

СЕЛЕЙ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ УСТОЙЧИВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ БЕТОНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ, С МАЛОАНИЗОТРОПНОЙ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ, ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

*Р.СХВИТАРИДЗЕ, М.ЛОРДКИПАНИДЗЕ, Д.НОЗАДЗЕ, И.ГИОРГАДЗЕ,
Ш.ВЕРУЛАВА, Г.СИДАМОНИДЗЕ, Б.КЕШЕЛАВА*

Поступило 17.11.2016

Цель работы - создание инновационной нанотехнологий гидротехнического бетона нового поколения, с модифицированной структурой, с малоанизотропной высокой прочностью, малоизнашиваемый от селевых потоков и малораздробляемый от землетрясений.

Строительство гидротехнических сооружений в Грузии и во всем мире ведется бетонами, которые не имеют стойкости к селям и сейсмическим колебаниям. В результате, происходит износ/деструкция гидротехнических сооружений от селевых потоков и раздробление/разрушение от сейсмических колебаний. Поэтому, актуальна превенция неустойчивости гидротехнического бетона, инновационно - совместным микро- и самонано армированием его структуры.

Ключевые слова: *микро-, нано, самоармирование, фибра, метакаолин, клиноптилолит, габитус, игольчатые, волокнистые, пластинчатые*

Введение и обзор

В XXI веке на строительном рынке возникла необходимость строительства надежных, прочных и устойчивых сооружений. Это повлекло ужесточение требований к бетонам в вопросах прочности, сейсмостойкости, трещиностойкости, абразивного изнашивания, стойкости к сульфатосодержащей, морской, подземной, наземной водам, селевым потокам [1]. Грузия расположена в зоне горного рельефа Южного Кавказа, где высок риск возникновения 7-9-балльных землетрясений и селевых потоков. На строительном рынке же интенсивно строятся энергетические вододерживающие, водоотводящие и волнорежущие гидротехнические сооружения. К ним предъявляются требования стойкости ко всем вышеперечисленным факторам.

По строительным нормам гидротехнические сооружения должны строиться с использованием низкоэкзотермических и гидравлически устойчивых цементов/бетонов [2]. В Грузии также, как и во всем мире строительство гидротехнических сооружений ведется бетонами, которые содержат 1-20% $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$, не обладают стойкостью к селям и сейсмическим колебаниям, так как в технике нет гидротехнических цементбетонов с малой изнашиваемостью и устойчивых к сейсмическим колебаниям. Это весьма тревожный факт. Из-за воздействия водных волн, селей, морозов могут преждевременно проявиться износ поверхности гидротехнических сооружений, деструкция [3], а в результате землетрясений полностью разрушения/раздробления и увеличение человеческих жертв от кусков бетона, что уже имело место в разных странах [4]. Поэтому актуальна превенция неустойчивости гидротехнического бетона.

В конце XX века для повышения устойчивости сооружений при помощи нанотехнологий был создан High Performance Concrete (HPC) нового поколения. 1 м³ HPC практический содержит 25-40% портландцемент с размером частиц 20-70 мк, 50-70% мелкий/крупный заполнитель (размер зерен 140-25000 мк) и 5-10% микродисперсный минеральный наполнитель – модификатор с размером зерен 50-140 мк. Бетон разжижается ($S = 15-25\text{sm}$) пластификатором в количестве 0,5-1,5% от массы цемента. Прочность такого бетона 25-30 МПа за 24 часа и 60-115 МПа после 28 дней твердения, водонепроницаемость $> W12$,

водопоглощение 1-2%, износ 0,3-0,4 г/см; структура очень плотная, микропористая. Но практика выявила проблемы [5-9]:

- на конструкциях, изготовленных НРС легко возникают поверхностные трещины;

- НРС очень хрупкий и чувствителен к ударным и изменяющим направление механическим воздействиям. В частности, интенсивные удары от селевых потоков вызывают сильный износ поверхности, а сейсмические колебания растрескивание/разрушение/раздробление бетона. Куски раздробленного бетона увеличивают количество человеческих жертв от землетрясений. Поэтому необходимо принимать превентивные меры;

- НРС анизотропен по прочности. Прочность на сжатие почти в 10 раз превосходит прочность на изгиб и почти в 20 раз прочность на растяжение. Поэтому необходимо конструкции армировать более интенсивно, что увеличивает расход арматуры и удорожает строительство.

Хрупкости, растрескиванию и раздроблению НРС способствует:

- высокая экзотермичность использованного цемента и наличие в нем $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$;

- запоздалое образование экспансивного кристаллогидрата эттригита во время твердения цемента;

- преждевременное обезвоживание от ветра, от повышенной температуры окружающей среды, от использования водопоглощающих заполнителей.

Перечисленные факторы вызывают уменьшение объема, что способствует возникновению растягивающих сил, которые меньше сжимающих, в результате бетон трескается.

Хрупкость НРС усиливается с ростом прочности, особенно при расходе цемента 500-600 кг/м³ бетона; хрупкость растет при преждевременном обезвоживании и наличии в нем $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$.

Главная причина хрупкости, поверхностного растрескивания и анизотропности НРС в конгломерантности структуры, несовместимости составляющих и в низкой адгезивности, что усиливается избытком микропор и $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$.

Превенцию конгломерантности и его вызванной анизотропности и пористости производят:

- добавлением мелкодисперсного природного или синтезированного пуццолана, например, Microsilica. Размер зерен его не превышает 100 nm (0,1 мк), поэтому он заполняет пустоты между частичками цемента (20-70 мк), а также уменьшает содержание $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$, так как связывает их в силикаты кальция;

- макроармированием металлической арматурой периодического профиля ($d=6000-40000$ мк) или проволочной сеткой ($d=1000-5000$ мк), что недостаточно. Почему?, - потому, что 25-45% цемента, находящийся в 1м³ НРС, при гидратации образуют 20-40% кристаллогидратов микро- и наноразмера. Действующие на бетон изгибающие, ударные и разрывные нагрузки вызывают разрушение, последовательность которого следующая: нано уровень - микро уровень - макро уровень. Поэтому начали применять т.н. "дисперсное 3d объемное" микроармирование фиброй ($d=200-300$ мк; $L=6000-48000$ мк). Но фибра сама создала проблемы: металлическая фибра подвержена коррозии, а полипропиленовая в бетоне обладает малой адгезией, что уменьшает прочность.

Исходя из вышесказанного, актуальна превенция неустойчивости гидротехнического бетона к селям и землетрясениям инновационно совместным микро- и самонаноармированием его структуры, что предполагает:

- модификацию структуры НРС объемным 3d микроармированием - путем смешивания фибры силикатного происхождения, например - базальтовой;

- модификацию структуры НРС путем смешивания пуццоланов, содержащих кристаллы волокнисто-игольчато-слоистого габитуса, которые с $[\text{CaO}, \text{Ca}(\text{OH})_2]_{\text{free}}$ и с этрингитом будут

образовать устойчивые, фиброподобные армирующие соединения (см. также: fig.8. в главе 6.) . Эти последние и произведут объемное дисперсное 3d самонаноармирование структуры. Такой НРС будет сопротивляться разрушающим нагрузкам уже начиная с наноуровня - этим увеличится устойчивость.

В случае положительного решения финансирования проекта, будет исследована возможность создания инновационной нанотехнологии к селям и землетрясениям устойчивых гидротехнических бетонов нового поколения, с модифицированной структурой, с малоанизотропной высокой прочностью – по гипотезе: модифицирование бетона силикатами, на микроуровне – волокнистой базальтовой фиброй и на наноуровне пуццоланами, содержащими пластинчато-игольчато-волокнистые кристаллогидраты, приведет к их сплетению с кристаллогидратами аналогичного габитуса, образовавшихся при твердении цемента, и к их концентрированию вокруг единичных волокон фибры. Силикатным модифицированием произойдет одновременное 3d микро- и самонаноармирование структуры бетона, что: - уменьшит конгломератность, пористость, анизотропию прочности, водопроницаемость, изнашиваемость, дробимость; - увеличит прочность бетона на изгиб/сжатие/разрыв, гибкость.

Для достижения цели запланировано осуществление модификации структуры бетона для уменьшения износа, для увеличения выносливости к сейсмическим колебаниям, прочности на изгиб и упругости. Авторами проекта разработан инновационный метод объемного дисперсного 3d армирования [10 - 16], который будет использован для решения следующих задач:

1. Модифицирование структуры бетона микро армированием силикатными фибрами; Включает 2 подзадачи: - подбор фибры (тип, количество, длина); - Тестирование свойств (сжатие, изгиб, растяжение, упругость) получаемого бетона;

2. Модифицирование структуры бетона самонано армированием пуццоланами; Включает 2 подзадачи: подбор типа и количества пуццолана и способа его активации; - Тестирование свойств (сжатие, изгиб, растяжение, упругость, тепловыделение) получаемого бетона;

3. Тестирование свойств модельных образцов гидротехнического бетона нового поколения; Включает 6 подзадачи – определение: тепловыделения, водопроницаемости, износостойкости, морозостойкости, прочности (на изгиб/сжатие/растяжение), упругости.

Компетенция участников проекта в указанной области. Сотрудники ГТУ, которые будут принимать участие в проекте, имеют огромный опыт в области технологии цемента и бетона, доктора наук, авторы многочисленных публикаций (выше 100 единиц) и патентов (10 единиц) – бывшие военнослужащие и участники научных работ с грифом «СС».

Будет изучена возможность получения селей и землетрясения устойчивого гидротехнического бетона нового поколения на базе производимых в Грузии цементов и существующих минеральных пуццолановых материалов. Строительство гидротехнических сооружения в Грузии и во всем мире производят бетонами, которые содержат 1-20% $[CaO, Ca(OH)_2]_{free}$. и которые не обладают стойкостью к селям и к сейсмическим колебаниям, так как в технике нет гидротехнических цементбетонов с малой изнашиваемостью и устойчивых к сейсмическим колебаниям. Это весьма тревожный факт. Из-за воздействия водных волн, селей, морозов могут преждевременно проявиться износ поверхности гидротехнических сооружений, деструкция, а в результате землетрясений полностью разрушения/раздробления с увеличением человеческих жертв от кусков бетона, что уже имело место в разных странах[4].

Поэтому, актуальна превенция неустойчивости гидротехнического бетона – путем создания селей и землетрясения устойчивого гидротехнического бетона нового поколения на базе производимых в Грузии цементов и существующих пуццолановых материалов. В рамках проекта будет сделана попытка, взамен анизотропного по прочности бетона, изготовить изотропный (менее анизотропный) по прочности (гидротехнический) бетон, что увеличит стойкость и долговечность гидротехнических сооружения любого типа и назначения.

Основным новшеством в проведении исследования будет повышение устойчивости гидротехнического бетона по гипотезе: модифицирование бетона силикатами, на микроуровне - волокнистой базальтовой фиброй ($D = 200-300 \text{ мк}$) изготовленного из базальтового волокна ($d = 0,7 - 1,0 \text{ мк} = 70 - 100 \text{ нм}$) и на наноуровне - пуццоланами (конкретно: активированным цеолитовым туфом), содержащим кристаллогидраты – пластинчатый клиноптилолит (fig. 1.), волокнистый морденит (fig.2.), игольчатый натролит (fig.3), или – активированным глинистым сланцем, содержащим кристаллогидрат – слоистый метакаолин (fig.4.), приведёт к их сплетению с кристаллогидратами аналогичного габитуса, образовавшихся при твердении цемента (пластинчатато – игольчатый тоберморит (fig.5.), игольчато призматический эттрингит (fig. 6.), и к их концентрированию вокруг единичных волокон фибры (fig. 7.) (fig. 8.) Силикатным модифицированием произойдет одновременное 3d микро- и самонаноармирование структуры бетона, что: - уменьшит конгломератность, пористость, анизотропию прочности, водопроницаемость; - увеличит прочность бетона на изгиб/сжатие/разрыв, гибкость, износостойкость (от селей), дробимостойкость (от землетрясения).

В работе будут использованы методы анализа: химический, петрографический, рентгенодифрактометрический, хроматографический. По евро нормам EN196/EN-1:2000, будут проведены тестирование свойств бетона (пористость, плотность, водопроницаемость, износостойкость, морозостойкость, хрупкость, упругость, прочность на сжатие-изгиб-растяжение) – с помощью лабораторного оборудования (1. Прес испытательный - гидравлический; 2. Мельница лабораторная; 3. Печь муфельная - лабораторная; 4. Калориметр - тепловыделения; 5. Набор сит: 20 мк - 25 мм; 6. Смеситель - бетона/раствора) фирм "Controls", "Testing", "Matest", что соответствует целям проекта: исследование возможности создания инновационной нанотехнологии гидротехнического бетона нового поколения, с модифицированной структурой, высокой прочностью, малой анизотропности, устойчивого к селям и землетрясениям.

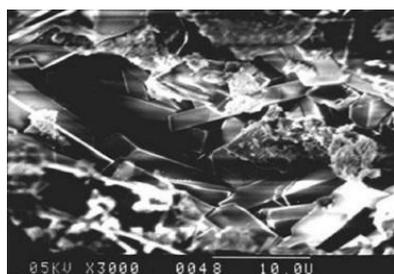


Fig. 1. Clinoptilolite

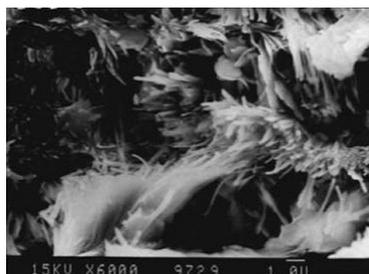


Fig. 2. Mordenite



Fig. 3. Natrolite

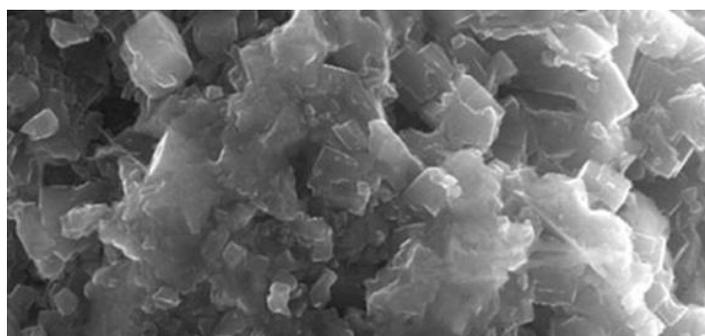


Fig. 4. Metacauline



Fig. 5. Tobermorite

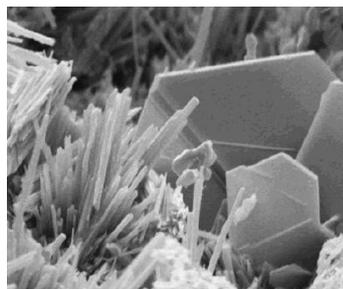


Fig. 6. Ettringite



Fig. 7. Basalt fiber

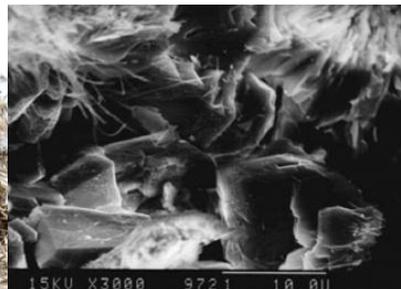


Fig. 8. Ettri.+clinopt.+bas.fiber

ЛИТЕРАТУРА

1. E.Yuriy, I.Pivinski.: "HCBS ceramic concretes in the XXI century – Problems and Prospects for applying technology in the field of silicate materials science. Part 1. Article in Refractories and industrial Ceramics 52(2): 107 – 115. July 2011;
2. Ts.G.Ginsburg, R.E. Litvinova, A.A.Borisov. "High – strength concrete in hydrotechnical construction". J.Hydrotechnical Construction.March 1976,V.10, Issue 3,pp.254 – 256;
3. R.Lebedeva. "Analysis of the Properties Of Hydrotechnical Concrete Employed In The Marine Environment // SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA/MOKSLAS – LITUVOS ATEITIS. Vol 5. No5 (2013)
4. В.А.Рогонский, В.М. Воронин, Строительные катастрофы,СПб,»Стройиздат,2001.160с.
5. K.J.Folliard, N.S.Berke: Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture. Cement and Concrete Research 27 (1997)No.9.,pp. 1357 – 1364;
6. W.Weiss, A.Schiebl, W.Yang, S.Shah.: Shrinkage cracking potential, permeability and strength of HPC: Influence of w/c, silica fume, latex and shrinkage –reducing admixtures. International Symposium of High Performance and Reactive Powder Concretes, Sherbrooke 1998, pp. 349 – 365;
7. B.Persson,: On the under-pressure in the pore water of sealed high performance concrete,HPC. Concrete Science and Engineering (2000) No.8, pp. 213 – 221;
8. B.Clavoud.: Early age shrinkage of concrete: back to physical mechanisms. Concrete Science and Engineering (2001) No.10, pp. 85 – 91;
9. B.Persson,: Eight-year exploration of shrinkage in high-performance concrete. Cement and Concrete Research 32 (2002)No.8, pp. 1229 – 1237;
10. R.Skhvitaridze,B.Keshelava, I.Giorgadze, Sh.Verulava. "Use Of Nanoreinforcement In Concrete Technology"// Science And Technologies. Scientific reviewed magazine. N2 (716),Tbilisi,2014,pp.65-70.
11. G.Tatarashvili, B.Keshelava, R.Skhvitaridze. "Investigation Of The Tedzami Zeolite And Ajamety Spong-olit Use Possibility In Concrete Nanotechnology". First International Conference On Seismic Safety Of Caucasus Region Population, Cities and Settlements. Septembr 8 -11, 2008.Tbilisi, Georgia. pp. 187-188.
12. R.Skhvitaridze, B.Keshelava, G.Tatarashvili, I.GiorgaZe. "Used Of Cements Modified At TheNanolevel Mineral Additives". Proceedings Of a 12th International Conference. Varna, Bulgaria. September 22-24. 2009.pp. 126-129.
13. Kehselava B.,Skihvitaridze R.,Tsintskaladze G., Tatarasvili G. "The use of nano-modified mineral admixtures in the concrete nanotechnology in Georgia". International Symposium on Engineering and Architectural Sciences of Balkan, Caucasus and Turkic Republics, Isparta (Turkey), 22-24 october, 2009, pp.98-103.

14. R.Skhvitaridze, B.Keshelava, G.Tatarashvili, I.Giorgadze, G.Tsintskaladze. "The concrete nanotechnology in Georgia". 9th International Scientific-Practical Conference "Research, Development And Application Of High Technologies In Industry". St. Peterburg. 22 -23.04.2010 (Russia). pp. 243-247.
15. R.Skhvitaridze, I.Giorgadze. "Scientific and Technical basis for High Performance Concrete usage and dispersive (3d) reinforcement necessity on the construction market of Georgia". INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND MATERIALS. International scientific conference devoted to the memory of academician TEIMURAZ LOLADZE. Tbilisi, 24 – 27 October, 2011. pp. 279-285.
16. R.Skhvitaridze, B.Keshelava, I.Giorgadze, G.Tsintskaladze, Sh.Verulava. "The Innovative Concrete Nanotechnology In Georgia". 3rd International Conference "NANOTECHNOLOGIES". October 20-24,2014, Tbilisi, Georgia, Nano-2014. p.106 - 107.