

ОЦЕНКА КОРРОЗИИ БЕТОНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛЕЙ ХЛОРИДОВ

Канд. техн. наук, доц. БАБИЦКИЙ В. В.

Белорусский национальный технический университет

Значительное количество промышленных и транспортных объектов Республики Беларусь так или иначе подвергается агрессивному воздействию солей хлоридов. Это в первую очередь здания, сооружения, инженерные коммуникации Солигорского калийного комбината, Мозырского солевыварочного завода – предприятий, непосредственно связанных с переработкой солей. В холодный период года число объектов резко возрастает (бетонное покрытие дорог и аэродромов, мосты, тротуары, бортовой камень), так как широко используются соли-антиобледенители, основу которых составляют хлориды натрия и калия.

В процессе циклического насыщения бетона растворами солей хлоридов различной концентрации происходит постепенная деградация бетона, выражающаяся как в потере его прочности, так и в чисто механическом разрушении защитного слоя железобетонных конструкций, что объясняется наличием в капиллярно-пористом пространстве бетона кристаллов солей (например, хлоридов натрия или калия), которые и являются причиной разрушения. То есть налицо признаки третьего (по В. М. Москвину) вида коррозии. Существует несколько различных мнений о влиянии кристаллов солей на кинетику разрушения бетона. Это – увеличение объема самих кристаллов соли при их переходе к высокогидратным формам (А. И. Минас), стесненная гидратация цемента при твердении цементного камня, обусловленная наличием кристаллов соли (И. Н. Ахвердов, И. В. Станишевская), стесненная усадка цементного камня в процессе насыщения-высушивания (А. А. Барташевич, Л. Д. Шайтаров). Нельзя исключать и химическое взаимодействие ионов натрия, калия либо хлора с продуктами гидратации вяжущего.

На определенном этапе развития науки о коррозии в нашей стране сформировалась дос-

таточно авторитетная научная школа в области изучения именно третьего вида коррозии, а если точнее – солевой формы физической коррозии бетона. Имеется в виду физическое разрушение бетона вследствие накопления в нем кристаллов солей, причем без сопутствующих химических процессов. И накопленный фактический материал позволил выявить основные технологические приемы повышения коррозионной стойкости бетона: снижение водоцементного отношения, оптимальное содержание и вид вяжущего, правильный выбор заполнителей, введение пластифицирующих (с целью снижения водоцементного отношения) и воздухововлекающих добавок, пропитка бетона полимерами и пр. Но, к сожалению, при всем многообразии выявленных влияющих факторов обобщенная математическая модель, описывающая процесс деградации бетона, получена не была.

Если проанализировать кривые, получаемые при изучении коррозионной стойкости цементного камня (бетона), то можно отметить общие тенденции:

- интенсивность разрушения определяется структурными особенностями цементного камня;
- на начальных стадиях взаимодействия бетона с агрессивными растворами возможно временное упрочнение материала, т. е. появление «горба», протяженность и высота которого также определяются структурой испытываемого материала;
- процесс деградации цементного камня после прохождения «горба» криволинеен.

Эти выкладки могут послужить основанием для разработки модели прогнозирования коррозии бетона.

Многочисленные исследования морозостойкости бетона при всем обилии влияющих параметров обязательно резюмируются тем,

что одним из основных факторов является структура бетона, обычно характеризующаяся его капиллярной пористостью. Солевая форма коррозии бетона чем-то напоминает морозное разрушение – в обоих случаях в поровом пространстве цементного камня возникают кристаллы инородной фазы, наличие которых и обуславливает разрушение материала. По аналогии с морозостойкостью можно предположить, что и структурные особенности цементного камня (бетона) при воздействии на него растворов солей хлоридов можно характеризовать его капиллярной пористостью. Следовательно, можно количественно оценить «горб» и интенсивность развития деструкции. Кроме того, кинетика многих коррозионных процессов характеризуется корнем квадратным из времени воздействия агрессивной среды (первый и второй виды коррозии, карбонизация бетона, накопление агрессивных ионов в теле бетона и др.). Поэтому можно предположить, что и в данном виде коррозии временная функция аналогична.

Представим графически предполагаемую модель коррозионного процесса (рис. 1) в двух различных координатах времени агрессивного воздействия в виде функции относительной прочности от времени, характеризуемого числом циклов насыщения-высушивания. Аналогичные графики получаются и при испытании бетона на морозостойкость – начальный рост прочности постепенно сменяется разрушением.

Нас мало интересует количественное описание изменения высоты «горба», поскольку на этой стадии относительная прочность τ_0 це-

ментного камня (бетона) выше начальной. Поэтому эту стадию можно назвать «инкубационной», предвещающей коррозионное разрушение материала; для прогноза необходимо и достаточно оценить лишь ее протяженность, но не высоту. А на стадии активной деструкции τ_k (стадия «деструкции») цементного камня выражение для расчета относительной прочности бетона (отношение текущей прочности бетона к начальной – R_0 , %) в общем виде можно записать следующим образом:

$$R_0 = 100 - k_{ик} \sqrt{\tau_k - \tau_0}, \quad (1)$$

где $k_{ик}$ – коэффициент, характеризующий интенсивность коррозионного процесса на стадии деструкции.

Тогда задача состоит в количественном описании значений τ_0 и $k_{ик}$ применительно к бетону.

Для получения количественных величин влияющих факторов проведены эксперименты по оценке коррозионной стойкости тяжелых бетонов. В качестве вяжущего использовали Волковысский портландцемент марки 500. Заполнителями служили гранитный щебень и кварцевый песок. Расход цемента был принят в бетонах различных партий 250...600 кг/м³, а водоцементное отношение – от 0,3 (при расходе цемента 600 кг) до 0,8 (при расходе цемента 250 кг). В качестве агрессивной среды использован насыщенный раствор хлористого калия, а режим испытаний: насыщение образцов в растворе соли в течение двух суток и высушивание при температуре 70 °С – четверо суток.

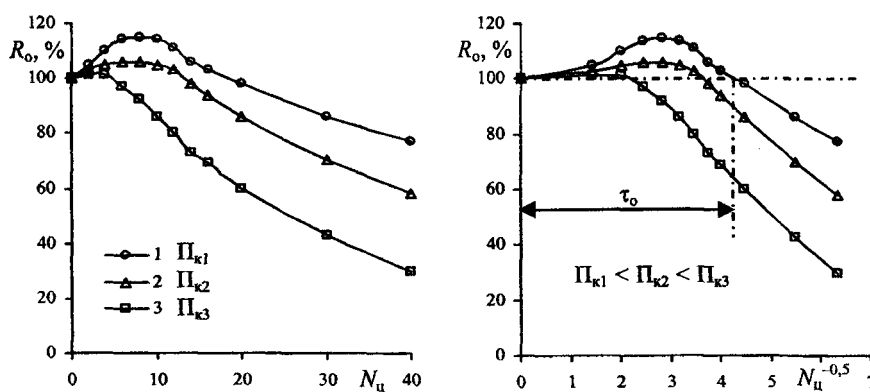


Рис. 1. Изменение относительной прочности бетона R_0 в зависимости от числа циклов насыщения-высушивания $N_{ц}$ и его капиллярной пористости Π_k

Обработка полученных экспериментальных результатов (точки на рис. 2) показала, что капиллярная пористость бетона Π_k , рассчитанная по прогнозным значениям степени гидратации цемента, может быть определяющим фактором в выражениях:

$$k_{ик} = 0,15\Pi_k^2; \quad (2)$$

$$\tau_0 = 0,0017(20 - \Pi_{кб})^3. \quad (3)$$

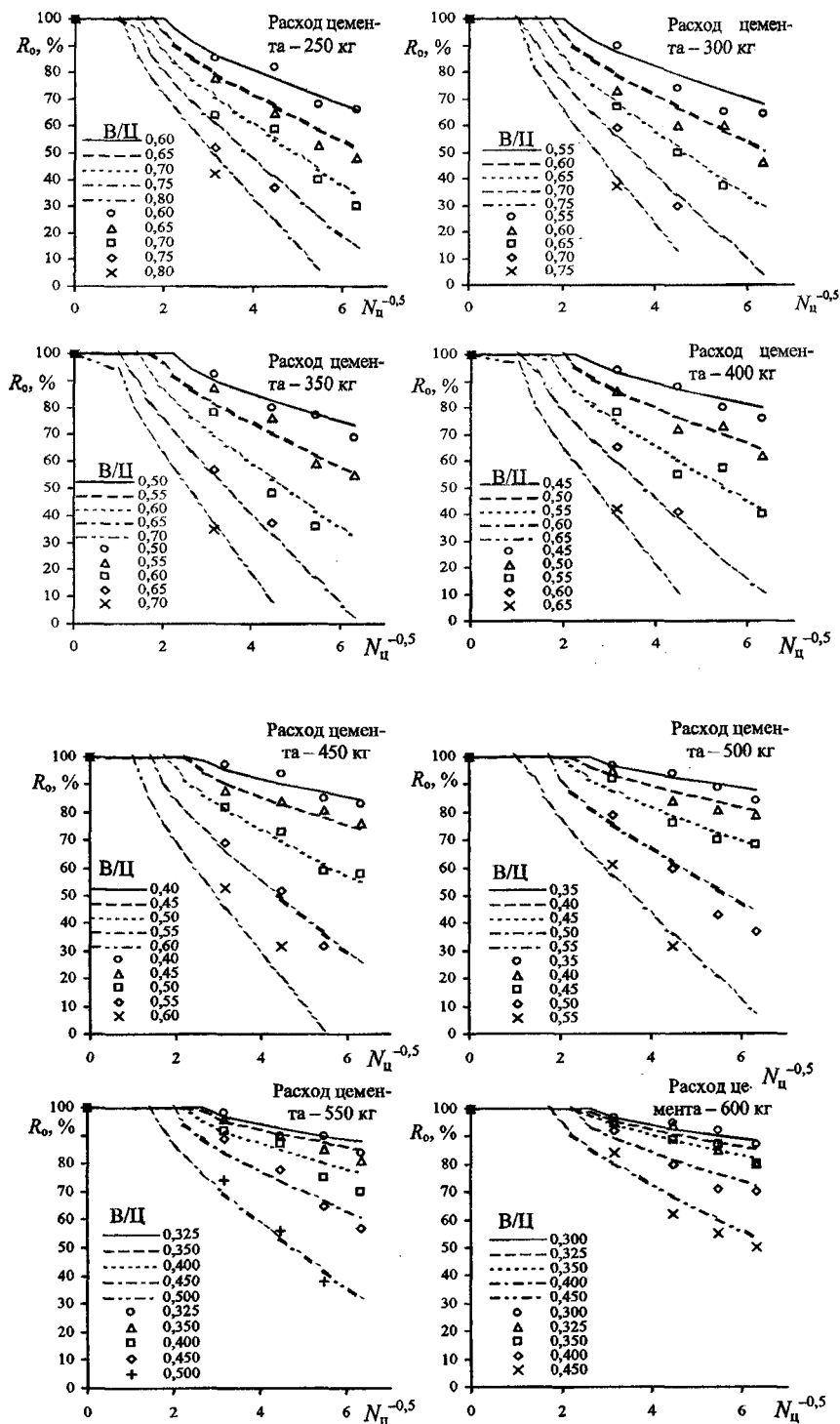


Рис. 2. Изменение относительной прочности бетона R_0 в зависимости от числа циклов насыщения-высушивания $N_{ц}$

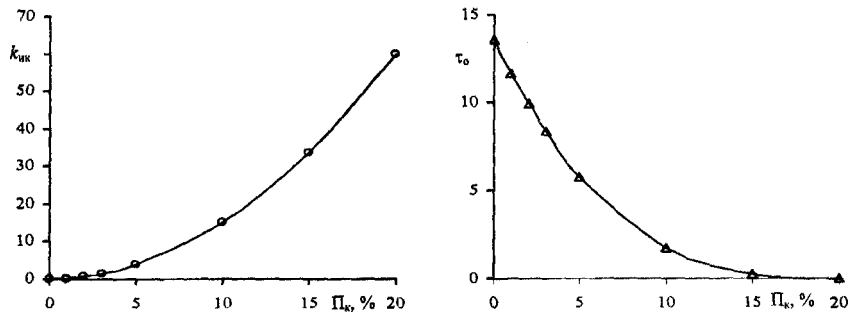


Рис. 3. Зависимость коэффициентов уравнений $k_{нк}$ и τ_0 (2) и (3) от капиллярной пористости бетона $P_к$

Таким образом, в соответствии с выражениями (2) и (3) интенсивность коррозионного разрушения бетона нарастает с увеличением капиллярной пористости бетона, а продолжительность инкубационного периода – сокращается. Графическая интерпретация выражений представлена на рис. 3.

Сопоставив расчетные значения относительной прочности бетона (кривые на рис. 2) с фактическими (точки на тех же рисунках), можно констатировать приемлемость предложенной модели – она описывает не только протяженность «горба», но и интенсивность деградации.

Таким образом, получен математический инструмент, связывающий структурные особенности капиллярного строения цементного камня с его стойкостью в условиях солевой формы физической коррозии бетона. А учитывая то, что капиллярная пористость цементного камня прямо определяется при прочих равных условиях степенью гидратации цемента, для прогноза которой разработаны достаточно достоверные многофакторные модели [1, 2], можно констатировать и возможность прогнозирования коррозионного состояния бетона.

Следует отметить и некоторую ограниченность представленной модели коррозии:

- не отражено прямое влияние характеристик заполнителей;
- зависимость интенсивности коррозионного процесса от времени дана не в прямых значениях, например годах, а в косвенных – циклах насыщения и высушивания;
- не приведено воздействие химических добавок и др.

Естественно, учет перечисленных (и иных) факторов достаточно сложен для реализации. Например, переход от числа циклов как опре-

деляющего временного фактора непосредственно к времени влечет за собой и учет целого «букета» дополнительных параметров – концентрации и особенностей ионного строения насыщающего раствора, продолжительности насыщения бетона раствором, температуры сушки, наличия солнечной радиации, атмосферных осадков, ветра, относительной влажности воздуха и пр. Ведь следует признать такой факт, что, например, и морозостойкость бетона определяется числом условных циклов замораживания и оттаивания, а не прямыми временными факторами. Сейчас нельзя с уверенностью сказать, сколько циклов необходимо для обеспечения надежной эксплуатации конструкции в тех либо иных условиях, хотя над проблемой работают многочисленные школы во многих странах мира. Следовательно, совершенствование предложенной модели должно быть постепенным, по мере накопления и анализа экспериментальных данных.

ВЫВОД

Получены аналитические выражения, позволяющие описывать кинетику физической коррозии бетона в связи с его структурными особенностями, характеризуемыми капиллярной пористостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блещик Н. П., Протьюко Н. С., Рыскин М. Н. Математические модели кинетики гидратации цемента // Инженерные проблемы современного бетона и железобетона: Материалы Междунар. конф. – Мн., 1997. – С. 25–36.
2. Бабицкий В. В. Прогнозирование степени гидратации цемента // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь: Сб. тр. VII Междунар. науч.-метод. семинара / Под ред. Н. П. Блещика, А. А. Борисевича, Т. М. Пецоляда. – Брест: БГТУ, 2001. – С. 211–215.