

А. В. Б е н и н (Санкт-Петербург, ПГУПС). **Конечно-элементный метод оценки степени коррозии арматуры.**

по анализу дефектов на поверхности железобетонного элемента

Коррозия арматуры является одной из основных причин снижения долговечности эксплуатируемых железобетонных конструкций. Точное определение степени коррозии, связанное с извлечением образцов арматурных стержней для их последующей лабораторной обработки, достаточно трудоемко и в принципе может привести к ощутимой потере несущей способности исследуемого объекта. В статье [1] предлагается оценивать коррозию косвенно, по ее внешним проявлениям на поверхности конструкции. Получаемые результаты сравниваются с экспериментальными данными [2]. Однако числовые параметры, входящие в основную расчетную формулу, назначаются весьма приблизительно и не всегда гарантируют удовлетворительную точность. В докладе предложен новый подход к реализации косвенного метода оценки коррозии, основанный на учете нелинейного характера связи между напряжениями и деформациями.

Причиной возникновения и развития коррозионной трещины является образование на поверхности арматурного стержня оксидных и гидроксидных слоев железа, объем которых в 2–2,5 раза превышает объем прокорродированного металла [3]. Продукты коррозии создают давление на бетон и в конечном счете приводят к разрушению защитного слоя. По ширине раскрытия трещины в защитном слое можно оценить объем коррозии, вызвавшей появление образовавшейся трещины. Идею нового подхода поясним на конкретном примере расчета стержня с прямоугольным поперечным сечением высотой 0,5 м и шириной 0,3 м. Вдоль верхней и нижней горизонтальных граней сечения расположена арматура класса А-111 (по 5 стержней 012). Класс бетона — В-25. Предполагается, что вся верхняя арматура полностью корродировала, в связи с чем соответствующие стержни исключены из расчетной схемы, а в качестве кинематического воздействия задано радиальное перемещение узлов на контуре круговых отверстий. Нижняя арматура рассматривается как неповрежденная; поэтому предназначенные для нее круговые отверстия заполнены в расчетной схеме треугольными стальными элементами. Бетон рассматривается как материал с приобретенной анизотропией, в котором осями ортотропии являются направления главных деформаций при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями [4]. В соответствии с этим на каждом этапе итерационного расчета получают новые значения секущих модулей и коэффициентов поперечной деформации. При выполнении конечно-элементных расчетов изучено влияние радиальных перемещений до 500 мкм для поперечных сечений с тремя вариантами толщины защитного слоя: 12 мм, 20 мм и 25 мм.

По формулам А. И. Васильева при смещениях 500 мкм раскрытие трещин достигает 1 мм, тогда как по экспериментальным данным К. Андраде такая величина раскрытия должна начинаться уже при смещении 300 мкм. При этом нужно иметь в виду, что параметры коррозионного износа равномерно варьируют около среднего значения при значительном доверительном интервале и поэтому раскрытие трещин может изменяться в достаточно широких пределах.

Кривые, полученные по программе C08M08/M, при больших значениях раскрытия трещин близки к графикам, сформированным путем обработки экспериментальных данных. Причиной этого является, судя по всему, уточнение результатов при учете нелинейной связи между деформациями и напряжениями. Уменьшение толщины защитного слоя до 12 мм приводит к более быстрому росту радиальных перемещений (380 мкм при ширине раскрытия трещины 1 мм) и, наоборот, увеличение толщины защитного слоя замедляет рост радиальных перемещений.

Особенностью процесса деформирования при накоплении коррозии является, на начальном этапе, образование горизонтальных трещин в уровне горизонтального диаметра круговых отверстий. При увеличении радиальных перемещений трещины

меняют направления и выходят на контур конструкции, становясь вертикальными. Проиллюстрируем это на примере деформирования конструкции с защитным слоем толщиной 20 мм. При радиальных перемещениях 100 мкм максимальное перемещение оказывается вблизи контура кругового отверстия и направлено примерно по диагонали левого угла конструкции. С увеличением радиального перемещения до 200 мкм максимальное суммарное перемещение (0,000155 м) переходит в левый верхний узел и направлено по нормали к горизонтальной границе конструкции. Аналогичный вид имеет картина перемещений при радиальном смещении 300 мкм, но максимальное перемещение вырастает до 0,000204 м.

Указанную особенность можно проследить, рассматривая изменение деформаций в окрестности круговых отверстий. При радиальных перемещениях 100, 200 и 300 мкм максимальные значения деформаций ε_x в угловой зоне поперечного сечения приближаются к верхней горизонтальной грани и растут от 0,00036 до 0,017.

Выполненные сопоставления показывают, что предлагаемый здесь новый способ оценки коррозии позволяет существенно уточнить результаты расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев А.И.* Оценка коррозионного износа рабочей арматуры в балках пролетных строений автодорожных мостом. — *Бетон и железобетон*, 2000, № 2, с. 20–23.
2. *Andrade K., Alonso C., Rodriuer J., Garcia M.* Cover craacking and amount of rebar corrosion: importance of current applied accelerated tests. — In: *Concrete Repair, Rehabilitation and Corrosion*. London: E&FN Spon, 1996, p. 263–273.
3. *Алексеев С.Н.* Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: Стройиздат, 1962, 187 с.
4. *Бенин А.В.* Математическое моделирование механических свойств бетона и железобетона (плоское напряженное состояние). — *Обозрение прикл. и промышл. матем.*, 2006, т. 13, в. 1, с. 80–81.