

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОРЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИТОВ В МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Ниязбекова Р.К.¹, д.т.н., профессор,
Конканов М.Д.¹, докторант PhD
Салем Т.И.Х.², докторант PhD*

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62 г., Нур-Султан, 010011, Казахстан, e-mail: marcon@metrology.kz

²Университет штата Мичиган, Ист-Лансинг, Мичиган, США

Аннотация

Гидротехнические сооружения, применяемые в агропромышленном комплексе, имеют большое значение для экономики, экологической и социальной сферы области или региона. В связи с необходимостью проведения своевременного периодического контроля гидротехнических сооружений, в Казахстане вводится практика мониторинга состояния конструкций. Что в свою очередь предполагает применение различных датчиков для осуществления мониторинга. В работе представлены нормативные требования по проведению мониторинга состояния конструкций и результаты исследований композиционных материалов с содержанием красного шлама, которые могут применяться как строительные материалы, а также в качестве сенсоров для автоматического мониторинга. В ходе исследований показано, что введение красного шлама в структуру композитного цементной смеси позволяет снизить затраты цемента и получать бетоны с совершенно другими свойствами. Подобраны добавки, которые позволили изучать пьезоэлектрические свойства материалов.

Ключевые слова: цементные композиты, пьезоэлектрические цементы, умные бетоны, мониторинг состояния конструкции, гидротехнические сооружения, бокситовый (красный) шлам, пьезорезистивные композиты, безопасность сооружений, инфраструктура агропромышленного комплекса.

Введение

Гидротехнические сооружения (ГТС) являются сооружениями, играющими важную роль в агропромышленном комплексе, т. к. оказывают влияние на экономику, экологическую и социальную сферы области или

региона. ГТС являются единственным инструментом, позволяющим осуществлять регулирование, водозабор и транспортировку водных ресурсов из водных объектов для нужд агропромышленного комплекса, а

также сброс сточных вод. От технического состояния ГТС полностью зависит водообеспеченность объектов АПК [1].

Согласно информации Министерства сельского хозяйства по состоянию на конец 2017 года в Казахстане функционируют 1665 гидротехнических сооружений [2], из которых 283 ГТС находятся в республиканской собственности и связаны с инфраструктурой сельского хозяйства, т. к. являются плотинами, дамбами, водохранилищами каналами и объектами оросительно-обводнительной системы [3].

В Казахстане строительство и возведение многих ГТС осуществлялось в 60-80-е годы прошлого столетия. Их обследование сегодня показывает, что фактический износ составляет более 60%, резко снижена надежность и безопасность стратегически важных ГТС [4].

Длительный срок эксплуатации и снижение в последние 20 лет объемов финансирования на эксплуатационные расходы, текущие и капитальные ремонты, а также влияние климатических и сейсмических факторов постепенно приводят к моральному и физическому износу всего комплекса ГТС.

Таким образом, немаловажную роль при оценке

технического состояния ГТС выполняет контроль прочностных характеристик элементов конструкции и мониторинг деформации и разрушений несущих элементов [5].

Основным строительным материалом ГТС является бетон. Из-за некоторых присущих бетону недостатков, его структура ослабевает. Ослабление и разрушение бетона в основном происходит из-за старения материала, агрессивных условий его применения, длительности эксплуатации, а также из-за других причин, связанных с отсутствием надлежащих методов контроля и обслуживания [6-8]. Бетонные конструкции ГТС подвергаются постоянным разрушениям структур по следующим причинам: многолетним циклам замораживания и оттаивания, просачиванию вод, эрозии и выветривания, а также в результате протекания, называемых, «щелочно-кремниевых» реакций, т. е. коррозией бетона, вызванной реакцией диоксида кремния заполнителя со щелочами цемента. Даже микротрещины в структуре бетона являются концентраторами микронапряжений, которые в условиях применения ГТС, могут привести к более серьезным повреждениям. По этой причине необходимы проведения регулярного контроля и мониторинга таких сооружений.

Нормативное регулирование безопасности ГТС

В последние пять-десять лет в Казахстане проводятся работы по

формированию комплексного подхода в обеспечении безопасности

ГТС. Так например, в 2017 году опубликована для обсуждения Концепция Закона «Об безопасности гидротехнических сооружений».

Разработаны строительные нормы, которые определяют минимально необходимые требования к объектам технического регулирования при проектировании и строительстве ГТС на всех этапах их создания и эксплуатации [9].

В Казахстане на основе ГОСТ Р 22.1.11-2002 разработаны «Критерии безопасности водохозяйственных систем и сооружений». Указанными Критериями нормируются основные

наблюдаемые и контролируемые в процессе мониторинга технические показатели состояния ГТС. Вышеназванный нормативный документ устанавливает, как правило, периодический контроль параметров. Но современные мировые тенденции таковы, что автоматизированный мониторинг ответственных сооружений (мосты, дамбы, высотные здания и т.д.) в последнее десятилетие становится стандартом, применяемым в развитых странах мира, при строительстве и эксплуатации ответственных сооружений [10].

Применение современных технологий и инновационных материалов для обеспечения безопасности сооружений

В Республике Казахстан с 2010 года действуют утвержденные строительные нормы и правила СНиП 3.02-05-2010 «Автоматизированная система мониторинга зданий и сооружений», регламентирующие применение прогрессивных технических решений и научных методов в обеспечении качества безопасности строительных объектов путем внедрения автоматизированных систем мониторинга. В соответствии с данными правилами автоматизированному мониторингу деформационного состояния подлежат ответственные сооружения: мосты, дамбы, плотины, гидротехнические сооружения, крупные промышленные объекты и т.д.

С 2015 года АО «НК Қазақстан Ғарыш Сапары» в рамках проекта наземной инфраструктуры

системы высокоточной спутниковой навигации была разработана автоматизированная система мониторинга деформаций ответственных сооружений. В качестве объекта мониторинга, использовалась автодорожная эстакада по шоссе Алаш (г. Нур-Султан), на которой было установлено и в настоящее время проходит испытания соответствующее оборудование [10].

В состав системы входят геотехнические датчики, навигационное оборудование, геодезические приборы, вычислительное и телекоммуникационного оборудование, а также специализированное программное обеспечение, обеспечивающее сбор и обработку полученных данных в реальном масштабе времени [10].

Применение

автоматизированных систем для контроля технического состояния ГТС позволяет снизить уровень риска реального разрушения объекта в процессе строительства и последующей эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров строительных конструкций и узлов от расчетных значений на ранней стадии их возникновения.

Вместе с тем применение первичных тензометрических, пьезометрических и струнных преобразователей в системах мониторинга позволяет говорить об «умных» конструкциях и «умных» материалах, т. к. датчики внедряются непосредственно в конструкцию при заливке бетона и являются составной частью материала. Таким образом, бетон с внедренными датчиками приобретает свойства «самораспознавания» или детектирования, происходящих

изменений его собственной структуры.

Принято классифицировать самораспознающие бетоны на «собственно» самораспознающие и «несобственно» самораспознающие [11]. Данная классификация базируется на том какой именно элемент структурного материала распознает внутренние (структурные) или внешние (окружающей среды) изменения. Если детектирующим элементом является бетон, то говорят о «собственно» самораспознающем или самодиагностирующем бетоне. Если детектирующим элементом является внедренный в структуру бетона датчик или преобразователь, то такой бетон является «несобственно» самораспознающим.

На рисунке 1 представлена классификация самораспознающих «умных» бетонов, предложенной [11].

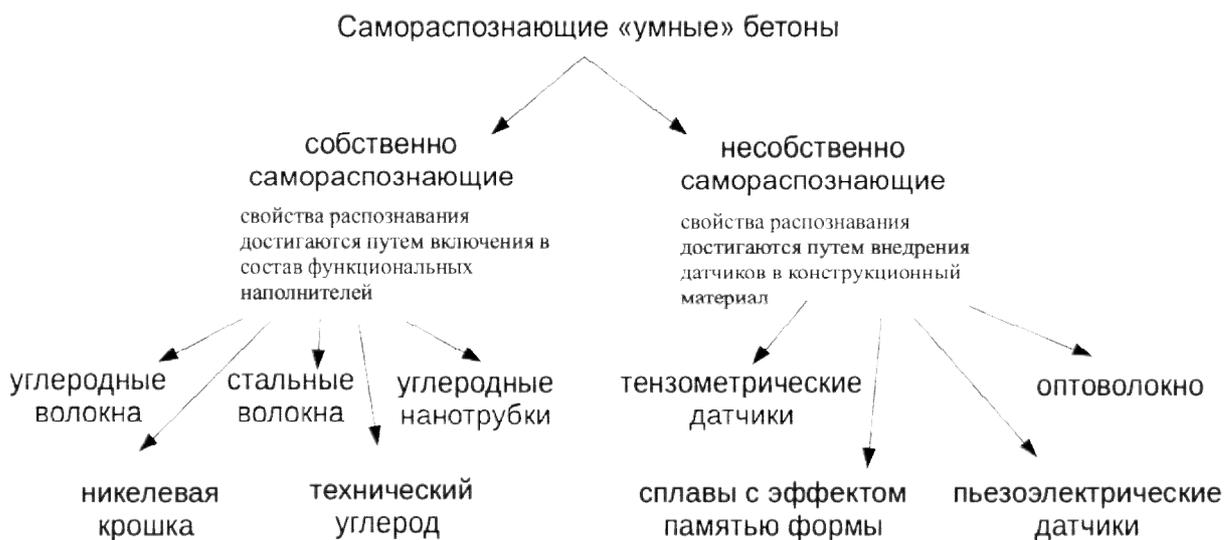


Рисунок 1 – Краткая классификация самораспознающих бетонов.

Внедряя различные датчики и преобразователи можно получать несобственно самораспознающие

бетоны, которые способны определять большое количество параметров конструкции. Тем не

менее, не пригодность для долговременного применения по причине старения и разрушения датчиков [12] является одной из

Материалы и методы исследования

В настоящее время большое внимание исследователей получает собственно самораспознающие или умные бетоны и цементные композиты [8, 13, 14], такие цементы индицируют состояние своей внутренней структуры без необходимости внедрения в материал сенсоров или прикрепления к ним внешних специальных устройств, применяемых для неразрушающего контроля [15]. Напряжения, деформации, трещины и разрушения могут контролироваться в процессе эксплуатации путем измерения электрических сигналов. Умные цементные композиты изготавливаются, как правило, из обычного цемента путем добавления в него функциональных наполнителей, так как: стальные волокна, никелевая крошка, углеродные волокна, технический углерод и углеродные нанотрубки [8].

Эти компоненты формируют проводящую электрическую сеть внутри композита. Когда умный бетон или композит подвергаются деформации или повреждаются, то состояние проводящей сети нарушается (изменяется), что приводит к изменению электрических параметров [8].

Умные композиты обладают многими преимуществами, включая высокую чувствительность (чувствительность к напряжению и деформации [16]), хорошие

проблем использования таких датчиков.

механические свойства, длительный срок службы и простота установки.

Тем не менее, такие бетоны с многокомпонентными, многофазными и многоуровневыми структурами [8], содержащие микро- или наноразмерные функциональные наполнители, особенно для волоконных наполнителей, склонны к агломерации (связыванию и склеиванию), что превращает их дисперсию в бетоне в критическую проблему [17, 18]. Чтобы решить эту проблему, в последние несколько лет широко изучаются методы физической дисперсии (т.е. ультразвуковой дисперсии), методы химической дисперсии (т.е. поверхностно-активного вещества или диспергатора) и их комбинации [19-21]. Следует отметить, что соответствующий метод диспергирования может не только повысить электрические свойства бетона, но и улучшить прочность и долговечность [32-34]. Но такой подход ведет к существенному удорожанию стоимости бетона и усложняет технологический процесс приготовления цементного раствора или композита.

В данной работе был исследован цементный композит, изготовленный добавлением красного шлама в раствор обычного портландцемента.

Красный (бокситный) шлам является побочным продуктом процесса Байера по обработке

бокситов, из которого в последующем получают алюминий. Бокситный шлам приобретает характерный красный оттенок за счет наличия в нем достаточно большого содержания оксида железа, кроме того в нем содержатся и другие оксиды. Тем не менее, на сегодняшний день исследователями не предложено эффективного метода по переработке красного шлама, а его утилизация главным образом заключается в складировании материала в отвалах. Для данного исследования был использован бокситный шлам (БШ) Павлодарского алюминиевого завода. Анализ химического состава БШ, определенный с помощью

рентгенофлуоресцентного спектрометра, показал содержание следующих оксидов металлов: Al_2O_3 – 20,7%; CaO – 19,3%; Fe_2O_3 – 31,8%; TiO_2 – 7,3%.

Для исследования электромеханических свойств были изготовлены образцы цементного раствора с различным содержанием красного шлама в пределах от 5% до 25%. Красный шлам был предварительно измельчен до средних размеров частиц 50 мкм. Образцы кубической формы со стороной ребра 50 мм были расформованы через один день после отливки и исследованы через 28 дней набора прочности.



Рисунок 2 – Проведение испытаний

Изменение удельной электрической проводимости, измеренной при помощи RLC-метра Agilent, в зависимости от содержания красного шлама показано на рисунке 2. Измерения проводились по двухпроводной

схеме, для чего в образец были вложены два электрода в виде медных пластин. Во избежание эффекта поляризации измерения проводились на частоте 10 кГц и напряжением 2 В.

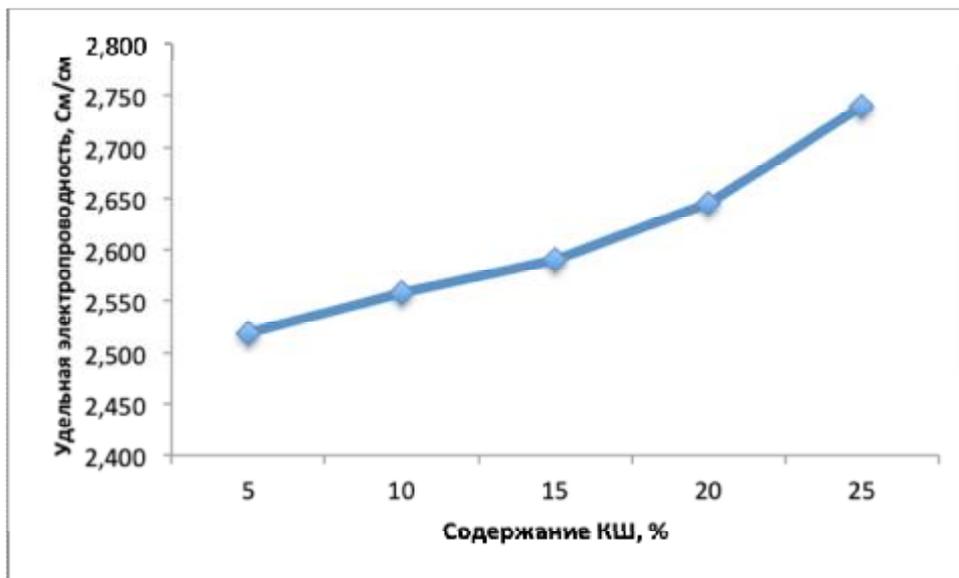


Рисунок 3 – Изменение электропроводности от содержания КШ

Как и ожидалось, удельная электропроводность, возрастает с увеличением содержания красного шлама, что обусловлено наличием оксида железа в его составе.

Также было изучено изменение электрического сопротивления под действием сжимающей нагрузки

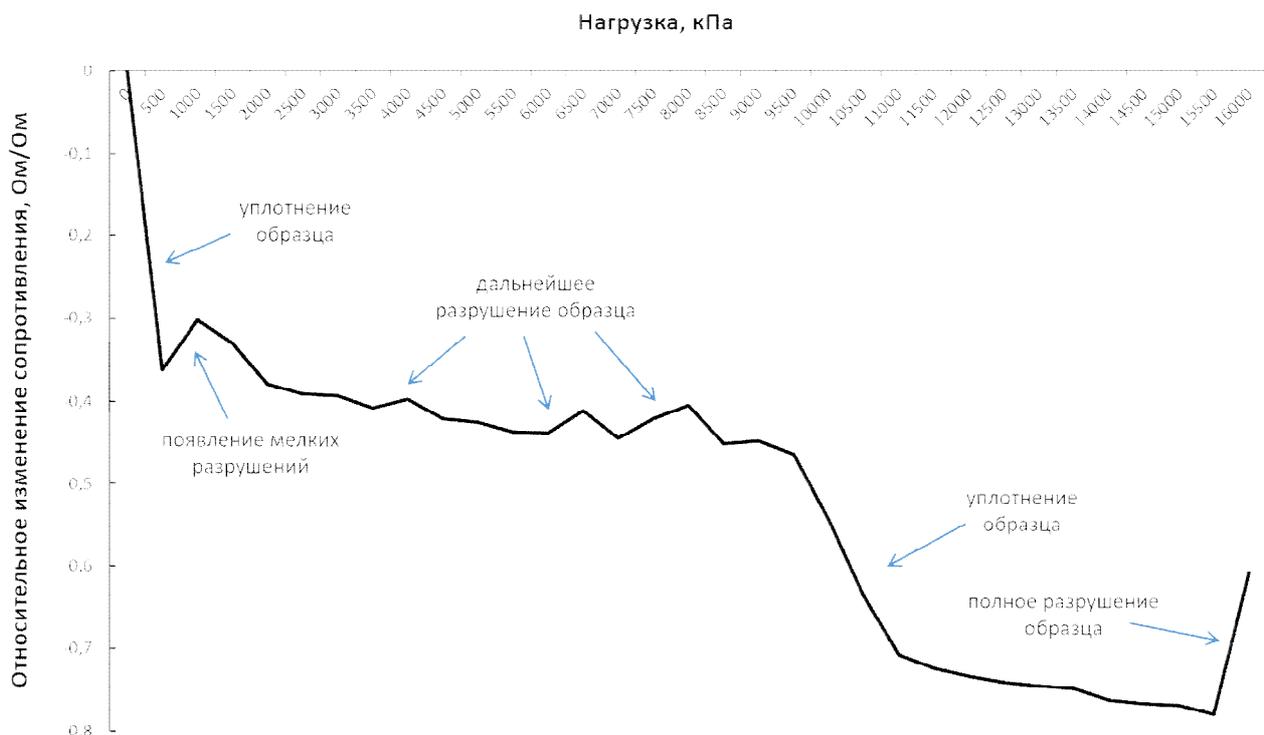


Рисунок 4 – Изменение электрического сопротивления под воздействием нагрузки

Как видно из рисунка 4 при приложении нагрузки на образце происходит его сжатие, и сокращается расстояние между

электронами, таким образом происходит уменьшение сопротивления. Затем при появлении мелких трещин

происходит небольшое увеличение сопротивления, так как расстояние между образованной внутренней проводящей сетью опять увеличивается, затем под действием нагрузки происходит дальнейшее уплотнение образца и соответственно уменьшение сопротивления, после приложения критической разрушающей нагрузки – наблюдается резкое возрастание электрического сопротивления – так в структуре образца образовались необратимые разрушения.

Таким образом, установлена возможность использования красного шлама в качестве добавки, которая улучшает пьезосенсорные свойства цементного раствора.

Выводы и заключения

В Казахстане эксплуатируется более 1500 ГТС. Безопасность ГТС имеет немаловажное значение не только по причине разрушения самого сооружения, но и по влиянию последствий разрушения на жизнь и здоровье населения, а также экологическую обстановку и в, конечном, счете отражается на состоянии аграрного и сельского хозяйства в регионе.

По этой причине, большую роль приобретает мониторинг

технического состояния конструкций ГТС. Более того, существуют стандартизированные нормы, стимулирующие применение современных научных методов и прогрессивных технических решений для осуществления автоматического и постоянного мониторинга и снижения уровня риска реального разрушения объекта в процессе строительства и последующей эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров строительных конструкций и узлов от расчетных значений на ранней стадии их возникновения.

Имеется положительный опыт применения таких систем в Казахстане. Но не смотря, на их преимущества, в целом подобные датчики имеют ряд недостатков, которые ограничивают возможность их ремонта, замены и продолжительности срока эксплуатации.

В качестве решения указанных проблем предлагается применение композитных бетонов (так называемых, самораспознающих бетонов) как вариант замены бетонных конструкций со встраиваемыми в них датчиками.

Список литературы

1 Волинов М. А., Жезмер В. Б., Сидорова С. А. Методы анализа и обработки данных мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Природообустройство. 2017. №1

2 1,7 млрд тенге направлено на обследование гидротехнических сооружений в стране – [Электрон. ресурс]. – 2017 – URL: <https://strategy2050.kz/ru/news/50168> (дата обращения: 18.03.2020)

3 Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 декабря 2004 года N 1344

4 Концепция проекта Закона Республики Казахстан «О безопасности гидротехнических сооружений» 22.05.2017

5 Рябов Г. Г., Ушакевич А. Н. Автоматизация мониторинга деформаций гидротехнических сооружений водного транспорта // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. №5 (21)

6 Sun M., Staszewski W. J., Swamy R. N. Smart sensing technologies for structural health monitoring of civil engineering structures // Advances in civil engineering. – 2010. – Т. 2010.

7 Aggelis D. G., Alver N., Chai H. K. Health monitoring of civil infrastructure and materials // The Scientific World Journal. – 2014. – Т. 2014.

8 Ниязбекова, Конканов Применение умных композитных бетонов для аграрно-промышленного комплекса

9 СН РК 3.04-01-2018 Гидротехнические сооружения

10 В Казахстане внедряется автоматизированная система мониторинга деформаций ответственных сооружений – [Электрон. ресурс]. – 2015 – URL:http://www.nauka.kz/page.php?page_id=16&lang=1&news_id=5398 (дата обращения: 19.03.2020)

11 Han B., Zhang L., Ou J. Smart and multifunctional concrete toward sustainable infrastructures. – Singapore: : Springer, 2017. – P. 369-377.

12 Nawy E. G. (ed.). Concrete construction engineering handbook. – CRC press, 2008.

13 Han B., Ou J. Embedded piezoresistive cement-based stress/strain sensor //Sensors and Actuators A: Physical. – 2007. – Т. 138. – №. 2. – P. 294-298.

14 Han B., Yu X., Kwon E. A self-sensing carbon nanotube/cement composite for traffic monitoring //Nanotechnology. – 2009. – Т. 20. – №. 44. – P. 445501.

15 Han B. G., Han B. Z., Ou J. P. Experimental study on use of nickel powder-filled Portland cement-based composite for fabrication of piezoresistive sensors with high sensitivity //Sensors and Actuators A: Physical. – 2009. – Т. 149. – №. 1. – P. 51-55.

16 Kim H. K., Park I. S., Lee H. K. Improved piezoresistive sensitivity and stability of CNT/cement mortar composites with low water–binder ratio //Composite Structures. – 2014. – Т. 116. – P. 713-719.

17 Ma P. C. et al. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review //Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2010. – Т. 41. – №. 10. – P. 1345-1367.

18 Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete—a review //Construction and building materials. – 2010. – Т. 24. – №. 11. – С. 2060-2071.

19 Han B., Yu X., Ou J. Multifunctional and smart carbon nanotube reinforced cement-based materials //Nanotechnology in civil infrastructure. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. – P. 1-47.

20 Zhang L. et al. Nano-scale behavior and nano-modification of cement and

concrete materials //Advanced research on nanotechnology for civil engineering applications. – IGI Global, 2016. – P. 28-79.

21 Han B. et al. Fabrication of piezoresistive CNT/CNF cementitious composites with superplasticizer as dispersant //Journal of Materials in Civil Engineering. – 2012. – T. 24. – №. 6. – P. 658-665.

22 Luo J., Duan Z., Li H. The influence of surfactants on the processing of multi-walled carbon nanotubes in reinforced cement matrix composites //physica status solidi (a). – 2009. – T. 206. – №. 12. – P. 2783-2790.

23 Konsta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials //Cement and Concrete Research. – 2010. – T. 40. – №. 7. – P. 1052-1059.

References

1 Volynov M. A., Zhezmer V. B., Sidorova S. A. Metody analiza i obrabotki dannykh monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo kompleksa // Prirodoobustroystvo. 2017. №1.

2 1,7 mlrd tenge napravleno na obsledovaniye gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v strane – [Elektron. resurs]. – 2017 – URL: <https://strategy2050.kz/ru/news/50168> (data obrashcheniya: 18.03.2020).

3 Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 21 dekabrya 2004 goda N 1344.

4 Kontseptsiya proyekta Zakona Respubliki Kazakhstan «O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy» 22.05.2017.

5 Ryabov G. G., Ushakevich A. N. Avtomatizatsiya monitoringa deformatsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy vodnogo transporta // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2013. №5 (21)

6 Sun M., Staszewski W. J., Swamy R. N. Smart sensing technologies for structural health monitoring of civil engineering structures //Advances in civil engineering. – 2010. – T. 2010.

7 Aggelis D. G., Alver N., Chai H. K. Health monitoring of civil infrastructure and materials //The Scientific World Journal. – 2014. – T. 2014.

8 Niyazbekova, Konkanov Primeneniye umnykh kompozitnykh betonov dlya agrarno-promyshlennogo kompleksa.

9 SN RK 3.04-01-2018 Gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya.

10 V Kazakhstane vnedryayetsya avtomatizirovannaya sistema monitoringa deformatsiy otvetstvennykh sooruzheniy – [Elektron. resurs]. – 2015 – URL:http://www.nauka.kz/page.php?page_id=16&lang=1&news_id=5398 (data obrashcheniya: 19.03.2020)

11 Han B., Zhang L., Ou J. Smart and multifunctional concrete toward sustainable infrastructures. – Singapore: : Springer, 2017. – P. 369-377.

12 Nawy E. G. (ed.). Concrete construction engineering handbook. – CRC press, 2008.

13 Han B., Ou J. Embedded piezoresistive cement-based stress/strain sensor //Sensors and Actuators A: Physical. – 2007. – T. 138. – №. 2. – P. 294-298.

14 Han B., Yu X., Kwon E. A self-sensing carbon nanotube/cement composite for traffic monitoring //Nanotechnology. – 2009. – Т. 20. – №. 44. – P. 445501.

15 Han B. G., Han B. Z., Ou J. P. Experimental study on use of nickel powder-filled Portland cement-based composite for fabrication of piezoresistive sensors with high sensitivity //Sensors and Actuators A: Physical. – 2009. – Т. 149. – №. 1. – P. 51-55.

16 Kim H. K., Park I. S., Lee H. K. Improved piezoresistive sensitivity and stability of CNT/cement mortar composites with low water–binder ratio //Composite Structures. – 2014. – Т. 116. – P. 713-719.

17 Ma P. C. et al. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review //Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2010. – Т. 41. – №. 10. – P. 1345-1367.

18 Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete—a review //Construction and building materials. – 2010. – Т. 24. – №. 11. – С. 2060-2071.

19 Han B., Yu X., Ou J. Multifunctional and smart carbon nanotube reinforced cement-based materials //Nanotechnology in civil infrastructure. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. – P. 1-47.

20 Zhang L. et al. Nano-scale behavior and nano-modification of cement and concrete materials //Advanced research on nanotechnology for civil engineering applications. – IGI Global, 2016. – P. 28-79.

21 Han B. et al. Fabrication of piezoresistive CNT/CNF cementitious composites with superplasticizer as dispersant //Journal of Materials in Civil Engineering. – 2012. – Т. 24. – №. 6. – P. 658-665.

22 Luo J., Duan Z., Li H. The influence of surfactants on the processing of multi-walled carbon nanotubes in reinforced cement matrix composites //physica status solidi (a). – 2009. – Т. 206. – №. 12. – P. 2783-2790.

23 Konsta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials //Cement and Concrete Research. – 2010. – Т. 40. – №. 7. – P. 1052-1059.

Благодарность

Настоящая публикация осуществлена в ходе реализации подпроекта «Разработка составов многофункциональных сенсорных цементных композиций с нанодобавками для мониторинга состояния конструкций», финансируемого в рамках проекта «Стимулирование продуктивных инноваций», поддерживаемого Всемирным Банком и Правительством Республики Казахстан. Заявления могут не отражать официальной позиции Всемирного Банка и Правительства Республики Казахстан.

PROVIDING STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING PIEZORESISTIVE COMPOSITES FOR SAFETY OF HYDRAULICS STRUCTURES

*Niyazbekova R.K.¹, D.Sc., professor,
Konkanov M.D.¹, PhD student,
Salem T.I.H.², PhD student*

*¹Saken Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011
Kazakhstan, e-mail: macron@metrology.kz*

²Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA

Summary

This article presents research results of cement mortar samples blended with different contents of red mud from 5% to 25%. The results show that it is possible to increase the electrical conductivity of the samples under study, due to relatively high content of metal oxides in the red mud. In this case, there is a direct dependence of red mud content and increasing the electrical conductivity of samples. Thus, it is possible to obtain piezoresistive cements with the addition of red mud. Using red mud as a functional filler in cement matrix for producing the self-sensing concrete not also decreasing the cost of concrete and also has a positive effect for environmental, because it can help to reduce the amount of waste materials.

Key words: cementitious composites, piezoresistive sensors, self-sensing concrete, red mud, structural health monitoring, hydraulic structures, bauxite tailings, safety of infrastructures, smart concrete, infrastructure of agro-industry complex.

ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ МАҚСАТЫНДА КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫҢ ЖАЙ- КҮЙІНЕ МОНИТОРИНГ ЖАСАУДА ПЬЕЗОРЕЗИСТЕНТТІК КОМПОЗИТТЕРДІ ҚОЛДАНУ

*Ниязбекова Р.К.¹, т.ғ.д., профессор,
Конканов М.Д.¹, PhD докторант
Салем Т.И.Х.², PhD докторант*

*¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті проспекті
Қазақстан Республикасы, 010011, Нұр-Сұлтан қаласы, Жеңіс даңғылы, 62,
e-mail: marcon@metrology.kz*

²Мичиган штатының университеті, Ист-Лансинг, Мичиган, АҚШ

Бұл мақалада құрамында 5% - дан 25% - ға дейін қызыл шлам бар цемент ерітіндісінің үлгілерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Мақалада құрылыстың жай-күйін және құрылыс материалдары ретінде қолдануға болатын қызыл ұнтақтан тұратын композициялық материалдарды зерттеу нәтижелерінде мен автоматты бақылауға арналған сенсорлар үшін нормативтік талаптар ретінде ұсынылған. Нәтижелер көрсеткендей, зерттелетін үлгілердегі электр өткізгіштігінің жоғарылау, себебі қызыл шламд құрамындағы металл оксидтерінің болуында. Бұл ретте қызыл шламның құрамының тікелей тәуелділігі және электр өткізгіштігінің жоғарылауы. Осылайша, қызыл шлам

қосылған пьезорезистивті цементтерді алуға мүмкіндік бар. Қызыл ұнтақты бетонды өндіру үшін цемент матрицасында функционалды толтырғыш ретінде пайдалану бетонның сапасын төмендетпейді, сонымен қатар қоршаған ортаға жағымды әсер етеді, себебі қалдықтардың мөлшерін азайтуға көмектеседі.

Кілттік сөздер: цемент композиттері, пьезоэлектрлік цементтер, ақылды бетондар, құрылымдық бақылау, гидравликалық құрылымдар, боксит (қызыл) ұнтақ, пьезорезистивтік композиттер, ғимараттың қауіпсіздігі, аграрлық-өнеркәсіптік инфрақұрылымы.