

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ю.А. Ивашенко

В статье рассматривается задача оценки влияния нарушения сцепления в изгибаемых железобетонных элементах на их прочность и деформативность.

Ключевые слова: исследование, сцепление арматуры с бетоном, железобетонные конструкции, деформативность и прочность.

Нарушение сцепления арматуры с бетоном происходит по нескольким причинам:

- загрязнение арматуры органическими и минеральными веществами, а также наледями в зимнее время;
- некачественное уплотнение бетонной смеси (вследствие этого образуются пустоты и раковины разного размера по контакту арматуры с бетоном);
- замерзание бетонной смеси при отрицательных температурах вследствие нарушения технологического режима обработки бетона (тепловая обработка);
- наличие снега и льда при укладке бетонной смеси при отрицательных температурах;
- коррозия бетона и арматуры в процессе эксплуатации конструкций;
- отклонение положения арматуры при бетонировании (уменьшение или отсутствие защитного слоя).

Дефекты в виде нарушения (уменьшения) сцепления встречаются в изгибаемых железобетонных конструкциях как в средних зонах (в пролете), так и в крайних зонах (на опорах) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Появление таких дефектов приводит к уменьшению прочности изгибаемых элементов и увеличению их деформативности. Поэтому изучение этого явления и разработка методов учета его влияния является необходимым, так как связано с безопасностью эксплуатации конструкций и ее пригодности по эксплуатационным качествам (эстетичность, совместимость с другими конструкциями) и по долговечности.

В действующих нормах [1] (СП 52-101-2003 и СП 52-102-2004) имеются формулы для вычисления сцепления арматуры с бетоном:

$$R_{bond} = \eta_1 * \eta_2 * R_{bb} \quad (1)$$

$$R_{bond} = \eta * R_{bb} \quad (2)$$

где η_j – коэффициенты эмпирического содержания.

В нормах нет рекомендаций и указаний по определению величины R_{bond} при наличии дефектов, нарушающих сцепление бетона с арматурой.

В связи с этим нельзя теоретически вычислить прочность сечений в середине пролета (нормальные сечения) и около опор (наклонное сечение). В нормах также отсутствуют модели для расчета влияния на прочность и деформативность уменьшения сцепления или его отсутствия в зависимости от геометрических размеров этого вида дефекта (повреждения).

Необходимость производить такие вычисления обусловлена следующими обстоятельствами:

- дефекты возникают на стадии изготовления (заводы по производству сборных конструкций и стройки с применением монолитного бетона);
- дефекты возникают в процессе эксплуатации под влиянием агрессивных сред.

Цель решения этих задач состоит в том, что необходимо выявить недостаток прочности и избыток дефективности и на их основе разработать варианты усиления.

Причинами изменения прочности и деформативности являются следующие механические явления. При наличии сцепления арматуры с бетоном при действии внешней нагрузки деформации совместны (одинаковы), а сечение (в зоне чистого изгиба) остается плоским (гипотеза плоских сечений). При этом напряжение (усилие) в арматуре распределяется пропорционально изгибающему моменту. При нарушении (отсутствии) сцепления на некоторой длине деформации несовместны, сечение не является плоским, а распределение напряжений в арматуре по длине не пропорционально изгибающему моменту: общее удлинение арматуры на поврежденном участке больше, чем при наличии сцепления. В связи с этим прочность снижается и усиливается деформативность (в данном случае углы поворота и прогиб).

В работе предлагается две расчетные модели, которые в дальнейшем необходимо сопоставить между собой по результатам расчетов и с данными из опытов.

Первая модель показана на рис. Она основана на интегральном принципе: «параметр влияния-интегральный показатель». На горизонтальной оси определяется относительный размер нарушения сцепления арматуры с бетоном (L_o – размер дефекта; L – общая длина):

$$\omega = L_o/L.$$

Возможное изменение этой величины в интервале $[0...1]$. При отсутствии повреждения величина $L_o = 0$. При $L_o = L$, что соответствует нарушению сцепления по всей длине, $\omega = 1$.

На вертикальной оси определяется величина момента, который соответствует параметрам сечения в предельном состоянии [2].

Точка (а) соответствует величине M_{ult} , а точка (б) – моменту появления трещин M_{crc} при отсутствии арматуры. В точке (в), когда $L_o = L$ (полностью отсутствует сцепление), несущая способность сечения в зоне чистого изгиба определяется величиной – M_{crc} . Прямая линия (а-в) принятая зависимость между M_{ult} и ω , то есть $M_{ult} = \phi(\omega)$. В действительности принятая функция не является линейной. Скорее всего она является криволинейной с выпуклостью вверх. Это показывают существующее испытания: появление трещин в растянутой зоне, что приводит к частичному нарушению сцепления, не дают существенного снижения величины M_{ult} . Вид этой зависимости может быть установлен проведением соответствующих опытов. Принятие линейной зависимости дает некоторый запас надежности расчетов.

Принятие линейной зависимости позволяет достаточно просто вычислить величину $M_{ult,j}$, соответствующую $\omega_j = L_{oj}/L$.

Удобнее на вертикальной оси определять относительную величину $\eta = M_{ult,j}/M_{ult}$, которая при $\omega_j = 0$ равна -1:

$$\eta = -a*\omega_j+1, \quad (3)$$

где $a = M_{crc}/M_{ult}$; η – относительная величина снижения величины изгибающего момента в предельном состоянии (прочность).

Аналогичная схема может быть применена для оценки снижения несущей способности (прочности) для плит, работающих в двух направлениях. В этом случае параметр ω_j определяется как соотношение площадей:

$$\omega_j = A_{oj}/A, \quad (4)$$

где соответственно A_{oj} и A – поврежденная площадь и вся площадь плиты, на которой действует внешняя нагрузка.

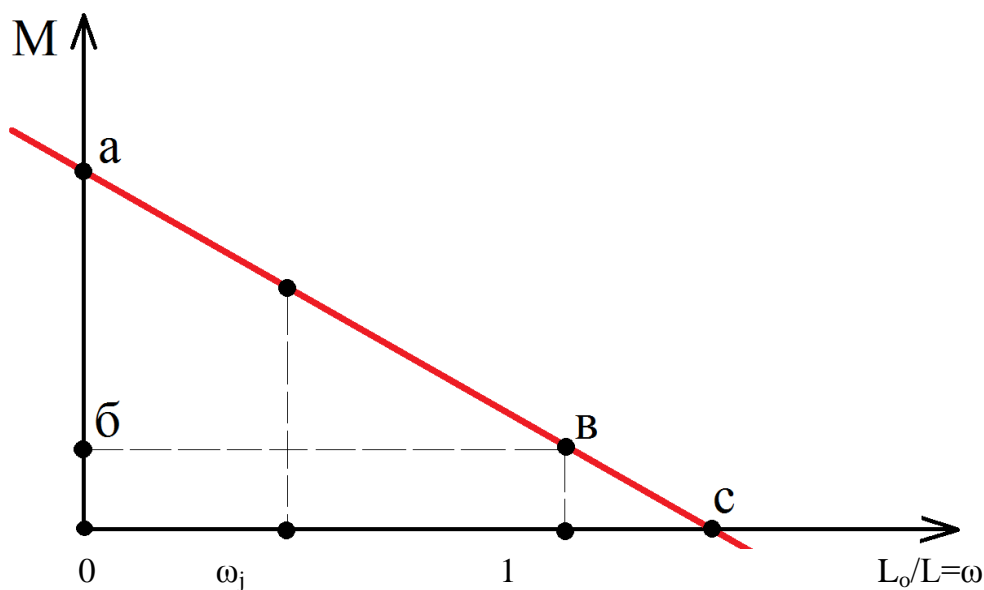


Схема к расчету изгибаемого элемента
с нарушением сцепления арматуры с бетоном

Второй вариант расчетной модели предназначен для применения с использованием программного комплекса «Ли́ра». Для балочных и плитных конструкций применяется прямоугольный «конечный элемент» балки-стенки или оболочки. Арматура моделируется стержневыми элементами с шестью «степенями свободы».

Конечные элементы арматуры присоединяются в соответствующих местах балок и плит и применением «связевых элементов», которые обладают следующими жесткостями: осевые, изгибные, крутильные и изгибные и поперечные. Эти жесткости определяют деформативность сцепления арматуры с бетоном. Основной характеристикой деформативности сцепления является поперечная жесткость – $B_{non}=B_{cy}$.

Величина B_{cy} устанавливается по данным экспериментальных исследований, которые можно найти в следующих изданиях [9, 10, 11].

На основании экспериментальных исследований величина жесткости вычисляется по величине выдергивающей силы (силы растяжения арматуры) – T_{cy} и соответствующего сдвига арматуры относительно бетона – g_{cy} :

$$B_{cy} = B_{non} = T_{cy} / g_{cy}. \quad (5)$$

В табл. приведены некоторые значения, полученные из опытов.

Возможно теоретическое определение величины жесткости сцепления на основе теории упругости:

$$\tau = G * \gamma; \quad \gamma = tg \gamma = g_{cy} / l, \quad G = E / 2(1 + \mu).$$

Таблица
Величина выдергивающей силы (сила растяжения арматуры)

Прочность бетона кгс/см ²	M475	M200÷300	M300
Величина $B_{cц}$, кгс/см	0,47*10 ⁶	0,62*10 ⁶	0,72*10 ⁶

На основании этих зависимостей:

$$T_{cц} = A_{cц} * G/l * g_{cц}. \quad (8)$$

На основании теоретических и экспериментальных исследований основная доля от общего сопротивления сдвигу арматуры относительно бетона приходится на сопротивление смятию бетона под выступами профиля архитектуры. Деформация смятия в 5÷7 раз больше, чем при сжатии бетона. Поэтому принимая вместо $E_{см} = E_b/5$ и $\mu = 0,2$ получим $G_{cц} = 0,08 E_b$. С учетом этого, определяя $A_{cц} = u_s * s$, $l = 2d_s$, где u_s – периметр арматуры, S – расстояние между выступами, вычисляется величина:

$$B_{non} = B_{cц} = A_{cц} * G_{cц}/l. \quad (7)$$

Влияние прочности бетона учитывается через величину $E = E_b$ с использованием [3].

Величины других пяти жесткостей практически не влияют на сцепление арматуры с бетоном. Их величины могут быть назначены десятикратным увеличением – $B_{non} = B_{cц}$.

Заключение

Предлагаемые модели для расчета влияния нарушения сцепления арматуры с бетоном на прочность стержневых и плитных элементов отражают основные физические явления, определяющие совместную работу арматуры и бетона.

При соответствующих экспериментальных подтверждениях первая модель может применяться для практического применения, а вторая – для проведения численных исследований. Для моделирования нарушения (или отсутствия) сцепления в этой модели величина жесткости по (7) назначается уменьшенной или очень малой.

Библиографический список

1. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений: Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК) Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – 105 с.

2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004. – 27 с.
3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ГУП НИИЖБ, 2004. – 55 с.
4. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах: совместное издание СССР-ЧССР-ФРГ / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Морди. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
5. Обследование и испытание сооружений: Учебник для ВУЗов / О.В. Лузин, А.Б. Злочевский и др. – М.: Стройиздат, 1987. – 195 с.
6. Реконструкция зданий и сооружений / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.В. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
7. Рейтман, А.Г. Предупреждение аварий жилых зданий / А.Г. Рейтман. – М.: Стройиздат, 1990. – 240 с.
8. Запрутин, Г.Н. Исследование эксплуатационной пригодности железобетонных угольных бункеров: сб. научн. трудов / Г.Н. Запрутин, М.К. Палкин. – Челябинск, 1996.
9. Сцепление арматуры с бетоном (по материалам Всесоюзного научно-технического совещания в Челябинске). – М., 1971.
10. Исследования по бетону и железобетону (сб. научных работ № 13-56). – Челябинск: ЧПИ, 1968.
11. Исследования по бетону и железобетону (сб. научных трудов № 149). – Челябинск: ЧПИ, 1974.

[К содержанию](#)