

УДК 691.5:553.3:661.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЕГО ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Логанина В.И., Полубояринов П.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,
Пенза, e-mail: n_eroshkina@mail.ru

Приведены результаты исследования свойств геополимерного бетона на основе композиционного вяжущего, полученного с использованием дисперсных отходов добычи и переработки магматических горных пород и шлака. Анализ характеристик водопоглощения в различных условиях (при полном погружении в воду и в условиях капиллярного подсоса), а также морозостойкости исследованного бетона показал, что новый материал, несмотря на деструктивные процессы, протекающие в нем при циклическом насыщении водой и высушивании, а также замораживании и оттаивании, способен длительное время противостоять действию негативных факторов. При сопоставлении установленных характеристик новой разновидности бетона со свойствами портландцементного бетона можно прогнозировать высокую долговечность геополимерного бетона. Полученные результаты позволяют рекомендовать новый материал для опытно-промышленного производства и применения.

Ключевые слова: геополимерное вяжущее, бетон, высолообразование, водопоглощение, морозостойкость, капиллярный подсос, долговечность

INVESTIGATION OF PROPERTIES CONCRETE BASED ON COMPOSITE GEOPOLYMER BINDER WHICH EFFECT ON ITS DURABILITY

Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Loganina V.I., Poluboyarinov P.A.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: n_eroshkina@mail.ru

This paper describes results of the study of properties of geopolymer concrete on the basis of the composite binder obtained with using finely ground waste of extraction and processing of magmatic rocks and slag. Analysis of the characteristics of water absorption of geopolymer concrete under different conditions (when fully submerged in water and in a capillary suction) and its frost resistance was conducted. However, in spite of destructive processes taking place in the new geopolymer material under cyclic water-saturated and drying, and freezing and thawing, geopolymer able to resist the action of negative factors for a long time. Comparison of established characteristics of a new kind of concrete with Portland cement concrete properties allows to predict the high durability of geopolymer concrete. The obtained results allow us to recommend new material for the experimental-industrial production and application.

Keywords: geopolymer binder, concrete, efflorescence, water absorption, frost resistance, capillary suction, durability

Одной из наиболее перспективных технологий строительных материалов, использующих в качестве сырья промышленные отходы, является производство композиционных геополимерных (минерально-щелочных) вяжущих на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород [1, 6, 8]. Развитие и внедрение в практику этой технологии позволит решить ряд экономических и экологических проблем: снизить стоимость строительных материалов, уменьшить потребность строительной индустрии в природных минерально-сырьевых ресурсах и утилизировать колоссальные объемы промышленных отходов. Такие вяжущие могут быть получены по безотходной технологии на основе пылевидных отходов дробления щебня, обогащения руд черных и цветных металлов. Вследствие высокой дисперсности эти отходы не требуют значительных затрат энергии для их измельчения до необходимой удельной поверхности [1]. Для обеспечения водостойкости геополимерных вяжущих используют

добавку другого промышленного отхода – доменного гранулированного шлака в количестве 8–30% [2]. Активация твердения таких композиционных вяжущих производится за счет их затворения раствором низкоосновного жидкого стекла.

Производство и применение строительных материалов на основе промышленных отходов эффективно, если выпускаемые материалы имеют достаточно высокую долговечность. По оценкам различных исследователей, геополимерные вяжущие на основе метаксаолина, золы и шлака характеризуются в сравнении с портландцементом более высокой эксплуатационной стойкостью по отношению ко многим видам деструктивных воздействий окружающей среды [5, 6]. Однако долговечность геополимерных материалов на основе магматических горных пород в настоящее время не исследована.

В настоящее время процессы, протекающие в геополимерных вяжущих при их эксплуатации, полностью не изучены, в связи с чем достоверно прогнозировать

долговечность этих материалов в различных условиях эксплуатации невозможно.

Наиболее часто встречающейся причиной разрушения бетонов общестроительного назначения от воздействия окружающей среды в России и других странах с холодным климатом является морозная деструкция цементного камня в результате попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии [4]. Этот процесс в несколько раз ускоряется при использовании противогололедных средств, что характерно для бетонов автодорожных сооружений. Другими причинами значительного снижения эксплуатационных характеристик бетона могут быть его попеременное насыщение и высушивание, а также химическая коррозия цементного камня при воздействии на него коррозионно-активных растворов солей и кислот. Последний вид деструктивного воздействия окружающей среды характерен для подземных частей зданий и сооружений в условиях воздействия минерализованных вод, а также для некоторых конструкций промышленных сооружений. Воздействие различных коррозионно-активных агентов на бетон в настоящей работе не рассматривается.

Целью настоящей работы было исследование стойкости бетона на основе геополлимерного вяжущего с использованием гранита к действию основных факторов, вызывающих разрушение строительных материалов.

Материалы и методы исследования

Нами были проведены исследования долговечности бетона, полученного с применением геополлимерного вяжущего на основе отсева дробления гранитного щебня. Расход измельченной до удельной поверхности 320 м²/кг горной породы составлял 316 кг/м³, в состав бетона вводилось 105 кг/м³ модифицирующей добавки – доменного гранулированного шлака, измельченного до удельной поверхности 350 м²/кг. Активация твердения вяжущего осуществ-

лялась раствором жидкого стекла с силикатным модулем 1,2. Расход активатора составлял 106 кг/м³, а воды – 85 л/м³. Содержание крупного заполнителя – гранитного щебня фр. 5–20 мм – составляло 1375 кг/м³, мелкого заполнителя – песка – 595 кг/м³.

Через 28 суток твердения в нормальных условиях образцы этого бетона были испытаны на морозостойкость по второму методу в соответствии с ГОСТ 10060-2012. Кроме того, определялись изменение массы и прочности образцов бетона размером 100×100×100 мм при циклическом насыщении водой в течение 7 суток и высушивании при 105°С в течение 3 суток, а также кинетика водопоглощения таких же образцов при их полном и частичном (в условиях, обеспечивающих капиллярный подсос) погружении в воду.

Оценка капиллярного водопоглощения бетона производилась по коэффициенту $C = 0,1 (m_2 - m_1)$, где m_1 и m_2 – соответственно массы образца бетона через 10 и 90 мин после погружения в воду на глубину 5...10 мм [7].

Результаты исследования и их обсуждение

При циклическом насыщении и высушивании бетона на основе композиционного вяжущего отмечаются повышение водопоглощения и потеря массы образцов (рис. 1). Снижение массы образцов объясняется вымыванием из вяжущего камня несвязанного щелочного активатора. Это приводит к увеличению объема открытых пор и повышению водопоглощения, что может негативно отразиться на долговечности бетона, в частности снизить его морозостойкость и коррозионную стойкость. Однако значения водопоглощения невелики и сопоставимы с этой характеристикой для многих осадочных горных пород. После 3–4 циклов насыщения-высушивания снижение массы образцов и повышение водопоглощения не отмечаются, что свидетельствует о прекращении растворения избыточной щелочи. Значения водопоглощения геополлимерного бетона (см. рис. 1) в 1,5...2 раза ниже по сравнению с портландцементным бетоном [4].



Рис. 1. Изменение водопоглощения и изменение массы бетона в процессе насыщения-высушивания

Циклическое насыщение и высушивание не оказывает деструктивного влияния на геополимерный бетон – предел прочности при сжатии после 10 циклов повысился на 18% и составил 43,4 МПа, что объясняется продолжением твердения вяжущего в водной среде.

В условиях капиллярного подсоса, при погружении образца в воду на 5...7 мм сухая поверхность покрывается через одни сутки белым налетом, который через 3...4 суток превращается в «шубу» толщиной 1...3 мм, состоящую из хаотично расположенных чешуйчатых и нитевидных кристаллов (рис. 2). После одно-двукратного смывания высолов их появление не возобновляется.

Оценка массовой концентрации катионов натрия, калия, кальция, магния и др. в растворенных высолах методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105 М» по методике [3] показала, что 97,8 масс. % катионов представлено катионами натрия (рис. 3). Это позволяет сделать вывод о том, что причиной высолообразования является карбонизация мигрировавшего на поверхность бетона химически не связанного NaOH. Полученный вывод согласуется с результатами титрования растворенных высолов 0,1 Н раствором соляной кислоты.

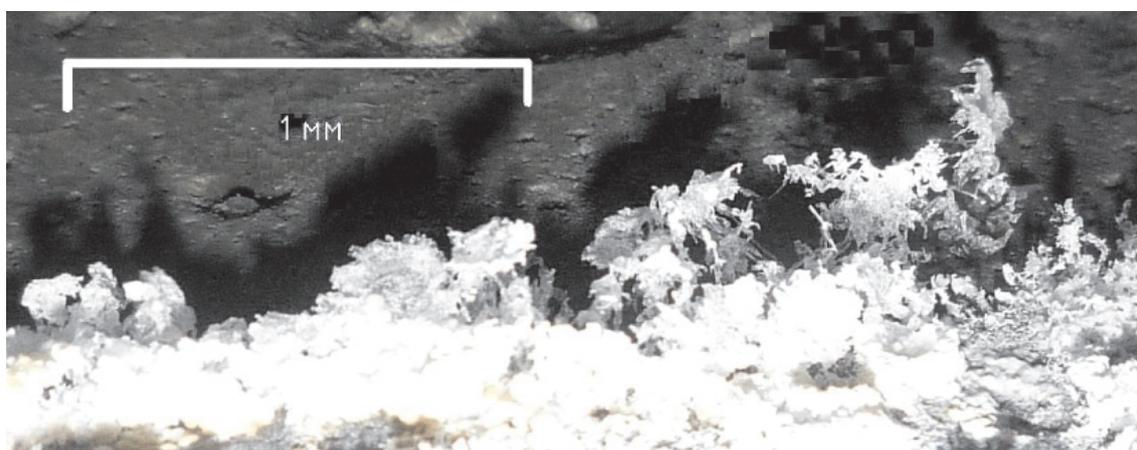


Рис. 2. Высолы на поверхности геополимерного бетона, образующиеся в условиях капиллярного подсоса воды

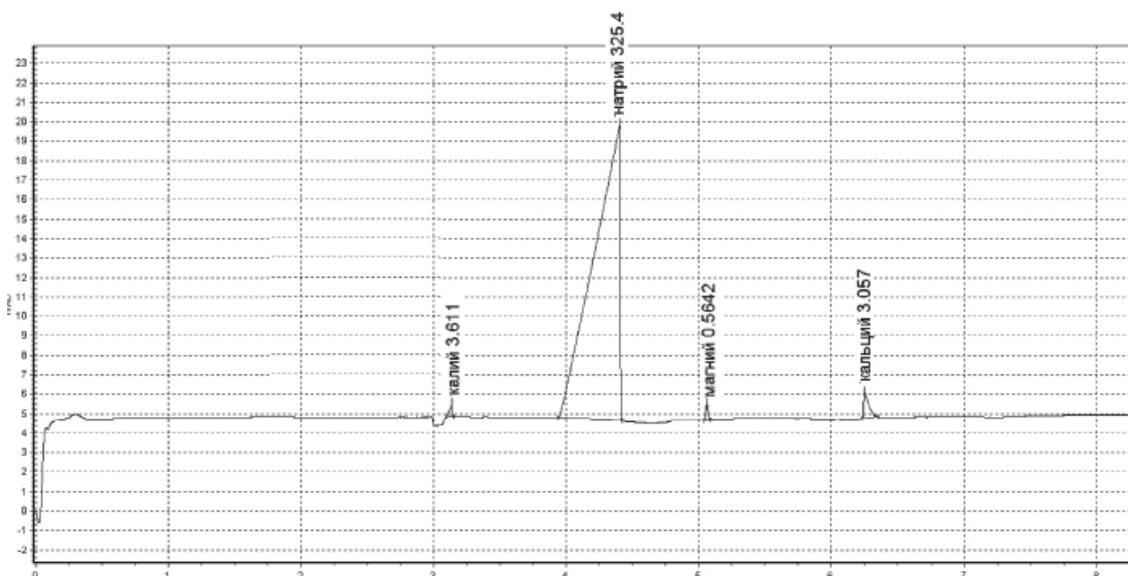


Рис. 3. Электрофореграмма высолов геополимерного бетона

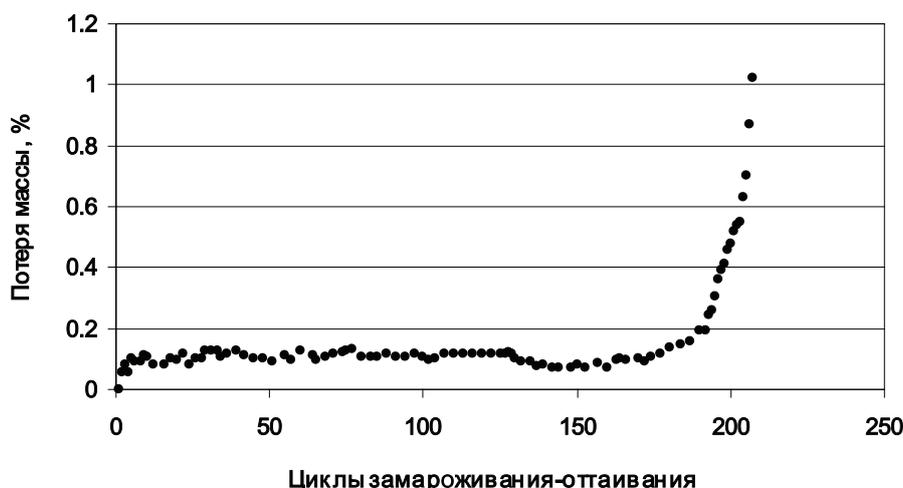


Рис. 4. Средние значения потерь массы основных образцов в процессе испытания на морозостойкость

Коэффициент капиллярного водопоглощения для исследованного геополимерного бетона составил $0,155 \pm 0,01$, что сопоставимо с этой характеристикой для цементных бетонов с равной прочностью.

Испытания геополимерного бетона на морозостойкость показали, что до 190-го цикла замораживания-оттаивания практически не происходит потерь массы образцов (рис. 4). Испытания были прекращены после 207-го цикла, затем была определена прочность основных образцов, которая составила 37,7 МПа, что на 4% выше прочности контрольного состава.

Морозостойкость геополимерного бетона соответствует марке F_{200} для дорожных бетонов и марке F_{1600} для бетонов общестроительного назначения. Такой морозостойкости достаточно для применения нового материала в производстве широкой номенклатуры бетонных и железобетонных конструкций, используемых в жилищном, дорожном и промышленном строительстве большинства климатических районов России.

Выводы

При циклическом воздействии на геополимерный бетон насыщения водой и высушивания происходит изменение характеристик открытой пористости, что может негативно сказаться на долговечности бетона, однако этот процесс быстро замедляется. Бетоны, изготовленные с применением композиционного геополимерного вяжущего на основе измельченных отсевов

гранитного щебня с добавкой шлака, характеризуются низким водопоглощением и достаточно высокой морозостойкостью. Установленные значения свойств исследованного бетона при их сравнении со свойствами портландцементного бетона позволяют прогнозировать долговечность геополимерного бетона, достаточную для производства и применения конструкций, использующихся при различных видах строительства. С учетом полученных результатов можно рекомендовать новый материал для опытно-промышленного производства и применения.

Выполнена в рамках государственной работы «Обеспечение проведения научных исследований».

Список литературы

1. Ерошкина Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 62–65.
2. Ерошкина Н.А. Малоэнергоёмкие ресурсосберегающие технологии производства вяжущих для конструктивных бетонов / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал – 2013. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-10900> (дата обращения: 15.11.14).
3. Количественный химический анализ вод. Методика измерения концентрации катионов аммония, калия, натрия, лития, магния, стронция, природных (в том числе минеральных) и сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». – М.: Люмэкс-маркетинг, 2011. – 36 с.
4. Коровкин М.О. Ресурсосберегающая эффективность суперпластификатора в бетоне / М.О. Коровкин, В.И. Калашников // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 59–61.

5. Bernal S.A., de Gutiérrez R.M., Provis J.L. Engineering and durability properties of concretes based on alkali-activated granulated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 33. – P. 99–108.

6. Davidovits J. *Geopolymer chemistry and applications*. 3rd edition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. – 614 p.

7. EN 1015-18:2002 Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.

8. Gimeno D., Davidovits J., Marini C., Rocher P., Tocco S. and al. Desarrollo de un cemento de base silicatada a partir de rocas volcánicas vítreas alcalinas: interpretación de los resultados preindustriales basada en la composición químico-mineralógica de los precursores geológicos // *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*. – 2003. – Vol. 42. – P. 69–78.

References

1. Eroshkina N.A. Vyazhushhee, poluchenoe iz magmatischeskikh gornykh porod s dobavkoj shlaka, i beton na ego osnove / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin // *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo*. 2011. no. 2. pp. 62–65.

2. Eroshkina N.A. Maloehnergoemkie resursosberegayushhie tekhnologii proizvodstva vyazhushhikh dlya konstruktsionnykh betonov / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: elektronnyj nauchnyj zhurnal* 2013. no. 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-10900> (data obrashcheniya: 15.11.14).

3. Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Metodika izmereniya kontsentratsii kationov ammoniya, kaliya, natriya, litiya, magniya, strontsiya, prirodnikh (v tom chisle mineralnykh) i stochnykh vod metodom kapillyarnogo ehlektroforeza

s ispolzovaniem sistemy kapillyarnogo ehlektroforeza «Kapel». Moskva: Lyumehks- marketng, 2011. 36 p.

4. Korovkin M.O. Resursosberegayushhaya ehffektivnost superplastifikatora v betone / M.O. Korovkin, V.I. Kalashnikov // *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo*. 2011. no. 2. pp. 59–61.

5. Bernal S.A., de Gutiérrez R.M., Provis J.L. Engineering and durability properties of concretes based on alkali-activated granulated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 33. pp. 99–108.

6. Davidovits J. *Geopolymer chemistry and applications*. 3rd edition. France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. 614 p.

7. EN 1015-18:2002 Methods of test for mortar for masonry Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.

8. Gimeno D., Davidovits J., Marini C., Rocher P., Tocco S. and al. Desarrollo de un cemento de base silicatada a partir de rocas volcánicas vítreas alcalinas: interpretación de los resultados preindustriales basada en la composición químico-mineralógica de los precursores geológicos. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*. 2003. Vol. 42. pp. 69–78.

Рецензенты:

Демьянова В.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Инженерная экология», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Кошев А.Н., д.х.н., профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.