

УДК 666.972.5

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ НЕФЕЛИНСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД В БЕТОНАХ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

*Н.М. Толыпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
г. Белгород, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Диффузия агрессивных компонентов внешней среды вглубь бетона наиболее интенсивно протекает по контактными поверхностям между заполнителем и цементной матрицей. Для снижения проводимости контактных поверхностей целесообразно использовать активные заполнители, которые взаимодействуют с цементной матрицей по тем или иным механизмам, что приводит к росту долговечности изделий.

**Материалы и методы.** Для проведения сравнительных исследований коррозионной стойкости бетонов на активном заполнителе (уртите) и неактивном (кварцевом песке) использовали методы механических испытаний, рентгенофазового анализа, растровой электронной микроскопии.

**Результаты.** Установлено, что уртитовый заполнитель значительно повышает прочность и коррозионную стойкость бетона по сравнению с традиционным заполнителем на кварцевом песке. Исследование контактной зоны цементный камень–заполнитель с применением РЭМ показало, что в зоне контакта уррита с цементной матрицей продукты коррозии отсутствуют, при этом контактная зона кварцевого песка и его поверхность обрастают продуктами коррозии, представленными в основном гипсом.

**Обсуждение и заключение.** Повышение коррозионной стойкости мелкозернистого бетона путем применения активного заполнителя на основе уррита обусловлено снижением проводимости контактных поверхностей между цементной матрицей и заполнителем благодаря химическому сродству породообразующего минерала нефелина к гидроксиду кальция. Дополнительным фактором, усиливающим самоторможение кислотной коррозии, является образование на поверхности нефелина гелеобразного слоя кремнекислоты, который тормозит продвижение ионов гидроксония благодаря протеканию элетроповерхностных процессов. Нефелинсодержащие заполнители целесообразно применять для бетонов, используемых в условиях химической агрессии высокой интенсивности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мелкозернистый бетон, химически активные заполнители, цементная матрица, контактная зона, гидратные фазы.

**Статья подготовлена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова**

© Н.М. Толыпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# APPLICATION OF AGGREGATES OF NEPHELINE BEARING ROCKS IN INCREASED CORROSION RESISTANCE CONCRETE

*N.M. Tolypina, E.M. Shigareva, M.V.Golovin, D.S. Shigarev*  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
Belgorod, Russia

## ABSTRACT

**Introduction.** Diffusion of aggressive components of the external environment deeper into the concrete intensively flows through the contact surfaces and between the filler and the cement matrix. Therefore, it is better to apply active fillers that interact with the cement matrix on certain mechanisms for reducing the conductivity of the contact surfaces, which leads to the products durability.

**Materials and methods.** Methods of mechanical testing, x-ray phase analysis, scanning electron microscopy were used for comparative studies of concrete corrosion resistance with the active filler (urtite) and with the inactive one (quartz sand).

**Results.** This research indicates that the urtite filler significantly increases the strength and corrosion resistance of concrete in comparison with the traditional filler with quartz sand. The investigation of the contact zone of cement stone-aggregate with the usage of REM demonstrates that there are no corrosion products in the contact zone of urtite with the cement matrix, while the contact zone of quartz sand and its surface acquires corrosion products represented mainly by gypsum.

**Discussion and conclusion.** The increased corrosion resistance of the fine aggregate concrete through the application of active filler on the basis of urtite provides lower conductivity of the contact surfaces between cement matrix and filler due to the chemical affinity of the rock-forming minerals of nepheline to calcium hydroxide. The additional factor that enhances the self-inhibition of acid corrosion is the formation of the gel-like layer of silica on the surface of nepheline, which inhibits the advancement of hydroxide ions due to the flow of electro-surface processes. Thus, the nepheline fillers are appropriate to apply in concrete, which is used in the conditions of the chemical aggression of high intensity.

**KEYWORDS:** fine-grained concrete, chemically active aggregates, cement matrix, the surface area, hydrated phases.

*The article was prepared by the development program of the Basic University of the BSTU named after V.G. Shukhov*

© N.M. Tolypina, E.M. Shigareva, M.V.Golovin, D.S. Shigarev



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основными способами повышения долговечности строительных материалов гидратационного твердения являются уменьшение количества алюминатов в вяжущем, использование минеральных добавок, связывающих гидроксид кальция и повышение плотности бетона [1,2,3,4]. У материалов конгломератной структуры наибольшей проводимостью обладают контактные поверхности между заполнителем и цементной матрицей, по которым происходит диффузия агрессивных агентов вглубь материала [5,6]. Для снижения проницаемости контактной зоны целесообразно использовать химически активные заполнители [7,8], взаимодействующие с гидроксидом кальция жидкой фазы бетона с образованием в контактной зоне гидросиликатов кальция тоберморитовой группы, тем самым обеспечивающих химическое срастание поверхностных слоев заполнителя с цементной матрицей бетона. Уртиты (нефелиновые породы) являются попутнодобываемым продуктом при разработке апатитонефелиновых месторождений [9,10]. На основе ранее выполненных термодинамических расчетов [11] установлен ряд сравнительной активности минералов, входящих в состав заполнителей бетонов: нефелин > стеклообразный волластонит > кварц > микроклин > альбит > анортит > кристаллический волластонит. Отсюда следует, что нефелин обладает повышенной химической активностью по отношению к гидроксиду кальция, содержащимся в жидкой фазе бетона. Это послужило основой для выбора уртита в качестве химически активного заполнителя. Бетоны на неорганической основе могут подвергаться воздействию кислот низкой концентрации в процессе эксплуатации [12,13,14,15,16,17,18]. В этой связи целью работы является проведение сравнительных исследований коррозионной стойкости цементных бетонов с обычным и химически активным заполнителем (уртитом).

## **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Для исследований коррозионной стойкости использовали образцы размером 2,5x2,5x10 см (1:3), изготовленные в соответствии с ГОСТ 310.4–81. После предварительного твердения в течение 28 сут в нормальных условиях образцы бетона испытывали на прочность при изгибе и сжатии, затем помещали в емкости для хранения с 1 %-ным раствором серной кислоты, который периодически обновляли. После хранения 1, 3, 6 и 12 мес образцы бетона испытывали на прочность при изгибе и

сжатии, определяли фазовый состав и микроструктуру корродированной зоны [19]. Коэффициент стойкости определяли как отношение прочности образцов, хранившихся в агрессивной среде, к прочности образцов, твердевших в воде. Для исследования фазового состава применяли рентгеновский дифрактометр ARL9900 Intellipower Workstation и ARLX'TRA с использованием метода порошков в диапазоне двойных углов  $2\theta$  4÷56° и 8÷80°. Микроструктуру изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LM. Все измерения автоматизированы и снабжены программным обеспечением.

В качестве объекта исследований использовали уртиты Хибинского месторождения апатитонефелиновых руд, которые подвергали дроблению на лабораторной щековой дробилке до получения мелкого заполнителя с  $M_{кр}=2,3$ . Минеральный состав уртитов, %: нефелин – 72, эгирин – 16, полевошпат – 6, сфен – 3 и проч. Содержание  $SO_3$  не более 0,2 %, содержание растворимого кремнезема около 20 ммоль/л. Химический состав уртитов, %:  $SiO_2$  – 40,99;  $Al_2O_3$  – 27,94;  $Fe_2O_3$  – 4,01;  $TiO_2$  – 2,08; FeO – 1,38;  $Na_2O$  – 13,42;  $K_2O$  – 4,95; MgO – 1,14; CaO – 3,95;  $P_2O_5$  – 0,82; проч. – 1,02. Контрольные образцы изготавливали на кварцевом песке Нижнеольшанского месторождения ( $M_{кр}=1,2$ ). Химический состав песка, %:  $SiO_2=96$ ;  $Al_2O_3=0,3$ ;  $Fe_2O_3=0,8$ ; CaO=1,9; MgO=0,3;  $SO_3=0,05$ ;  $R_2O=0,3$ ; ппп=1,9. В качестве вяжущего применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Белгородский цемент») минерального состава, %:  $C_3S=63,2$ ;  $C_2S=14,8$ ;  $C_3A=6,9$ ;  $C_4AF=13,1$ ;  $n=2,25$ ;  $p=1,24$ ;  $k_n=0,92$ .

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Исследование сравнительной коррозионной стойкости мелкозернистого бетона на химически активном (уртите) и неактивном заполнителе (кварцевом песке) проводили по приведенной выше методике. Результаты исследований приведены на рисунке 1.

Необходимо отметить существенную разницу по прочности образцов бетона на уртите и контрольного состава до и после испытаний. Как видно из графиков, приведенных на рисунке 1, повышение предела прочности при сжатии образцов на уртитовом заполнителе начинается через 1 мес, что, по-видимому, обусловлено положительным влиянием кольмантанта (гипса) и продолжается в течение 6 мес. В то же время у образцов бетона на кварцевом песке после 3-х мес наблюдался спад прочности, вплоть до практически полной потери прочности к 12 мес.

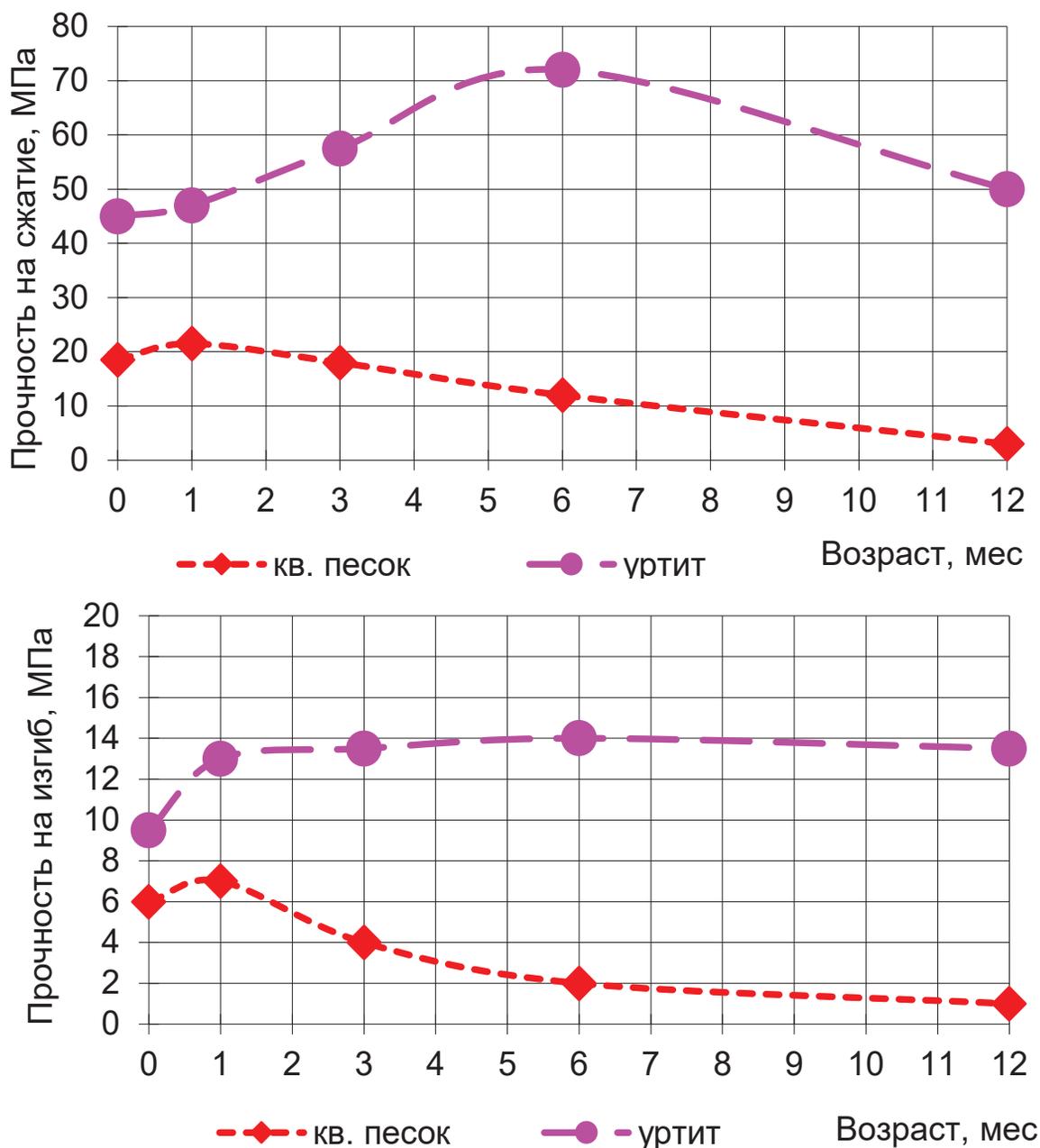
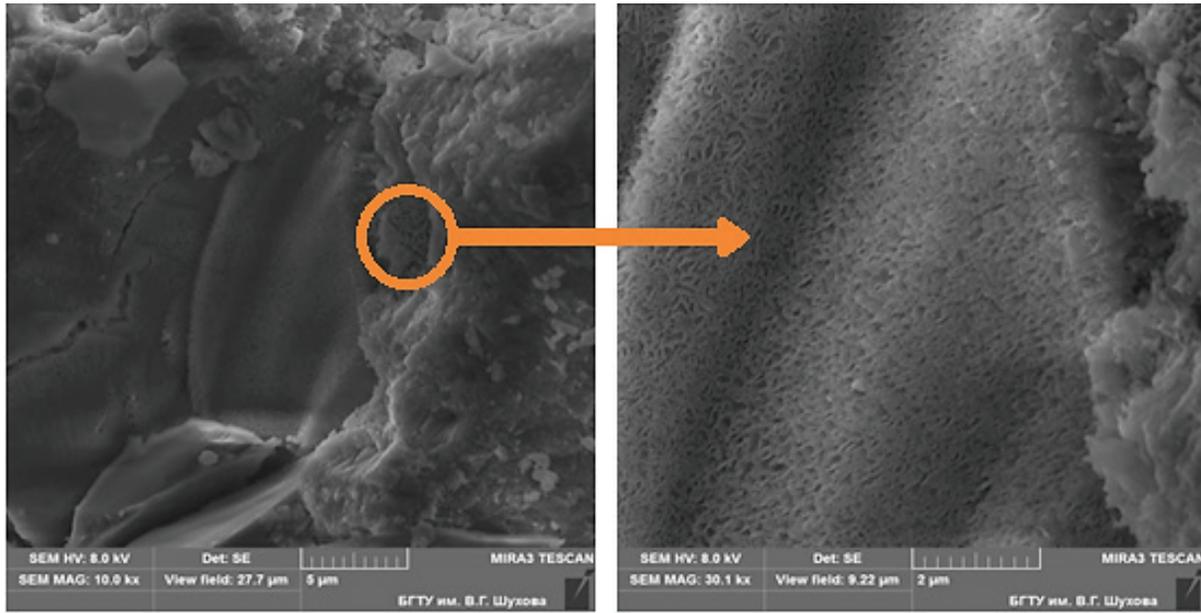


Рисунок 1 – Влияние заполнителей на прочность образцов, твердевших в 1%-ном растворе  $H_2SO_4$   
 Figure 1 – Effect of fillers on samples strength solidified in 1% solution of  $H_2SO_4$

Коэффициент стойкости образцов мелкозернистого бетона на уртитовом заполнителе составил  $K_{C_{12}}=1,2$ , контрольных образцов на кварцевом песке  $K_{C_{12}}=0,3$ . Сопоставление этих данных показывает преимущество химически активного заполнителя уррита, перед неактивными заполнителем (кварцевым песком).

Более высокая прочность и стойкость образцов бетона на заполнителе из уррита обусловлена тем, что уже в нормальных условиях происходит взаимодействие уррита со щелоч-

ными компонентами цемента с образованием волокнистых гелевидных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы (CSH), которые кольматируют крупнокапиллярные поры вокруг частиц заполнителя, являющиеся каналами, по которым происходит проникновение агрессивных агентов вглубь бетонных изделий. Схема реакции для начальной стадии гидратации основного порообразующего минерала нефелина в высокощелочной среде имеет вид:  $NaAlSiO_4 + 2OH^- + 2H_2O = Na^+ + Al(OH)_4^- +$



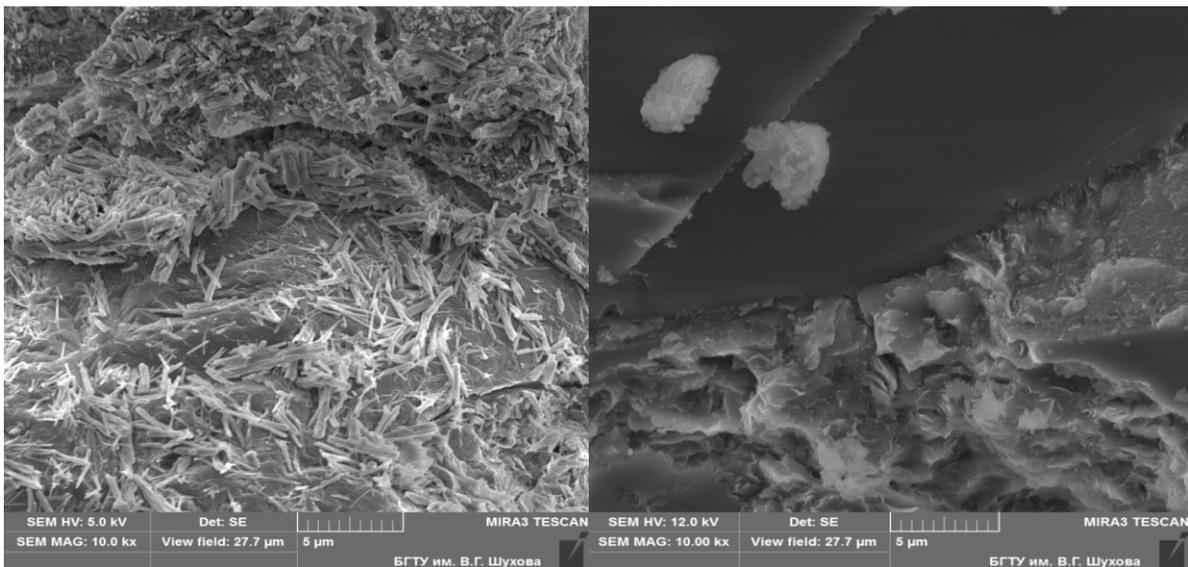
а) б)

*Рисунок 2 – Слой гидросиликатов кальция на контакте уртитового заполнителя с цементным камнем*

*Figure 2 – Calcium hydrosilicates layer in the contact zone of the urtit filler with cement stone*

$H_2SiO_4^{2-}$ . На рисунке 2, а показан боковой срез контактного слоя уррита с цементным камнем, заполненный слоем гидросиликатов кальция, образующихся при взаимодействии поверхности заполнителя с гидроксидом кальция жидкой фазы бетона. На рисунке 2, б при более

крупном увеличении видна микрокристаллическая сотовая структура гелеобразных гидратных соединений с треугольной формой, характерной для автоклавированных систем  $SiO_2-CaO-H_2O$ .



а) б)

*Рисунок 3 – Накопление продуктов коррозии в зоне контакта между заполнителем и цементной матрицей: а) кварцевый песок, б) уртит*

*Figure 3 – Accumulation of corrosion products in the contact zone between the filler and the cement matrix: а) quartz sand, б) urtit*

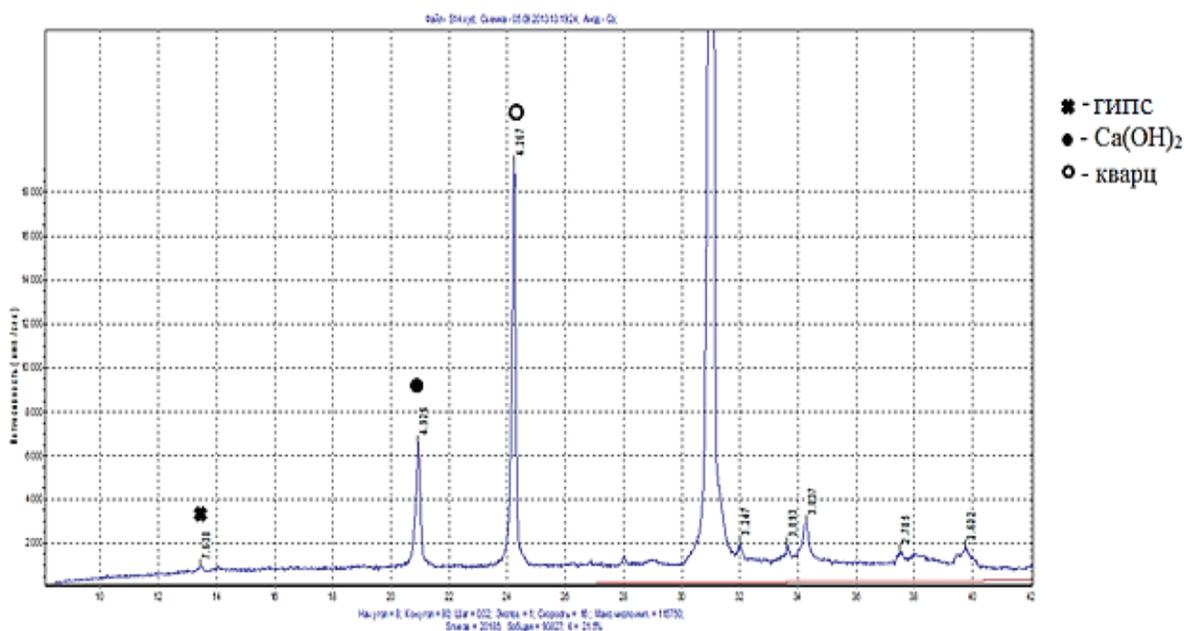


Рисунок 4 – Рентгенограмма корродированных слоев бетона на кварцевом песке после 12 мес хранения в 1%-ном растворе  $H_2SO_4$

Figure 4 – Radiograph of corroded concrete layers with quartz sand after 12 months storage in 1% solution of  $H_2SO_4$

В результате плотного срастания уррита с цементной матрицей бетона на его поверхности и в зоне контакта продукты коррозии отсутствуют (рисунок 3, б), при этом контактная зона кварцевого песка и его поверхность обрастает продуктами коррозии (рисунок 3, а), представленными в основном гипсом (пики 7,56; 4,27; 3,059 Å) (рисунок 4).

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии химически активного заполнителя на стойкость бетона за счет снижения проводимости контактной зоны для агрессивных агентов внешней среды благодаря срастанию поверхности заполнителя с цементным камнем.

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большое влияние на коррозионную стойкость строительных материалов гидратационного твердения оказывает основность цемента и продуктов его гидратации. Стойкие виды вяжущих в данной агрессивной среде необходимо выбирать с позиции концепции кольматации [20,21,22,23], суть которой заключается в том, что малорастворимые продукты коррозии, образующиеся при взаимодействии агрессивных компонентов с цементной матрицей бетона, осаждаются в порах бетона,

тем самым закупоривают их (кольматируют), что замедляет диффузию агрессивных агентов вглубь изделия. Поэтому более стойким будет вяжущее, которое образует в данной агрессивной среде максимальное количество кольматанта с наибольшим диффузионным сопротивлением. Это позволяет повысить самоторможение процессов коррозии и коррозионную стойкость изделий в агрессивных средах.

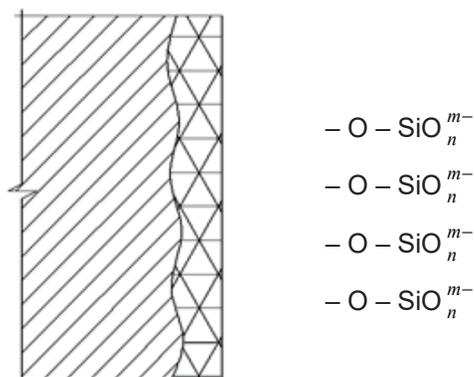


Рисунок 5 – Схема образования слоя кремнекислоты

Figure 5 – Scheme of silica layer formation

При кислотной коррозии процесс взаимодействия кислоты с компонентами цементной матрицы бетона сопровождается не только

кольматацией пор последнего малорастворимыми продуктами коррозии, но и образованием на поверхности уртитового заполнителя вязкого гелеобразного слоя кремнекислоты, образующегося при контакте нефелина с кислотой. Этот фактор усиливает самоторможение кислотной коррозии бетонов на цементной основе. Кремнекислота  $H_nSiO_m$  представляет собой кислотостойкое вещество, растворимое только в плавиковой кислоте. Гелеобразный слой кремневой кислоты и ее ионов на поверхности изделия, взаимодействуя с ионами водорода, точнее ионами  $H_3O^+$ , захватывает их и удерживает на своей поверхности:  $H_3O^+ + H_3SiO_4^- \rightarrow H_4SiO_4 + H_2O$  (рисунок 5). Реакция характеризуется высокой термодинамической вероятностью, обусловленной очень низким коэффициентом диссоциации ортокремневой кислоты, близким к  $K_{дисс} = 10^{-10}$  [22,23].

В результате этого процесса внутренние слои, частично корродированного бетона, контактируют не со свободными ионами гидроксония, а со слабой ортокремневой кислотой, которая имеет родственный с ним химический состав и неагрессивна по отношению к нему.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, установлено, что уртитовый заполнитель повышает коррозионную стойкость мелкозернистого бетона в сернокислых средах по сравнению с бетоном на традиционном кварцевом песке. Это обусловлено тем, что происходит снижение проводимости контактной поверхности между цементной матрицей и заполнителем благодаря химическому сродству породообразующего минерала нефелина к гидроксиду кальция. При этом самоторможение кислотной коррозии усиливается благодаря образованию на поверхности нефелинсодержащего заполнителя гелеобразного слоя кремнекислоты, что вызывает протекание элетроповерхностных процессов с захватом анионами кремнекислоты агрессивных ионов гидроксония. Нефелинсодержащие заполнители целесообразно использовать также для бетонов, применяемых в условиях солевой и биологической агрессии высокой интенсивности.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, Е. А. Гузев. Под общей редакцией В. М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
2. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона // Пер. с нем. А.Тулганова, под ред. П.Кривенко. Киев: Оранта, 2004. 301 с.
3. Мюллауэр В., Бедду Р.Е., Хайнц Д. Механизмы воздействия сульфатов на бетон: факторы химической и физической устойчивости // Цемент и его применение, 2013. № 9. С. 34–43.
4. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu. Cement and Concrete Composites, 2006, 36. no 12. pp. 2132–2137.
5. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.
6. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // Вестник БГТУ. 2017. №11. С. 43–47.
7. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей: монография / Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.
8. Толыпина Н.М. К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 6. Ч. 1. С. 81–85.
9. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Полякова А.М, Фурсов С.Г. Вскрышные нефелинсодержащие породы и их применение // Автомобильные дороги. 1990. № 5. С. 16–17.
10. Крашенинников О.Н., Белогурова Т.П., Цветкова Т.В. Влияние минерального состава уртитового заполнителя и условий твердения бетона на формирование контактной зоны // Комплексное использование минерального сырья в строительных и технических материалах. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. С. 22–25.
11. Рахимбаев И.Ш., Толыпина Н.М. Термодинамический расчет активности в щелочной среде минералов, входящих в состав заполнителей бетонов // Вестник Центрального Регионального отделения: материалы Академических науч. чтений «Науч. и инженер. пробл. строит.-технол. утилизации техногенных отходов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. Вып.13. С. 174–178.
12. Яковлев В.В. Кинетика коррозии портландцементного бетона в растворах кислот // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 32–34.
13. Bertron A., Escadeillas G. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical

characterization. *Cement and Concrete Composites*, 2004, no.10. т. 34. pp. 1823–1835.

14. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Кислотостойкий бетон с эффективным активным заполнителем // *Бетон и железобетон*. 2011. № 4. С. 24–26.

15. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions exposure to extreme intensity. *Cement and Concrete Composites*, 2005, no. 1. pp. 65–76.

16. Xiao Jie, Qu Wenjun, Li Wengue, Zhu Peng. Investigation on effect of aggregate on three non-destructive testing properties of concrete subject to sulfuric acid attack. *Concr. and Build. Mater.* 2016, no 115. pp. 486–495.

17. Kolio Ario, Honkanen Mari, Lahdensivu Jakka, Vippola Minnamari et al. Corrosion products of carbonation induced corrosion in existing reinforced concrete facades. *Cem. and Concr. Res.* 2015, no 78. pp. 200–207.

18. Peng Jian, Zhang Censheng, Peng Tongf, Zi Yanke et al. Experimental study on mechanical properties of concrete corroded by ammonium sulfate. *Univ.Scr. and Technol.* 2015, 36. no 5. pp.34–40.

19. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 23–24.

20. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов коагуляции при химической коррозии цементных систем // *Бетон и железобетон*. 2012. № 6. С. 16–17.

21. Карпачева Е.Н., Рахимбаев Ш. М., Толыпина Н.М. Коррозия мелкозернистых бетонов в агрессивных средах сложного состава: монография // *Germany: Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG*, 2012. 90 с.

22. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мчедлов-Петросян. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.

23. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов; под ред О.П. Мчедлов-Петросяна, 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 406 с.

## REFERENCES

1. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Guzeev E.A. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity* [Corrosion of the concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow, Stroyizdat, 1980. 536 p.

2. Stark I., Wicht B. *Dolgovechnost' betona* [Concrete durability]. Trans. with it. A. Dolganova, ed. by P. Krivenko. Kiev, Orans, 2004. 301 p.

3. Mullauer V., Beddoe R.E., Heinz, D. *Mehanizmy vozdeystviya sul'fatov na beton: faktory himicheskoy i fizicheskoy ustojchivosti* [Mechanisms of the effects of sulfates on the concrete: factors of chemical and physical stability]. *Cement and its applications*, 2013, no. 9, pp. 34–43.

4. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars *Santhanam Manu. Cement and Concrete Composites*, 2006, 36, no 12, pp. 2132–2137.

5. Alexeev S.N., Rosenthal N.K. *Korroziionnaja stojkost' konstrukcij v agressivnoj promyshlennoj srede* [Corrosion resistance of structures in aggressive industrial environment]. Moscow, Stroyizdat, 1976. 205 p.

6. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. *Talpin D.A. Sravnitel'naja stojkost' betonov s zapolnitelem razlichnyh razmerov i bez nego* [Comparative resistance of the concrete with various aggregate sizes and without it]. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov*, 2017, no. 11, pp. 43–47.

7. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. *Povyshenie korrozionnoj stojkosti betonov putem racional'nogo vybora vjashushhego i zapolnitelej* [Increased corrosion resistance of the concrete by rational selection of binder and fillers]. Monograph. Belgorod: BSTU im. V.G. Shukhov, 2015. 321 p.

8. Tolypina N.M. *K voprosu o vzaimodejstvii cementnoj matricy s zapolniteljami* [To the question of the cement matrix with aggregates' interaction]. *Modern high technologies*, 2016, no. 6. Part 1. pp. 81–85.

9. Krashennnikov O.N., Belogurova T.P., Polyakova A.M, Fursov S.G. *Vskryshnye nefelin-soderzhashhie porody i ih primenenie* [Overburden non-gelinite-containing rocks and their application]. *Highways*, 1990, no. 5, pp. 16–17.

10. Krashennnikov O.N., Belogurova T.P., Tsvetkova T.V. *Vlijanie mineral'nogo sostava urtitovogo zapolnitelja i uslovij tverdenija betona na formirovanie kontaktnoj zony* [Influence of mineral composition of urtite aggregate and conditions of concrete hardening on formation of the contact zone]. *Complex use of mineral raw materials in building and technical materials. Apatity: Kola science center as USSR*, 1989, pp. 22–25.

11. Rakhimbaev I.S., Tolypina N.M. *Termodinamicheskij raschet aktivnosti v shhelochnoj srede mineralov, vhodjashhih v sostav zapolnitelej betonov* [Thermodynamic calculation of the activity in the alkaline environment of the minerals composing the aggregates concretes]. *Vestnik of the Central Regional offices: Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhov*, 2014, Vol.13, pp. 174–178.

12. Yakovlev V.V. Kinetika korrozii portland-cementnogo betona v rastvorah kislot [Corrosion kinetics of portland cement concrete in acid solutions]. *Building materials*, 2003, no. 10, pp. 32-34.

13. Bertron A., Escadeillas G. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization. *Cement and Concrete Composites*, 2004, no.10. т. 34, pp. 1823–1835.

14. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Kislotos-tojkij beton s jeffektivnym aktivnym zapolnitelem [Acid-resistant concrete with effective active filler]. *Concrete and reinforced concrete*, 2011, no. 4, pp. 24–26.

15. Less S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. Resistance of concrete in salt solutions exposure to extreme intensity. *Cement and Concrete Composites*, 2005, no. 1, pp. 65–76.

16. Xiao Jie, Qu Wenjun, Li Wengue, Zhu Peng. Investigation on effect of aggregate on three non-destructive testing properties of concrete subject to sulfuric acid attack. *Concr. and Build. Mater.* 2016, no. 115. pp. 486–495.

17. Kolio Ario, Honkanen Mari, Lahdensivu Jakka, Vippola Minnamari et al. Corrosion products of carbonation induced corrosion in existing reinforced concrete facades. *Cem. and Concr. Res.* 2015, no. 78. pp. 200–207.

18. Peng Jian, Zhange Censheng, Peng Tongf, Zi Yanke et al. Experimental study on mechanical properties of concrete corroded by ammonium sulfate. *Univ. Scr. and Technol.* 2015, 36. no 5. pp.34–40.

19. Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Metody ocenki korrozionnoj stojkosti cementnyh kompozitov [Evaluation methods of the cement composites' corrosion resistance]. *Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov*, 2012, no. 3, pp. 23–24.

20. Rakhimbaev S.M. Kinetika processov kol'matacii pri himicheskoj korrozii cementnyh sistem [Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems]. *Concrete and reinforced concrete*, 2012, no. 6, pp. 16-17.

21. Karpacheva E.N., Rakhimbaev S.M., Tolypina N.M. Korrozija melkozernistyh betonov v agressivnyh sredah slozhnogo sostava [Corrosion of fine-grained concrete in aggressive media of complex composition]. Monograph. Germany: Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing GmbH & co.KG, 2012. 90 p.

22. Mchedlov-Petrosyan O.P. Himija neorganicheskikh stroitel'nyh materialov [Inorganic building materials' chemistry]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 304 p.

23. Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. Termodinamika silikatov [Thermodynamics of silicates]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 406 p.

**Поступила 02.04.2018, принята к публикации 20.08.2018.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Толыпина Наталья Максимовна – доктор технических наук, доцент, проф. кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Шигорева Евгения Максимовна – магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Головин Максим Васильевич – магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Шигорев Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Tolypina Natalia M. – doctor of technical science, professor of the Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru)*

*Shigareva Evgeniya M. – Undergraduate of the Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Golovin Maksim V. – Undergraduate of the Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

*Shigarev Dmitri S. – Research assistant of the Department of Construction Materials, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (308012, Russia, Belgorod, 46, Kostyukov St., e-mail: tolypina.n@yandex.ru).*

#### **ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Толыпина Н.М. Постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, общее руководство.*

*Щигорева Е.М. Проведение экспериментальной части исследования, анализ результатов исследования.*

*Головин М.В. Проведение экспериментальной части исследования, анализ результатов исследования.*

*Щигорев Д.С. Обработка результатов исследования, оформление статьи.*

#### **AUTHOR CONTRIBUTION**

*Tolykina N.M. The statement of the research problem, the analysis of the results, overall research management.*

*Shigareva E.M. The experimental part of the research, the analysis of the research results.*

*Golovin M.V. Conducting the experimental part of the research, analysis of the results.*

*Shigarev D.S. Processing of research results, preparation of the manuscript.*