

2. Боков М.А. Стратегическое управление рекреационными предприятиями в условиях переходной экономики. СПб., 2001.
3. Бухалков М.И. Внутрифирменное планирование: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. М., 2000.
4. Новожилова М.В., Солодовник Г.В. Моделирование управления коммерческим риском: Начально-методичний посібник. - Харків:ХНУБА, 2011 р.-81 с.

УДК 555.55

Сопов В.П., Гуркаленко В.А., Мартынова К.Г.*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры***ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ БЕТОНА С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МИКРОСТРУКТУРЫ**

Актуальность повышения коррозионной стойкости бетона не вызывает сомнения, обуславливая его долговечность [1-8]. Стойкость бетона при воздействии атмосферной влаги, температуры и агрессивных газов определяется стабильностью микроструктуры и свойствами цементного камня [9-10].

Микроструктура цементного камня складывается из взаимного расположения продуктов гидратации цемента, представленных кристаллическими (гидроксид, гидроалюминаты, гидросульфалюминат кальция и др.) и аморфными (гидросиликаты кальция) новообразованиями, а также абсолютными размерами открытых и закрытых капилляров и пор. Поэтому причиной коррозии может служить как воздействие внешней среды, так и факторы, связанные с особенностями химического состава и физического строения бетона.

К основным критериям коррозионной стойкости и долговечности бетона следует отнести высокую плотность и минимальную пористость цементного камня, при которых проникновение агрессивных компонентов окружающей среды в его капиллярно-пористую структуру затрудняется. Потенциально опасным фактором внешней среды по отношению к бетонам является вода, которая фильтруется через бетон, способствуя развитию коррозионных процессов и снижению долговечности сооружений.

Существенное влияние на характер и скорость передвижения жидкости в капиллярно-пористом теле оказывает диаметр и

расположение капилляров. При этом открытые сквозные капиллярные поры и представляют собой главную опасность, улучшая проницаемость бетона. Даже частичная замена сквозных и сообщающихся капилляров на условно-замкнутую пористость, позволила бы снизить интенсивность капиллярного подсоса воды в бетон.

При изучении механизма процессов коррозии бетона в жидких средах важно соотношение объемов порового пространства, заполненных водой с различной степенью связи с поверхностью твердого тела [11]. В некоторых порах возможно возникновение явления отрицательной адсорбции, и тогда они будут препятствием для проникновения атомов и молекул агрессивных веществ внутрь бетона.

С точки зрения кинетики, интенсивность коррозионных процессов определяется, во-первых, возможностью протекания обменных реакций с образованием продуктов коррозии, а во-вторых, скоростью диффузии агрессивных веществ в поры материала. Определяющим фактором интенсивности коррозионных процессов в бетоне является скорость внутренней диффузии. При взаимодействии агрессивного водного раствора с минералами гидратированного цементного камня в порах и капиллярах бетона образуются малорастворимые соли, вызывающие значительные напряжения, способствующие разрушению его структуры. Исходя из этого, кинетика такого перерождения будет зависеть и от того, в каком виде будут выделяться но-

вооброження: рихлих осаdков или плотних плeнок, створюючи наростаюче сопроотивлення диффузії в поверхневому шарі твердої фази в порах. Масоперенос речовин в тeлe бетона осущестлюється путем фільтрації при наявності градієнта тиску или капілярного переносу и диффузії агресивних компонентів – при наявності різниці концентрацій в потоці и фільтраті (рис.1).

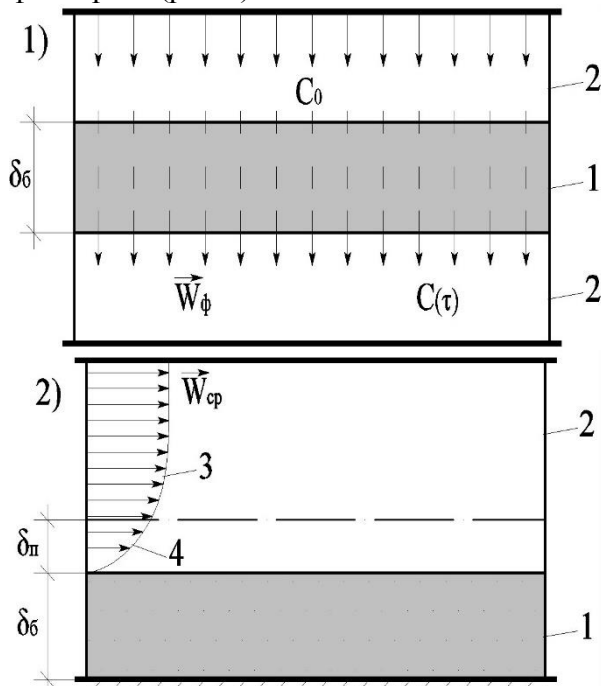


Рис. 1 - Схеми взаємодії конструкцій со середой:

- 1) фільтрація середой через конструкцію; 2) обтекання середой поверхності конструкції 1-бетон; 2-середа; 3-ядро потоку; 4-пограничний шар

W_ϕ - шкорусть фільтрації середой через бетон; W_{cp} - профіль шкорусть потоку середой; δ_p - товщина пограничного шару; δ_b - товщина шару бетону; C_0 - концентрація CaO в потоці; $C(\tau)$ - концентрація CaO в фільтраті (потоці, прошедшем толщю бетону)

Результаты, полученные Б.В. Гусевым и А.С. Файвусовичем [12,13] при исследовании кинетики гетерогенных химических реакций, сопровождающих коррозию, позволили разработать математическую модель различных ее стадий для прогнозирования долговечности строительных кон-

струкцій и разработке мер по защите железобетонных конструкций от разрушающего действия агрессивной среды как на стадии проектирования и изготовления изделий, так и на этапе эксплуатации (рис.2).

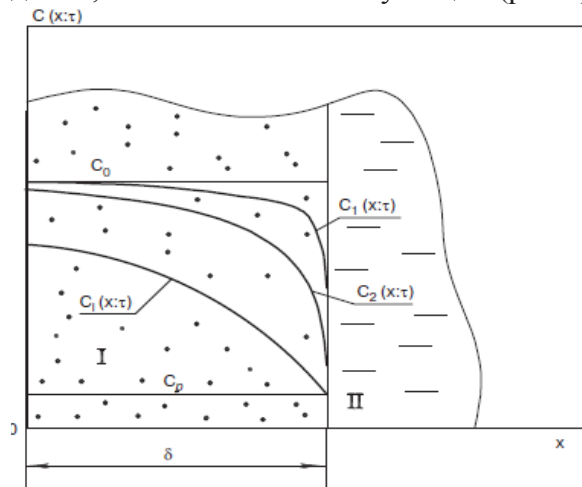


Рис.2 – Ілюстрація математическої моделі: I – бетон; II – жидкость, C_0 , C_p – начальная и равновесная концентрация соответственно

Авторами [12,13] коррозия бетона рассматривается как сложный комплекс процессов, подчиняющихся общим закономерностям теории гетерогенной химической кинетики. В основе лежит модель в виде двух находящихся в контакте полубесконечных тел (среда и бетон). При этом в бетоне на основной стадии развития коррозии выделяются:

- отработанный наружный слой, полностью прореагировавший с агрессивной средой;
- реакционный слой, в котором протекает химическое взаимодействие агрессивной среды с цементным камнем;
- слой бетона, не подвергшийся действию агрессивной среды.

К факторам, обуславливающим физическую коррозию бетона, относят циклическое насыщение растворами солей. Разрушение происходит за счет воздействия кристаллизационного давления солей в порах материала, с одной стороны, и образования кристаллогидратов солей или перевода последних в кристаллогидраты с большим содержанием гидратной воды и увеличением объема твердой фазы в порах

по сравнению с первоначальным объемом системы – с другой.

Явлением, обычно сопровождающим рост кристаллов, является их ползучесть. Как определяющий фактор возникновения ползучести – склонность растворенных кристаллических веществ смачивать твердые поверхности, по которым происходит расползание пленки, при этом капилляры очень сильно содействуют развитию ползучести растворов солей.

Сложность и морфологическое многообразие новообразований цементного камня способствует возникновению дискретной системы пор весьма причудливых форм. В итоге образуется сложная физико-химическая система с огромным количеством составляющих, в которой детерминированный характер наблюдаемых процессов сочетается с их стохастической природой. Описание таких систем должно преследовать цель преобразования закономерностей, свойственных случайным межэлементным взаимодействиям, в закономерности, проявляемые на макроуровне наблюдаемых процессов.

Поровая структура оказывает влияние прежде всего на долговечность бетона, поскольку представляет собой основной транспортный путь для переноса компонентов внешней среды внутрь бетона. При этом основополагающую роль играют размер пор и их связность.

Структура порового пространства бетона характеризуется чрезвычайно широким диапазоном размеров пор: они изменяются от миллионных до десятых долей миллиметров. По происхождению различают:

- рецептурную пористость – поры, формируемые посредством добавления специальных добавок;
- собственную пористость – возникает при взаимодействии компонентов бетона и окружающей среды;
- технологическую пористость – возникает при уплотнении бетонной смеси и ее твердении;
- эксплуатационную пористость – возникает при эксплуатации готового изделия,

то есть если бетон подвергается воздействию агрессивных сред.

Классификация пор должна быть дополнена систематикой по их форме и взаимному расположению. В основном поры имеют неправильную сложную форму, определяемую формой структурных элементов твердой фазы и характером взаимодействия вяжущего с водой. По форме поперечного сечения различают ровные, трубчатые, бутылкообразные, клиновидные, щелевые поры и их комбинации. По признаку непрерывности поры можно разделить на открытые, закрытые, сквозные, тупиковые и условно-замкнутые. По протяженности поры классифицируют на прямые, извилистые и петлеобразные.

Вид и изменчивость пор обуславливаются способом их образования и являются следствием конкретного состава цемента, заполнителя и специальных свойств продуктов гидратации. Так как эти показатели различны, нельзя ожидать высокой степени правильности формы пор. В общем виде можно считать, что у воздушных пор преобладает более или менее точная сферическая форма, поры геля приблизительно можно считать цилиндрическими.

Изменение влагосодержания бетона существенно влияет на его структуру. Образцы одного и того же бетона, твердевшие одно и то же время, но в различных влажностных условиях, представляют собой различные материалы, с разной структурой и физико-механическими характеристиками. Развитие представлений об изменениях структуры бетона и установление закономерности этих изменений от влагосодержания бетона является необходимым условием рационального использования бетона при возведении и эксплуатации различных сооружений.

Если рассматривать структуру бетона с позиции генезиса его пористости, то поры и пустоты в нем могут быть классифицированы, исходя из характера или процесса их образования (табл. 1).

Как видно из табл. 1, количество пор цементного камня в 4 раза превышает их содержание в остальной части бетона. Отсюда следует, что именно микроструктура

цементного камня, в основном, будет определять вышеперечисленные свойства бетона. При этом свойства прогнозируются

как функции пористости, полученные из анализа экспериментальных результатов.

Таблица 1 - Классификация пор в бетоне

| № п/п | Вид пор | Основная причина образования | Типичные размеры, м | Содержание в бетоне, % | Местонахождение |
|-------|--|--|--------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 1. | Гелевые и контракционные поры | В ходе структурообразования | $3 \cdot 10^{-10} - 5 \cdot 10^{-8}$ | 4 | Цементный камень |
| 2. | Капиллярные поры | Чрезмерное количество воды затворения | $10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$ | 8-12 | Цементный камень |
| 3. | Воздушные поры | В ходе бетонирования | $1 - 5 \cdot 10^{-3}$ | до 2 | Бетон |
| 4. | Пустоты между зернами крупного заполнителя | Седиментация раствора | $10^{-5} - 10^{-4}$ | до 1 | Под плоскими зернами |
| 5. | Щели под горизонтально уложенной арматурой | Неправильное бетонирование и седиментация бетонной смеси | $10^{-5} - 10^{-4}$ | до 1 | Вдоль прутьев арматуры |
| 6. | Поры и пустоты в рабочих швах | Плохое соединение накладываемых слоев | $10^{-5} - 2 \cdot 10^{-3}$ | 0,5-2 | По всей поверхности стыков |
| 7. | Ямы, раковины | Жесткие растворные смеси | $10^{-2} - 0,5$ | до 0,5 | В густо армированных изделиях |
| 8. | Усадочные трещины | Перепады влажности бетона | $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ | - | Большие растягивающие напряжения |
| 9. | Термические трещины | Значительные перепады температуры, | $10^{-4} - 10^{-2}$ | - | Большие растягивающие напряжения |

Преобладание пор меньших размеров способствует повышению химической стойкости, особенно сопротивлению влияния щелочных реакций на цементы, содержащие большое количество щелочей. Крупные поры в тесте влияют не только на его прочность, но и на проницаемость, которая, в свою очередь, оказывает воздействие на долговечность [1] и обуславливает размер коррозионных повреждений бетона.

По данным Ф.М. Иванова [14,15] проницаемость бетона определяется не общей, а «сквозной» или эффективной пористостью (равной отношению объема пор, служащих путями фильтрации, к объему образца). Многочисленными исследованиями подтверждена зависимость химической

стойкости образцов от размера их открытой пористости.

Большой размерный диапазон структурных уровней, на каждом из которых проявляются специфические физические процессы (капиллярная конденсация, адсорбция и т.п.), препятствует корректной оценке влияния компонентов структуры на свойства бетона. При этом наибольшее значение с точки зрения накопления деформаций принадлежит наноуровню, соответствующему фазе С-S-H.

В целом же влияние фаз цементного камня на свойства бетона определяется в соответствии с табл.2.

Таблица 2 - Влияние фаз цементного камня на долговечность бетона

| Фазы | Свойства и характер влияния | |
|----------------------------|--|--|
| | Прочность | Долговечность |
| C-S-H | Повышается за счет создания химических и Ван-дер-Ваальсовых связей и уменьшения пористости. | Способствует за счет снижения пористости, низкой растворимости и реакционной способности. |
| CH | Пассивно влияет на прочность за счет заполнения пор, ограничивает прочность из-за тенденции к расщеплению при нагрузке на сдвиг. | Повышает коррозионную стойкость арматуры за счет высокой щелочности порового раствора. Снижает долговечность при карбонизации и за счет высокой растворимости. |
| AFm, AFt | Практически не влияет. | Возможны явления вспучивания при одновременном наличии AFm-фаз и сульфата. |
| CH, AFt | Влияют за счет изменения характера контактной зоны «заполнитель - цементный камень». | Могут снижать при значительном их содержании. |
| Гидрат алюмината и феррита | Пассивная роль за счет заполнения пор. | Практически не влияют. |
| Поры | Гелевая пористость повышает, капиллярная – снижает. | Капиллярные поры обуславливают тепломассоперенос, воздушные поры способствуют повышению морозостойкости. |
| Вода | С ростом В/Ц снижается прочность за счет уменьшения энергии связи между частицами C-S-H. | Содержание в капиллярных порах определяет морозостойкость. |

Таким образом, цементный камень представляет собой сложную высокогетерогенную систему, состоящую из твердой, жидкой фаз и порового пространства. Эти три составляющие непрерывно взаимно обусловлено изменяются во времени и отвечают за основные свойства.

Исследование процессов структурообразования и возможностей управления их характером, генезиса поровой структуры цементного камня, способности к структурной упорядоченности цементной системы, а также применение материалов и технологий на нанометрическом уровне являются одними из основных аспектов влияния на формирование, закрепление и поддержание свойств цементных композиций и бетонов на их основе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Довговічність шлакозужного бетону / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова. – К: Будівельник, 1993. – 224с.
2. Мета П.К. Микроструктура затвердівшого цементного каменя і її вплив на властивості // Тр. VIII Міжнарод. конгр. по хімії цементу, Ріо-де-Жанейро, 21-27 сент. 1986. – М., ВНИИЭСМ, 1989. – Т.2. – с. 92-107.
3. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 184с.
4. Sereda P.I., Feldman R.F. and Ramachandran V.S. Structure formation and development in hardened cement pastes // Proceeding Seven International Congr. on the Chemistry of Cement. – Paris: Subthene, 1980. – V. 1-7. – P. 3-44.
5. Soroka I., Sereda P. The structure of cement stone and the use of compacts as structural models // Proceedings Fifth Intern. Sumpos. on the Chemistry of Cement, Tokyo, oct. 1968. – Tokyo, 1968 – V.3. – P. 67-73.
6. Roy D.M., Gouda G.R. and Bobrowsky I. Very high strength cement paste prepared by hot pressing and the high pressure techniques // Cem. Concr. Res. – 1972. – N 2. – P. 349-366.
7. Oberholster R.E. Pore structure, permeability and diffusivity of hardened cement paste and concrete in relation to durability // 8-ht Intern. Congr. Cement, Rio de Janeiro (Brasil), sept. 22-27 1986. – Rio de Janeiro, 1986. – V.1. – S. 323-335.

8. Chatterji S. Freezing of aqueous solutions in a porous medium // Cem. and Concr. Res. – 1985. – V. 15 – P. 13-20.
9. Зависимость морозостойкости бетонов от их структуры и температурных деформаций / Г.И. Горчаков, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, А.В. Акимов // Бетон и железобетон. – 1972. - № 10. – с. 7-10.
10. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. – Харьков: Вицшк. Изд-во при Хар. ун-те, 1989. – 167с.
11. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М.: Изд. ФГУП ЦПП, 2006. 520 с.
12. Гусев Б.В. и др. Математические модели процессов коррозии бетона. М.: ТИМР, 1996. 104 с.
13. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Построение математической теории процессов коррозии бетона // Строит. материалы. 2008. № 3. С. 38–41.
14. Долговечность железобетона в агрессивных средах/ С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссель. – М.: Стройиздат, 1980. – 320с.
15. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты/ В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гусев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536с.

УДК 628. 16

Айрапетян Т.С.

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Введение В настоящее время большое внимание уделяется интенсификации работы сооружений при подготовке питьевой воды, совершенствованию методов очистки и внедрению ресурсосберегающих технологий.

На водопроводных очистных сооружениях для отстаивания поверхностных вод широко применяются горизонтальные отстойники, которые в процессе их эксплуатации зарекомендовали себя, как простые и надежные в работе сооружения [1-4]. Горизонтальные отстойники, как правило, применяются для отстаивания как коагулированных, так и некоагулированных вод мутностью до 1500 мг/л, цветностью до 120 градусов при производительности очистных станций свыше 30000 м³/сут. Однако, в последнее время в связи с изменением состава природных вод, а также при небольших мутностях исходной воды и низкой температуры эффективность очистки воды в отстойниках уменьшается.

Поэтому **актуальной** является интенсификация работы горизонтальных отстойников, направленная на повышение эффективности их работы.

Целью данной работы было исследование методов интенсификации работы горизонтальных отстойников.

Интенсификация работы горизонтальных водопроводных отстойников может быть выполнена за счет: конструктивных методов; увеличения гидравлической крупности коагулируемой взвеси; уменьшения горизонтальной скорости потока.

Для эффективной работы отстойников и полного исследования их объема необходимо равномерно распределять осветляемую воду на входе по сечению, а затем равномерно её собрать. При осветлении коагулированных вод к горизонтальным отстойникам примыкают камеры хлопьеобразования. В этом случае распределение воды на впуске в отстойник производится с помощью дырчатых перегородок или водосливом с полупогружными перегородками. При отсутствии камер хлопьеобразования для распределения воды применяют дырчатые желоба и трубы или лотки [1,2,5,6].

Такие же устройства применяются для сбора осветленной воды в конце отстойника. Для улучшения гидравлических условий движения осветляемой воды применяют лотки или дырчатые трубы для рассредоточенного сбора осветляемой воды. При этом водосборные устройства располагаются на 2/3 длины отстойника от его конца, обеспечивая малые скорости сбора воды и устраняя возможный подсос