

Тарасов Вадим Андреевич,
аспирант 4 года обучения научной специальности 2.1.5
«Строительные материалы и изделия»,
ФГБОУ ВО МГУ им. Н.П. Огарева

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. Цементные композиты являются основными конструкционными материалами в современном строительстве. Для улучшения их технологических и эксплуатационных свойств в состав вводят различные добавки, среди которых важнейшее место занимают пластификаторы – вещества, повышающие подвижность бетонной смеси без увеличения водоцементного отношения. Однако введение органических пластификаторов создаёт дополнительную питательную среду для микроорганизмов, что может приводить к биоповреждениям – процессам разрушения материалов под влиянием жизнедеятельности бактерий, грибов и других биологических агентов.

Ключевые слова: Цементные композиты, стойкость, влияние, долговечность, пластификаторы.

Биоповреждение цементных композитов представляет собой сложный многостадийный процесс, включающий механическое повреждение, разложение, коррозию, индуцированную микроорганизмами, и обрастание живыми организмами. Опасность биоповреждений существенно возрастает при повышенной влажности окружающей среды и контакте материалов с агрессивными средами. Настоящая работа посвящена анализу биологической стойкости пластифицированных цементных композитов и разработке подходов к её повышению.

Биоповреждение цементных материалов реализуется через несколько механизмов:

Кислотная коррозия. Сероокисляющие бактерии (например, *Acidithiobacillus thiooxidans*) окисляют соединения серы до серной кислоты, которая нейтрализует щелочность цементного камня и растворяет его составляющие. Процесс начинается с действия нейтрофильных сероокисляющих бактерий, снижающих pH до ~4,0, после чего вступают ацидофильные сероокисляющие бактерии. Это приводит к образованию гипса и этtringита – соединений, вызывающих внутренние напряжения и разрушение цементной матрицы.

Биогенное образование органических кислот. Микроорганизмы продуцируют органические кислоты (щавелевую, лимонную, молочную и др.), которые вступают в реакцию с гидросиликатами кальция, вызывая их деструкцию с последующим растворением образующегося аморфного кремнезёма и образованием кальцита.

Поверхностное обрастание. Формирование биоплёнок на поверхности цементных материалов приводит к видимым изменениям цвета, преждевременному разрушению и может представлять потенциальную угрозу здоровью. Биоплёнка на поверхности бетона может формироваться микромицетами (*Aspergillus niger*), бактериями рода *Bacillus* и другими микроорганизмами.

Деструкция органических компонентов. Плесневые грибы ассимилируют органические полимеры, в том числе пластификаторы, используя их в качестве источника питания. В наибольшей степени подвержены поражению материалы, содержащие белки (казеин, альбумин), крахмал, декстрин и другие биodeградируемые органические вещества.

Введение пластификаторов в цементные композиты оказывает двойственное влияние на их биологическую стойкость.



Положительные аспекты: Пластификаторы, особенно полимерные, способствуют уплотнению структуры цементного камня, снижая его пористость и проницаемость. Это ограничивает доступ микроорганизмов и агрессивных биогенных веществ вглубь материала. Уплотнение микроструктуры является одним из ключевых факторов повышения биостойкости.

Отрицательные аспекты: Органическая природа многих пластификаторов создаёт благоприятную питательную среду для микроорганизмов, особенно для плесневых грибов, колонизирующих материал в благоприятных условиях влажности и температуры.

Исследования цементно-полимерных растворов с 5% поликарбоксилатной смолы показали сильный рост плесневых грибов на материале при высокой влажности. При этом прочность образцов сначала несколько увеличивалась, а затем, при дальнейшем воздействии коррозионной среды, снижалась. Данные литературы по биологической коррозии полимер-модифицированных цементных материалов неоднозначны и даже противоречивы.

Стоит отметить влияние факторов, определяющих биостойкость цементных композитов:

Состав и структура материала. Цементные композиты с добавками, снижающими пористость и уточняющими структуру пор (микрокремнезём, зола-унос, цеолит), демонстрируют более высокую устойчивость к микробному воздействию. Умеренные уровни замещения цемента активными минеральными добавками улучшают устойчивость к микробной атаке за счёт уплотнения структуры пор и снижения проницаемости. Однако чрезмерное замещение, особенно в системах с высоким содержанием шлака, может снизить доступность щелочных буферных фаз, повышая уязвимость к биогенной кислотной коррозии.

Щёлочность среды. Высокий pH цементного камня (12–13) является естественным барьером для большинства микроорганизмов. Снижение щёлочности в процессе карбонизации или под действием биогенных кислот создаёт условия для развития микроорганизмов. Микробная коррозия цементов и бетонов обычно не начинается, пока pH остаётся высоким.

Влажность. Интенсивный рост микроорганизмов происходит при повышенной влажности, поэтому гидроизоляция и защита от увлажнения являются важными мерами профилактики биоповреждений.

Наличие органических компонентов. Пластификаторы и другие органические добавки могут служить питательным субстратом для микроорганизмов, поэтому их выбор и дозировка требуют особого внимания.

Рассмотрим методы повышения биологической стойкости:

Введение биоцидных добавок. Биостойкость цементных композитов повышается введением биоцидных добавок – веществ, подавляющих жизнедеятельность микроорганизмов. Эффективность биоцидов определяется их растворимостью в воде и реакционной способностью по отношению к другим компонентам композита.

Среди биоцидных препаратов применяются:

- Металлсодержащие биоциды (соединения меди, цинка)
- Четвертичные аммониевые соединения
- Препараты на основе гуанидина
- Наночастицы TiO_2 , проявляющие антибактериальную активность

Исследования показывают, что введение биоцидных добавок в количестве 3–5 мас. ч. на 100 мас. ч. вяжущего способствует снижению обрастаемости цементных композитов мицелиальными грибами и проявлению у них грибостойких свойств.

Использование активных минеральных добавок. Добавки, содержащие TiO_2 или CaCO_3 в наноразмерной форме, демонстрируют превосходную устойчивость к биоповреждениям благодаря уплотнению микроструктуры. Глинозёмистый цемент показывает лучшую долговечность в условиях биокоррозии благодаря бактериостатическому эффекту.



Оптимизация состава. Комплексный подход, сочетающий пластификацию с введением биостойких компонентов, позволяет достичь оптимального баланса технологических и эксплуатационных свойств.

Современные исследования в области биостойких цементных композитов направлены на:

1. Разработку новых биоцидных препаратов с пролонгированным действием
2. Создание композиционных материалов с самоочищающимися и антимикробными свойствами
3. Изучение влияния нанодобавок на биостойкость цементных материалов
4. Разработку методик прогнозирования биостойкости с учётом климатических и эксплуатационных факторов
5. Исследование механизмов адаптации микроорганизмов к биоцидам и разработку стратегий их периодической замены

Биологическая стойкость пластифицированных цементных композитов является комплексной характеристикой, определяемой составом материала, его структурой, условиями эксплуатации и видовым составом микроорганизмов-деструкторов. Введение пластификаторов, улучшая технологические свойства бетонных смесей, может создавать дополнительные риски биоповреждений за счёт присутствия органических компонентов, служащих питательным субстратом для микроорганизмов.

Повышение биостойкости достигается комплексным подходом: оптимизацией состава цементного композита (введение активных минеральных добавок, снижение пористости), применением биоцидных препаратов и обеспечением надлежащих условий эксплуатации (гидроизоляция, вентиляция). Наиболее перспективным направлением является создание многофункциональных цементных композитов, сочетающих высокие физико-механические характеристики с устойчивостью к биологическим воздействиям, что позволит существенно увеличить долговечность строительных конструкций.

Список литературы:

1. Ерофеев В.Т., Гончарова М.А., Тараканов О.В., Светлов Д.А., Максимова И.Н., Ерофеева И.В., Кучин В.Н. Strength and Deformability of Biocidal Cement Composites // Building and Reconstruction. 2025.
2. Stanaszek-Tomal E. Sealing and unsealing effect of filamentous fungi in CEM I cement mortars with polycarboxylic admixture // PLOS ONE. 2024. № 2. P. e0299221.
3. Microbial Deterioration Potential and Mitigation Strategies in Blended Cement Structures: A Review // Advances in Civil Engineering. 2026.
4. Влияние TiO_2 Nanoparticles on the Resistance of Cementitious Composite Materials to the Action of Bacteria // OUCI.
5. Биологическая коррозия бетонов // Журнал-см.ру.
6. Мероприятия по защите строительных материалов и конструкций от различных повреждений // Normacs.info.

