



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)
ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

№ _____



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
СПбГАСУ

И. В. Дроздова И. В. Дроздова

09 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Санкт-Петербургского государственного
архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ)
на диссертацию Логиновой Светланы Андреевны на тему
«Исследование процессов массопереноса при биокоррозии цементных
бетонов», представленную в диссертационный совет Д 212.355.01
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический
университет» к публичной защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

Структура и объем работы

Для отзыва представлены автореферат диссертации на 19 страницах и диссертация, состоящая из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 6 приложений. Диссертационная работа изложена на 146 страницах машинописного текста, включающего 12 таблиц, 36 рисунков, списка литературы из 159 наименований, приложения на 6 листах.

Актуальность темы исследований

Бетон в настоящее время является наиболее широко используемым строительным материалом. Несмотря на весьма длительный теоретический срок службы бетона, коррозия под воздействием агрессивных сред и микроорганизмов способствует процессам деградации и преждевременному разрушению строительных бетонных конструкций. Микробиологические процессы затрагивают целостность многих наземных и особенно морских конструкций, мостов, сооружений причалов и портов, подверженных значительным увлажнениям. Микробиологическая коррозия бетона является

серьезной глобальной проблемой, ущерб от которой оценивается миллиардами долларов в год. Также, исследование микробиологического воздействия на цементные материалы имеет и важное санитарно-гигиеническое значение, поскольку нередко микроорганизмы могут представлять опасность для здоровья человека и являться возбудителями различных инфекционных заболеваний.

Разрушение цементных бетонов при биологической коррозии, как и при других видах коррозионной деструкции, определяются процессами массопереноса и химическими реакциями. Прогнозирование долговечности эксплуатируемых в водной среде строительных конструкций возможно путем математического моделирования, а привлечение математического аппарата к исследованию биологической коррозии дает возможность уяснить сущность обменных процессов между цементным камнем и живой клеткой, также поможет наметить возможные пути уменьшения биологического коррозионного разрушения.

Моделирование процессов массопереноса в результате биологической коррозии цементных бетонов в жидких средах не проводилось, и на сегодня не охарактеризована значимость коррозионно-агрессивных групп микроорганизмов, как фактора жидкостной коррозии бетонных и железобетонных конструкций.

В этой связи, диссертационная работа Логиновой Светланы Андреевны, посвященная изучению процессов массопереноса при биологической коррозии цементных бетонов – представляется весьма полезной и *актуальной*.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования процессов массопереноса при коррозии бетона и железобетона. К настоящему времени научной школой под общим руководством академика РААСН С.В. Федосова представлен ряд апробированных математических моделей процессов коррозии в разных средах. Полученные представления о коррозионной деструкции бетонов при биологической коррозии с учетом особенностей процессов массопереноса подтверждены эффективностью их применения на производственных объектах (Акт о внедрении от 17.06.2019 г., ООО «Геопроект», г. Иваново).

Разработанные автором практические рекомендации по мониторингу и повышению коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций применены на практике при проведении промышленной экспертизы строительных конструкций зданий и сооружений (Акт о внедрении ООО «Базовый инжиниринг», г. Иваново).

Анализ содержания диссертации

Структура диссертации – традиционная. Деление текста на главы и разделы находится в соответствии с принятыми нормами и установившимися традициями.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен достаточно подробный анализ состояния вопроса биологического разрушения бетона, приведен обзор научно-технической литературы российских и зарубежных ученых в данной области. Из анализа проработанных источников литературы по данной теме сделан вывод о том, что ранее в существующих математических моделях массопереноса при жидкостной коррозии не производился учет дополнительного воздействия биологического фактора на бетон и железобетон в процессе эксплуатации конструкций. Таким образом, разработка математической модели массопереноса жидкостной коррозии цементных бетонов с учетом биотического фактора позволит точнее прогнозировать сроки эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций в водных средах, рационально назначать и проводить противообрастающую обработку смачиваемых бетонных поверхностей.

Во второй главе дано описание объектов и методов исследований, приведены основные сведения об использованных материалах и экспериментальных научных методах, описание штаммов используемых микроорганизмов, методики проведения испытаний.

Объектами исследования служили образцы кубической формы с гранью 3 см, изготовленные из портландцемента марки ПЦ 500-ДО с водоцементным отношением В/Ц = 0,3, которые заражали суспензиями микроорганизмов (*Aspergillus niger van Tieghem*, *Bacillus subtilis*), выдерживали в оптимальных для их развития условиях в течение 28 сут. Затем образцы погружали в дистиллированную воду, откуда с заданной периодичностью отбирали пробы для испытаний (титрования). Анализ результатов микробиологического исследования, электро- и комплексонометрии, рентгено-флуоресцентного и дифференциально-термического анализов позволил сделать выводы о кинетике и динамике коррозионных процессов с учетом влияния биологического фактора, происходящих в цементном камне.

В третьей главе приведена разработанная автором математическая модель массопереноса в условиях биологической коррозии бетона в жидкой среде. Установлено, что с началом массообменных процессов бетона и жидкой среды концентрация растворенного гидроксида кальция в порах бетона начинает уменьшаться, вызывая, тем самым, растворение свободных кристаллов гидроксида кальция. Уменьшение содержания гидроксида кальция в результате его растворения и вымывания из бетона приводит к

разложению основных составляющих цементного клинкера. В случае биологической коррозии протекание жидкостной коррозии усложняется дополнительным воздействием микроорганизмов-деструкторов. Система «цементный бетон – биопленка – жидкость» автором представлена двумя находящимися в контакте неограниченными пластинами, каждая из которых характеризуется своими размерами и свойствами. Математическая модель массопереноса в полуограниченной двухслойной пластине представлена в виде дифференциальных уравнений с граничными условиями второго рода на границе бетона с жидкостью и четвертого рода на границе между бетоном и биопленкой. Массоперенос описан дифференциальными уравнениями второго порядка. При этом сложный механизм роста, размножения и гибели микроорганизмов автором предложено учесть введением специального коэффициента, учитывающего изменения плотности биомассы. Результаты расчетов по полученным математическим зависимостям и выражениям приведены на графиках и рисунках.

В четвертой главе приведены результаты физико-химических исследований жидкой и твердой фаз исследуемой системы, позволяющие судить об изменениях, происшедших в цементном камне вследствие воздействия реакционной среды. При исследовании поверхности образцов, подверженных действию микроорганизмов, были отмечены новообразования – продукты процесса коррозии цементного камня, природа возникновения которых связана с их ферментативной деятельностью. Показано, что имеет место кристаллизация оксалатов и цитратов кальция вследствие воздействия соответствующих органических кислот, продуцируемых микроорганизмами. В целях определения таксономического состава биопленок был проведён отбор проб с поверхности образцов цементного камня и на соответствующих фотографиях представлены результаты окраски по Граму – мазков контрольных и подверженных биологической коррозии образцов после их выдерживания в течение 70 сут. в водной среде.

На основании морфолого-культуральных особенностей использованных в исследованиях микроорганизмов автору удалось установить, что биопленка образована спорами и вегетативными формами бактерий *Bacillus subtilis* и бактериями *Nitrosomonas*, *Lactobacterium*, *Desulfovibrio*, а также некоторыми формами актиномицетов и микромицетов.

В этой же главе представлены результаты исследования твердой фазы цементного камня дифференциально-термическим методом анализа. Анализ полученных дериватограмм позволил установить снижение содержания гидроксида кальция в биологически засорённых образцах в сравнении с контрольными образцами. На основании данных дифференциально-термического анализа автор сделал вывод о том, что дополнительное воздействие биологического фактора приводит к изменению фазового состава цементного камня в сторону уменьшения количества гидроксида кальция и увеличения иных соединений кальция в твердой фазе системы. Полученные данные позволили получить практически значимые профили

концентраций «свободного» гидроксида кальция по толщине образцов в биологически активной среде. Автором показано, что равновесная концентрация катионов кальция достигается после 70 суток пребывания образцов в биологически агрессивной среде.

В пятой главе приведены результаты расчетов по разработанной математической модели массопереноса «свободного» гидроксида кальция в процессах биологической коррозии бетона. Анализ выполненных автором расчетов показал, что в начальный период времени поток массы веществ максимален, в дальнейшем с течением времени он уменьшается. Сопоставляя данные об изменении потока массы вещества в зависимости от вида биологической среды сделан вывод о том, что при коррозии бетона плесневыми грибами интенсивность потока массы вещества выше, чем при бактериальной коррозии. В совокупности экспериментальные и расчетные данные позволили автору судить о сходимости полученных результатов, что дало возможность применения разработанной математической модели для расчетов процессов массопереноса в процессе биокоррозии цементных бетонов не зависимо от видового состава биологических агентов.

В заключении приведены следующие итоги выполненного Логиновой С. А. диссертационного исследования.

1. Анализ литературных источников показал, что к настоящему времени процесс биологической коррозии бетона – не достаточно изученная проблема, как в России, так и за рубежом, и при этом отсутствуют математические модели, позволяющие прогнозировать долговечность бетонных конструкций с учетом фактора биологической коррозии.

2. Разработана физико-математическая модель процесса диффузии свободного гидроксида кальция в твердой фазе и в биопленке цементного бетона в жидкой среде. Модель позволяет получить решения задачи массопереноса в системе «цементный бетон – биопленка – жидкость», что дает возможность осуществлять мониторинг процессов массопереноса в области контроля биологического разрушения цементных бетонов.

3. Определены основные параметры массопереноса: коэффициенты массопроводности и массоотдачи для бактериальной коррозии бетона и под воздействием плесневых грибов. Установлено, что значение коэффициента массопроводности при коррозии плесневыми грибами несколько выше, чем при бактериальной.

4. Подтверждена расчетами возможность применения разработанной математической модели для расчета процесса массопереноса при биологической коррозии цементных бетонов не зависимо от видового состава биообразователей.

5. На основании результатов диссертационного исследования автором разработаны практические рекомендации по мониторингу и повышению коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций, которые практически применены при проведении промышленной экспертизы строительных конструкций зданий и сооружений.

Научная новизна работы

1. Разработана физико-математическая модель процесса массопереноса «свободного» гидроксида кальция в системе «цементный бетон – биопленка – жидкость» при жидкостной коррозии с учетом воздействия биогенного фактора.

2. Получены аналитические решения задачи массопереноса в процессах биологической коррозии бетона для системы «цементный бетон – биопленка – жидкость», что дает возможность расчета концентрации «свободного» гидроксида кальция в твердой фазе и концентрации растворенного гидроксида кальция в жидкой фазе.

3. Определены основные параметры массопереноса (коэффициенты массопроводности и массоотдачи) в бетоне на основе цемента при протекании бактериальной коррозии и под воздействием плесневых грибов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Дальнейшее развитие получили теоретические представления о механизмах и степени воздействия использованных в работе микроорганизмов (бактерий *Bacillus subtilis* и микромицет *Aspergillus niger van Tieghem*) на процесс биологического коррозионного разрушения цементного камня в жидкой среде.

Предложенная физико-математическая модель массопереноса «свободного» гидроксида кальция в системе «цементный бетон – биопленка – жидкость» для биологически активных сред позволили автору рассчитать динамику полей концентраций «свободного» гидроксида кальция по толщине бетонной конструкции, а также кинетику массопереноса в твердой и жидкой фазах. Автором проведена верификация математической модели на основе данных эксперимента. Установлена высокая сходимость результатов теоретического расчета с экспериментальными данными, что свидетельствует об адекватности предложенной математической модели. Это позволило автору рекомендовать ее для прогнозирования последствий воздействия биологически агрессивных сред на бетонные и железобетонные конструкции. Эти сведения представляют практический интерес с целью прогнозирования продолжительности и интенсивности коррозионного процесса, а в итоге – сохранности и долговечности бетонных конструкций, эксплуатируемых в биологически агрессивных средах.

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс кафедры «Нанотехнологий, физики и химии» ФГБОУ ВО «ИВГПУ» при изучении бакалаврами направления подготовки 08.03.01 «Строительство» дисциплины «Коррозия металлов и способы защиты», магистрами направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» дисциплин «Мониторинг коррозии и защита от коррозии» и «Методы защиты от коррозии оборудования и сооружений».

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов, научных выводов и рекомендаций диссертационной работы обеспечены соответствием использованных научных методов исследования поставленным задачам, большим объемом экспериментальных данных, полученных современными и стандартными методами и методиками научных исследований, испытанием необходимого количества образцов, согласованностью полученных теоретически рассчитанных и экспериментальных данных в пределах допустимой погрешности, согласованностью с результатами ранее проведенных исследований другими авторами, а также широкой апробацией полученных результатов исследований и выводов на ряде научно-технических конференций различного уровня.

Рекомендации по практическому применению результатов работы

Результаты диссертационной работы Логиновой С.А. могут быть применены к использованию в инженерной практике при проектировании и эксплуатации строительных конструкций в организациях и на предприятиях, сталкивающихся с проблемой биологического разрушения конструкций, в частности, таких, как опоры мостов и причалов, ограждающих конструкций портовых и гидротехнических сооружений и др., находящихся непосредственно в воде или постоянно контактирующих с водной средой.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации и автореферата имеются некорректные фразы и выражения, например:

- в формулировке задач исследований (стр.7): «Установить подходы к механизмам воздействия биогенного фактора на общий коррозионный процесс цементных бетонов» – не понятно, что автор конкретно имел в виду;

- в формулировке научной новизны работы (стр. 8): «- в лабораторных условиях проведены исследования по изучению закономерностей формирования сообществ бактерий и микромицетов на цементном бетоне в жидкой среде.» – вряд ли возможно расценивать данную формулировку как факт научной новизны. Элементом научной новизны являются конкретные результаты исследований и выявленные при этом закономерности, что и необходимо было указать в формулировке.

2. В качестве образцов для экспериментальных исследований на коррозионную стойкость автор использовал: «... образцы-кубы размером 3х3х3 см, изготовленные из портландцемента марки ПЦ 500-ДО-Н с водоцементным отношением В/Ц = 0,3». При этом, результаты экспериментов с этими образцами автор переносит на бетон, что на наш взгляд не вполне корректно. То же самое относится к испытанию прочности по ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» (стр. 116). Образцы были изготовлены из цемента и воды с В/Ц = 0,3 без каких-либо заполнителей и не соответствуют

требованиям по размерам. Автор слишком вольно использует в тексте понятия бетон, растворная смесь и цементный камень, а это, как известно, разные материалы с весьма отличающимися структурой и свойствами.

3. Имеет место искажение и неправильное использование научных терминов: «Таксонометрическое разнообразие микроскопических грибов» (стр. 30 и далее по тексту, а также в автореферате, стр.12), правильно – таксономическое разнообразие видов; (Таксономия – учение о принципах и практике классификации). Также неверное использование термина: «Фунгицидное разрушение бетона» (стр. 39), под термином «фунгицидное» подразумевается вещество, убивающее плесневые грибы, а никак не вид разрушения бетона под действием грибов.

4. Ссылки на ГОСТ 9.049–91 и ГОСТ 9.050-75 (диссертация, стр. 41) не вполне корректны, т.к. ГОСТ 9.049–91 распространяется на материалы полимерные и их компоненты, а ГОСТ 9.050–75 относится к лакокрасочным покрытиям (Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов).

5. Выбор дистиллированной воды в качестве агрессивной среды для лабораторных исследований коррозионной стойкости бетона требует соответствующего обоснования.

6. В автореферате на стр. 11 автор пишет: «Согласно литературным источникам средняя плотность биомассы составляет 3-5 кг/м³», что вызывает большое сомнение. При этом ссылка на источник отсутствует.

7. Вопросы и замечания вызывает описание эксперимента на стр. 98. Как известно, мицелий не имеет окраски, клетки мицелия бесцветные и прозрачные, в массе имеют белесый оттенок. Окраску имеют исключительно споры плесневых грибов.

8. В Актах о внедрении результатов работы (ООО «Базовый инжиниринг» и ООО «Геопроект») не приведены сведения о конструкциях и конкретных условиях эксплуатации, в которых апробированы результаты данной работы, не представлены методика расчета снижения затрат, а также сами расчеты.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней

В диссертационной работе Логиновой Светланы Андреевны получены новые значимые для строительной отрасли данные и результаты исследований. В диссертации содержатся предлагаемые автором технические решения, обладающие научной новизной и практической значимостью. Личный вклад соискателя в получении достоверных научных данных не вызывает сомнений. Текст диссертации написан грамотно, техническим языком, графический материал соответствует требованиям технического уровня. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Диссертационная работа прошла апробацию на ряде научно-технических конференций. По теме диссертации имеется 19

публикаций, в том числе 4 статьи в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований.

Таким образом, диссертация Логиновой Светланы Андреевны представляет собой полностью завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения, результаты и выводы, имеющие существенное значение для дальнейшего развития строительного комплекса России.

На основании выше изложенного считаем, что диссертация Логиновой Светланы Андреевны, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для строительной отрасли, что соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Отзыв на автореферат диссертации и диссертацию обсужден и одобрен на заседании кафедры технологии строительных материалов и метрологии ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), протокол № ___ от «22» сентября 2020 г.

Заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН _____ Пухаренко Юрий Владимирович

Отзыв подготовил:

профессор, доктор технических наук по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, профессор кафедры технологии строительных материалов и метрологии _____

Матвеева Лариса Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

Контактный телефон: +7 (812) 575-05-34

E-mail: rector@spbgasu.ru

« ___ » _____

