможности и целесообразности изготовления портландцемента из привозного портландцементного клинкера и на его основе строительных материалов широкой номенклатуры с применением местных минерально-сырьевых ресурсов для размещения производства в районе сосредоточенного строительства в условиях Арктики и Севера России является

актуальной задачей. Таким образом, можно развивать и реализовать ресурсо- и энергосбережение в производстве портландцемента и изделий на его основе в труднодоступных и удаленных объектах строительства [7–12].

Впервые научное обоснование технологических процессов изготовления цементных твердеющих композиций путем совместного помола портландцементного клинкера с природными минеральными добавками и отходами промышленности для закладки горных выработок в горнодобывающей отрасли в условиях Арктики и Севера выполнено А.И. Кудяковым (внедрение на Норильском ГМК в 1972–1975 гг.) и А.Н. Монтяновой (ЯкутНИИпроалмаз, рудник «Мир» АК «АЛРОСА» в 1982–2008 гг.), что повысило эффективность добычи полиметаллических руд и алмазов [13, 14]. По такому же принципу были созданы малоклинкерные наноцементы с кварцевым наполнителем и высокопрочные бетоны на их основе (М.Я. Бикбау, ОАО «Московский ИМЭТ» в 2006–2009 гг.), привлекательные для труднодоступных районов Арктики и Севера, но обладающие высокой стоимостью [14–16].

По результатам геолого-разведочных исследований нерудного сырья в Арктической зоне Республики Саха (Якутия) установлены большие запасы речных кварц-полевошпатовых песков (дельты 6 крупнейших рек – Лены, Колымы, Индигирки, Яны, Анабара и Оленек) и цеолитсодержащих горных пород. Кварц-полевошпатовые пески применяются, в основном, в качестве мелкого заполнителя в бетонах, при устройстве оснований зданий, сооружений и автомобильных дорог. Возможность использования песка Ленского бассейна в производстве ячеистого бетона автоклавного твердения обоснована в работе А.Е. Местникова [17].

На основе имеющихся научных данных о высоком содержании аморфной фазы кремнезема в песках бассейна рек Лены и Вилюй было высказано предположение о возможности их использования в качестве активной минеральной добавки при изготовлении цементных строительных композиций. О влиянии кварцсодержащих горных пород на состояние жидкой фазы и структурообразование цементного камня в строительных композициях указывалось ранее в работах [8, 9, 12]. Аморфные же модификации кремнезема, стекловидный кремнезем или кремнезем в соединениях (силикаты, алюмосиликаты, гидросиликаты и др.) обладают значительно большей активностью, чем кварц [18, 19].

Особое внимание в балансе минерального сырья Якутии, как потенциальных добавок при производстве цемента, привлекают цеолитсодержащие породы вулканического происхождения месторождения Хонгуруу. На их основе сотрудниками ЯкутНИИпроалмаз [12] были получены и использованы сульфатостойкие закладочные растворы. Экспериментальные исследования по разработке составов и технологии изготовления цементов на основе портландцементного клинкера и минеральных добавок (кварц-полевошпатовых песков и цеолитсодержащих пород) не проводились.

Цель исследования – разработать научно обоснованные составы, технологические приемы и изучить основные свойства портландцемента, изготовленного совместным помолом портландцементного клинкера с природными минеральными добавками Арктики и Севера.

Материалы и методы

При проведении исследований применялись:

– портландцементный клинкер АО ПО «Якутцемент». Минералогический состав клинкера, % по массе: C_3S – 62–65; C_2S – 10–13; C_3A – 6–7 и C_4AF – 10–13. Химический состав клинкера, % по массе: CaO – 66,0; SiO_2 – 19,0; Fe_2O_3 – 3,9; Al_2O_3 – 3,7; MgO – 2,6; K_2O – 1,4; Na_2O – 1,2; SO_3 – 0,7. Используемый портландцементный клинкер по количеству оксида магния (MgO), отношению оксида кальция к оксиду кремния по массе (CaO/ SiO_2) и суммарному содержанию алита (C_3S) и белита (C_2S) удовлетворяет требованиям ГОСТ 31108–2016 для производства цементов;

– кварц-полевошпатовый песок (далее песок) участка № 7 Ленского бассейна (11 км восточнее пос. Тикси). Химический состав, % по массе: SiO_2 – 77,3; Al_2O_3 – 11,0; Na_2O – 3,1; K_2O – 4,0; Fe_2O_3 – 2,9; CaO – 0,9; TiO_2 – 0,2; MgO – 0,29; P_2O_5 – 0,13. Минералогический состав песка, % по массе: кварц – 52,1, альбит – 20,5; ортоклаз – 27,3 (рис. 1, а);

– цеолитсодержащая порода (далее цеолит) месторождения Хонгуруу (вблизи пос. Сунтар). Химический состав, % по массе: SiO_2 – 73,8; Al_2O_3 – 13,2; Fe_2O_3 – 0,87; CaO – 2,7; MgO – 2,14; Na_2O – 6,16; TiO_2 – 0,2.

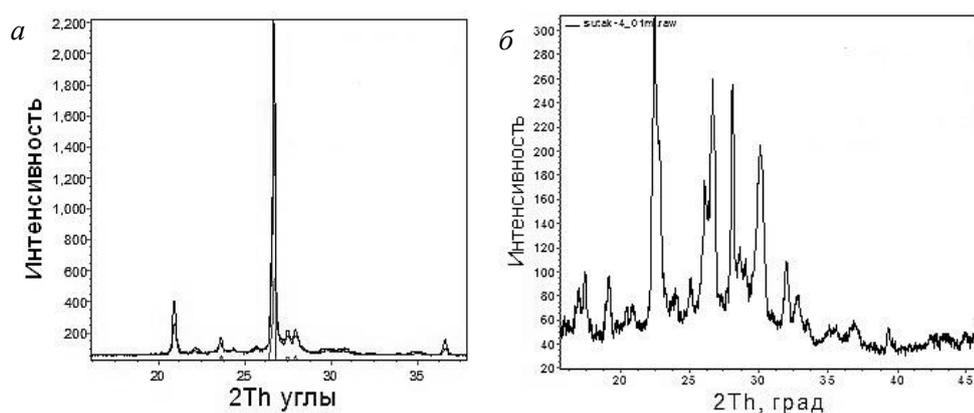


Рис. 1. Рентгенограмма кварц-полевошпатового песка (а) и цеолита (б)¹

Минералогический состав цеолита, % по массе: кварц – 12,1; клиноптилолит – 60,4; гейландит – 27,4 (рис. 1, б). Цеолит содержит небольшое количество глинистых примесей, слюды и песка, относится к клиноптилолитовому типу минерального сырья.

В качестве регулятора схватывания цемента из клинкера применялся гипсовый камень Олёкминского месторождения (ГОСТ 4013–82). Содержание $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – 80,8 %.

Предварительное дробление клинкера, цеолита и гипсового камня осуществлялось в лаборатории щековой дробилкой RETSCH BB51. Для совмест-

¹ Испытания проведены в лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Севера СО РАН.

ного помола клинкера и минеральных добавок использовалась планетарная шаровая мельница Retsch PM-400.

Физико-механические характеристики цемента определялись в соответствии с ГОСТ 30744–2001. Значения удельной поверхности получены на приборе ПСХ-11 (SP) по методу газопроницаемости. Определение активности минеральных добавок проводилось по ГОСТ 25094–2015. При определении прочностных показателей цемента с минеральными добавками испытания цементно-песчаных образцов проводили на аттестованном гидравлическом прессе ИП-1250М-авто. Рентгенофазовые исследования выполнены на дифрактометре D8 Discover with GADDS.

Результаты исследований

Для установления возможности применения цеолита и песка в качестве активной минеральной добавки в производстве цемента были проведены стандартные испытания согласно ГОСТ 25094–2015. Изготавливались растворные образцы-балочки с использованием портландцемента с вышеуказанными минеральными добавками и стандартного полифракционного песка по ГОСТ 6139–2003.

В результате статистической оценки значимости отличий прочности на сжатие образцов с добавкой цеолита или песка и образцов со стандартным полифракционным песком был рассчитан критерий Стьюдента t . Значение t -критерия у образцов с добавкой песка равно 15,24, а с добавкой цеолита – 15,53. Значения t -критерия выше 15,0, поэтому добавка из цеолита и кварц-полевошпатового песка является активной и может быть использована для производства цементов.

Было исследовано влияние содержания минеральных добавок и удельной поверхности цемента на основе портландцементного клинкера, гипсового камня, добавок из цеолита или песка на свойства цементного теста. При проведении исследований содержание минеральных добавок изменялось от 5 до 15 %, а гипса – 3 % от массы цемента. Для сравнения были изучены также свойства контрольных образцов бездобавочного портландцемента (рис. 2–5). Использовались следующие составы цемента, % по массе:

- 1) клинкер – 92, гипс – 3, песок или цеолит – 5;
- 2) клинкер – 87, гипс – 3, песок или цеолит – 10;
- 3) клинкер – 82, гипс – 3, песок или цеолит – 15.

Контрольный состав: клинкер – 97, гипс – 3.

В цементах с добавкой песка, измельченных до стандартной (заводской) удельной поверхности (315–350 м²/кг), установлено незначительное повышение нормальной густоты теста (0,6–0,7 %). Содержание песка существенно влияет на нормальную густоту цемента. При увеличении удельной поверхности на 15–20 м²/кг значения нормальной густоты увеличиваются в среднем на 0,1–0,3 %. Максимальное значение нормальной густоты (28,1 %) достигается при содержании добавки 10 % от массы сухой смеси и удельной поверхности 415 м²/кг.

В цементах с добавкой цеолита при увеличении удельной поверхности на 15–20 м²/кг значение нормальной густоты цемента повышается на 0,1–0,4 %. Максимальное значение нормальной густоты (28,7 %) достигается при содер-

жании минеральной добавки 15 % от массы сухой смеси при удельной поверхности 415 м²/кг. По сравнению с контрольными образцами, при стандартной удельной поверхности 315–350 м²/кг у всех составов цементов наблюдаются более высокие значения нормальной плотности (рис. 2).

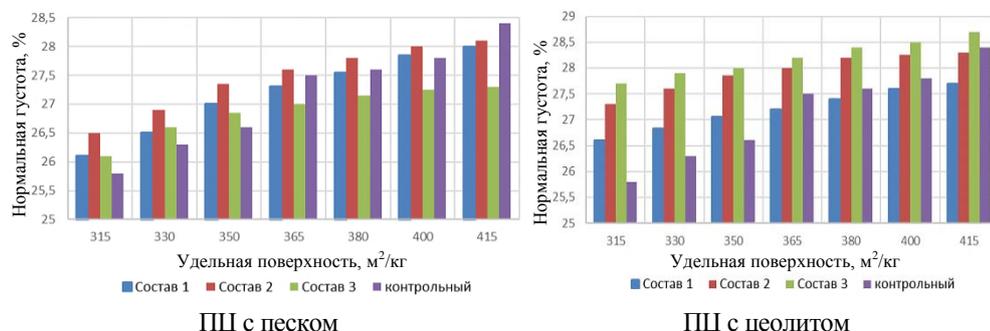


Рис. 2. Влияние удельной поверхности и содержания минеральной добавки на нормальную плотность цементного теста

По результатам анализа влияния удельной поверхности на сроки схватывания цементного теста установлено, что у цемента с песком при содержании добавки 5 % и удельной поверхности от 315 до 415 м²/кг начало и конец схватывания практически не изменяются по сравнению с контрольным образцом. Для цементов с содержанием песка 10 и 15 % от массы цемента с увеличением удельной поверхности время начала схватывания сокращается на 25–27 мин, а время конца схватывания – на 19–23 мин (рис. 3).

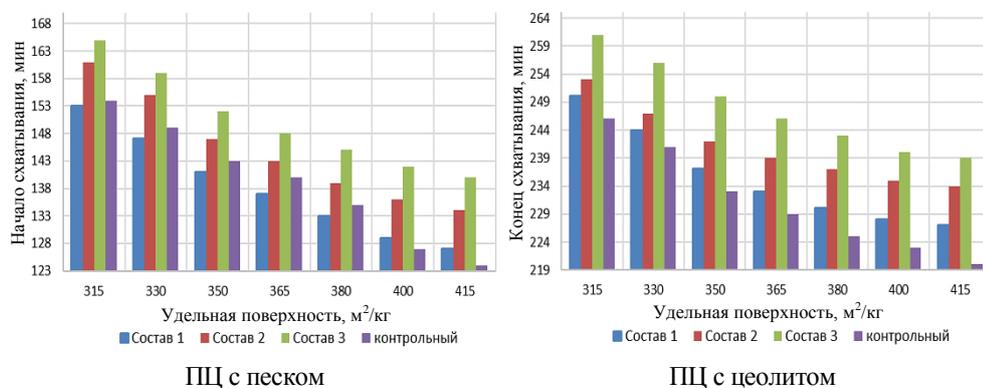


Рис. 3. Влияние удельной поверхности и содержания песка на сроки схватывания цементного теста

У портландцемента с добавкой цеолита с увеличением удельной поверхности время начала схватывания сокращается на 14–25 мин, а время конца схватывания – на 10–30 мин в зависимости от количества минеральной добавки (рис. 4).

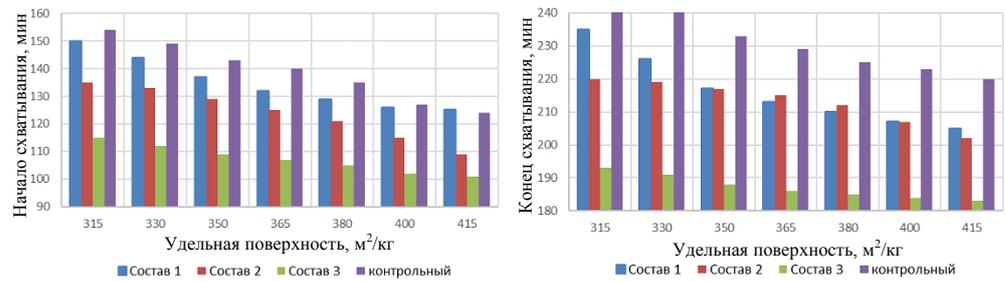


Рис. 4. Влияние удельной поверхности и содержания цеолита на сроки схватывания цементного теста

Сокращение сроков схватывания цемента и ускорение начального структурообразования цементного камня объясняется взаимодействием гидроксида кальция, образующегося при гидролизе алита, с активными добавками – цеолитом и песком – с образованием низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция [5, 6, 17].

В соответствии с классификацией по ГОСТ 30515–2013 исследованный портландцемент с минеральными добавками в количестве 5–15 % является нормально схватывающимся (рис. 4, 5).

Определены зависимости прочности на сжатие цементно-песчаного раствора от содержания минеральных добавок при различной удельной поверхности цемента (рис. 5).

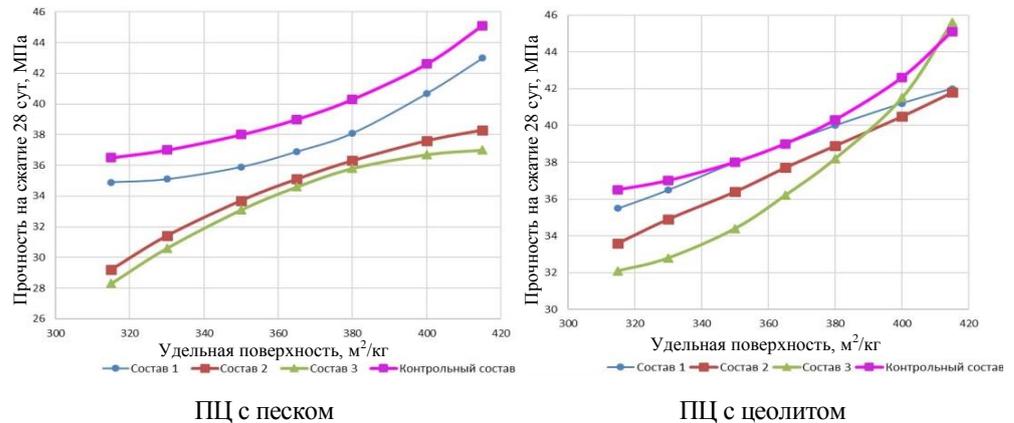


Рис. 5. Влияние удельной поверхности и содержания минеральных добавок на активность (прочность на сжатие цементно-песчаного раствора)

Установлено, что максимальная прочность цементных образцов (45,6 МПа) достигается у цемента с 15 % цеолита при удельной поверхности 415 м²/кг. Получен цемент ЦЕМ Ш/А-П 42,5Н (ГОСТ 31108–2016). Близкие прочностные показатели образцов, по сравнению с контрольным составом, получены при добавлении песка в количестве 5 %. При содержании песка 5–10 % и удельной поверхности свыше 350 м²/кг обеспечивается получение класса цемента по прочности ЦЕМ Ш/А-П 32,5Н (ГОСТ 31108–2016).

Выводы

1. Обоснована принципиальная возможность изготовления портландцемента совместным помолом привозного портландцементного клинкера с местными минеральными природными добавками применительно к условиям производства в труднодоступных районах Арктики (пос. Тикси) и Севера (пос. Сунтар). Цеолитсодержащие породы и кварц-полевошпатовый песок являются активными минеральными добавками (по ГОСТ 25094–2015) и могут быть использованы для производства цемента.

2. Высокая пуццолановая активность цеолита объясняется содержанием клиноптилолита (60,4 % масс.), ускоряющего процессы гидратации и твердения цементного камня. Установлено, что максимальная прочность стандартных образцов из цементного раствора (45,6 МПа) достигается у цемента с 15 % цеолита при удельной поверхности 415 м²/кг.

3. Максимальная прочность у цемента с песчаной добавкой (43,0 МПа) достигается при содержании песка 5 % и удельной поверхности цемента 410–415 м²/кг. При содержании песка 5–10 % и удельной поверхности свыше 350 м²/кг обеспечивается получение класса цемента ЦЕМ II/A-II 32,5Н (ГОСТ 31108–2016).

4. Использование цеолитсодержащей породы и кварц-полевошпатового песка в качестве минеральных добавок к привозному портландцементному клинкеру позволит получить цемент высокой активности с минеральными добавками для ресурсного обеспечения объектов строительства в условиях Арктики и Севера России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнова О.О., Литина С.А., Кудряшева Е.В. и др. Формирование опорных зон в Арктике: методология и практика // Арктика и Север. 2016. № 25. С. 148–157. Условия доступа: <https://narfu.ru/university/library/books/3024.pdf> (дата обращения: 23.01.19).
2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года // Правительство России [официальный сайт]. Условия доступа : <http://government.ru/info/18360/> (дата обращения: 23.01.19).
3. Лукьянчиков С.А., Кудряков А.И. Управление качеством высокопрочных цементных тяжелых бетонов на основе сырьевой базы Сибирского региона // Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении : сб. Международной научно-технической конференции. Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2017. С. 47–53.
4. Стешенко А.Б., Кудряков А.И. Раннее структурообразование пенобетонной смеси с модифицирующей добавкой // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 56–62.
5. Кудряков В.А., Кудряков А.И., Лукьянчиков С.А., Кудряков К.Л. Управление технологическими процессами производства модифицированных бетонов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6 (65). С. 116–126.
6. Ильина Л.В. Повышение эксплуатационных характеристик строительных материалов на основе цемента длительного хранения : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Л., 2011. 39 с.
7. Кузнецова Т.В. Основные направления развития химии и технологии цемента // Технологии бетонов. 2014. № 11 (100). С. 46–49.
8. Perraki T., Kontori E., Tsivilis S., Kakali G. The effect of zeolite on the properties and hydration of blended cements // Cement and Concrete Research. 2010. № 32. P. 128–133.
9. Horst-Michael Ludwig, Wensheng Zhang. Research review of cement clinker chemistry // Cement and Concrete Research. 2015. № 78. P. 24–37.

10. Кудяков А.И., Симакова А.С., Кондратенко В.А., Стешенко А.Б., Латыпов А.Д. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 138–147.
11. Zaichenko M., Serdiuk O., Khalujshv O. The technology and properties of modified Portland-composite cements for sustainable construction // Modern industrial and civil construction. 2013. V. 9. № 1. P. 23–31.
12. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier // Key Engineering Materials. 2017. V. 729. P. 99–103.
13. Кудяков А.И. Закладочные твердеющие смеси на нефелиновых вяжущих : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1975. 25 с.
14. Монтянова А.Н., Кириллов Д.С., Штауб И.В., Бильдушкинов Е.В. Специфические особенности закладочных работ на руднике «Мир» алмазодобывающей АК «АЛРОСА» // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. № 4. С. 10–14.
15. Бикбау М.Я., Высоцкий Д.В., Тихомиров И.В. Бетоны на наноцементе: свойства и перспективы // Технологии бетонов. 2011. № 11–12. С. 31–34.
16. Бикбау М.Я., Вавилов В.А. Портландцемент и его модификация в наноцемент с кварцевым песком // Сухие строительные смеси. 2018. № 4. С. 17–26.
17. Mestnikov A., Semenov C., Strokova V., Nelubova V. Autoclave foam concrete: Structure and properties Citation // AIP Conference Proceedings 2. Сер. «Advanced Materials in Technology and Construction», AMTC 2015: Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists «Advanced Materials in Technology and Construction». 2016. P. 070010.
18. Теория цемента / под ред. А.А. Пашенко. Киев : Будівельник, 1991. С. 14.
19. Henning O., Kudyakov A., Winkler K. Der Einfluss von Quarz auf Zusammensetzung der Flussigen Phase und der festen Anteils von Zementsuspension // Wissenschaftliche Zeitschrift HAB. Weimar. 1987. 33. 5/6. S. 270.

REFERENCES

1. Smirnova O.O., Lipina S.A., Kudryasheva E.V., et al. Formirovanie opornykh zon v Arktike: metodologiya i praktika [Formation of basic zones in Arctic: methodology and practice]. *Arktika i Sever*. 2016. No. 25. Pp. 148-157. Available: <https://narfu.ru/university/library/books/3024.pdf> (accessed January 23, 2019). (rus)
2. *Strategiya razvitiya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii i obespecheniya natsional'noi bezopasnosti na period do 2020 goda* [Arctic zoning in the Russian Federation and national security until 2020]. Available: <http://government.ru/info/18360/> (accessed January 23, 2019).
3. Lukyanchikov S.A., Khudyakov A.I. Upravlenie kachestvom vyisokoprochnykh tsementnykh tyazhelykh betonov na osnove syrevoiy bazyi sibirskogo regiona [Quality management of high-strength cement heavy concretes based on raw material base of the Siberian region]. *Effektivnye retseptury i tekhnologii v stroitel'nom materialovedenii: sb. Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Coll. Papers STROISIB-2017 Int. Sci. Tech. Conf. 'Effective Procedures and Technologies in Construction Materials Science')*. Novosibirsk. 2017. Pp. 47–53 (rus)
4. Steshenko AB, Kudyakov A.I. Rannee strukturoobrazovanie penobetonnoy smesi s modifitsiruyushey dobavkoy [Early structuring of foam concrete mixture with modifying additive]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2015. No. 2 (54). Pp. 56–62.(rus)
5. Kudyakov V.A., Kudyakov A.I., Luk'yanchikov S.A., Kudyakov K.L. Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva modifitsirovannykh betonov [Industrial process control in modified concrete technology]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 6 (65). Pp. 116–126. (rus)
6. Il'ina L.V. Povishenie ekspluatatsionnykh karakteristik stroitelnykh materialov na osnove cementa dlitel'nogo hraneniya: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk [Improving the performance of cement-based building materials for long-term storage. DSc Thesis]. Leningrad, 2011. 39 p. (rus)
7. Kuznecova T.V. Osnovnye napravleniya razvitiya himii i tekhnologii cementa [The main directions of development of chemistry and technology of cement]. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 11 (100). Pp. 46–49. (rus)
8. Perraki T., Kontori E., Tsvilis S., Kakali G. The zeolite effect on properties and hydration of blended cements. *Cement and Concrete Research*. 2010. No. 32. Pp. 128–133.

9. Horst-Michael Ludwig, Wensheng Zhang. Research review of cement clinker chemistry. *Cement and Concrete Research*. 2015. No. 78. Pp. 24–37.
10. Kudyakov A.I., Simakova A.S., Kondratenko V.A., Steshenko A.B., Latypov A.D. Vliyanie organicheskikh dobavok na svoystva tsementnogo testa i kamnya [Cement paste and brick properties modified by organic additives]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 138–147. (rus)
11. Zaichenko M., Serdiuk O., Khalujshv O. The technology and properties of modified Portland-composite cements for sustainable construction. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2013. V. 9. No. 1. Pp. 23–31.
12. Nelyubova V.V., Strokovaya V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier. *Key Engineering Materials*. 2017. V. 729. Pp. 99–103.
13. Kudyakov A.I. Zakladochnie tverdeyuschie smesi na nefelinovih vyajuschih_ avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk [Filler hardening mixtures with nepheline binders. PhD Thesis]. Leningrad, 1975. 25 p. (rus)
14. Montyanova A.N., Kirillov D.S., Shtaub I.V., Bildushkinov E.V. Specificheskie osobennosti zakladochnih rabot na rudnike 'Mir'almazodobivayushei AK ALROSA [Specific features of backfilling work in Mir mine of the diamond-mining company ALROSA]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*. 2012. No. 4. Pp. 10–14. (rus)
15. Bikbau M.Ya., Visockii D.V., Tihomirov I.V. Betoni na nanocementah: svoystva i perspektivi [Nanocements: properties and prospects]. *Tehnologii betonov*. 2011. No. 11–12. Pp. 31–34. (rus)
16. Bikbau M.Ya., Vavilov V.A. Portlandcement i ego modifikaciya v nanocement s kvarcevim peskom [Portland cement and its modification into quartz nano-cement]. *Suhie stroitelnie smesi*. 2018. No. 4. Pp. 17–26. (rus)
17. Mestnikov A., Semenov C., Strokovaya V., Nelubova V. Autoclave foam concrete: Structure and properties. *AIP Conference Proceedings 2. In: Advanced Materials in Technology and Construction, Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. of Young Scientists 'Advanced Materials in Technology and Construction'*. 2016. P. 070010.
18. Paschenko A.A., Ed. The theory of cement [Teoriya tsementa], Kiev: Budivel'nik, 1991. 14 p. (rus)
19. Henning O., Kudyakov A., Winkler K. Der Einfluss von Quarz auf Zusammensetzung der Flusigen Phase und der festen Anteils von Zementsuspension. *Wissenschaftliche Zeitschrift HAB*. Weimar, 1987. V. 33. No. 5/6. P. 270.

Сведения об авторах

Местников Алексей Егорович, докт. техн. наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, mestnikovae@mail.ru

Кудяков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kudyakov@tsuab.ru

Рожин Василий Никитич, ст. преподаватель, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, barcelon@mail.ru

Author(s) Details

Aleksey E. Mestnikov, DSc, Professor, Ammosov North-Eastern Federal University, 58, Belinsky Str., 677000, Yakutsk, Sakha, mestnikovae@mail.ru

Alexander I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakov@tsuab.ru

Vasily N. Rozhin, Senior Lecturer, Ammosov North-Eastern Federal University, 58, Belinsky Str., 677000, Yakutsk, Sakha, barcelon@mail.ru