

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2023, Том 10, № 2 / 2023, Vol. 10, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS223.pdf>

DOI: 10.15862/09SATS223 (<https://doi.org/10.15862/09SATS223>)

Анализ результатов обследования строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах

Братошевская В.В.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Братошевская Виолетта Витальевна, e-mail: violetta-architector@yandex.ru

Аннотация. Обследование состояния железобетонных конструкций, находящихся под воздействием органических агрессивных сред, показали непосредственную зависимость характера капиллярно-пористой структуры бетона от адсорбционной активности многоатомных спиртов низких концентраций.

Автором доказана связь органической коррозии бетона с его разрушением органическими веществами, в том числе многоатомными спиртами, агрессивными по отношению к цементному камню и бетону, особенно при совместном действии климатических факторов — увлажнения и высушивания замораживания и оттаивания; в этих случаях происходит накопление в бетоне внутренних дефектов в виде микротрещин, которые ведут к снижению его эксплуатационных свойств и дальнейшему разрушению конструкций. Натурные исследования, проведенные автором, включали изучение характера, причин и источников агрессивных выделений, за которыми устанавливалось наблюдение, определялись интенсивность выделений, пределы распространения и места их скопления. Пробы из разрушенных участков отбирались для уточнения характера и степени повреждения в лабораторных условиях физико-механическими и химическими методами исследований.

По результатам обследований выявлены интенсивные разрушения участков фундаментов под баками

готовой продукции, железобетонных колонн эстакады под трубопроводами подачи спиртов, полов на кислотоупорной плитке. Показаны причины проникновения агрессивных растворов через неплотности и нарушенные покрытия конструкций.

Обследования позволили также выявить причины агрессивных выделений: просачивание, недостаточная герметизация емкостей, проливы в процессе эксплуатации оборудования и другие.

Автором показано негативное влияние одновременного воздействия агрессивных сред и низких температур, также выявлено, что с увеличением содержания в вяжущем минеральных добавок адсорбция многоатомных спиртов на цементном камне уменьшается. Высокая степень заполнения порового пространства бетона растворами многоатомных спиртов также является основной причиной их быстрого разрушения при морозном воздействии.

Даны рекомендации по повышению долговечности конструкций путем введения в состав вяжущего гидравлических добавок.

Ключевые слова: обследование; строительные конструкции; капиллярно-пористая структура; агрессивные среды; адсорбционные явления; стойкость бетона; долговечность бетона; гидравлические добавки

Results analysis of building structure inspection operated in corrosion environment

Violetta V. Bratoshevskaya

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Corresponding author: Violetta V. Bratoshevskaya, e-mail: violetta-architector@yandex.ru

Abstract. Examination of the reinforced concrete structures state under the influence of organic corrosion environments showed a direct dependence of the nature of the platelet structure of concrete on the polyhydric alcohols adsorption activity of low concentrations.

The author has proved the connection between the concrete organic corrosion and its destruction by organic substances, including polyhydric alcohols, aggressive towards cement stone and concrete, especially under the combined action of climatic factors — moistening and drying, freezing and thawing; in these cases, there is an accumulation of internal defects in the concrete in the form of microcracks, which lead to a decrease in its operational properties and further destruction of structures. Field studies conducted by the author included the study of the nature, causes and sources of aggressive secretions, which were monitored, the intensity of the secretions, the limits of distribution and the places of their accumulation were determined. Samples from the damaged areas were taken to clarify the damage nature and degree in the laboratory using physical, mechanical and chemical research methods.

According to the inspections results, intensive destruction of the foundation sections under the tanks of finished products, elevated road's reinforced concrete columns

under the alcohol supply pipelines, and floors on acid-resistant tiles were detected. The reasons for the penetration of aggressive solutions through leaks and broken coatings of structures are shown.

The inspection also made it possible to identify the causes of aggressive emissions: leakage, insufficient sealing of containers, spills during equipment operation, and others.

The author has shown the negative impact of the simultaneous exposure to corrosion environment and low temperatures, and also found that with an increase in the content of mineral additives in the binder, the adsorption of polyhydric alcohols on the cement stone decreases. The high degree of the concrete pore space filling with solutions of polyhydric alcohols is also the main reason for their rapid destruction during frost exposure.

Recommendations are given to improve the durability of structures by introducing hydraulic additives into the composition of the binder.

Keywords: inspection; building structures; platelet structure; corrosion environment; adsorption phenomena; concrete durability; durability of concrete; hydraulic additives

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

На многих промышленных предприятиях, особенно на предприятиях химической промышленности, в технологическом процессе которых используют как органические, так и неорганические соединения, наблюдаются разрушения строительных конструкций, вызванные коррозионно-активным воздействием таких сред.

Коррозия выступает как фактор, препятствующий реализации достижений научно-технического прогресса и эффективному использованию основных фондов. Прямой ущерб от коррозии в строительстве достигает в России около 25 % стоимости некоторых промышленных объектов. Поэтому уменьшить потери от коррозии, обеспечить долговечность строительных конструкций на длительный срок — важная государственная задача [1].

Один из видов коррозии — это органическая коррозия, которая связана с разрушением бетона органическими веществами, агрессивными по отношению к цементному камню и бетону, особенно при совместном действии климатических факторов — увлажнением и высушиванием замораживанием и оттаиванием и других. В этих случаях происходит накопление в бетоне внутренних дефектов в виде микротрещин, которые ведут к снижению его эксплуатационных свойств и дальнейшему разрушению конструкций [2].

Постановка задачи

Research objective

Натурные обследования, проведенные на предприятиях ряда отраслей промышленности, позволили установить общие причины коррозионного разрушения строительных конструкций на производствах синтетических спиртов, имеющие место на всех предприятиях с агрессивными средами: недоработки на разных этапах проектирования, строительства и эксплуатации, а также причины, присущие данному конкретному виду производств, устранение которых должно быть осуществлено в первую очередь. В настоящей работе была поставлена задача: обследовать состояние строительных конструкций на ряде предприятий по производству многоатомных спиртов, выявить причины коррозии бетонов и предложить рекомендации по повышению их долговечности в условиях непосредственного соприкосновения с

агрессивными органическими средами. Агрессивные среды производств синтетических спиртов можно условно разделить на две группы.

Первая группа — вещества, используемые в производстве спиртов в качестве исходного сырья, промежуточных продуктов, реактивов, катализаторов. В зависимости от способов получения синтетических спиртов (метод каталитического восстановления сложных метиловых эфиров синтетических жирных кислот фракции C10...C18, производство глицерина методом гидролиза эпихлоргидрина в щелочной среде или производство этиленгликоля методом жидкофазной гидратации окиси этилена) — это могут быть щелочи, минеральные кислоты (азотная, серная), соли (хлориды, сульфаты, карбонаты натрия, хлористый аммоний и др.), окись углеродов, этилен, пропилен. Степень агрессивности этих веществ по отношению к бетону достаточно изучена, вследствие чего методы обеспечения долговечности железобетонных конструкций и средств защиты принимаются в соответствии с существующими нормативными документами.

Вторая группа веществ, агрессивность которых не изучена или изучена недостаточно, — собственно спирты: низкомолекулярные (метанол, этанол), высокомолекулярные (гептиловый, октиловый, дециловый и др.) и многоатомные (этиленгликоль, глицерин, пентаэритрит).

Большинство веществ, относящихся ко второй группе (низко- и высокомолекулярные спирты), можно классифицировать как слабоагрессивные среды. Поэтому средства обеспечения долговечности строительных конструкций, подверженных их воздействию, можно ограничить применением методов первичной защиты, изучив предварительно такие свойства спиртов, как проникающая способность, характер адсорбции их на цементном камне.

Наименее изученным является вопрос о степени и характере коррозионного действия на бетон растворов многоатомных спиртов, которые, как показали уже даже предварительные исследования, могут в определенных условиях проявлять весьма высокую агрессивность.

Методика обследования

Inspection methodology

Обследование состояния строительных конструкций зданий цехов производств синтетических спиртов было проведено на химических заводах и производственных объединениях оргсинтеза.

Комплексные натурные исследования включали:

- ознакомление с проектами действующих и строящихся цехов, при этом особое внимание уделялось объёмно-планировочным решениям производственных зданий и сооружений, номенклатуре материалов, применяемых при строительстве, предложениям по антикоррозионной защите строительных конструкций;
- изучение характера, причин и источников агрессивных выделений. На всех перечисленных объектах они начинались с выявления источника выделений. За каждым обнаруженным источником устанавливалось постоянное наблюдение, определялись интенсивность выделений, пределы распространения и места скопления.

Изучение состояния строительных конструкций выполнялось поэтапно: вначале проводился визуальный осмотр всех строительных элементов, включавший оценку проектного положения конструкций, состояние поверхности бетона (сколы, раковины, следы увлажнения и подтеков, отслаивание защитного слоя, характер трещин на поверхности бетона и другие дефекты), защитных покрытий, определялись причины попадания агрессивных веществ на их поверхности или проникновения в толщу материала конструкций. Выявленные причины классифицировались по следующим признакам:

- отсутствие или недостаточность специальной защиты конструкций;
- несоответствие материала конструкций условиям эксплуатации;
- неудачные конструктивные решения.

Детальному изучению подвергались наиболее характерные из разрушающихся конструкций. Пробы их материалов отбирались в целях уточнения характера и степени повреждения путем проведения физико-механических и химических исследований в лабораторных условиях. По результатам испытаний проб, взятых из разных слоев обследуемой конструкции, определялась степень ее насыщения агрессивной средой, а также количественный и качественный состав новообразований в материале, если такие имели место [3; 4]. Пробы для испытаний на прочность отбирались из разрушенных частей конструкций, а также из мест, не пораженных коррозией. Отбор проб из конструкций производился выпиливанием, высверливанием или отколом. В результате обследований таких производств было установлено, что в технологическом процессе используется большое количество химических соединений, степень агрессивности которых по отношению к материалам строительных конструкций меняется от слабой до сильной.

Результаты и обсуждение

Results and discussion

Обследование предприятий по производству многоатомных спиртов показало, что наименее коррозионно-устойчивы полы, как бетонные, так и из керамической плитки, уложенной на цементно-песчаный раствор, фундаменты под оборудованием, недолговечны также балки и плиты междуэтажных перекрытий.

Наиболее интенсивные разрушения наблюдались на открытых площадках складирования, где выходят из строя как фундаменты под баками готовой продукции, так и колонны эстакад под трубопроводами подачи спиртов. Установленные факты коррозии строительных конструкций свидетельствуют, что в большей мере разрушение происходит при совместном воздействии водных растворов многоатомных спиртов и знакопеременных температур.

Натурные обследования включали также мероприятия по выявлению источников агрессивных выделений, определению их интенсивности, изучению микро- и макроклиматических и температурно-влажностных условий. Выявлено, что агрессивный раствор проникает в толщу конструкции через нарушенные покрытия, скапливается под гидроизоляционным слоем, просачивается через неплотности на железобетонное перекрытие (рис. 1). Это приводит к разрушениям балок и плит междуэтажных перекрытий, ремонт которых связан с большими техническими трудностями и материальными затратами.

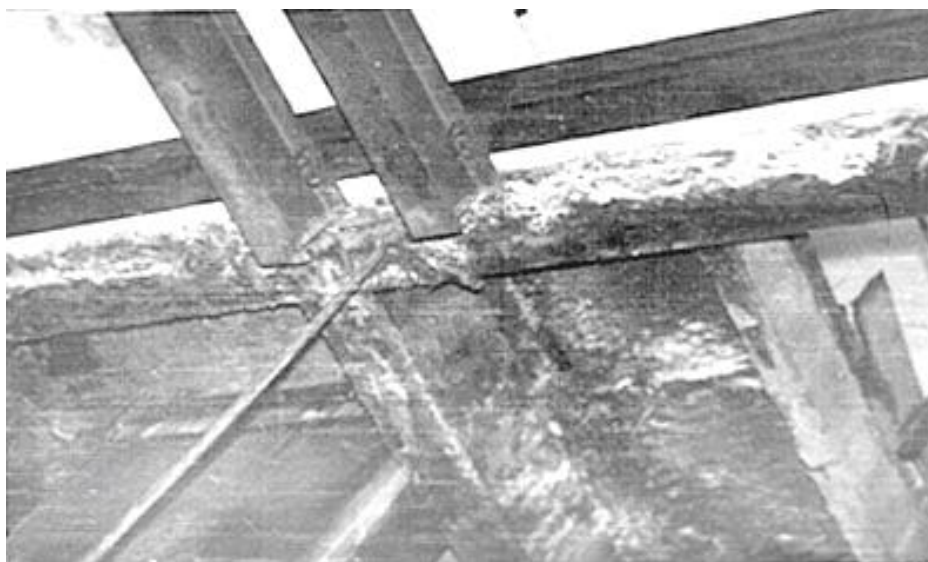


Рисунок 1. Коррозия железобетонных конструкций перекрытия под воздействием водных растворов глицерина (фото автора)

Figure 1. Reinforced concrete floor structure corrosion under the influence of glycerin aqueous solutions (photo by the author)

На открытых площадках бакового хозяйства (складирования готовой продукции) были отмечены значительные разрушения железобетонных фундаментов под баками для спиртов, полов, выполненных из кислотоупорной плитки, а также железобетонных колонн эстакады под трубопроводами подачи готовой продукции — синтетических спиртов (рис. 2).



Рисунок 2. Разрушение полов под воздействием водных растворов глицерина (фото автора)

Figure 2. Destruction of floors under the influence of glycerin aqueous solutions (photo by the author)

Проведенные обследования и изучение технологии производства позволило выявить следующие основные причины агрессивных выделений в цехах получения глицерина: просачивание из насосов подачи, недостаточная герметизация емкостей и сборников глицерина, проливы при ремонтах арматуры. Уклоны полов в помещениях недостаточны, что приводит к скапливанию выпавших растворов в неровностях и на деформированных участках. В отделении выпарки глицеринового раствора также наблюдалось отслоение керамической плитки от подстилающего слоя — цементно-песчаного раствора, отмечены разрушения фундаментов под выпарными аппаратами, баками в местах постоянных проливов глицерина и воды. В отделении дистилляции цеха глицерина были отмечены значительные разрушения плит перекрытий в местах ввода коммуникационных труб подачи в емкости концентрированного глицерина (рис. 3). Здесь же были обнаружены обширные участки поврежденного пола: отслаивание кислотоупорной плитки, разрушение цементно-песчаной стяжки. Проливы агрессивных веществ обусловлены низкой коррозионной стойкостью материалов оборудования.

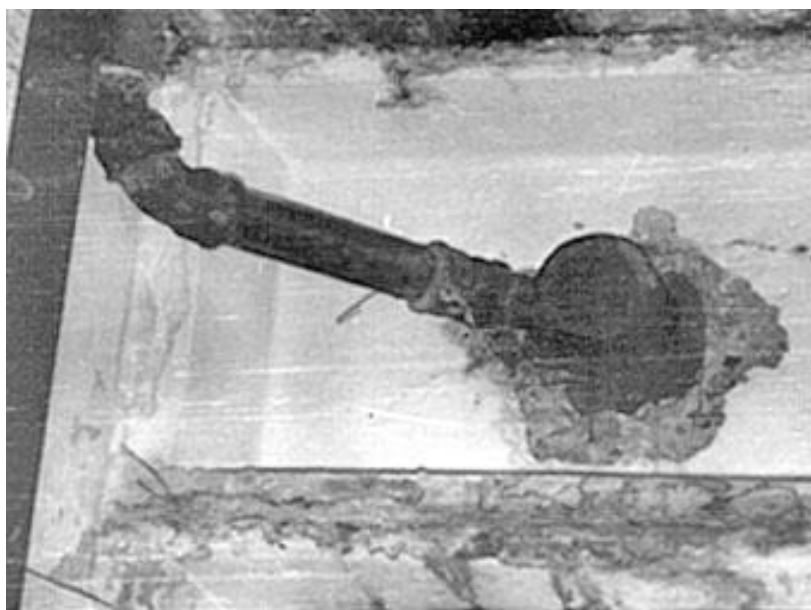


Рисунок 3. Коррозия железобетонной плиты перекрытия в месте пропуска труб подачи глицерина (фото автора)

Figure 3. Reinforced concrete floor slab corrosion in the place where glycerin supply pipes pass (photo by the author)

Наиболее сильные разрушения пола и плит перекрытий наблюдались в отделении гидролиза и концентрирования глицеринового раствора на двухступенчатой выпарной установке. В отдельных местах плит перекрытия была обнажена арматура, интенсивная коррозия которой способствовала быстрому разрушению защитного слоя бетона [2; 4].

В отделении концентрация глицеринового раствора наиболее интенсивно корродируют строительные конструкции в местах проливов нейтрализованного раствора невысокой концентрации, содержащего органические примеси, особенно в местах постоянного попадания конденсата и пара.

При обследовании цеха производства этиленгликолей путем жидкофазной гидратации окиси этилена было отмечены интенсивные разрушения полов и фундаментов под технологическое оборудование на открытых площадках 2-го и 3-го этажей (рис. 4). Прокорродированный под воздействием агрессивных сред и знакопеременных температур бетон пола отслоился, вследствие чего агрессивные среды просочились к плитам междуэтажных перекрытий. Наблюдалось также разрушение фундаментов под сборниками товарных гликолей [5].

Рассмотренные примеры выхода из строя железобетонных конструкций плит перекрытий и полов производственных помещений, а также и фундаментов под технологическое оборудование являются характерными для всех обследованных предприятий по выпуску многоатомных спиртов.



Рисунок 4. Разрушение фундаментов под выпарными аппаратами (цех производства этиленгликоля) (фото автора)

Figure 4. Doundations destruction under evaporators (ethylene glycol production shop) (author's photo)

Результаты обследований позволили обобщить основные причины агрессивных выделений:

- несовершенство технологии производства и конструктивные недостатки оборудования, низкая коррозионная стойкость материалов оборудования;
- недостаточная герметизация аппаратов и транспортных систем, разгерметизация фланцевых соединений;
- отсутствие приспособлений для утилизации технологических растворов, сбрасываемых при ремонте и чистке аппаратов и трубопроводов.

Основными причинами недостаточной долговечности строительных конструкций зданий цехов производств синтетических спиртов, как показал анализ результатов обследования, являются:

- Недоработки на стадии проектирования, заключающиеся в отсутствии или недостаточной эффективности мер по антикоррозийной защите строительных конструкций, которые подвержены постоянному или периодическому воздействию агрессивных сред [6]. Ввиду отсутствия данных о механизме разрушения строительных материалов при действии синтетических спиртов, выбор способов и средств защиты часто осуществляется без достаточно обоснованного научного подхода.

- Недостатки строительства, к которым можно отнести низкое качество строительных работ, несоответствие материала строительной конструкции условиям эксплуатации, отклонение от проекта в период строительства, использование строительных материалов низкого качества.
- Нарушение правил технической эксплуатации строительных конструкций.
- Несвоевременный ремонт строительных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных веществ.

Анализ результатов обследования показал, что при воздействии на строительные конструкции достаточно изученных агрессивных сред причинами разрушения конструкций в основном являются недостатки эксплуатации и строительства [7].

В случае разрушения конструкций под влиянием спиртов, в особенности многоатомных, определяющие причины коррозии — недоработки на стадии проектирования.

Однако для большого класса органических веществ вопросы, касающиеся стойкости в них бетона, не имеют убедительных теоретических и экспериментальных подтверждений. К ним относятся органические, не растворимые в воде соединения, когда снижение прочности бетона происходит в результате различных эффектов поверхностного характера (капиллярные явления, расклинивающее действие адсорбционных слоев, уменьшение поверхностного натяжения в капиллярах цементного камня и др.) [8; 9].

Нашими исследованиями было показано, что за счет гидрофилизации поверхности цементного камня степень заполнения порового пространства образцов из мелкозернистого бетона в 2%-ном растворе глицерина и этиленгликоля выше, чем в воде. Высокая степень заполнения порового пространства бетона растворами многоатомных спиртов является основной причиной их быстрого разрушения при морозном воздействии, особенно с увеличением концентрации раствора спиртов [10].

Деструктивные процессы, возникающие при циклическом замораживании и оттаивании бетона, зависят от многих причин, в том числе от характера пористости и количества поглощенной жидкости. В результате деструктивных явлений происходит постепенное уменьшение упругих свойств бетона, необратимое расширение структуры. По мнению большинства исследователей, снижение прочности бетона обусловлено накоплением дефектов, образующихся при отдельных циклах испытаний. Согласно наиболее распространенной гипотезе, разрушение бетона

происходит в результате гидравлического давления, возникающего во влажном бетоне под влиянием замерзающей воды. Это давление создается в капиллярах бетона в результате сопротивления гелевой составляющей цементного камня продавливанию через поры геля паров жидкости, отжимаемой льдом. Процесс развивается от поверхности в глубину. С наружной стороны в порах и капиллярах вода замерзает в первую очередь и при увеличении объема отжимает еще незамерзшую воду в глубину бетона. При этом возникает значительное гидравлическое давление, которое возрастает с уменьшением диаметра капилляров и повышением скорости замораживания. Возникающие растягивающие напряжения по величине и скорости нарастания не всегда достаточны, чтобы вызвать немедленные разрывы в бетоне. Напряжения могут уменьшаться вследствие ползучести цементного камня и полупроницаемости стенок капилляров, фильтрующих воду при повышении давления. При последующих циклах замораживания и оттаивания в связи с увеличением водонасыщения и давления воды напряжения в стенках капилляров изменяются. Знакопеременные напряжения при повторяющемся воздействии вызывают усталостное разрушение цементного камня. Деструктивные процессы, протекающие в бетоне при его попеременном замораживании и оттаивании, проходят в два периода. В первый, подготовительный период в заполненных водой порах и капиллярах цементного камня в результате высокого гидравлического давления, вызванного льдообразованием, при котором тангенциальные напряжения в их стенках достигают предела прочности цементного камня при растяжении, накапливаются тупиковые мокротрещины. Во втором периоде они являются причиной деструкции бетона. При образовании на внешней широкой части этих трещин льда отжимаемая им вода приводит к значительной концентрации напряжений на тупиках трещины даже в случае невысоких значений гидравлического давления в дефектах структуры цементного камня. Естественно, что эти процессы, приводящие к разрушению бетона, протекают более активно с повышением заполнения пор и капилляров цементного камня при последующих циклических замораживаниях и оттаиваниях, следовательно, с уменьшением резервного объема пор они полностью заполняются водой и не могут выполнять функции демпферных.

Теоретическое и экспериментальное исследование сверхбыстрого разрушения бетона при замораживании в растворах многоатомных спиртов позволило предположить, что механизм коррозионного разрушения в данном случае отличается от изученных ранее и тесно связан с интенсивной адсорбцией их на стенках пор и капилляров цементного камня. Так, эксперименты показали, что при насыщении цементного бетона водными растворами спиртов в результате адсорбции проявляются

благоприятные условия для максимального заполнения раствором порового пространства. Поскольку одним из факторов, определяющим давление в капиллярах и напряжения в их стенках, возникающие при отрицательных температурах, является степень заполнения капилляров водой, то при замораживании бетона в растворах многоатомных спиртов наблюдается его более интенсивное разрушение, чем в воде [11; 12]. Нашими экспериментами было также показано, что основными предпосылками к объяснению механизма коррозии бетона в водных растворах многоатомных спиртов могут служить особенности их пространственного строения и химические свойства, которые способствуют повышению растворимости гидроксида кальция в их присутствии. При наличии нескольких гидроксильных групп для сохранения энергетического равновесия они локализуются на поверхности порового пространства, что приводит к гидрофилизации поверхности цементного камня.

В результате адсорбции создаются условия для более полного насыщения агрессивным раствором порового пространства бетона и, следовательно, более интенсивного его коррозионного разрушения.

При введении в состав вяжущего минеральных добавок адсорбция многоатомных спиртов на цементном камне уменьшается: наибольшая адсорбция наблюдается на портландцементе, в меньшей мере — на шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе [11; 12].

Было установлено, что 2%-ные растворы глицерина и этиленгликоля характеризуются наибольшей коррозионной активностью, которую в отношении изделий, изготовленных из бетона на портландцементе можно оценить, как: слабую к нагруженным конструкциям при положительных температурах; среднюю к изгибаемым элементам; сильную при знакопеременной температуре, а на пуццолановом и шлакопортландцементе как весьма слабую к ненагруженным конструкциям при любых температурах; слабую — к изгибаемым элементам.

Экспериментально показано, что за счет гидрофилизации поверхности цементного камня степень заполнения порового пространства образцов из мелкозернистого бетона в 2%-ном растворе глицерина и этиленгликоля соответственно выше, чем в воде. Высокая степень заполнения порового пространства бетона растворами многоатомных спиртов является основной причиной их быстрого разрушения при морозном воздействии.

С увеличением адсорбционной активности многоатомных спиртов в большей степени проявляется и их коррозионная активность. Агрессивность многоатомных спиртов в гомологическом ряду повышается с увеличением количества гидроксильных групп в молекуле,

ориентация которых при адсорбции на цементном камне приводит к еще большей гидрофилизации его поверхности [12].

Анализ исследуемых явлений позволил заявить, что основными предпосылками к объяснению механизма коррозии бетона в водных растворах многоатомных спиртов являются особенности их пространственного строения и химические свойства, которые способствуют повышению растворимости гидроксида кальция в их присутствии и являются основной причиной гидрофилизации поверхности цементного камня. В результате адсорбции создаются условия для более полного насыщения агрессивным раствором порового пространства бетона и, следовательно, более интенсивного его коррозионного разрушения [13].

Прямые коррозионные испытания убедительно подтвердили гипотезу о прямой зависимости между степенью адсорбции многоатомных спиртов на цементном камне и интенсивностью коррозионного разрушения бетона, насыщенного водными растворами многоатомных спиртов.

Заключение

Conclusion

Обследование ряда действующих предприятий промышленности органического синтеза показало, что одной из причин преждевременного коррозионного разрушения многих бетонных и железобетонных конструкций является воздействие на них растворов многоатомных спиртов. Наибольшие разрушения отмечаются в тех случаях, когда насыщенный этими растворами бетон подвергается воздействию знакопеременных температур.

Коррозионная активность многоатомных спиртов проявляется тем больше, чем выше их адсорбционная способность по отношению к бетону. Адсорбционный эффект приводит к гидрофилизации поверхности пор и капилляров цементного камня в результате своеобразного стерического расположения гидроксильных групп многоатомных спиртов. Установлено, что многоатомные спирты способны активно адсорбироваться на цементном камне, образуя устойчивые монослои [14].

Результаты обследования показали, что в водных растворах многоатомных спиртов наиболее перспективным окажется применение бетона с гидравлическими добавками. С увеличением их содержания (опока, шлак и др.) адсорбция многоатомных спиртов на цементном камне снижается: Высокая адсорбция наблюдается на портландцементе, в меньшей мере — на пуццолановом и шлакопортландцементе.

Проведенные обследования, а также лабораторные исследования показали, что наиболее опасными по отношению к бетону при разных режимах испытаний являются растворы многоатомных спиртов низких концентраций (1...3 %), агрессивность которых резко возрастает при одновременном воздействии отрицательной температуры. Насыщение порового пространства бетона растворами многоатомных спиртов и является основной причиной их быстрого разрушения, особенно при морозном воздействии [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Братошевская, В.В.** Факторы, влияющие на напряженное состояние в структуре цементного камня / В.В. Братошевская, В.Н. Мирсоянов, Р.В. Мирсоянов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей XIV Международной научно-технической конференции, Пенза, 30 ноября 2014 года / Под редакцией Н.Н. Ласькова. Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2014. — С. 26–29. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23544806>. — EDN TVFZYP. (дата обращения: 28.04.2023).
2. **Рапопорт, П.Б.** Анализ срока службы современных цементных бетонов / П.Б. Рапопорт, Н.В. Рапопорт, В.Г. Полянский [и др.] // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6559>. — EDN PBIQHR. (дата обращения: 28.04.2023).
3. **Bratoshevskaya, V.V.** On the Relationship between the Structural Form of Concrete and its Resistance / V.V. Bratoshevskaya, V.N. Mirsoyanov. — DOI <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.373> // Materials Science Forum. — 2019. — Т 974. — С. 373–378. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.974.373>. — EDN VRDIPO. (дата обращения: 28.04.2023).
4. **Коротких, Д.Н.** Закономерности разрушения структуры высокопрочных цементных бетонов на основе анализа полных равновесных диаграмм их деформирования (часть 1) / Д.Н. Коротких // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2012. — № 26. — С. 56–67. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18000511>. — EDN PDXNTL. (дата обращения: 28.04.2023).
5. **Братошевская, В.В.** Исследование свойств бетонов при совместном действии механических нагрузок и адсорбционно-активных сред / В.В. Братошевская // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошачев Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2012. — С. 126–129. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49183785&pff=1>. — EDN HRXQOB. (дата обращения: 10.05.2023).
6. **Ryabukhin, A.K.** Study of the stability of soil slopes and downhill with the use of fiberglass dowels / A.K. Ryabukhin, V.A. Lesnoy, D.Y. Kalashaov. — DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/7/077003> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — V 698. — № 7. — P. 77003. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077003>. (дата обращения: 10.05.2023).
7. **Ryabukhin, A.** Peculiarities of Designing Landslide Constructions on The Example of Engineering Protection of Buildings and Roads in The City of Sochi (Russia) / A. Ryabukhin, D. Leyer, N. Lubarsky. — DOI <https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.1/s02.082> // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. — 2020. — V 20. — № 1.1. — URL: https://epslibrary.at/sgem_jresearch_publication_view.php?page=view&editid1=6799. (дата обращения: 10.05.2023).
8. **Чернов, А.В.** Классификация и оценка агрессивности органических сред / Чернов А.В. // Бетон и железобетон. — 1983. — № 8. — С. 13–14. — URL: https://www.booksite.ru/beton/1983/1983_8.pdf. (дата обращения: 10.05.2023).

9. **Братошевская, В.В.** Исследование адсорбционных явлений на силикатах / В.В. Братошевская, В.Н. Мирсоянов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2019. — № 3. — С. 64–66. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38162739>. — EDN ZSCKBF. (дата обращения: 10.05.2023).
10. **Ryabukhin, A.K.** Features of landslide structures' designing in emergency situations / A.K. Ryabukhin, D.V. Leyer, N.N. Lyubarsky. — DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/4/042068> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — V 913. — P. 42068. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/4/042068>. (дата обращения: 18.05.2023).
11. **Пинус, Б.И.** Предельные деформации бетонов, подвергнутых циклическому замораживанию и оттаиванию / Б.И. Пинус, В.В. Семенов, Е.А. Гузев // Бетон и железобетон. — 1981. — № 10. — С. 19–20. — URL: https://www.booksite.ru/beton/1981/1981_10.pdf. (дата обращения: 18.05.2023).
12. **Братошевская, В.В.** Особенности воздействия многоатомных спиртов на модифицированные бетоны / В.В. Братошевская, В.Н. Мирсоянов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2021. — № 5. — С. 50–55. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47182847>. — EDN MFUOGH. (дата обращения: 18.05.2023).
13. Design and Control of Concrete Mixtures. Application, Methods, and Materials. Eighth Canadian Edition. Оттава: Cement Association of Canada, 2011.
14. **Ярмаковский, В.Н.** Физико-химические основы стойкости бетонов к воздействию низких отрицательных температур / В.Н. Ярмаковский, Д.З. Кадиев. — DOI <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-90-4-122-136> // Строительство и реконструкция. — 2020. — № 4. — С. 122–136. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44152099>. — EDN XFYHHC. (дата обращения: 18.05.2023).
15. **Bratoshevskaya, V.V.** Study of the relationship between concrete and its reinforcement elastic-plastic characteristics / V. Bratoshevskaya. — DOI <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.109> // Materials Science Forum. — 2021. — V 1043. — P. 109–114. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.1043.109>. — EDN FNLIHQ. (дата обращения: 18.05.2023).

Сведения об авторах:

Братошевская Виолетта Витальевна — кандидат технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, e-mail: violetta-architector@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=511325
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57215534758>

Статья получена: 20.06.2023. Принята к публикации: 15.08.2023. Опубликовано онлайн: 29.08.2023.

REFERENCES

1. Bratoshevskaya V.V., Mirsoyanov V.N., Mirsoyanov R.V. Factors Influencing Stress State in The Structure of Cement Stone. In: Las'kov N.N. (ed.). [Effective building structures: theory and practice: collection of articles of the XIV International Scientific and Technical conference, Penza, November 30, 2014]. Penza: Privolzhskiy Dom znaniy; 2014. p. 26–29. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23544806> (accessed 28th April 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Rapoport P.B., Rapoport N.V., Polyanskiy V.G. et al. The Analysis of Service Life of Modern Cement Concrete. *Modern problems of science and education*. 2012; (4): Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6559> (accessed 28th April 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Bratoshevskaya V.V., Mirsoyanov V.N. On the Relationship between the Structural Form of Concrete and its Resistance. *Materials Science Forum*. 2019; 974: 373–378. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.373>.
4. Korotkikh D.N. Destructions Regularity of High-Strength Cement Concretes by The Method of Complete Stable Diagrams of Their Deformation (First Part). *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2012; (26): 56–67. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18000511> (accessed 28th April 2023). (In Russ., abstract in Eng.).

5. Bratoshevskaya V.V. Investigation of concrete properties under the combined action of mechanical loads and adsorption-active media. In: [Results of research work for 2021: Materials of the Anniversary scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Agrarian University, Krasnodar, April 06, 2022]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2012. p. 126–129. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49183785&pf=1> (accessed 10th May 2023). (In Russ.).
6. Ryabukhin A.K., Lesnoy V.A., Kalashaov D.Y. Study of the stability of soil slopes and downhill with the use of fiberglass dowels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 698(7): 77003. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/698/7/077003>.
7. Ryabukhin A., Leyer D., Lubarsky N. Peculiarities of Designing Landslide Constructions on The Example of Engineering Protection of Buildings and Roads in The City of Sochi (Russia). *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. 2020; 20(1.1): (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.1/s02.082>.
8. Chernov A.V. [Classification and assessment of the aggressiveness of organic media]. [*Concrete and reinforced concrete*]. 1983; (8): 13–14. Available at: https://www.booksite.ru/beton/1983/1983_8.pdf (accessed 10th May 2023). (In Russ.).
9. Bratoshevskaya V.V., Mirsoyanov V.N. Study of Adsorption Phenomena in Silicates. *Energy saving and water treatment*. 2019; (3): 64–66. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38162739> (accessed 10th May 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
10. Ryabukhin A.K., Leyer D.V., Lyubarsky N.N. Features of landslide structures' designing in emergency situations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 913: 42068. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/4/042068>.
11. Pinus B.I., Semenov V.V., Guzeyev E.A. [Ultimate deformations of concrete subjected to cyclic freezing and thawing]. [*Concrete and reinforced concrete*]. 1981; (10): 19–20. Available at: https://www.booksite.ru/beton/1981/1981_10.pdf (accessed 18 May 2023). (In Russ.).
12. Bratoshevskaya V.V. Features of the Effect of Polyatomic Alcohols on Modified Concretes. *Energy saving and water treatment*. 2021; (5): 50–55. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47182847> (accessed 18 May 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
13. Design and Control of Concrete Mixtures. Application, Methods, and Materials. Eighth Canadian Edition. Ottawa: Cement Association of Canada; 2011. (In Eng.).
14. Yarmakovskiy V.N., Kadiev D.Z. Physical Basis of Concrete Durability at Low Subzero Temperatures. Building and Reconstruction. 2020; (4): 122–136. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-90-4-122-136>.
15. Bratoshevskaya V. Study of the relationship between concrete and its reinforcement elastic-plastic characteristics. *Materials Science Forum*. 2021; 1043: 109–114. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.109>.

Information about the authors:

Violetta V. Bratoshevskaya — Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia,
e-mail: violetta-architector@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=511325

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57215534758>

Submitted: 20th June 2023. Revised: 15th August 2023. Published online: 29th August 2023.