

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

БАЖЕНОВ Ю.М., ЕРОФЕЕВ В.Т., НОВИЧКОВ П.И.

Известно, что при воздействии внешней агрессивной среды природного или техногенного характера пассивирующие свойства бетона по отношению к арматуре утрачиваются, и она (арматура) начинает корродировать. В стержневых элементах процесс коррозии начинается с угловых стержней, вследствие чего в угловых зонах в первую очередь появляются коррозионные трещины [5], снижающую несущую способность железобетонных элементов и обезображивающие эстетический вид.

В данной работе методами теории массопереноса решается задача распространения фронта реакции в железобетонных стержневых элементах прямоугольного сечения и на основе этих решений предлагается оригинальное конструктивное решение арматуры в сечении с учетом ее равнодолговечности.

Расположение продольных рабочих арматурных стержней в принятом традиционном решении армирования прямоугольных (тавровых, двутавровых) сечений показано на рис. 1а.

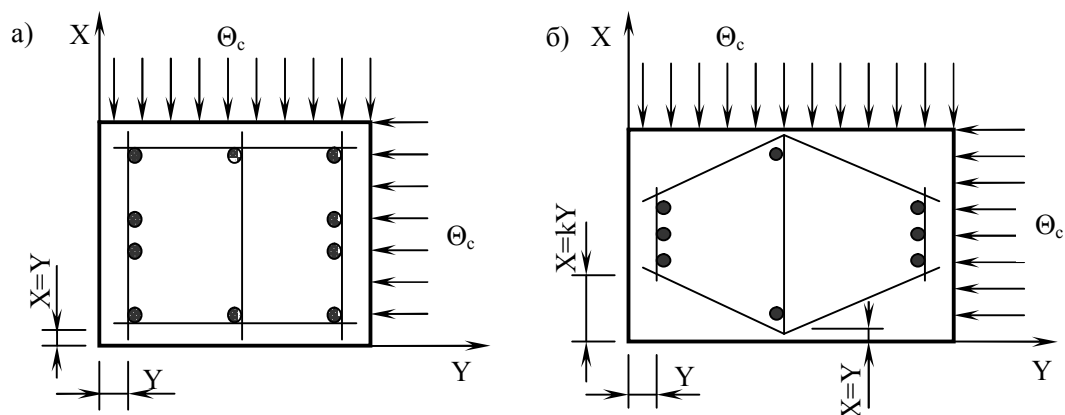


Рис. 1

- а) традиционное решение расположения арматуры;
- б) решение расположения арматуры с равными условиями работы промежуточных и угловых стержней за счёт смещения угловых стержней;

При этом толщины защитных слоёв бетона, как расстояния от взаимно перпендикулярных поверхностей элемента до арматурных стержней, принимаются равными, то есть $X = Y$. Такое расположение арматуры заведомо предполагает неодинаковые условия работы в агрессивных средах для угловых и для промежуточных стержней.

Угловые участки поперечного сечения с расположенными в них угловыми арматурными стержнями подвергаются воздействию агрессивной среды с двух взаимно перпендикулярных поверхностей и в теории переноса потенциала массы идеализируются в виде двухгранного угла. Участки поперечного сечения, примыкающие к промежуточным арматурным стержням, удалённые от угловых зон на достаточное расстояние и испытывающие воздействие внешней среды только в одном направлении, идеализируются в виде полуограниченного тела.

Дифференциальное уравнение переноса потенциала массы или потенциалопроводимости по записи аналогично второму закону Фика [1, 3] (без учёта тепло- и бародиффузии и при отсутствии внутренних источников или стоков тепла или массы):

$$\frac{d\Theta}{d\tau} = a\Delta^2\Theta, \quad (1)$$

где Θ - перенос потенциала как функция времени и координат; τ - время; a - эквивалентный коэффициент потенциалопроводимости.

Решение уравнения (1) при граничных условиях первого рода запишется следующим образом:

а) для полуограниченного тела в виде параметра относительной потенциалопроводимости Θ_{nm} :

$$\Theta_{nm} = \frac{\Theta_c - \Theta(y, \tau)}{\Theta_c - \Theta_0} = 1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0y}}}; \quad (2)$$

б) для двухгранного угла в виде параметра относительной потенциалопроводимости $\Theta_{\partial y}$:

$$\Theta_{\partial y} = \frac{\Theta_c - \Theta(x, y, \tau)}{\Theta_c - \Theta_0} = 1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0y}}} + \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} \times \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0y}}} \quad (3)$$

где Θ_0 - начальное распределение переноса потенциала в теле; Θ_c - переноса потенциала для окружающей среды; $F_{0x} = \frac{a\tau}{X^2}$, $F_{0y} = \frac{a\tau}{Y^2}$ - числа Фурье (безразмерное время) соответственно по координате X и по координате Y ; $\operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0i}}} = 1 - \operatorname{erf} \frac{1}{2\sqrt{F_{0i}}}$, $\operatorname{erf} \frac{1}{2\sqrt{F_{0i}}}$ - функция ошибок Гаусса.

Запишем левые части уравнений (2) и (3) следующим образом:

$$\frac{\Theta(y, \tau)}{\Theta_0} = \Theta_{nm} \left(1 - \frac{\Theta_c}{\Theta_0}\right) + \frac{\Theta_c}{\Theta_0}; \quad (4)$$

$$\frac{\Theta(x, y, \tau)}{\Theta_0} = \Theta_{\partial y} \left(1 - \frac{\Theta_c}{\Theta_0}\right) + \frac{\Theta_c}{\Theta_0} \quad (5)$$

Немаловажное практическое значение имеет решение задачи о размещении угловых арматурных стержней таким образом, чтобы они находились приблизительно в одинаковых условиях с промежуточными арматурными стержнями с точки зрения достижимости во времени равных относительных концентраций потенциала переноса массы. Выполнение этого условия, основанного на равенстве правых частей уравнений (4) и (5)

$$\theta_{nm} \left(1 - \frac{\theta_c}{\theta_o} \right) + \frac{\theta_c}{\theta_o} = \theta_{oy} \left(1 - \frac{\theta_c}{\theta_o} \right) + \frac{\theta_c}{\theta_o} \quad (6)$$

предполагает равенство параметров переноса массы для полуограниченного тела и для двухгранного угла $\theta_{nm} = \theta_{oy}$. Приравнявая правые части уравнений (2) и (3)

$$1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0y}}} = 1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} + \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} \times \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0y}}} \quad (7)$$

получаем, что выполнение одновременной достижимости равенства относительных концентраций потенциала переноса массы для полуограниченного тела и для двухгранного угла, имеющих одну общую координату Y , возможно при соблюдении условия

$$1 = 1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} \quad (8)$$

или

$$\operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} = 0 \quad (9)$$

Удовлетворяющим уравнению (9) является решение $\frac{1}{2\sqrt{F_{0x}}} = \infty$, или

$F_{0x} = \frac{a\tau}{x^2} \rightarrow 0$. Полученное решение не вызывает сомнений и справедливо для начального распределения при $F_{oi} = 0$, когда оба тела находятся в равновесном состоянии с окружающей средой.

При воздействии окружающей среды для времени $\tau > 0$ и эквивалентном коэффициенте теплопроводности $a \neq 0$ стремление к нулю числа

$F_{0x} = \frac{a\tau}{x^2} \rightarrow 0$ возможно лишь при $x \rightarrow \infty$. Таким образом, угловые стержни в

прямоугольном сечении теоретически будут находиться в одинаковых условиях с промежуточными стержнями в том случае, если двухгранный угол трансформируется в неограниченное тело.

Для практического решения этой задачи следует задаться допустимой величиной расхождения ε_o в определении относительных параметров потенциала переноса массы для полуограниченного тела θ_{nm} и для двухгранного угла $\theta_{\partial y}$, удовлетворяющей неравенству

$$\frac{\theta_{nm} - \theta_{\partial y}}{\theta_{nm}} < \varepsilon_o \quad (10)$$

Левая часть неравенства (10) будет представлять из себя не что иное, как

$$\begin{aligned} \frac{\theta_{nm} - \theta_{\partial y}}{\theta_{nm}} &= \frac{\left(1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_y}}\right) - \left(1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_y}} - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_x}} + \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_x}} \times \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_y}}\right)}{1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_y}}} = \\ &= \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_x}} \end{aligned} \quad (11)$$

Обозначим через ε_a абсолютное отклонение значения параметра потенциала переноса массы полуограниченного тела θ_{nm} от параметра двухгранного угла $\theta_{\partial y}$, которое запишем в виде $\varepsilon_a = \theta_{пт}(Fo_y) - \theta_{\partial y}(Fo_y, Fo_x)$. Тогда относительное расхождение ε_o и абсолютное отклонение ε_a будут связаны между собой следующим уравнением

$$\varepsilon_o = \frac{\varepsilon_a}{\theta_{nm}(Fo_y)} \quad (12)$$

Как видно из формулы (12), при постоянном значении относительного расхождения между параметрами потенциалов переноса массы ε_o , величина абсолютного отклонения ε_a уменьшается с ростом параметра потенциала переноса массы $\theta_{nm}(Fo_y)$ для полуограниченного тела и, естественно, становится равной нулю при установлении равновесного состояния.

При практическом проектировании железобетонных элементов, связанных при эксплуатации с переносом потенциала массы, правильнее пользоваться не относительным допустимым расхождением ε_o , а абсолютным отклонением между параметрами потенциала переноса массы ε_a , которое, исходя из формул (11) и (12), будет равно

$$\varepsilon_a = \varepsilon_o \theta_{nm}(Fo_y) = \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_x}} \left(1 - \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo_y}}\right) \quad (13)$$

Количественно ε_a , как величину ошибки, получаемую при вычислении параметра потенциала переноса массы для двухгранного угла θ_{ay} по формуле (2), как для полуограниченного тела, целесообразно соотнести с величиной доверительной вероятности, принятой при определении нормативной прочности бетона [2]. В соответствии с величиной доверительной вероятности равной 0,95 значение абсолютного отклонения между параметрами потенциала переноса массы полуограниченного тела и двухгранного угла будет равно $\varepsilon_a = 0,05$ или 5%.

На рис. 2 представлен график, пользование которым позволит по известному значению $Fo_y = a\tau/Y^2$ определить соотношение $K = X/Y$ между координатами X и Y для угловых стержней. Как видно из графика, параметр K изменяется во времени неоднозначно. При малых числах Фурье ($Fo_y < 2$) значение параметра не превышает величины равной $K \approx 2,5-3$. Для средних значений чисел Фурье, находящихся в пределах $Fo_y = 2-80$, параметр K монотонно возрастает до максимального значения, равного $K = 5,5$ при $Fo_y = 30$, а затем начинает монотонно убывать до значения $K = 3$ при $Fo_y = 80$. При больших значениях чисел Фурье ($Fo_y > 80$) параметр K продолжает убывать.

Результаты проведенных исследований показывают, что на внешнее воздействие среды угловые и промежуточные зоны прямоугольных сечений реагируют неоднозначно. Угловые зоны находятся в более жестких условиях по сравнению с промежуточными. Это свойство необходимо учитывать при размещении продольной арматуры при проектировании стержневых железобетонных конструкций прямоугольного сечения. Значение параметра K однозначно определяется по графику на рис. 2 как функции числа $Fo_y = a\tau/Y^2$.

Правильное размещение продольной арматуры, когда угловые и промежуточные арматурные стержни будут находиться приблизительно в одинаковых условиях, показано на рис. 1б.

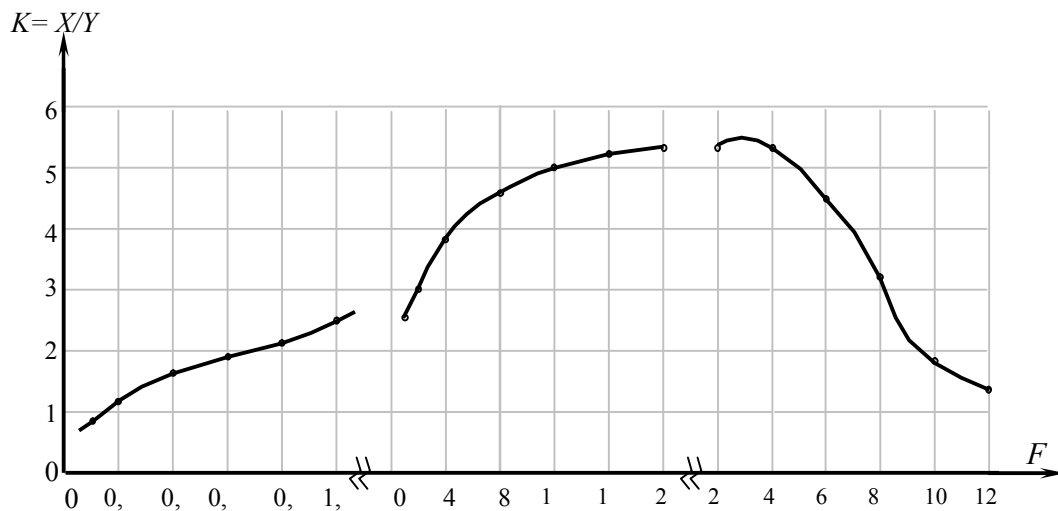


Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В., *Теория теплопроводности*, М.: Высшая школа, 1967, С.600.
2. СНиП 2.03.01-84, *Бетонные и железобетонные конструкции*, Госстрой СССР, М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985, С.79.
3. Франк-Каманецкий Д.А., *Диффузия и теплопередача в химической кинетике*, М.: Наука, 1967, С.491.
4. Luikov A.V. and Mikhailov Y.A., *Theory of energy and Mass Transfer*, Prentice - Hall Inc., New York, 1961, Pergamon Press, London, 1965.
5. Schäden und Mängel an Baukonstruktionen (Beurteilung, Sicherung, Sanierung), 2 Auflage. R. Rybichi, Werner - Verlag, Düsseldorf, 1974, P.432.

Nhận bài ngày 18 tháng 11 năm 2013

Hoàn thiện ngày 26 tháng 12 năm 2013