

Сравнительный анализ эффективности биоцидов и консервантов для использования в цементной системе

Ульяна Николаевна Духанина¹ , Валерия Валерьевна Строкова^{1*} , Ирина Васильевна Степина² ,
Софья Ильдаровна Баженова² 

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Российская Федерация

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: vvstrokova@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение биоцидов на этапах первичной и вторичной защиты обеспечивает пролонгированную биостойкость строительных материалов. Однако оценка их перспективности в цементных системах требует комплексного анализа в зависимости от щелочности среды, химической совместимости с компонентами вяжущего, подбора эффективной концентрации. В данной статье рассматривается сравнительный анализ грибоустойчивости биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов в отношении микромицета *Aspergillus niger* с целью обоснования их применимости для защиты цементных композитов от биокоррозии. **Материалы и методы исследования.** Проведен анализ эффективности биоцидов (аламинол, полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ)), консервантов пищевого класса (пропионат натрия, низин) и вспомогательных компонентов (бутиленгликоль, гидроксипропилметилцеллюлоза (ГПМЦ)) к микромицету *Aspergillus niger*, обладающему высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям. Для проведения испытаний использовались серии водных растворов исследуемых добавок в дозировках, рекомендованных производителями. Оценка фунгицидной и фунгистатической активности проводилась по зоне ингибирования роста мицелия и интенсивности развития грибов. **Результаты и обсуждения.** Наибольшую биоцидную эффективность против *Aspergillus niger* продемонстрировал ПГМГ, обеспечивающий полное подавление развития тест-культуры во всем диапазоне концентраций, при этом рост зоны ингибирования от 4 до 7 мм коррелирует с увеличением дозировки биоцида от 1% до 5%. Модифицирование образцов аламинолом в концентрациях 5% и 8% сопровождалось формированием зоны ингибирования 3–4 мм и отсутствием видимого роста мицелия. Остальные исследуемые добавки (пропионат натрия, низин, ГПМЦ и бутиленгликоль) не проявили собственной фунгицидной активности в данных условиях. **Заключение.** Проведенное исследование обосновывает перспективность использования полигексаметиленгуанидин гидрохлорида в качестве эффективного средства для биозащиты цементных композитов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоцид, консервант, *Aspergillus niger*, зона ингибирования, грибоустойчивость

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ, РЕЗУЛЬТАТОМ КОТОРОЙ СТАЛА ПУБЛИКАЦИЯ: Данная работа была реализована в рамках конкурса НИУ МГСУ на проведение фундаментальных и прикладных научных исследований (НИР/НИОКР) научными коллективами организаций – членов и стратегических партнеров Отраслевого консорциума «Строительство и архитектура» в 2026 году (контракт № БГТУ/К-26) с использованием оборудования Центра высоких технологий Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Духанина У.Н., Строкова В.В., Степина И.В., Баженова С.И. Сравнительный анализ эффективности биоцидов и консервантов для использования в цементной системе. *Нанотехнологии в строительстве*. 2026;18(4):529–536. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-4-529-536>. – EDN: OVNHXJ.

Comparative efficiency analysis of biocides and conserving agents for cement-based systems

Ulyana N. Dukhanina¹ , Valeria V. Strokov^{1*} , Irina V. Stepina² , Sofia I. Bazhenova² 

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 308012, Belgorod, 46 Kostyukova Street, Russian Federation

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, 26 Yaroslavskoe Shosse, Russian Federation

* Corresponding author: e-mail: vvstrokova@gmail.com

ABSTRACT

Introduction. The use of biocides in primary and secondary protection ensures prolonged biological resistance of building materials. However, assessing their potential in cement systems requires a comprehensive analysis, taking into account the alkalinity of the environment, chemical compatibility with binder components, and the selection of an effective concentration. This article presents a comparative analysis of the resistance of biocides, conserving agents, and auxiliary components to *Aspergillus niger* micromycete to justify their applicability for protecting cement composites from biocorrosion. **Materials and methods of research.** The efficiency of biocides (alaminol, polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG), food conserving agents (sodium propionate, nisin), and additional components (butylene glycol, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)) against the micromycete *Aspergillus niger*, which is highly resistant to adverse conditions, was analyzed. A series of aqueous solutions of the additives studied were used at the dosages recommended by the manufacturers. Fungicidal and fungistatic activity were assessed based on the mycelial growth inhibition zone and fungal growth rate. **Results and discussion.** PHMG demonstrated the highest biocidal effectiveness against *Aspergillus niger*, providing complete suppression of test culture growth across the entire concentration range. The growth of the inhibition zone from 4 to 7 mm correlated with an increase in the biocide dosage from 1% to 5%. Modification of the samples with alaminol at concentrations of 5% and 8% resulted in the formation of an inhibition zone of 3–4 mm and the absence of visible mycelial growth. The remaining additives studied (sodium propionate, nisin, HPMC, and butylene glycol) did not exhibit any independent fungicidal activity under these conditions. **Conclusion.** The study conducted gives grounds for the perspective of using polyhexamethylene guanidine hydrochloride as an effective bioprotective agent for cement composites.

KEYWORDS: biocide, conserving agent, *Aspergillus niger*, inhibition zone, fungal resistance

SOURCES OF FUNDING FOR THE SCIENTIFIC WORK THAT RESULTED IN THE PUBLICATION: This work was implemented within the framework of the contest of the National Research University Moscow State University of Civil Engineering for the conduct of fundamental and applied scientific research (Research activity/Research and Advanced Development) by research teams of organizations – members and strategic partners of the Industry Consortium «Construction and Architecture» in 2026 (Contract № BSTU/K-26) using the equipment of the High Technology Center of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

FOR CITATION:

Dukhanina U.N., Strokov V.V., Stepina I.V., Bazhenova S.I. Comparative efficiency analysis of biocides and conserving agents for cement-based systems. *Nanotechnologies in Construction*. 2026;18(4):529–536. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2026-18-4-529-536>. – EDN: OVNHXJ.

ВВЕДЕНИЕ

Для реализации технологического решения ингибирования микроорганизмов-деструкторов на этапах первичной и вторичной защиты биоцидные добавки вводятся в строительные материалы или наносятся на поверхность готовых изделий. Они обеспечивают санитарно-гигиеническую безопасность, что оказывает положительное влияние на сохранность и долговечность объектов строительства. Однако для оценки перспективности применения биоцидов в качестве

фунгицидных добавок в цементных системах необходимо учитывать [1]:

- высокую щелочность среды, способную влиять на стабильность чувствительных к ней активных компонентов;
- химический состав цементной системы, компоненты которой могут вступать в реакции с биоцидами, образуя неактивные для подавления микромицетов вещества;
- оптимальную концентрацию, при которой достигается эффективность подавления роста микро-

организмов без негативного влияния на гидратацию и физико-химические свойства цементного камня;

- структуру модифицированного строительного материала, которая может ограничивать миграцию активных субстанций к зоне биоповреждения.

Несмотря на первостепенную важность обеспечения гибели микроорганизмов-деструкторов строительных материалов, необходимо учитывать негативное действие биоцидов на цементную систему: активные компоненты могут отрицательно влиять на процесс гидратации за счет ускорения потери влаги, снижать прочность, изменять реологические свойства вяжущих. Например, глутаровый альдегид, соли меди или цинка [2–7] адсорбируются на поверхности цементного зерна и замедляют гидратацию, что приводит к увеличению срока набора проектируемой прочности. В связи с этим ключевой задачей является соблюдение баланса взаимной совместимости: ингибирование роста и размножения грибов и бактерий без ухудшения физико-механических свойств бетона.

Ввиду того, что традиционные подходы по обеспечению биостойкости бетона, основанные на применении биоцидов, содержащих тяжелые металлы, сильные окислители, имеют ограничения в использовании, связанные с токсичностью, возможной антимикробной резистентностью и негативным влиянием на физико-химические свойства цементного камня, возрастает научная и практическая значимость поиска альтернативных решений, обладающих безопасностью для окружающей среды и химической совместимостью с минеральной матрицей [8]. В качестве перспективных ингибиторов микроорганизмов-деструкторов в данном исследовании рассматриваются консерванты, широко используемые в пищевой и фармацевтической промышленности, стоматологии, такие как низин, пропионат натрия и бутиленгликоль, что определяет их биопозитивность и нетоксичность [9–17].

Для нивелирования негативного действия активных субстанций дезинфицирующих средств на вяжущее в композиционные составы вводятся вспомогательные компоненты, выполняющие функции стабилизаторов и модификаторов физико-химических свойств цементного камня. На основе анализа научной литературы наиболее предпочтительными вспомогательными компонентами, совместимыми с биоцидами в цементных системах, являются гидроксипропилметилцеллюлоза (ГПМЦ) и бутиленгликоль. ГПМЦ преимущественно используется для компенсации замедления кинетики гидратации цементной матрицы за счет водоудерживающих свойств и регулирования реологии, снижая риск ухудшения марочной прочности. При этом в отно-

шении биоцидов ГПМЦ демонстрирует синергетический эффект: образуя на поверхности материала полимерную пленку, затрудняет адгезию микроорганизмов и пролонгирует действие активных компонентов дезинфицирующих средств [18–19].

Помимо того, что бутиленгликоль обладает собственной консервирующей активностью в отношении ряда микроорганизмов, в биоцидных составах он используется в качестве многофункционального вспомогательного компонента. В цементных системах бутиленгликоль используется как стабилизатор биоцидов, предотвращая выпадение их в осадок при температурных колебаниях и дезактивацию в щелочной среде бетона [20]. Введение бутиленгликоля обеспечивает равномерное распределение дезинфицирующих средств в объеме растворной смеси, а при пропитке за счет снижения поверхностного натяжения жидкой фазы улучшает проникающую способность составов в пористую структуру бетона, что, соответственно, увеличивает глубину защитного слоя.

Таким образом, оценка потенциала биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов как эффективных модификаторов защитных составов против микромицетов с учетом сохранения физико-механических свойств строительных материалов представляется актуальной.

Выбор микромицета *Aspergillus niger* в качестве тест-культуры основывался на следующих критериях: включение плесневых грибов в перечень штаммов, регламентированных ГОСТ 9.048–89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» для определения грибостойкости, морфологические и культуральные характеристики которых обеспечат высокую воспроизводимость эксперимента и удобство морфометрического анализа, позволяя четко фиксировать динамику изменений при влиянии фунгицидных средств [21].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для оценки эффективности и потенциального синергетического взаимодействия биоцидов и консервантов, применяемых с целью ингибирования роста патогенных микроорганизмов, а также разработки multifunctionальных систем были использованы следующие средства: в качестве биоцидов — аламинол (АО «НИОПИК», г. Москва), полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ) (ООО НПО «Термодинамика 3000», г. Дзержинск); в качестве консервантов — пропионат натрия (ETON FOOD CO LTD, Китай), низин (Foodchem International Corporation, Китай); в качестве вспомогательных веществ — бутиленгликоль (Китай), гидроксипро-

пилметилцеллюлоза (ГПМЦ) (ООО «Формако», г. Омск).

Для определения фунгицидных и фунгистатических свойств исследуемых биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов приготовлена серия разведений с градиентом концентраций по действующему веществу. Выбор концентраций биоцидов обусловлен механизмом действия и рабочими дозировками, указанными производителями в инструкциях по применению. Ввиду того что полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ) [22] и аламинол являются сильными синтетическими биоцидами, для оценки их эффективности выбран диапазон концентраций, рекомендуемый производителем для подавления патогенных микроорганизмов: для ПГМГ — 1%, 3%, 5%; для аламинола — 3%, 5%, 8%. Для консервантов пищевого класса (низин и пропионат натрия), эффективность которых может снижаться в условиях высокой щелочности цементной системы, принят диапазон 1%, 3%, 5%, который позволит ввиду обеспечения сопоставимости результатов с синтетическими биоцидами оценить их фунгицидный потенциал в идентичных экспериментальных условиях. Так как бутиленгликоль в цементных системах используется как пластификатор, при этом он проявляет слабую активность против микромицетов, то для проявления его защитных свойств требуются высокие концентрации. Исходя из этого концентрации для бутиленгликоля составили 5%, 10%, 15%. Несмотря на то что рекомендованная дозировка ГПМЦ в цементной системе составляет 0,1–0,4%, а выбранный диапазон в данном исследовании (1%, 3%, 5%) существенно превышает эти границы, что может оказывать влияние на кинетику твердения и реологические свойства смеси, такой подход обусловлен необходимостью оценки потенциальной биоцидной активности компонента, который позволит корректно сравнить эффективность компонента с биоцидами в равных условиях и определить возможность применения в качестве самостоятельной биозащиты. Для удобства идентификации составам присвоены условные номера (таблица 1).

Для оценки чувствительности микромицетов *Aspergillus niger* к биоцидам, консервантам и вспомогательным веществам использовался метод 3 (ГОСТ 9.049–91 «Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов»). Стерильные диски из фильтровальной бумаги диаметром 8 мм, предварительно пропитанные активными веществами, помещали в чаши Петри с застывшей питательной средой Чапека-Докса, предварительно инокулированной споровой суспензией *Aspergillus niger* методом распыления. Споровая суспензия готовилась

методом смыва колоний микромицетов стерильной водой с поверхности селективной агаровой питательной среды. Оценка антимикотической активности производилась по степени ингибирования микромицетов путем измерения зоны подавления роста или снижения колонизационной способности грибов. Зона ингибирования рассчитывалась как среднее арифметическое результатов оценки серии образцов.

В качестве критерия микробиологической устойчивости исследуемых средств рассматривалась степень обрастания плесневыми грибами модифицированных образцов, которая фиксировалась спустя 28 суток от начала эксперимента. Согласно п. 1.6.7 ГОСТ 9.048–89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» грибостойкость характеризовали с использованием шкалы, позволяющей количественно определить уровень поражения образцов микромицетами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью оценки фунгицидной и фунгистатической активности биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов проведено исследование по определению зоны фунгицидности каждого из компонентов. Результаты данного исследования представлены на рисунке 1.

На 5-е сутки после инокуляции *Aspergillus niger* максимальная зона ингибирования, достигающая 8 и 10 мм, зафиксирована у образцов, обработанных растворами ПГМГ в концентрациях 3% и 5% соответственно. Менее выраженное подавление роста микромицетов наблюдалось у образцов, пропитанных растворами аламинола в концентрациях 5% и 8%, о чем свидетельствует наличие области подавления роста микромицетов, составляющих 4 и 5 мм.

Слабую активность показал образец 13 (раствор ПГМГ в концентрации 1%), у которого зона ингибирования составляет не более 4 мм. У других образцов, несмотря на наличие зоны подавления роста, в ее пределах фиксируются равномерно распределенные микробиологические включения, что указывает на вероятное формирование персистентных или резистентных форм *Aspergillus niger* к исследуемым биоцидам и консервантам.

После 7 суток экспонирования образцов, обработанных 1% и 5% растворами ПГМГ, а также 8% раствором аламинола, зона ингибирования роста микромицетов осталась стабильной. В то же время в образцах, модифицированных 3% раствором ПГМГ и 5% раствором аламинола, наблюдалось уменьшение области подавления роста на 1–2 мм, что указывает на снижение антимикотической активности.

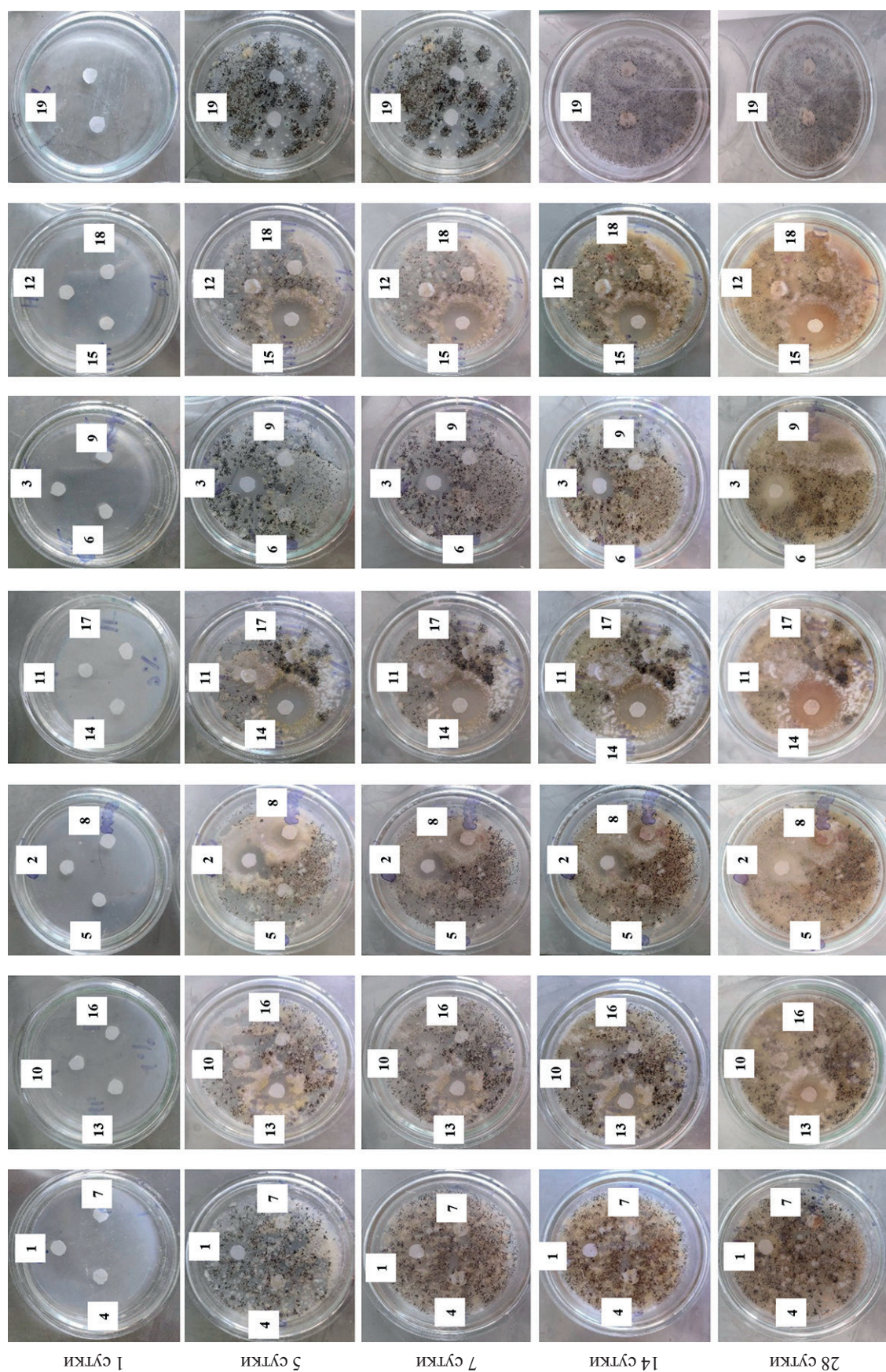


Рис. 1. Влияние биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов на интенсивность развития микромицета *Aspergillus niger* (нумерация согласно таблице 1)

Во всех остальных образцах наблюдалась полная колонизация микромицетами чашек Петри, что свидетельствует о неэффективности исследуемых биоцидов и консервантов против *Aspergillus niger* в данных условиях.

На 14-е сутки эксперимента в образцах, пропитанных 3% и 5% растворами ПГМГ, зафиксировано уменьшение диаметра зоны ингибирования роста грибов, что указывает на снижение подавляющего эффекта в отношении развития микромицетов. Такое снижение фунгицидной активности, вероятно, может быть связано с биохимической деградацией активных компонентов или физиологической адаптацией микроорганизмов к антимикотическим соединениям.

По завершении исследования наибольшую фунгицидную эффективность продемонстрировали растворы ПГМГ в концентрациях 3% и 5%. Образцы, пропитанные растворами аламинола (8%) и ПГМГ (1%), продемонстрировали снижение биоцидного действия, которое оценивалось по уменьшению диаметра зоны подавления роста микромицетов на 1 мм. В то же время образец, пропитанный растворами аламинола и ПГМГ в концентрации 3%, остался без изменений. Тотальная контаминация мицелием

Aspergillus niger зафиксирована у образцов, обработанных растворами бутиленгликоля, ГПМЦ, низина, пропионата натрия, что свидетельствует об отсутствии фунгицидного и фунгистатического эффекта даже при увеличении концентрации действующего вещества.

Что касается морфологии зон ингибирования, то у образцов, модифицированных 3% и 5% раствором ПГМГ, она симметричная, округлая с четко очерченными краями, что указывает на равномерную диффузию биоцида из носителя в агаризованную среду. В противоположность этому у образца, пропитанного 1% раствором ПГМГ, зона подавления роста имеет неправильную форму с зубчатыми краями и точечными очагами развития микроорганизмов, отражающих гетерогенность восприимчивости *Aspergillus niger* к биоциду.

По результатам оценки грибостойкости биоцидов и консервантов, представленной в таблице 1, высокой и стабильной фунгицидной активностью обладают образцы, пропитанные растворами ПГМГ. Они продемонстрировали не только наличие четкой зоны ингибирования, но и отсутствие роста грибов на самих носителях.

Таблица 1. Грибостойкость биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов против *Aspergillus niger*

Условный номер состава	Наименование биоцида / консерванта / вспомогательного компонента	Концентрация, %	Зона ингибирования, мм	Интенсивность развития грибов в баллах (по ГОСТ 9.049–91)
1	Аламинол	3	отсутствует	3
2		5	3	0
3		8	4	0
4	Бутиленгликоль	5	отсутствует	5
5		10	отсутствует	5
6		15	отсутствует	5
7	ГПМЦ	1	отсутствует	5
8		3	отсутствует	5
9		5	отсутствует	5
10	Низин	1	отсутствует	5
11		3	отсутствует	5
12		5	отсутствует	5
13	ПГМГ	1	4	0
14		3	6	0
15		5	7	0
16	Пропионат натрия	1	отсутствует	5
17		3	отсутствует	5
18		5	отсутствует	5
19	Контроль	–	отсутствует	5

Умеренной эффективностью характеризуются растворы на основе аламинола в концентрациях 5% и 8%. Остальные образцы, как и контрольный, показали отсутствие защитного действия у данных соединений в исследуемых концентрациях.

Таким образом, по фунгицидной эффективности и грибостойкости к *Aspergillus niger* исследуемые средства расположены в порядке увеличения результативности следующим образом: контроль / пропионат натрия / низин / ГПМЦ / бутиленгликоль → аламинол → ПГМГ.

ВЫВОДЫ

Установлено, что ПГМГ и аламинол подтвердили способность подавлять рост микромицетов в модельных условиях. При этом более высокую активность по грибостойкости проявляет полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, эффективность которого возрастает с увеличением концентрации, что свидетельствует о дозозависимом эффекте. Это делает

ПГМГ наиболее предпочтительным биоцидом для минимизации влияния на свойства бетона.

Аламинол демонстрирует умеренную фунгистатическую активность в отношении микромицетов, о чем свидетельствует зона ингибирования 3–4 мм в диапазоне концентрации 5–8 %.

Консерванты низин, пропионат натрия и бутиленгликоль не проявили эффективности в отношении тест-культуры *Aspergillus niger*, что указывает на необходимость использования в комбинациях с другими биоцидами.

В связи с выявленной неспособностью ГПМЦ ингибировать рост *Aspergillus niger* даже при высоких концентрациях, следовательно, делает применение ее исключительно как модификатор коррекции реологических свойств цементной системы.

Полученные результаты лягут в основу дальнейших исследований в изучении синергетического эффекта комбинаций биоцидов, консервантов и вспомогательных компонентов с целью оценки их влияния на физико-механические свойства цементного камня.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Adebajo A.U., Shafiq N., Kumar V., Farhan S.A., Olatoyan O.J., Qureshi T.I., Razak S.N.A., Adebajo I.C., Guillaumat L. Antimicrobial concrete for development: A critical review. *Journal of Cleaner Production*. 2024;458:142445. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142445>
2. Grishina A.N., Korolev E.V., Gladikh V.A. Hydration of cement in the presence of biocidal modifiers based on metal hydrosilicates. *Materials (Basel)*. 2021;15(1):292. <https://doi.org/10.3390/ma15010292>
3. Gerengi H., Kaya E., Solomon M.M., Snape M., Koerd A. Advances in the mitigation of microbiologically influenced concrete corrosion: A snapshot. *Materials (Basel)*. 2024;17(23):5846. <https://doi.org/10.3390/ma17235846>
4. Ślosarczyk A., Kłapiszewska I., Skowrońska D., Janczarek M., Jesionowski T., Kłapiszewski Ł. A comprehensive review of building materials modified with metal and metal oxide nanoparticles against microbial multiplication and growth. *Chemical Engineering Journal*. 2023;466:143276. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.143276>
5. Strokova V.V., Nelubova V.V., Rykunova M.D. Resistance of cement stone in sanitation solutions. *Magazine of Civil Engineering*. 2019;90(6):72–84. <https://doi.org/10.18720/MCE.90.7> – EDN: PEVAYB
6. Strokova V.V., Le Saout G., Nelubova V.V., Ogurtsova Y.N. Composition and properties of cement system with glutaraldehyde. *Magazine of Civil Engineering*. 2021;103(3):10307. <https://doi.org/10.34910/MCE.103.7> – EDN: QGSRBB
7. Хмара Н.О., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., Нелубова В.В., Духанина У.Н. Показатели биологического сопротивления цементного камня с добавкой вспученного перлитового песка. *Региональная архитектура и строительство*. 2023;4(57):30–40. https://doi.org/10.54734/20722958_2023_4_30 – EDN: WXBWPF
8. Leplat J., François A., Boust F. Susceptibility of fungi to commercially available traditional chemical products and to potentially alternative products for use in cultural heritage preservation. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2025;204:106137. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106137>
9. Кудряшов В.Л., Алексеев В.В., Фурсова Н.А. Низин и натамицин – эффективные пищевые микробиологические консерванты. *Пищевая индустрия*. 2020;2(44):67–71. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2020-10007> – EDN: WKXCUH
10. Стоянов И.А. Использование биоконсерванта низина в пищевой промышленности. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии: сборник научных трудов*. 2023;120:62–64. <https://doi.org/10.31016/vet.san.2023-10> – EDN: EZJHQE
11. Блинкова Л.П., Абдуллаева А.М., Валитова Р.К., Колбецкая Е.А. Пахомов Ю.Д. Сочетание бактерицина низина с другими факторами для обеспечения микробно-грибковой деконтаминации пищевых продуктов. *Успехи медицинской микологии*. 2024;26:17–20. <https://doi.org/10.14427/amm.2024.xxvi.01>
12. Valencia-Chamorro S.A., Palou L., del Río M.A., Pérez-Gago M.B. Inhibition of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* by hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite films containing food additives with antifungal properties. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2008;56(23):11270–11278. <https://doi.org/10.1021/jf802384m>

13. Karaca H., Pérez-Gago M.B., Taberner V., Palou L. Evaluating food additives as antifungal agents against *Monilinia fructicola* in vitro and in hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite edible coatings for plums. *International journal of food microbiology*. 2014;179:72–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.027>
14. Баласанян С.Ю. Сравнительный анализ натуральных и синтетических консервантов в пищевой промышленности. *Вестник науки*. 2023;12(69):1390–1400. <https://doi.org/10.24412/2712-8849-2023-1269-1390-1400>
15. Chen T., Chang H. Deciphering trends in replacing preservatives in cosmetics intended for infants and sensitive population. *Scientific reports*. 2024;14(1). Article number 19053. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69624-9>
16. Franco-Castillo I., Hierro L., M. de la Fuente J., Seral-Ascaso A., Mitchell S.G. Perspectives for antimicrobial nanomaterials in cultural heritage conservation. *Chem*. 2021;7(3):629–669. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2021.01.006>
17. Dong H., Xu Y., Zhang Q., Li H., Chen L. Activity and safety evaluation of natural preservatives. *Food Research International*. 2024;190:114548. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114548>
18. Chen N., Wang P., Zhao L., Zhang G. Water retention mechanism of HPMC in cement mortar. *Materials*. 2020;13(13):2918. <https://doi.org/10.3390/ma13132918>
19. Spychał E., Stępień P. Effect of cellulose ether and starch ether on hydration of cement processes and fresh-state properties of cement mortars. *Materials*. 2022;15(24):8764. <https://doi.org/10.3390/ma15248764>
20. Gao Y., Luo J., Zhu X., Zhang J., Fan K., Ma M. A review on the effect of organic admixtures containing different functional groups on the hydration behaviors of Portland cement. *Reviews in Inorganic Chemistry*. 2024;4. <https://doi.org/10.1515/revic-2024-0014>
21. Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Влияние микроорганизмов на физико-механические свойства бетона. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2021;6(10):90–98. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98> – EDN: NQOOZC
22. Rogalsky S., Bardeau J.-F., Lyoshina L., Tarasyuk O., Bulko O., Dzhezha O., Cherniavska T., Kremenitsky V., Kobrina L., Riabov S. New promising antimicrobial material based on thermoplastic polyurethane modified with polymeric biocide polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Materials Chemistry and Physics*. 2021;267:124682. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124682>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Авторы заявляют, что при подготовке статьи не использовались технологии генеративного искусственного интеллекта и технологии на основе искусственного интеллекта.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Духанина Ульяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории «Самоочищающиеся покрытия» Инновационного научно-образовательного и опытно-промышленного центра наноструктурированных композиционных материалов, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46, Российская Федерация, Duhanina777@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0163-3507>

Строкова Валерия Валерьевна – доктор технических наук, профессор РАН, директор Инновационного научно-образовательного и опытно-промышленного центра наноструктурированных композиционных материалов, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46, Российская Федерация, vvstrokova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6895-4511>

Степина Ирина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Российская Федерация, sudeykina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5358-2935>

Баженова Софья Ильдаровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Российская Федерация, bazhenovasi@mgso.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6111-201X>

ВКЛАД АВТОРОВ

Духанина У.Н. – разработка концепции и развитие методологии исследования, анализ результатов исследования, формулировка итоговых выводов, написание теста статьи.

Строкова В.В. – научное руководство, анализ результатов исследования, формулировка итоговых выводов.

Степина И.В. – литературный обзор, описание табличного и графического материала, анализ результатов исследования.

Баженова С.И. – литературный обзор, графическое и табличное представление результатов исследования, анализ результатов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.06.2026; одобрена после рецензирования 09.08.2026; принята к публикации 15.08.2026.