

Рис. 3. Епюри згинальних моментів і прогинів для гнучкої балки на ґрунтовій основі ($t = 74$, $\mu = 0,63\%$) під дією рівномірно розподіленого навантаження: 1 - $q = 757$ кН/м, 2 - $q = 3115$ кН/м (лінійний розрахунок – штрихова лінія, нелінійний – суцільна)

4. Загальні висновки

1. Різниця у результатах лінійного і нелінійного розрахунків залізобетонних балок на ґрунтовій основі значна, оскільки нелінійний розрахунок враховує перерозподіл зусиль. Причому, зі збільшенням рівня навантаження різниця в значеннях, отриманих при лінійному і нелінійному розрахунках теж збільшується.
2. Згинальні моменти в найбільш навантажених перерізах, отримані з нелінійного розрахунку, виявляються в декілька разів меншими, ніж при лінійному. А у деяких випадках при певних рівнях навантаження епюри змінюють свій характер. При цьому прогини збільшуються для гнучких балок в 1,5 – 2 рази, а для жорстких – в 3 – 5 разів.
3. Перерозподіл зусиль тим більший, чим менше процент армування розтягнутої зони балки та чим більше її гнучкість.
4. У залізобетонних балках під дією рівномірно розподіленого навантаження перерозподіл зусиль більше, ніж у балках під дією зосередженої сили.

Отже, як бачимо, резерви міцності, які можуть бути використані, якщо врахувати реальні фізичні властивості матеріалу, дуже великі. Таким чином, розрахунок конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом, з урахуванням нелінійності деформування залізобетону дозволяє розкрити значні резерви економії арматури і бетону.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Инновационная стратегия разработки энергоэффективных противооползневых сооружений в г. Днепропетровске / И.И. Куличенко, Н.В. Савицкий, В.И. Большаков, В.П. Козинец // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Вып. №15. – Днепропетровск: ПГАСиА, Gaudeamus, 2001. – С. 5 – 13.

2. Многофункциональные энергоэффективные противооползневые сооружения / Куличенко И.И., Савицкий Н.В., Большаков В.И., Щербакова О.В., Никифорова Т.Д., Гуслистая А.Э. // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-техн. збірник. – Вып. №59: “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”: Зб. наук. праць у 2-х книгах. – Кн. 2. – Київ: НДІБК, 2003. – С. 230 – 234.
3. Особенности расчета конструкций заглубленных зданий / Н.В. Савицкий, А.Э. Гуслистая, И.И. Куличенко, Т.Д. Никифорова // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-техн. збірник. – Вып. №62: “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”: Зб. наук. праць у 2-х томах. – Том. 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 273 – 277.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
5. Карпенко Н.И. Теоретические и методические аспекты железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – М., 1998. – Т. 5. – С. 51 – 85.
6. Соломин В.И., Шматков С.Б. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 208 с., ил.
7. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие / Под ред. А.С. Городецкого. – К. – М.: "Факт", 2003. – 464 с.: ил.
8. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.: ил.

УДК 69.057.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

*Н.В. Савицкий, д.т.н., проф., И.Н. Матюшенко, асп.,
Т.Д. Никифорова, к.т.н., доц., Л.Н. Лаухина, к.т.н., доц.
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

Постановка проблемы. Долговечность может быть определена как способность материала или конструкции из этого материала сохранять эксплуатационную пригодность в течение определенного срока ее службы, заданного в проекте [1]. В настоящее время существующие нормативные документы (СНиП 2.03.11-85) не позволяют определить долговечность железобетонных конструкций, работающих в агрессивных условиях, что неизбежно приводит либо к удорожанию строящихся объектов либо к снижению их долговечности.

Для прогнозирования долговечности различают несколько основных методов:

- прогноз долговечности по критерию недопущения коррозии арматуры;
- прогноз долговечности по образованию солевых отложений;
- прогноз долговечности при выщелачивании извести и др.

В подавляющем большинстве случаев главной причиной потери эксплуатационных характеристик железобетона является коррозия арматуры. Прогнозирование долговечности железобетона по критерию недопущения коррозии арматуры (по сохранности стальной арматуры) – недостаточно объективный метод ввиду того, что определяется только время достижения стальной арматуры агрессивными ионами (Cl^- , SO_4^{2-}) определенной концентрации или же понижение pH порового пространства на границе «бетон – арматура» вследствие карбонизации или других факторов. В данном случае не учитывается скорость коррозии арматуры, которая может быть достаточно мала, чтобы считать материал или конструкцию из этого материала непригодной к дальнейшей эксплуатации.

Актуальность. Предложенные ранее методы прогнозирования долговечности железобетонных конструкций недостаточно эффективны, так как они либо не учитывают все параметры, влияющие на коррозионные процессы, либо определение этих параметров связано с большой трудоемкостью [1-4].

Целью настоящей работы является создание эффективной математической модели для прогнозирования долговечности железобетонных конструкций.

Изложение основного материала. Коррозия арматуры в бетоне - электрохимический процесс, для протекания которого необходимы следующие условия [2]:

- наличие разности потенциалов между отдельными участками поверхности металла, т.е. электрохимическая неоднородность;
- наличие электрохимической связи между этими участками;
- активное состояние поверхности на анодных участках, где металл растворяется по реакции $n\text{H}_2\text{O} + \text{Me} \rightarrow \text{Me}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O} + e^-$;
- наличие достаточного количества деполяризатора, чаще всего кислорода, необходимого для ассимиляции на катодных участках поверхности металла избыточных электронов:
 $4e^- + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$.

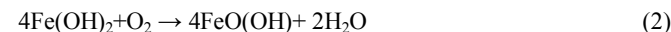
Плотный не карбонизированный бетон имеет высокую щелочность ($\text{pH} \approx 13$) поровой влаги, создаваемую присутствием NaOH , KOH и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующихся при гидратации зерен клинкера. В такой среде стальная арматура находится в состоянии пассивности, и скорость коррозии ее пренебрежимо мала вследствие защитного действия оксидной пленки. Такое

состояние арматуры сохраняется, пока не произойдет снижение pH поровой влаги ниже некоторого предела (примерно 11,5) в результате связывания гидроксида кальция бикарбонатами или др.

Вследствие снижения показателя pH происходит депассивация стали. На ее поверхности начинается анодный процесс. Происходит высвобождение Fe^{2+} и поверхность стали покрывается однородным слоем из оксида железа – (II):



который затем окисляется под действием кислорода и уплотняется в пористый покровный слой (ржавчина):



В данном случае скорость электрохимической коррозии металла будет зависеть от кислотности раствора pH. На рис.1 представлена зависимость скорости коррозии металла от водородного показателя [5].

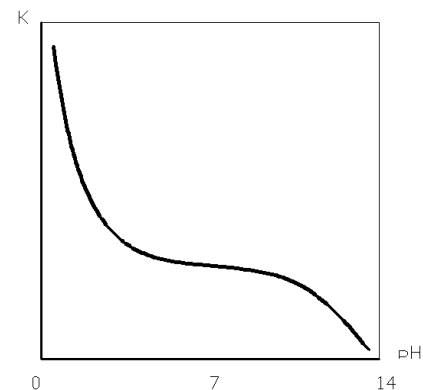
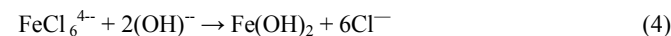
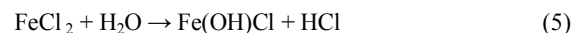


Рис.1. Зависимость скорости коррозии металла K от pH раствора

Однако pH среды не может однозначно характеризовать состояние стали в бетоне, так как в нём могут находиться активирующие ионы (хлорид-ионы, сульфат-ионы и др.). Такое действие ионов-активаторов объясняется их способностью, адсорбируясь на поверхности стали, вытеснять кислород, участвующий в образовании пассивирующей плёнки. Хлориды проникают через защитный слой и реагируют с железом с образованием хлоридов железа (3) и подвижных комплексов железа (4):



Также вследствие гидролиза железа может образоваться соляная кислота:



Наличие в бетоне небольшого количества хлоридов может привести к локальному разрушению защитной оксидной пленки, в результате чего происходит сильное локальное коррозионное разрушение (сквозная коррозия). Коррозия арматуры начинается, когда в приарматурном слое бетона содержание агрессивного хлорид-иона достигает критического (порядка 0,3%). Но если в результате карбонизации или продвижения фронта сульфатной коррозии происходит снижение pH в данном слое, критическая концентрация хлорид-ионов уменьшается и оказывается равной 0,15-0,2% [6].

В результате коррозионных процессов (1-5) в приарматурном слое образовывается и накапливается ржавчина, вследствие чего в бетоне возникают растягивающие напряжения, приводящие к отслоению защитного слоя.

Кинетику процесса накопления ржавчины в приарматурном слое бетона при диффузионном механизме переноса кислорода O_2 можно описать системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_0}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_0 \frac{\partial c_0}{\partial x} \right) - kc_0c_1 \\ \frac{\partial c_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \right) - \alpha kc_0c_1, \\ \frac{\partial c_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_2 \frac{\partial c_2}{\partial x} \right) + kc_0c_1 \end{cases} \quad (6)$$

где $c_{0,2}$ – концентрации кислорода, ионов железа, ржавчины соответственно; $D_{0,2}$ – эффективные коэффициенты диффузии кислорода, ионов железа, ржавчины соответственно (коэффициенты диффузии ионов железа D_1 и ржавчины D_2 равны нулю); α – стехиометрический коэффициент, учитывающий отношение реагирующих веществ; k – константа скорости химических реакций, t – время, x - координата. Порядок реакций условно принят единице.

Для решения системы дифференциальных уравнений (3) задаются краевые условия, которые включают начальные и граничные условия данной конкретной задачи.

На рис.2 представлено относительное распределение концентраций кислорода, железа и ржавчины во времени при коррозии арматуры.

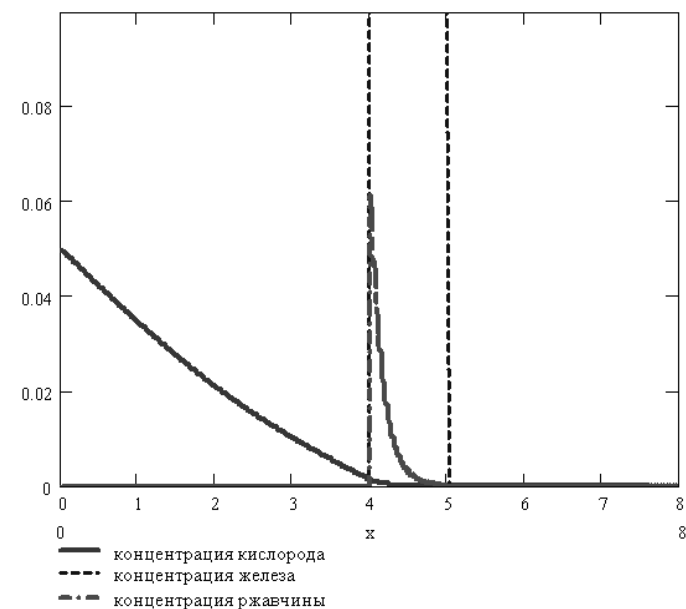


Рис.2. Относительное распределение концентраций кислорода, железа и ржавчины во времени

Выводы. Задачи дальнейших исследований. Разработанная модель представляет собой математическое описание развития коррозионных процессов железобетонных конструкций в агрессивных средах. Использование данной модели при решении практических задач позволяет выполнить количественную оценку процессов коррозии железобетона, а также оценить его долговечность.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1990.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты.//Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Математические модели процессов коррозии бетона.//Гузев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. – М., 1996.
4. Полак А.Ф. Расчет долговечности железобетонных конструкций. - Уфа: Изд-во Уфимского Нефт. ин-та, 1983. - 116 с.
5. Исаев Н.И. Теория коррозионных процессов. – М.: Металлургия, 1997.

6. Васильев А.И., Подвальный А.М. Прогноз коррозии арматуры железобетонных конструкций автодорожных мостов в условиях хлоридной агрессии и карбонизации // Бетон и железобетон.- 2002.- №6.- С. 27-32.

УДК 69.059.2:666.96

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОПОДВИЖНЫМИ РЕМОНТНЫМИ СМЕСЯМИ

* А.Н. Савицкий, магистр, ** А.Н. Пишнько, д.т.н., проф., *** Н.В. Савицкий, д.т.н., проф.
*Фирма «Хохтиф»,
**Днепропетровский национальный технический университет
железнодорожного транспорта
*** Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Состояние вопроса и постановка задачи исследований. В настоящее время имеется большое количество железобетонных конструкций, подлежащих ремонту, что обусловлено возникшими дефектами и повреждениями в результате ошибок на стадии производства работ или воздействия агрессивной среды на стадии эксплуатации конструкций. Однако до настоящего времени не имеется нормативной литературы, регламентирующей технологию проведения ремонтных работ.

Цель работы - разработка технологических требований при производстве ремонтных работ железобетонных конструкций наливным методом с использованием высокоподвижных бетонных смесей.

Изложение основного материала.

В результате ошибок на стадии производства работ или при воздействии агрессивных сред бетон железобетонных конструкций разрушается и необходимо его восстановление путем ремонта (рис. 1).

Ремонтные работы следует производить методом нанесения (торкретированием или оштукатуриванием) или заливки с использованием опалубки. Настоящая технология разработана для выполнения работ методом заливки высокоподвижного литого бетона с компенсированной усадкой.

Для приготовления бетона необходимо применять безусадочную быстротвердеющую сухую бетонную смесь наливного типа, содержащую полимерную фибру (табл. 1). Если толщина восстанавливаемого слоя бетона превышает 50 мм, то в состав смеси необходимо вводить крупный заполнитель (крупность щебня до 10 мм).

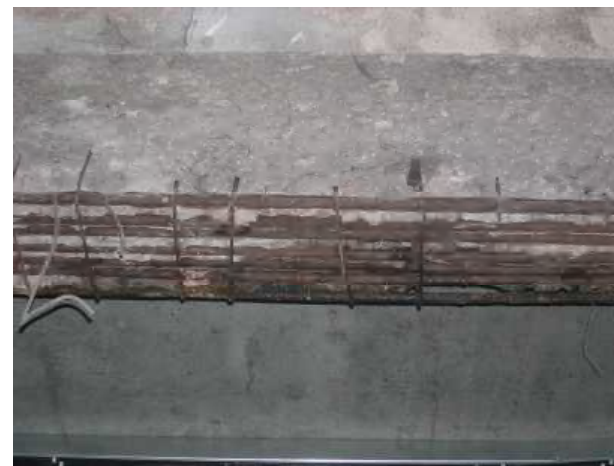
Подготовка состава к использованию состоит в затворении сухой бетонной смеси водой. Приготовление бетона должно осуществляться на механизированных смесительных установках. Ручное приготовление бетона не допускается.

Приготовленную бетонную смесь заливают в опалубку без применения вибрации и штыкования.

Разработанная смесь – готовый к применению материал в виде сухой бетонной смеси. В этот материал необходимо добавить только воду, чтобы получить реопластичный, текучий, нерасслаиваемый безусадочный ремонтный состав.



а)



б)