

## СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 691.32

В. В. БАБИЦКИЙ, кандидат технических наук; Белорусский национальный технический университет, г. Минск

### КОРРОЗИОННЫЕ ОСОБО ПЛОТНЫЕ БЕТОНЫ

Выполнено исследование коррозионной стойкости железобетона. По результатам циклического испытания образцов различных видов бетона построены анодные поляризационные кривые стальной арматуры и выполнено сравнение полученных результатов с предложенной моделью состояния железобетона.

Выявлена зависимость относительной прочности бетона от цикла насыщения – высушивания в растворах сульфата натрия и хлорида калия.

**Ж**елезобетон, основа строительной индустрии, является вполне долговечным материалом, но только при эксплуатации вне коррозионных сред. Наличие капиллярно-пористого пространства в бетоне и повсеместных агрессивных воздействий (углекислый газ воздуха, хлор-ионы и т.д.) предопределяет неизбежную потерю защитных свойств бетона и последующую коррозию стальной арматуры. В связи с этим логичен вопрос: а может ли вообще, в принципе, цементный бетон быть и сам достаточно коррозионностойким и при этом надежно защищать арматуру от коррозионного воздействия без ограничений во времени. Результаты обследования эксплуатирующихся сооружений показывают, что ответ, к сожалению, отрицателен.

Можно кардинально решить данную проблему, полностью видоизменив свойства бетона посредством пропитки его поверхностных слоев уплотняющими составами и нанесения на стальную арматуру защитных покрытий, т. е. изолировав потенциально недолговечный элемент от агрессивного воздействия [1]. При этом коррозионная стойкость конструкции в целом в известной степени будет определяться долговечностью пропиточных композиций, сама же бетонная матрица будет, как и ранее, недостаточно долговечной.

Вероятно, решение задачи состоит в смещении технологии бетона в область низких, мало изученных и пока не используемых на практике областей водоцементных отношений. Существуют различные направления существенного снижения В/Ц, и одно из них – реализация метода «сухого» формирования бетона, детально описанного Э. И. Батяновским [2]. При изготовлении бетона таким способом водоцементное отношение характеризуется значениями 0,26 и ниже.

Агрессивные по отношению как к стальной арматуре, так и бетону ионы, основными из которых являются хлор-ионы, поступают в тело конструкции по различным механизмам: диффузионному, кинетическому или смешанному. В итоге, вне зависимости от механизма попадания, концентрация агрессивных ионов в приарматурной зоне в предельном состоянии становится равной (лучше – близкой) концентрации во внешней среде.

Рассмотрим соответствующую модель состояния железобетона (рисунок 1).

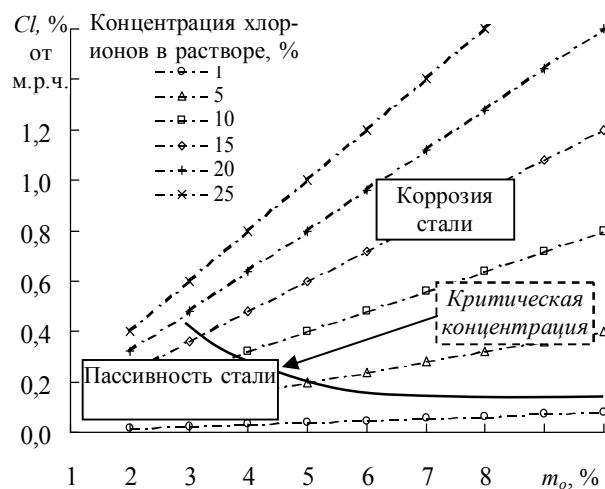


Рисунок 1 – Зависимость концентрации хлор-ионов в приарматурной зоне бетона ( $Cl$ ) от его водопоглощения ( $m_6$ )

Предположим, все поровое пространство бетона, характеризуемое в данном случае его объемным водопоглощением, заполнено агрессивным раствором, содержащим хлор-ион, причем концентрация хлоридов в приарматурной зоне бетона равна их концентрации во внешней среде. На график нанесена кривая, характеризующая критическую концентрацию хлор-ионов: ее превышение вызывает депассивацию (с последующей коррозией) стальной арматуры. В обычном бетоне она составляет 0,15–0,30, а в бетоне сухого формирования – до 0,42 % от массы растворной части (м.р.ч.) [3].

Обычный бетон, даже достаточно плотный (марка по водонепроницаемости  $W_8$  и выше), имеет объемное водопоглощение около 10 %. Традиционный бетон сухого формования характеризуется водопоглощением, равным 6,4 %, а после повторного виброуплотнения – 3,5 % [2]. Водопоглощение же сухого бетона с предварительной вакуумной обработкой компонентов смеси составляет около 3 %. Исходя из этих данных, осуществим прогноз коррозионного состояния стальной арматуры. Очевидно, что обычный бетон сохраняет свои защитные (по отношению к стали) свойства лишь при концентрации хлор-ионов в насыщающем растворе около 1–2 % (рисунок 1). Из этого следует, например, что стальная арматура в железобетонных конструкциях транспортных сооружений, подвергающихся периодическим воздействиям растворов антигололедных реагентов на основе солей-хлоридов, неизбежно будет корродировать. Это и наблюдается в процессе обследования железобетонных автодорожных мостов. Использование же особо плотного бетона, изготовленного по технологии сухого формования, позволяет допустить значительное увеличение концентрации агрессивных ионов во внешней среде без опасности депассивации стали. Так, согласно графику, при водопоглощении бетона около 3 % можно допускать эксплуатацию железобетона в средах с содержанием ионов хлора вплоть до 12–15 % (соответствует насыщенному раствору хлорида калия) без специальных мер защиты стали от коррозии.

Рассмотрим, соответствуют ли полученные прогнозные показатели фактическим результатам. Для перекрытия указанной на рисунке 1 области водопоглощения бетона изготовлены семь серий образцов – балочек размером  $5 \times 5 \times 20$  см, центрально армированных предварительно отполированными стержнями диаметром 10 мм из стали Ст.5. Расход цемента во всех составах был принят равным  $360 \text{ кг/м}^3$ ; в отдельных сериях в бетонную смесь вводили ингибиторы коррозии стали – добавки нитрата натрия и ПО-1. Технология изготовления образцов предполагала четыре варианта:

- обычный бетон, полученный виброуплотнением водозатворенной бетонной смеси подвижностью 2 см (кривые 1 на рисунках 2–4);
- традиционное одноразовое виброформование сухой смеси с последующей пропиткой водой (кривые 2);
- сухое формование, включающее повторное (после водонасыщения) виброуплотнение (кривые 3), а также насыщение раствором нитрата натрия из расчета 2 % от массы цемента (кривые 5);
- сухое формование, включающее предварительное вакуумирование сухой бетонной смеси

(кривые 4), дополненное введением добавок нитрата натрия в количестве 2 % от массы цемента (кривые 6) и ПО-1 в количестве 0,5 % от массы цемента (кривые 7).

Образцы твердели 28 суток в нормально-влажностных условиях, затем подвергались циклическим испытаниям в агрессивной среде по режиму: 3 суток выдержка в насыщенном водном растворе хлористого калия, 1 сутки сушка при  $50^\circ\text{C}$ .

Периодически, после снятия анодных поляризационных кривых, оценивали защитную способность бетона по отношению к стальной арматуре. Границу пассивного состояния стали устанавливали по плотности поляризующего тока: значение плотности тока менее  $10 \text{ мкА/см}^2$  при потенциале +300 мВ (по каломельному электроду) свидетельствовало о пассивном состоянии арматуры.

Полученные данные (см. рисунок 2) свидетельствуют о решающем влиянии проницаемости бетона на его защитную способность по отношению к стальной арматуре. Так, в обычном бетоне арматура активизируется уже после разового насыщения в растворе хлористого калия, в то время как бетон сухого формования сохраняет защитную способность еще достаточно длительное время. Но уже через 20 циклов испытаний активизируется стальная арматура в бетоне, изготовленном по классической технологии сухого формования. Через 40 циклов испытаний исчерпываются защитные свойства бетона сухого формования с повторным виброуплотнением. Однако арматура в бетоне с предварительным вакуумированием смеси остается в устойчивом пассивном состоянии. И это подтверждает положение, высказанное при анализе графика на рисунке 1. Добавки ингибиторов еще более повышают защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

Электрохимические испытания подтверждаются и визуальной оценкой состояния арматуры после разрушения образцов: на поверхности стержней, извлеченных из бетона с повторным виброуплотнением и с вакуумированием смеси признаков коррозии не наблюдается, в то время как арматура в образцах из обычного бетона, а также из бетона традиционного формования покрыта налетом продуктов коррозии и имеет язвы на поверхности. Анализ проб бетона показал: после 40 циклов испытаний количество хлор-ионов в приарматурной зоне бетона, изготовленного по вакуумной технологии, примерно соответствует критической концентрации, отраженной на рисунке 1, что свидетельствует о выравнивании концентраций раствора хлоридов по сечению защитного слоя в процессе длительных циклических воздействий.

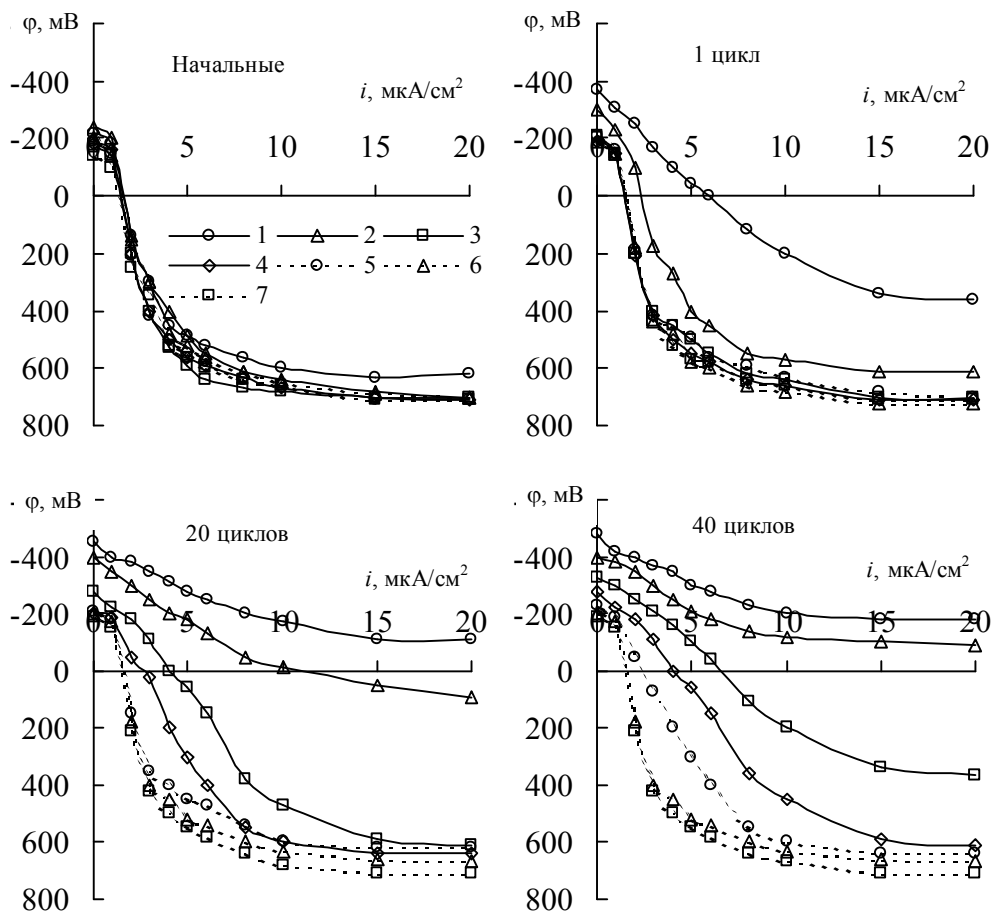


Рисунок 2 – Анодные поляризационные кривые стальной арматуры в бетоне

Таким образом, в условиях жесткого циклического воздействия растворов солей-хлоридов концентрацией до 12–15 % бетон «сухого» формования с предварительной вакуумной обработкой компонентов смеси может гарантировать весьма существенную коррозионную стойкость железобетона. Дальнейшее увеличение агрессивности эксплуатационной среды посредством повышения концентрации до 25 % (например, насыщенные растворы хлорида натрия), требует либо введения добавок ингибиторов коррозии стали, либо снижения водоцементных отношений.

Коррозионную стойкость самого бетона изучали применительно к III (по классификации В.М. Москвина) виду коррозии, предполагающему накопление в капиллярно-пористом пространстве бетона кристаллических образований с последующей деградацией материала. В качестве агрессивных сред применяли растворы сульфата натрия (сульфатная коррозия бетона) и хлорида калия (солевая форма физической коррозии).

Составы бетона, а также размеры образцов были такие же, как и при изучении коррозионной стойкости арматуры.

При исследовании коррозионной стойкости бетона применяли режимы ускоренных циклических испытаний:

– насыщение образцов в водном растворе сульфата натрия (концентрация 15 %) в течение 8 часов, сушка в течение 16 часов при температуре 80–85 °С;

– выдерживание образцов в течение 2 суток в насыщенном растворе хлористого калия, сушка в течение 4 суток при температуре 70 °С.

Периодически балочки раскалывали и определяли предел прочности бетона при сжатии. В процессе изучения сульфатной коррозии дополнительно измеряли скорость ультразвуковых колебаний. Полученные результаты приведены на рисунках 3 и 4.

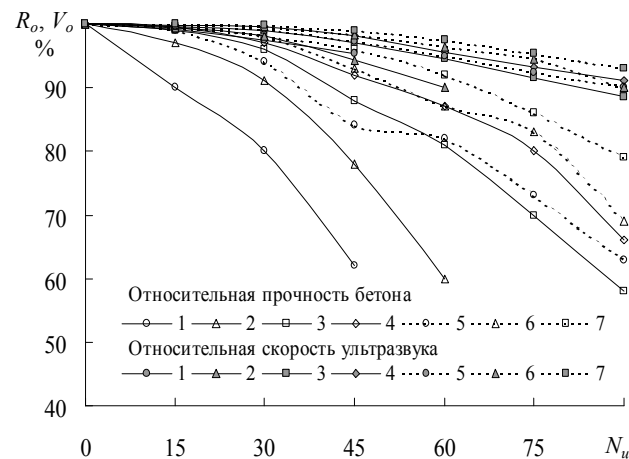


Рисунок 3 – Изменение относительной прочности бетона ( $R_0$ ) и скорости ультразвука ( $V_0$ ) в зависимости от числа циклов насыщения–высушивания ( $N_u$ ) в растворе сульфата натрия

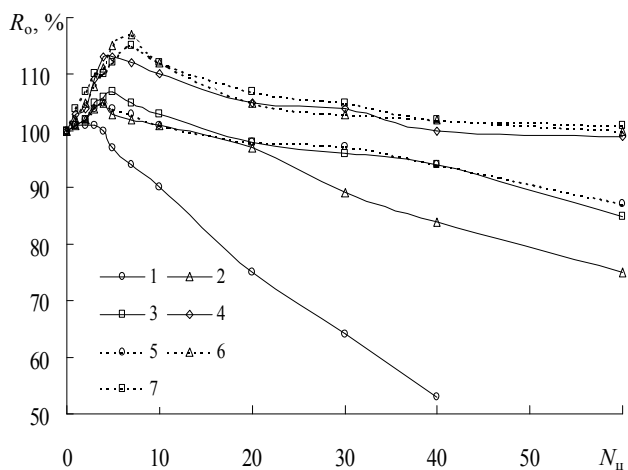


Рисунок 4 – Изменение относительной прочности бетона ( $R_o$ ) в зависимости от числа циклов насыщения-высушивания ( $N_{ц}$ ) в растворе хлорида калия

Как оказалось, может быть выстроен ряд повышения долговечности бетона: обычный бетон – сухой бетон традиционного формирования – сухой бетон с повторным виброуплотнением – сухой бетон с предварительным вакуумированием.

Получено 2.08.2004

**V. V. Babitsky.** Corrosion extremely dense concretes.

An investigation of concrete corrosion durability was carried out. According to the results cyclic tests of different types of concrete there were plotted anode polarization curves of steel reinforcement and made comparison of results with suggested model of concrete condition.

The author found out the dependence of concrete relative strength from the number of saturation-drying cycles in the sodium sulfate and potassium chloride solutions.

Иными словами, тенденция изменения свойств материала такая же, как и полученная при изучении коррозионной стойкости стальной арматуры. Введение же добавок, ингибирующих процесс коррозии стали, на состоянии бетона практически не сказывается.

Таким образом, установлено, что введение в технологическую цепочку изготовления бетона сухого формирования такого приема, как предварительное вакуумирование сухой бетонной смеси, позволяет получать особо плотный материал с высокой устойчивостью к коррозионным воздействиям водных растворов солей-хлоридов без дополнительных мер по защите стальной арматуры или поверхности железобетонных конструкций.

#### Список литературы

- 1 Васильев С.Г. Коррозия и долговечность железобетона в условиях агрессивных воздействий. – Гомель, 1998. – 699 с.
- 2 Батяновский Э.И. Особо плотный бетон сухого формирования. – Мн.: НПО «Стринко», 2002. – 224 с.
- 3 Алексеев С.Н., Бабицкий В.В., Батяновский Э.И., Дрозд А.А. Коррозионная стойкость и защитные свойства бетона сухого формирования//Бетон и железобетон. – 1987. – № 1. – С. 43–45.

УДК 691.32

А. А. ВАСИЛЬЕВ, научный сотрудник; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДАМИ pH- И КАРБОМЕТРИИ

С использованием метода ударного импульса для определения прочности бетона, методов pH- и карбометрии выявлена зависимость водородного показателя водной вытяжки цементного камня и прочности бетона длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Изучена возможность определения поверхностной прочности бетона, а также прочности по глубине конструкций методами pH- и карбометрии и прогнозирования изменения прочности бетона по времени в зависимости от условий эксплуатации.

**О**пределение прочности бетона  $R$  является одной из важнейших составляющих обследования бетонных и железобетонных конструкций.

На сегодняшний день для определения  $R$  широко применяются методы неразрушающего контроля.

Работа большинства приборов и инструментов, применяемых НИЛ «Строительные конструкции, основания и фундаменты» для определения проч-

ности бетона, основана на методе ударного импульса.

Определение  $R$  методом ударного импульса достаточно удобно и при правильном выполнении всех операций характеризуется небольшой относительной погрешностью (до 10 %).

Однако определению прочности бетона методами ударного импульса присущи и недостатки: