

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ОСНОВЕ ГЕКСАФТОРСИЛИКАТА ЦИНКА НА БЕТОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

**Аннотация.** В данной работе проведено исследование влияния состава на основе гексафторсиликата цинка на бетонные поверхности. Установлены особенности влияния состава на антибактериальные свойства.

L.S. Shcherba, A.A. Mechay

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## EFFECT OF ZINC HEXAFTOROSILICATE-BASED COMPOSITIONS ON CONCRETE SURFACES

**Abstract.** This paper studies the effect of a zinc hexafluorosilicate-based composition on concrete surfaces. The paper identifies the specific effects of the composition on antibacterial properties.

Согласно данным литературы [1], цинк демонстрирует умеренную антибактериальную активность. Несмотря на то, что этот микроэлемент необходим для роста прокариот, его повышенные концентрации подавляют развитие ряда бактерий. При этом грамположительные микроорганизмы проявляют большую чувствительность к ингибирующему действию ионов цинка по сравнению с грамотрицательными, что, вероятно, связано с различиями в строении клеточной стенки. Чувствительность различных микроорганизмов к цинку представлена в таблице 1.

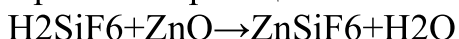
Таблица 1 — Минимальная ингибирующая концентрация (МИК) ионов цинка для различных видов бактерий

Вид бактерий	МИК $Zn^{2+}$ , моль/л
Streptococcus групп А, С и G	$\leq 0,5-2$
Staphylococcus aureus, Streptococcus группы B	2-4
Escherichia coli, Klebsiella spp., Enterobacter spp.	4-8
Proteus spp., Pseudomonas aeruginosa, Enterococcus spp.	8-32

В патентах [2, 3] описано применение гексафторсиликата цинка (кремний фторида цинка) в качестве основы пропиточного состава для бетона. Использование этого соединения позволяет достичь ряда технических преимуществ: снижение шелушения поверхности бетона, повышение его коррозионной стойкости и влагозащиты, защита от проникновения химикатов и масел, увеличение глубины проникновения пропитки, снижение вязкости состава и увеличение его срока годности, а также исключение необходимости предварительного перемешивания перед нанесением.

Синтез гексафторсиликата цинка проводили с использованием 20% раствора кремнефтористой кислоты и порошкообразного оксида цинка. Реакция протекает быстро и необратимо с образованием устойчивой соли. При достаточном количестве воды в системе кристаллизуется гексагидрат  $\text{ZnSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Уравнение реакции:



Расчеты для синтеза 100 г  $\text{ZnSiF}_6$  проводились следующим образом:

$m(\text{H}_2\text{SiF}_6) = 100 \times 144 / 207 = 69,6$ , где 207 – молярная масса  $\text{ZnSiF}_6$  г/моль; 144 – молярная масса  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  г/моль.

$m = 69,6 / 0,2 = 347,8$  г.

$V(20\% \text{ раствора } \text{H}_2\text{SiF}_6) = 347,8 / 1,38 = 252,03$  мл., где 1,38 – плотность 20% раствора  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  г/моль

$m(\text{ZnO}) = 100 \times 81 / 207 = 39,13$  г, где 81 – молярная масса  $\text{ZnO}$  г/моль.

Целью исследования является экспериментальное подтверждение антимикробной активности полученного покрытия в отношении грамположительных (*Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (*Escherichia coli*) тест-культур и оценка влияния количества нанесенных слоев покрытия на его бактерицидную эффективность..

Объектом исследования явились влияние гексафторсиликата цинка на бактерицидные свойства бетона

Для оценки антимикробной активности были изготовлены три идентичных бетонных образца. После твердения на два образца нанесли покрытие на основе синтезированного гексафторсиликата цинка из расчета 100 г/м<sup>2</sup>. На один из образцов нанесли второй слой покрытия для оценки влияния его количества. Образцы обозначили как:

Контроль (К+) — без покрытия.

Образец 1 — с одним слоем покрытия.

Образец 2 — с двумя слоями покрытия.

Методика исследования заключалась в нанесении суточной культуры тест-штаммов (*E. coli* ATCC 8739 и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538) на поверхность образцов с последующей инкубацией в течение 1 часа. После инкубации клетки смывали, готовили серийные разведения и высевали на плотную питательную среду. Антимикробную активность оценивали через 24–48 часов по показателю R:

В качестве тест культур использовали *E. coli* ATCC 8739, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

$$R = \log_{10} \frac{C_{\text{конт}}}{C_{\text{обр}}},$$

где  $C_{\text{конт}}$  — концентрация клеток после инкубирования контроля (КОЕ/мл);

$C_{\text{обр}}$  — концентрация клеток после инкубирования опытного образца (КОЕ/мл).

Результаты представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Антимикробные свойства опытных образцов по отношению к *E. coli* ATCC 8739.

Образец	Концентрация тест-культуры, КОЕ/мл	R
(K+)	$1,7 \cdot 10^5$	-
1	$4,0 \cdot 10^4$	0,628
2	$3,0 \cdot 10^4$	0,753

Таблица 2 – Антимикробные свойства опытных образцов по отношению к *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

Образец	Концентрация тест-культуры, КОЕ/мл	R
(K+)	$8,6 \cdot 10^6$	-
1	$3,9 \cdot 10^5$	1,34
2	$1,4 \cdot 10^5$	1,79

Фотографии чашек Петри с питательной средой, на которые произвели высев бактерий после контакта с образцами бетона. Это стандартный метод в микробиологии для оценки количества живых бактерий (КОЕ - колониеобразующие единицы).

Визуальные результаты посевов подтверждают данные таблиц: на чашках с посевами с опытных образцов, особенно с образца 2, наблюдается значительно меньшее количество колоний по сравнению с контролем. Все изображения демонстрируют результаты посева, где каждая точка (или "пятно") - это колония бактерий, выросшая из одной

живой клетки. Чем больше колоний на чашке, тем больше бактерий выжило после контакта с образцом бетона.

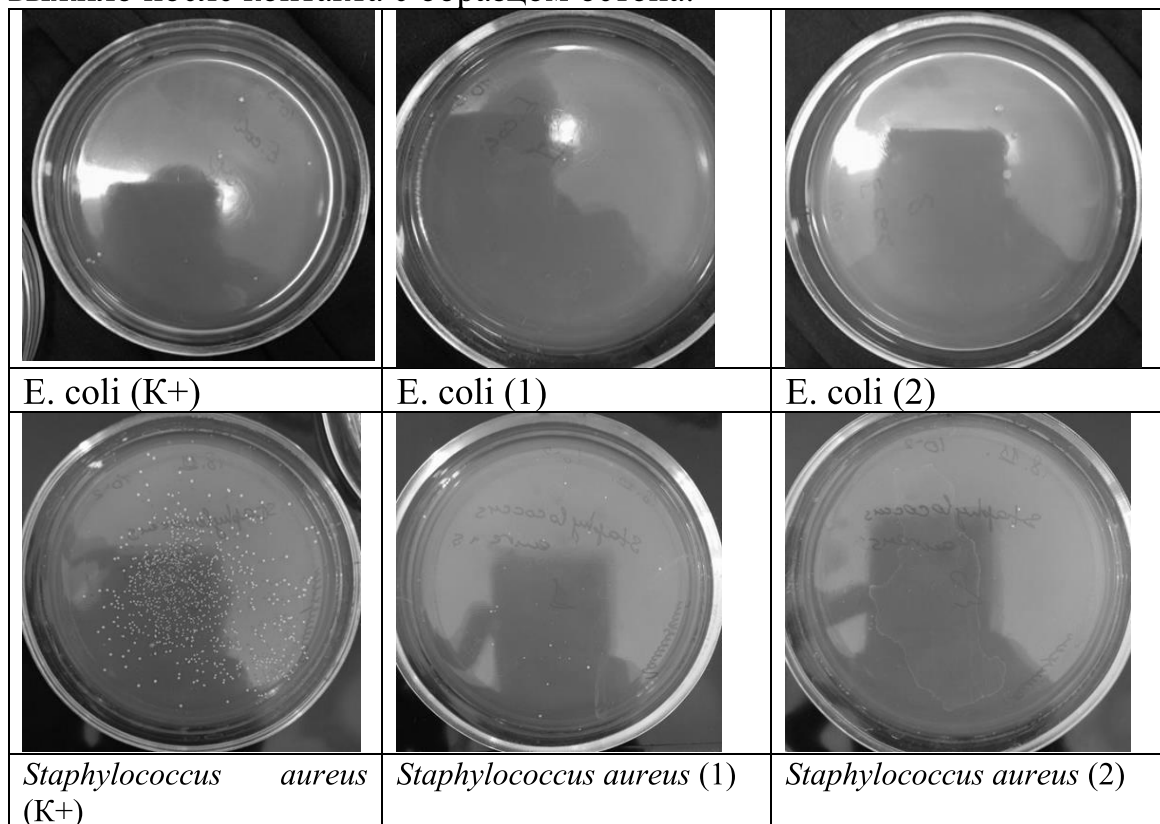


Рисунок 2– Результаты снимков

Вывод по *E. coli*: Визуальный ряд на 100% соответствует количественным данным. Чем больше слоев покрытия, тем меньше колоний вырастает, что доказывает антибактериальный эффект покрытия на основе гексафторсиликата цинка.

Вывод по *S. aureus*: Эффект еще более наглядный, чем для *E. coli*. Покрытие проявляет высокую эффективность против грамположительного стафилококка, и двойной слой практически полностью подавляет его рост.

Сводная интерпретация:

1. Наглядное доказательство: Эти фотографии являются прямым визуальным доказательством антибактериальной активности покрытия. Они не оставляют сомнений в том, что покрытие работает.

2. Подтверждение количественных данных: Визуальная картина идеально коррелирует с расчетными показателями R (коэффициент антимикробной активности). Чашки Петри делают сухие цифры из таблиц осязаемыми и понятными.

3. Дозозависимый эффект: Четко видно, что эффективность покрытия зависит от его количества. Образец с двумя слоями (2) всегда

выглядит лучше, чем с одним (1), а оба выглядят значительно лучше контроля (K+).

4. Разная чувствительность бактерий: Сравнивая две серии снимков, можно сделать вывод, что *Staphylococcus aureus* (грамположительный) в данном эксперименте оказался чувствительнее к покрытию, чем *E. Coli* (грамотрицательный). Это подтверждается и более высокими значениями R для *S. aureus* (1.34 и 1.79 против 0.628 и 0.753 для *E. coli*).

Проведенные исследования показали, что образец с двойным слоем покрытия (образец 2) обладает более выраженными антибактериальными свойствами в отношении как грамотрицательной *E.coli*, так и грамположительного *S.aureus*. Учитывая описанные в патентах улучшения износостойкости и других физико-химических свойств бетона, производство гексафторсиликата цинка для защиты от биоповреждений (мох, плесень) представляется перспективным. Его организация возможна на базе ОАО «Гомельский химический завод», где 20% кремнефтористая кислота получается в качестве побочного продукта и ОАО «Белцветмет», который организует поставку цинкосодержащих отходов более высокого качества по содержанию оксида цинка.

### Список использованных источников

1. Хлебникова А.Н., Петрунин Д.Д. Цинк, его биологическая роль и применение в дерматологии. — М.: Вестник дерматологии и венерологии, 2013. — 17 с.
2. Патент № 2619610С1 РФ. Пропиточный состав для защиты бетона на основе гексафторсиликата цинка / Брусничкин Н.В., Матюшенко А.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Техснаб». — Заявл. 28.09.16; Оpubл. 17.05.17.
3. Патент № 2619607С1 РФ. Пропиточный состав для защиты бетона на основе гексафторсиликата двухвалентного металла / Брусничкин Н.В., Матюшенко А.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Техснаб». — Заявл. 28.09.16; Оpubл. 17.05.17.
4. Рысс И.Г. и др. Химия фтора и его неорганических соединений. — М.: Госхимиздат, 1956. — 720 с.