

УДК 539.4+624.012.4

О.Б. НАСТИЧ, канд. техн. наук, В.В. ХВОРОСТ, ассистент
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА КАМЫШ-БУРУНСКИЙ ЖРК

Приведены исследования прочности и долговечности железобетонных конструкций в условиях воздействия агрессивной среды.

Изучение механизма воздействия агрессивной среды на железобетонные конструкции

В связи с тем, что Камышбурунский ЖРК расположен в приморской зоне и в связи с нехваткой питьевой воды в городе Керчи, для технических целей на комбинате используется морская вода.

Такая вода относится к сильноминерализованным природным водам. Основными ее компонентами являются хлориды и сульфаты натрия и магния. Примерный состав морской воды в % следующий: NaCl-83,67; MgCl-8,5; MgSO₄-3,6; CaSO₄-4,2; KCl-0,03.

Таким образом, общее количество сульфат-ионов в морской воде доходит до 3000-4000 мг/л, что опасно для бетонов на портландцементе, так как воздействие таких солей приводит к сульфатоалюминатной коррозии.

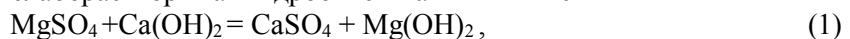
Повышенное содержание солей магния приводит к возникновению магниальной коррозии, а большое содержание хлорид-ионов делает такую воду опасной для арматуры. Иными словами, в нашем случае мы имеем дело с тремя различными формами коррозии железобетона. Рассмотрим каждую из этих форм коррозии.

Ионы хлора являются активизирующими ионами, т.е. они препятствуют образованию пассивной пленки на металле, повышая растворимость продуктов коррозии, уменьшают pH раствора и, следовательно, скорость коррозии арматуры в их присутствии значительно увеличивается.

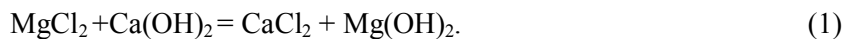
Наличие в железобетоне пор и пустот обеспечивает проникновение воды и хлорид-ионов к арматуре, в результате чего идет интенсивная коррозия арматуры. Хлорид-ионы проявляют активизирующие свойства в широком интервале pH и доминируют во влиянии на скорость коррозии арматуры.

В связи с тем, что продукты коррозии арматуры имеют больший объем, чем металл, накопление их в железобетоне вызывает дополнительные напряжения, приводящие к образованию продольных трещин и разрушению защитного слоя конструкций.

Раствор магниальных солей, которые присутствуют в морской воде в виде сульфата и хлорида магния, вызывает в цементном камне реакцию обмена, когда при контакте бетона с сульфатом магния образуется слабо растворимая гидроокись магния и гипс



а при контакте бетона с хлоридом магния образуется также гидроокись магния и хлористый кальций



Таким образом, в результате реакций обмена образуется растворимая соль (хлорид кальция или сульфат кальция), а также гидроксид магния, представляющий собой бесвязную, не растворимую в воде массу, поэтому реакция идет до полного израсходования гидроксида кальция.

Наличие в морской воде сульфат-ионов порождает сульфатоалюминатную коррозию цементного камня

Образование в порах цементного камня малорастворимого трехсульфатного гидросульфатоалюмината кальция сопровождается увеличением объема этого камня примерно в 2 раза. Развивающееся в порах кристаллизационное давление приводит к растрескиванию защитного слоя бетона. Вслед за этим происходят коррозия стальной арматуры, усиление растрескивания бетона и разрушение конструкций.

На основании анализа влияния трех изложенных выше форм коррозии на железобетонные конструкции корпуса измельчения известняка ЖРК был сделан вывод, что выделить преоблада-

дающий невозможно.

Завершая изучение механизма воздействия агрессивной среды на конструкции отметим, что в обычных условиях эксплуатации сохранность арматуры в бетоне существенно зависит от состояния бетона. Бетон, изготовленный на портландцементе, при насыщении его водой имеет поровую жидкость с показателем $pH = 12-12,5$.

Щелочная среда обеспечивает пассивное состояние арматурной стали, предотвращая ее тем самым от коррозии. Изменение коррозионных потерь стальных образцов в растворе гидрооксида кальция при изменении pH от 12,65 до 10 в условиях ограниченного поступления воздуха увеличилось в 37 раз, а в условиях аэрации раствора в 246 раз.

Понижение щелочности поровой жидкости в бетоне в результате воздействия агрессивной среды идет при снижении pH до 8. В то же время сталь начинает корродировать в бетоне, когда значение pH снижается до 11.

Анализ литературы показал, что в настоящее время наиболее удачной для оценки долговечности железобетонных конструкций является методика, разработанная Харьковским Промстройинипроектом.

Согласно этой методике основными параметрами для оценки долговечности конструкций служат толщина защитного слоя бетона, прочность бетона, глубина нейтрализации бетона, относительная влажность, а также срок эксплуатации конструкций. Поэтому дальнейшее исследование было посвящено определению этих характеристик.

Определение глубины нейтрализации бетона конструкций

Как уже отмечалось, одной из основных характеристик, используемых при оценке долговечности железобетонных конструкций по методике Харьковского Промстройинипроекта, является глубина нейтрализации защитного слоя бетона.

Для определения этой характеристики с помощью шлямбура из конструкций отбирались пробы растворной составляющей бетона. Пробы отбирались с различной глубины с шагом 5 мм, максимальная глубина отбора проб составляла 25 мм.

Отобранные пробы тщательно измельчались в фарфоровой ступке до размера зерна 0,1-0,25 мм. Навеску в 5 г заливали 100 мл дистиллированной воды и хранили в закрытом пробкой сосуде в течение 1 ч. Первые 15 мин содержимое сосуда периодически встряхивали. Измерение проводили в течение 3 мин после отстаивания при постоянном перемешивании.

Концентрацию водородных ионов в водной вытяжке из цементного камня определяли путем измерения электрохимических свойств с помощью pH -метра $pH-340$ в химической лаборатории коксохимического завода.

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Код элемента	Расположение элемента	Глубина отбора пробы, мм				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
		Величина pH				
	подвал	10,2	10,5	11,0	12,5	12,7
	первый этаж		10,6	11,1	12,3	12,5
	второй этаж	10,0	10,6	11,6	12,0	12,9
	третий этаж	10,1	0,8	11,8	12,5	12,5

Ранее было изложено, что арматура начинает корродировать в бетоне в тот момент, когда значение pH поровой жидкости снижается до 11.

Исходя из этого и на основании анализа результатов испытаний, приведенных в табл. 1, было установлено, что нейтрализация бетона конструкций, расположенных в подвале и на первом этаже составляет около 15 мм, а конструкций, расположенных на втором и третьем этажах - около 10 мм.

Полученный результат хорошо согласуется с результатами натурных обследований, которые показали, что наиболее сильному физическому износу подвержены конструкции расположенные в подвале и на первом этаже.

Определение толщины защитного слоя бетона

Как известно, одним из основных параметров характеризующих долговечность железобетонных конструкций является толщина защитного слоя бетона. Вместе с тем из-за несовершенства технологических процессов при производстве железобетонных конструкций практически

всегда происходит смещение стержней от проектного местоположения. При эксплуатации конструкций в условиях воздействия агрессивной среды такое смещение может стать причиной появления дефекта.

Исходя из этого можно сделать вывод, что для достоверного прогнозирования долговечности конструкций необходимо иметь данные по статистической изменчивости толщины защитного слоя бетона. Все изложенное послужило основанием для проведения комплекса исследований, посвященных определению величины и изменчивости этого параметра.

Определение толщины защитного слоя бетона осуществлялось с помощью прибора ИЗС-2.

Для определения толщины защитного слоя бетона с помощью прибора ИЗС-2 необходимо иметь информацию о фактическом диаметре арматуры в конструкциях. В нашем случае истинная картина армирования устанавливалась по проектной документации. Для проверки достоверности информации были произведены выборочные вскрытия арматуры и, так как все они подтвердили соответствие фактического армирования проектному, то армирование всех элементов принимались в дальнейшем по проекту.

Результаты замеров толщины защитного слоя бетона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты замеров толщины защитного слоя бетона

Место замера	Результаты замеров						
	20	15	30	20	30	30	15
Подвал	30	10	20	20	20	20	
	15	20	25	40	25	15	20
Первый этаж	25	25	15	20	20	35	25
	15	15	25	25	20	20	

В таблице приведены результаты замера толщины защитного слоя бетона колонн подвала и первого этажа. Количество замеров на первом этаже превосходит количество колонн в связи с тем, что для некоторых колонн производилось несколько замеров по разным граням.

Обработка результатов исследования проводилась с использованием известных формул математической статистики, при этом определялись такие основные параметры распределения, как среднее значение и стандарт. Результаты испытаний были представлены в виде гистограммы распределения. При построении гистограммы распределения разбиение массивов напряжений снятия на классы выполнялось по правилу Штюргерса.

$$k=1+3,32lg n,$$

где n - количество результатов замера толщины защитного слоя бетона.

Рассмотрение внешнего вида гистограммы дает все основания утверждать, что распределение величины толщины защитного слоя бетона подчиняется нормальному закону распределения Гауса. Действительно, поскольку такая характеристика, как толщина защитного слоя, есть результат суммарного действия независимых случайных величин, ни одна из которых не имеет преобладающего влияния, то, согласно теореме Ляпунова, ее распределение можно считать сколь угодно близким к нормальному закону. Изложенное позволяет аппроксимировать полученные экспериментальные результаты аналитической кривой нормального распределения Гауса.

В связи с тем, что в технической документации отсутствуют какие-либо данные о прочностных характеристиках бетона, из которого изготовлены конструкции, решено было определить их с помощью метода пластических деформаций.

Для оценки прочности бетона элементов каркаса здания корпуса измельчения применялся молоток Физделя. Такой способ обеспечивает достаточную точность измерений, прошел массовую практическую проверку временем на строительных площадках и на заводах железобетонных конструкций, имеет неоспоримые достоинства из-за простоты в обращении и доступности самым широким кругам строителей. Мгновенное выполнение операции удара и немедленное получение результата позволяет осуществлять проверку прочности бетона любых конструкций.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Для определения прочностных характеристик бетона использовалась стандартная градуировочная зависимость/

В результате исследований было установлено, что конструкции здания корпуса измельчения известняка изготовлены из бетона, прочность которого на сжатие составляет около 400 МПа.

Результаты измерения величины отпечатков при определении прочности с помощью молотка Физделя

Расположение элемента	Код элемента	Величина отпечатка X, мм										X
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	
Подвал	К-2А	6,0	5,9	6,0	6,2	6,2	6,0	5,0	5,9	6,1	6,3	6,06
	К-4Б	6,6	6,8	5,4	5,6	5,5	6,8	6,6	6,5	6,6	7,1	6,65
	К-2Б	7,0	6,5	6,6	6,8	6,6	6,8	6,8	6,8	6,9	7,0	6,78
I этаж	К-4А	6,0	5,5	5,5	5,9	5,4	5,4	6,2	6,2	6,1	6,0	5,86
	К-5Б	6,2	6,2	6,1	6,2	6,0	5,9	6,0	6,0	6,2	6,2	6,07
	К-4Б	6,5	6,3	6,2	6,2	6,3	6,5	6,0	5,8	6,3	6,2	6,23
II этаж	К-4Б	6,6	6,6	6,5	6,8	6,3	6,4	6,5	6,4	6,6	6,7	6,56
III этаж	К-5Б	6,2	6,5	6,3	6,5	6,4	5,9	6,2	6,1	6,0	5,9	6,2
	ГБ-1 (8)	6,0	6,0	5,8	5,9	5,9	6,1	6,2	5,8	6,1	5,9	5,97

Срок службы железобетонных конструкций определялся в соответствии с методикой, разработанной Харьковским Промстройинипроектом. В качестве предельного состояния железобетонных конструкций был принят момент времени, когда бетон защитного слоя перестает выполнять свои защитные функции по отношению к арматуре.

Для определения долговечности конструкций использовались следующие исходные характеристики: прочность бетона при сжатии $R_b=400$ МПа, величина капиллярного водопоглощения $W_t=5,0$ %, коррозионная активность вяжущего, не подверженного нейтрализации $pH=12,5$.

Прогнозируемый срок службы эксплуатирующегося бетона до поступления выбранного предельного состояния T_n определялся по формуле

$$T_n = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot T_g = 0,85 \cdot 0,23 \cdot 1,6(21-25) = 7-8 \text{ лет}, \quad (2)$$

где $T_g=21-25$ лет - срок службы в аналогичных условиях бетона с характеристиками, соответствующими требованиям главы СНиП 2.03.01-84*, который определялся по графику 3,в. в зависимости от R_b и W_t ; f_1 - коэффициент состояния бетона в защитном слое берется наименьшим из коэффициентов f_1' и f_1'' .

Коэффициент f_1' определяется по формуле

$$f_1' = 1 - \frac{W_t - W_0}{W_{дон} - W_0} = 1 - \frac{5,0 - 4,7}{7 - 5,0} = 0,85, \quad (3)$$

где $W=4,7\%$ - нормативное значение величины водопоглощения бетона в соответствии с табл.5 главы СНиП 2.03.01-84*; $W_{дон}=7\%$ - допустимая величина водопоглощения; $W_t=5\%$ — фактическая величина водопоглощения.

Коэффициент f_1'' определяется по формуле

$$f_1'' = 1 - (12,5 - pH) = 1 \quad (4)$$

где 12,5 - фактическое значение pH; f_2 - коэффициент, учитывающий толщину защитного слоя бетона, определяется по формуле

$$f_2 = \frac{h_{спз}}{h_{нз}} = \frac{\bar{h}_3 - h_n}{h_{нз}} = \frac{22 - 15}{30} = 0,23, \quad (6)$$

где \bar{h}_3 - среднее значение толщины защитного слоя бетона; h_n - нейтрализации бетона; $h_{нз}$ - толщина защитного слоя в соответствии с табл.7 главы СНиП 2.03.01-84*; $h_{спз}$ - фактическая остаточная толщина защитного слоя; $f_2=1,6$ - коэффициент условий эксплуатации (для температуры эксплуатации 60°C).

Полученный результат позволяет утверждать, что защитный слой бетона железобетонных конструкций корпуса измельчения известняка будет полностью нейтрализован в течение 7-8 лет и перестанет выполнять свои защитные функции по отношению к арматуре. Это приведет в свою очередь к ускорению коррозии арматуры и к последующему механическому разрушению защитного слоя бетона конструкций. Во избежание изложенного все конструкции должны быть защищены от воздействия агрессивной среды.

Список литературы

1. СНиП II-22-81. Каменные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 92 с.
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 76 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. – К.: Минстрой Украины, 2006.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12