

УДК 628.14:699.87

**В. Н. ПИЛИПЕНКО<sup>а</sup>, В. И. БРАТЧУН<sup>а</sup>, Г. Я. ДРОЗД<sup>б</sup>, М. Ю. ХВОРТОВА<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, <sup>б</sup> Донбасский государственный технический университет

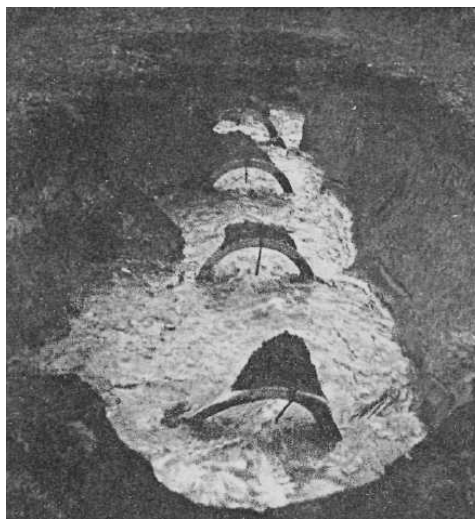
## **ПОВЫШЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ БЕТОННЫХ ТРУБ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

На основе анализа литературных источников установлены определяющие факторы биохимического разрушения канализационных бетонных труб. Наиболее эффективными способами вторичной защиты бетона от биохимической коррозии является облицовка внутренних поверхностей канализационных труб изделиями из пластмасс и керамики. Предложен комплексный способ защиты бетонных канализационных труб от продуктов жизнедеятельности тионовых бактерий, а именно: в качестве первичной защиты целесообразно использование цементных бетонов с водонепроницаемостью  $W_8 \div W_{20}$ , а в качестве вторичной защиты – флюатирование поверхности бетонных конструкций. Для доказательства эффективности повышения биологической стойкости канализационных бетонных труб физико-химическим способом с привлечением электронной микроскопии, рН-метрии и механических методов выполнены экспериментальные исследования. Установлено, что коэффициент стойкости флюатированных бетонов в условиях газовой среды эксплуатации коллекторов, так и в модельной сернокислотной равен единице (является стабильным), в то время как коэффициент стойкости нефлюатированного бетона начинает резко снижаться после шести месяцев эксплуатации.

**канализационные трубы, тионовые бактерии, бетон, коррозия, флюатирование**

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Канализационные трубопроводы под действием биологически активной эксплуатационной среды интенсивно корродируют и имеют специфическое разрушение сводовой части (рис. 1 [1]). Основной агент коррозии – серная кислота, являющаяся продуктом жизнедеятельности тионовых бактерий [1, 2].



**Рисунок 1** – Коррозионное разрушение бетона газовой-биогеогенной эксплуатационной средой.

В соответствии с п. 5.10 ДСТУ [3] защита бетона от действия биологически активных сред может быть обеспечена снижением проницаемости бетона для бактерий и увеличением механической прочности бетона.

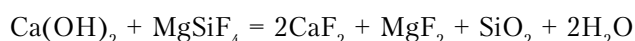
### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Скорость химического разрушения бетона во многом определяется не только значением рН раствора кислоты, продуцируемой бактериями, но и качеством поверхностного слоя труб – плотностью и прочностью бетона [2]. От этих двух показателей зависит поражаемость бетонного поверхностного слоя гифами грибов, которые при своём проникновении в поры бетона разрыхляют его (механическое разрушение) и облегчают доступ кислоты в его поверхностный слой [4–6].

Предлагаются способы защиты бетона от коррозии и повышения его долговечности с использованием химически стойких материалов – пластики, керамические облицовки [7]. Этот подход к защите материала трубопроводов основан на представлении только о бактериальном воздействии на бетон [7, 8]. С учётом существенного вклада в коррозионный процесс грибной микрофлоры [2, 4–6] представляется возможным существенно замедлить биодеструкцию бетонных канализационных трубопроводов первичной и вторичной защитой. В качестве первичной защиты предлагается использование особо плотных бетонов с водонепроницаемостью W8÷W20 [3, 9], а в качестве вторичной защиты – флюатирование поверхности бетонных конструкций [10].

Известно [10], что метод флюатирования используется для защиты бетонных конструкций от действия промышленной атмосферы, содержащей различные кислые газы. Атмосфера самотечных канализационных коллекторов аналогична промышленной атмосфере по содержанию таких газов как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  [1].

При действии кремнефтористого магния  $\text{MgSiF}_4$  на гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  бетона образуется нерастворимый фторид кальция  $\text{CaF}_2$  и кремнезём  $\text{SiO}_2$



Растворимость фторида кальция  $\text{CaF}_2$  в 20 раз меньше растворимости гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В результате флюатирования в поверхностном слое бетона происходят конструктивные изменения, (11), что приводит к росту:

- прочности на 50 %;
- стойкости к истиранию в 10 раз;
- к снижению впитывающей способности и возрастанию поверхностной плотности;
- значительно возрастает стойкость к химически агрессивным средам.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить биостойкость особо плотного флюатированного бетона в условиях эксплуатационной среды канализационных коллекторов.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изготовлена серия контрольных образцов особо плотного бетона (кубы  $10 \times 10 \times 10$  см) на портландцементе Амвросиевского цементного завода, гранитном щебне и кварцевом песке, табл.

Таблица – Характеристика особо плотного бетона

Марка по водонепроницаемости	Расход материала на $1 \text{ м}^3$				Осадка конуса, (см)	Жесткость, (сек)	В/Ц	Плотность, $\rho$ , (кг / $\text{дм}^3$ )
	Цемент, $\text{кг}/\text{м}^3$	Вода, $\text{кг}/\text{м}^3$	Песок, $\text{кг}/\text{м}^3$	Щебень, $\text{кг}/\text{м}^3$				
W 10	409	143	534	1 385	1,3	16	0,35	2,42

Вторая серия образцов (флюатированных) отличалась от первой чередующейся пропиткой их 3%-ом раствором кремнефтористоводородной кислоты  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  и насыщенным раствором гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  по [10].

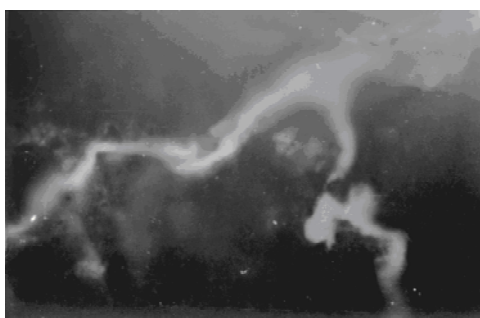
Образцы бетонов, контрольные и флюатированные, были помещены на двенадцать месяцев в реальную эксплуатационную газозагрязненную среду действующего канализационного коллектора (коллектор № 7 города Донецка).

Контроль над биологическим поражением поверхности образцов осуществлялся методом прямого микрофотографирования на микроскопе «OLYMPUS CX» (Япония) с выделением грибной микрофлоры на среде Чапека по методике [12].

Исходя из предположения, что химическое действие биологически активной среды на бетон аналогично действию кислоты [1], контрольные и флюатируемые образцы параллельно испытывались в эксикаторах с 0,001 Н раствором серной кислоты ( $\text{pH} = 3$ ).

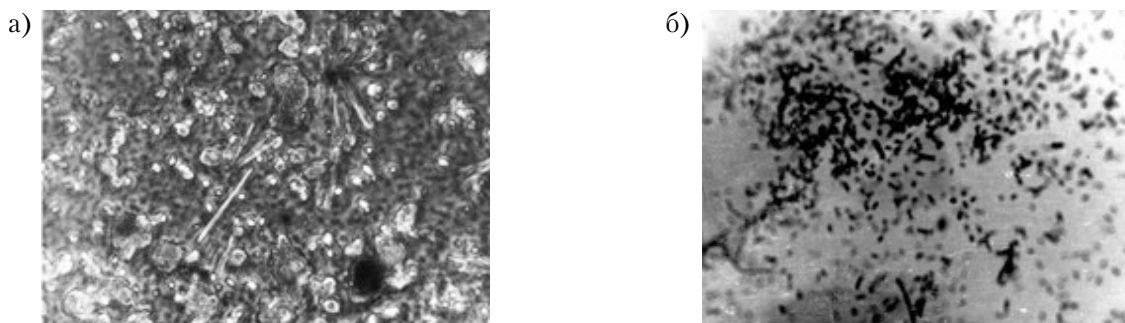
### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Флюатирование бетона привело к увеличению его плотности, вследствие чего водопоглощение флюатированного бетона снизилось с 3,8 до 3,3 %. Это обстоятельство подтверждается микрофотографией шлифа поверхностного слоя бетона (10 мм), (рис. 2). Объём пор кольматирован продуктами реакции флюатирования – фторидом кальция  $\text{CaF}_2$  и кремнезёмом  $\text{SiO}_2$ .



**Рисунок 2** – Поровые каналы, заполненные продуктами флюатирования (светлая область). Увеличение  $\times 500$ .

Развитие и контакт бактериальных клеток на нефлюатированных и флюатированных поверхностях бетона происходит по-разному. На нефлюатированной поверхности контрольных образцов наблюдается обильное бактериальное заселение с кислотным поражением бетона в виде микроязв (рис. 3, а). На флюатированных образцах после десяти месяцев экспозиции в биологически активной среде бактериальные клетки не активны по отношению к бетону (рис. 3, б).



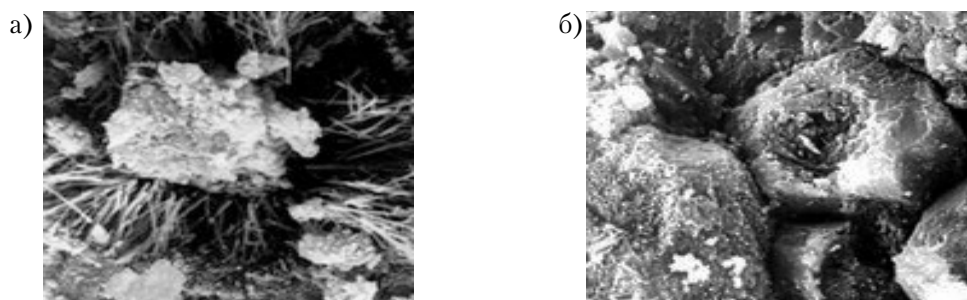
**Рисунок 3** – Бактериальное поражение: а) нефлюатированного бетона, б) флюатированного бетона. Увеличение  $\times 900$ .

Поверхность контрольных нефлюатированных образцов бетона параллельно с действием бактерий активно подвергается механическому разрушению гифами грибов (рис. 4, а) в отличие от флюатированных образцов, где присутствие грибов на данном этапе экспозиции не отмечено (рис. 4, б).

Данный факт подтверждается выделением на питательных средах колоний грибов с поверхности бетона (рис. 5).

Выполненные микробиологические исследования лишь качественно подтверждают преимущества в биостойкости особо плотного флюатированного бетона в сравнении с нефлюатированным.

Количественная предварительная оценка влияния флюатирования на коррозионное химическое разрушение проведена путём сопоставления коэффициентов стойкости образцов бетона в условиях газо-воздушной и в модельной сернокислотной среде (рис. 6).



**Рисунок 4** – Поражение микроскопическими грибами и разрушение гифами поверхностного слоя: а) нефлюатированного бетона, б) флюатированного бетона. Увеличение  $\times 1800$ .

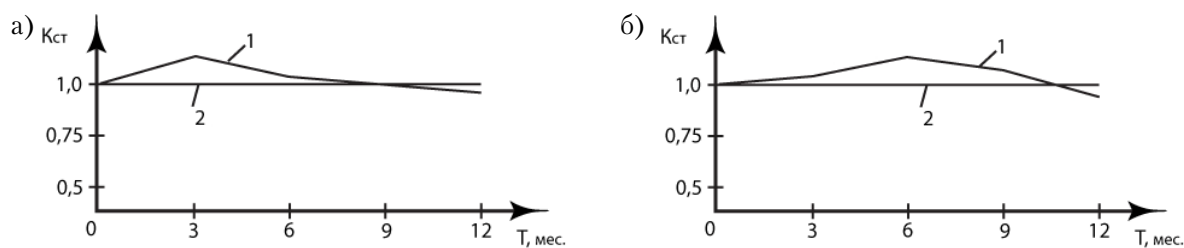


**Рисунок 5** – Чашки Петри с выделенной культурой грибов с поверхности нефлюатированного бетона (левая) и отсутствием грибного заражения на флюатированном образце (правая).



**Рисунок 6** – Вид нефлюатированного (слева) и флюатированного (справа) образцов бетона после двенадцати месяцев испытания в 0,001N растворе серной кислоты.

На рис. 7 приведены зависимости коррозионной стойкости бетонов в различных средах.



**Рисунок 7** – Зависимости коэффициента стойкости ( $K_{ст}$ ) нефлюатированного (1) и флюатированного (2) бетонов в условиях газовой-воздушной эксплуатационной среды коллекторов (а) и в модельной сернокислотной среде (б).

Повышение коррозионной стойкости в течение первых шести месяцев нефлюатированных образцов в газовой-воздушной эксплуатационной среде можно объяснить карбонизацией и уплотнением бетона, а в условиях раствора кислоты упрочнение бетона вызвано, вероятно, образованием гипса и этtringита. После шести и девяти месяцев соответственно коэффициент стойкости нефлюатированного бетона начинает снижаться. Динамика снижения невелика, что объясняется свойствами особо плотного бетона. Флюатированные образцы бетона характеризуются стабильным коэффициентом стойкости, равным единице за весь период наблюдений, что обусловлено вкладом химической обработки бетона.

## ВЫВОДЫ

Доказано, что химическая обработка бетонов методом флюатирования способствует повышению их биологической и коррозионной стойкости. Установлено, что повышение долговечности бетонных канализационных трубопроводов, работающих в условиях биологически активных эксплуатационных сред можно осуществить комбинированным физико-химическим способом, основанным на использовании особо плотных бетонов (первичная защита) с химической обработкой готовых изделий раствором кремнефтористоводородной кислоты  $H_2SiF_6$  или её солями (вторичная защита бетона).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрозд, Г. Я. Коррозионные разрушения, прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды и обеспечение Надежности канализационных коллекторов на стадии проектирования [Текст] / Г. Я. Дрозд // Вода и экология. Проблемы и решения. – Санкт-Петербург, 2013. – № 1(53). – С. 40–59.
2. Дмитриева, Е. Ю. Микроорганизмы – биодеструкторы подземных канализационных сооружений [Текст] / Е. Ю. Дмитриева // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2013. – № 1. – С. 20–39.
3. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Конструкція будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384-2008, NEQ) [Текст]. – На заміну СТ СЭВ 4420-83, СНИП 2.03.11-85 у частині другого розділу «Бетонные и железобетонные конструкции», за винятком пунктів 2.44, 2.47-2.61 ; чинні з 01.07.2011. – Київ : Міненергобуд України, 2010. – 52 с.
4. Попов, А. П. Производство железобетонных напорных виброгидропрессованных труб [Текст] / А. П. Попов, А. Л. Ционский, В. А. Хрипунов. – М. : Стройиздат, 1987. – 273 с.
5. Любарская, Г. В. Влияние концентрации агрессивных веществ на скорость процессов коррозии бетона II вида [Текст] / Г. В. Любарская, Т. В. Рубецкая // Исследования в области защиты бетона и железобетона от коррозии в агрессивных средах. – М. : Стройиздат, 1984. – С. 23–26.
6. Алексеев, С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде : монография [Текст] / С. Н. Алексеев, Н. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 205 с.
7. Штарк И. Долговечность бетона [Текст] / И. Штарк, Б. Вихт ; Пер. с нем. под ред. Кривенко П. В. – Киев : Оранта, 2004. – 301 с.
8. Гусев, Б. В. Математические модели процессов коррозии бетона [Текст] / А. С. Файвусович, В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь. – М. : ИИЦ «Тимр», 1996. – 104 с.
9. Бабушкин, В. И. Защита строительных конструкций от коррозии старения и износа [Текст] / В. И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, 1989. – 167 с.
10. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты : монография [Текст] / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гусев. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.

Получено 16.12.2013

В. М. ПИЛИПЕНКО <sup>a</sup>, В. І. БРАТЧУН <sup>a</sup>, Г. Я. ДРОЗД <sup>b</sup>, М. Ю. ХВОРТОВА <sup>b</sup>  
ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ БЕТОННИХ  
ТРУБ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

<sup>a</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури, <sup>b</sup> Донбаський державний  
технічний університет

На основі аналізу літературних джерел встановлено визначальні чинники біохімічного руйнування каналізаційних бетонних труб. Найбільш ефективними способами вторинного захисту бетону від біохімічної корозії є облицювання внутрішніх поверхонь каналізаційних труб виробами з пластмас та кераміки. Запропоновано комплексний спосіб захисту бетонних каналізаційних труб від продуктів життєдіяльності тіюнових бактерій, а саме: як первинний захист доцільне використання цементних бетонів з водонепроникністю W8÷W20, як вторинний захист – флюатація поверхні бетонних конструкцій. Для підтвердження ефективності підвищення біологічної стійкості каналізаційних бетонних труб фізико-хімічним способом із залученням електронної мікроскопії, рН-метрії та механічних методів виконані експериментальні дослідження. Встановлено, що коефіцієнт стійкості флюатованих бетонів в умовах газоповітряного експлуатаційного середовища колекторів, а також модельного сіркокислотного середовища дорівнює одиниці (є стабільним), у той час як коефіцієнт стійкості нефлюатованого бетону починає різко знижуватися після шести місяців експлуатації.  
**каналізаційні труби, бетон, тіюнові бактерії, корозія, флюатування**

VOLODIMIR PILIPENCO <sup>a</sup>, VALERY BRATCHUN <sup>a</sup>, GENNADY DROZD <sup>b</sup>, MARINA HVORTOVA <sup>b</sup>  
INCREASING OF BIOLOGICAL RESISTANCE OF SEWER CONCRETE PIPES BY PHYSICOCHEMICAL MANNER

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup> Donbas State Technical University

Based on the analysis of literary sources determinant factors of biochemical destructions of sewer pipes have been found out. The most effective ways to protect the concrete from secondary biochemical corrosion is facing inner surfaces of sewer pipes plastics and ceramics. It has been suggested a comprehensive method of protecting of concrete sewer pipes from waste products thiobacteria, namely as primary protection is expedient to use cement concrete with waterproof W8-W20, and as a secondary protection fluosilicate treatment of surface of concrete structures. To prove the effectiveness of increasing the biological resistance of sewer concrete pipes physic-chemical method involving electron microscopy, pH-meters and mechanical methods the experimental studies have been carried out. It has been found out that the coefficient of resistance concretes, fluosilicate treatment of concrete under the conditions of operational environment reservoirs and the sulfuric acid is equal to one model (is stable), while the resistance coefficient non-fluosilicate treatment of concrete begins to fall sharply after six months of operation.  
**sewer pipes, concrete, thiobacteria, corrosion, fluosilicate treatment**

**Пилипенко Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка способів підвищення корозійної стійкості бетонних і залізобетонних конструкцій, що працюють в агресивних середовищах.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих, розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Дрозд Геннадій Якович** – доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва та господарства Донбаського державного технічного університету. Наукові інтереси: надійність інженерних комунікацій і екологічна безпека територій.

**Хвортова Марина Юрївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Донбаського державного технічного університету. Наукові інтереси: надійність будівельних конструкцій і споруд.

**Пилипенко Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка способов повышения коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций, работающих в агрессивных средах.

**Братчун Валерий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих, разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Дрозд Геннадий Яковлевич** – доктор технических наук, профессор кафедры городского строительства и хозяйства Донбасского государственного технического университета. Научные интересы: надежность инженерных коммуникаций и экологическая безопасность территорий.

**Хвортова Марина Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Донбасского государственного технического университета. Научные интересы: надежность строительных конструкций и сооружений.

**Pilipenco Volodimir** – PhD (Eng.), Associate Professor, DSc in Engineering, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods of increase of inoxidizability of concrete and reinforced-concrete constructions working in aggressive environments.

**Bratchun Valery** – DSc (Eng.), professor, the Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics tech and durable concrete for road construction structural layers of non-rigid pavements based on modified organic binders, the development of efficient technologies for processing of man-made materials in the components of composite materials.

**Drozd Gennady** – DSc (Eng.), Professor, Urban Construction and Management Department, Donbas State Technical University. Scientific interests: the reliability of engineering services and environmental safety areas.

**Hvortova Marina** – PhD (Eng.), Associate Professor, Constructions Department, Donbas State Technical University. Scientific interests: reliability of constructions and buildings.