

Примером повреждения железобетонных конструкций во влажной атмосфере может служить коррозия кровельных плит более чем в 30 зданиях цехов по производству сборного железобетона, которые мы обследовали за последние 5 лет.

Систематические измерения, проводившиеся в течение года, показали, что относительная влажность воздуха в этих цехах превышает 75 % и часто достигает 90 – 98 %. В то же время в существующих нормах проектирования указано, что теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий цехов сборного железобетона следует проводить с учетом влажности воздуха в помещении, равной 60 %.

Отсутствие антикоррозионной защиты приводит к тому, что в ряде цехов разрушение плит происходит после 10 – 15 лет эксплуатации.

В одном из цехов бетон плит карбонизировался в среднем на глубину 11 мм, в отдельных же местах – до 30 мм. Проектная толщина защитного слоя 15 мм в ребрах большинства плит не выдержана. Арматура оказалась в карбонизированном бетоне, начала корродировать и после указанного срока вызвала растрескивание бетона примерно в 30 % общего количества плит.

В другом цехе после 6 лет эксплуатации бетон ребристых кровельных плит карбонизировался в среднем на глубину 9 мм. Поскольку процесс карбонизации развивается по закону корня квадратного из времени, защитный слой бетона такой плотности толщиной 15 мм будет карбонизован примерно за 17 лет. Однако отклонения толщины защитного слоя от проектной и неоднородность бетона по плотности приводят к тому, что коррозия арматуры развивается в более ранние сроки.

На первом заводе ЖБК Гомельского ДСК в двух пролетах цеха подвергнутые коррозии ребристые плиты покрытия пришлось заменить, так как они исчерпали свой ресурс и их износ составил более 80 %.

В промышленных зданиях цехов химических заводов, где, помимо углекислого газа, в воздухе присутствуют другие кислые газы, нейтрализация бетона развивается с большей скоростью и потеря защитных свойств наступает в более ранние сроки.

При проектировании новых зданий следует учитывать опыт эксплуатации железобетонных конструкций в цехах с технологией, аналогичной проектируемой, необходимо оценивать реальную агрессивность среды цеха и назначать указанную в СНиП антикоррозионную защиту. При этом основным и наиболее экономически целесообразным мероприятием является применение бетона с нормированной плотностью.

Ремонт конструкций заключается в удалении растрескавшегося нейтрализованного слоя бетона и затем в обетонировании или торкретировании их плотным бетоном. Железобетонные элементы, в которых бетон нейтрализовался не на полную толщину защитного слоя, защищают плотными лакокрасочными покрытиями, которые должны прекратить поступление кислых газов в глубь бетона и остановить процесс нейтрализации. В дальнейшем эти покрытия необходимо своевременно обновлять.

На железобетонные конструкции часто попадают технологические и другие агрессивные растворы, вызывая коррозию арматуры и бетона.

Хлористые соли, как добавка-ускоритель твердения, способны вызвать коррозию арматуры. При введении в бетонную смесь хлористого кальция часть его связывается в малорастворимое соединение гидрохлоралюминат кальция и оксихлориды. Остальная часть хлористого кальция остается в активном по отношению к стали состоянии. СНиП 2.03.11-85 допускает введение в бетон не более 1 % хлоридов.

УДК 621.316.995

## ТРЕХСЛОЙНАЯ КРУГЛАЯ ПЛАСТИНА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

А. С. ГОВОРКОВ

*Белорусский государственный университет транспорта*

Рассматривается несимметричная по толщине упругая трехслойная пластина круглой формы, лежащая на упругом основании. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ . Заполнитель считаем легким. Внешняя вертикальная нагрузка не зависит

от координаты  $\varphi$ :  $q = q(r)$ . На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительно сдвигу слоев. В силу симметрии задачи тангенциальные перемещения в слоях отсутствуют [ $u_{\varphi}^{(k)} = 0$  ( $k$  – номер слоя)], а прогиб пластины  $w$ , относительный сдвиг  $\psi$  и радиальное перемещение срединной плоскости заполнителя  $u$  не зависят от координаты  $\varphi$ , т. е.  $u(r)$ ,  $\psi(r)$ ,  $w(r)$ . В дальнейшем эти функции считаем искомыми. Все перемещения и линейные размеры пластины отнесены к ее радиусу  $r_0$ ; через  $h_k$  обозначена толщина  $k$ -го слоя.

Предполагается, что связь напряжений и деформаций в слоях описывается соотношениями линейной теории упругости (без суммирования по  $k$ )

$$s_{\alpha}^k = 2G_k \varepsilon_{\alpha}^k, \quad y^k = K_k \theta^k.$$

Введем переменные:  $K_k + \frac{4}{3}G_k \equiv K_k^+$ ,  $K_k - \frac{2}{3}G_k \equiv K_k^-$ .

Система дифференциальных уравнений изгиба имеет вид

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w, r) &= -p; L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w, r) = 0, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w, r) &= -(q_0 + q_R), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $q_R$  – реакция основания;  $q_0$  – интенсивность внешней распределенной нагрузки. Коэффициенты  $a_i$  и дифференциальные операторы  $L_2, L_3$  определяются соотношениями:

$$a_1 = \sum h_k K_k^+; \quad a_2 = c(h_1 K_1^+ - h_2 K_2^+);$$

$$a_3 = h_1(c + \frac{1}{2}h_1)K_1^+ - h_2(c + \frac{1}{2}h_2)K_2^+; \quad a_4 = c^2(h_1 K_1^+ + h_2 K_2^+ + \frac{2}{3}cK_3^+);$$

$$a_5 = c[h_1(c + \frac{1}{2}h_1)K_1^+ + h_2(c + \frac{1}{2}h_2)K_2^+ + \frac{2}{3}c^2 K_3^+];$$

$$a_6 = h_1(c^2 + ch_1 + \frac{1}{3}h_1^2)K_1^+ + h_2(c^2 + ch_2 + \frac{1}{3}h_2^2)K_2^+ + \frac{2}{3}c^3 K_3^+;$$

$$L_2(g) \equiv \left( \frac{1}{r} (rg) \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2};$$

$$L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (rL_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

При решении задачи использовалась модель Винклера.

Общее решение системы (1) имеет вид

$$\begin{aligned} u &= b_1 w_{,r} + C_1 r + \frac{C_2}{r}; \quad \psi = b_2 w_{,r} + C_3 r + \frac{C_4}{r}; \\ w &= C_5 \operatorname{ber} x + C_6 \operatorname{bei} x + C_7 \operatorname{kei} x + C_8 \operatorname{ker} x + w_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $b_1 = \frac{a_1 a_4 - a_2^2}{a_1}$  и  $b_2 = \frac{a_1 a_5 - a_2 a_3}{a_1}$ ,  $x = \kappa r$ ,  $w_0$  – частное решение уравнения

$$w_{,rrr} + \frac{2}{r} w_{,rr} - \frac{1}{r^2} w_{,r} + \frac{1}{r^3} w + \kappa w = q$$

и зависит от вида распределенной нагрузки  $q_0$ ;  $\operatorname{ber} x$ ,  $\operatorname{bei} x$ ,  $\operatorname{kei} x$ ,  $\operatorname{ker} x$  – функции Кельвина порядка 0;  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$  – константы интегрирования, которые определяются из граничных условий.