

Т. И. Матченко, Л. Б. Шамис, Л. Ф. Первушова

*ПАО «Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект»
просп. Победы 4, Киев, 01135, Украина*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА

Выполнена предварительная оценка ресурса покрытия и несущих стальных конструкций нового безопасного конфайнмента в коррозионной среде. Установлено, что в случае отказа в работе системы кондиционирования ресурс покрытия составляет 34 года. Ресурс стальных элементов составляет 75 лет.

Выполнено расчетное обоснование долговечности надземных и подземных частей фундаментов с учетом влияния агрессивности атмосферы, грунта и скорости движения подземных вод.

Ключевые слова: ресурс, коррозия, железобетон, долговечность, конфайнмент.

Введение

Одним из важных элементов оценки безопасности нового безопасного конфайнмента (НБК) на ЧАЭС является оценка ресурса несущих и ограждающих конструкций и обеспечение работоспособности НБК на срок, превышающий 100 лет. «Арка» НБК в основном состоит из металлических элементов, которые в обычных условиях подвержены коррозии.

Для предотвращения или замедления процесса коррозии в междуарочном пространстве между внешней и внутренней облицовками предусмотрена система кондиционирования, которая должна обеспечить влажность воздуха меньше 60 % постоянно на протяжении всего срока эксплуатации НБК. Однако элементы облицовки содержат участки (щели, пазы и др.), где обмен воздуха происходит с малой скоростью. В случае временной аварии системы кондиционирования в щелях облицовки может образоваться влага в результате конденсата. При возобновлении после аварии работы системы кондиционирования влага в щелях может удерживаться продолжительное время и способствовать контактной и щелевой коррозии.

Также для обеспечения проектного срока эксплуатации необходима предварительная расчетная оценка долговечности элементов железобетонных конструкций с учетом агрессивности окружающей среды.

Цель работы: оценить возможность коррозии конструкции НБК из углеродистой стали в случае превышения 60 % влажности в междуарочном пространстве и оценить их ресурс в этом случае.

Основное содержание

Внешняя обшивка НБК (рис. 1) представляет собой стальной профилированный настил из оцинкованной углеродистой стали, крепящийся к прогонным балкам саморезами. Поверх профилированного настила располагаются перемычки, которые крепятся к нему саморезами, на которые устанавливаются соединители для поддержки внешних панелей через равные расстояния. Соединители крепятся к перемычкам также саморезами. Внешние панели из нержавеющей стали выполнены со стоячими фальцами. В пространстве между стальным профилированным настилом и внешними панелями из нержавеющей стали находятся герметичная мембрана и теплоизоляция.

Профилированный настил RD 89/305/915 (рис. 2) выполняется из листа углеродистой оцинкованной стали толщиной 1,25 мм с покраской на обеих сторонах для обеспечения дополнительной коррозионной стойкости. Марка оцинкованной стали S320 GD+Z-275 согласно стандартам EN 10346 и EN 10169.

Внутренняя обшивка (рис. 3) завершает внутренний свод, а также формирует внутреннее пространство (кольцевое пространство) внешней обшивки. Профилированный настил из оцинкованной углеродистой стали также крепится саморезами между прогонными балками с дополнительной герметизацией для обеспечения плотности по воздуху. Специально изготовленные панели внутренней обшивки из оцинкованной углеродистой стали крепятся к внутреннему профилированному настилу и также герметизируются по воздуху.

В результате попадания воды вследствие образования конденсата на профилированный настил из углеродистой оцинкованной стали, в местах повреждения защитного слоя оцинковки саморезами, сталь будет подвергаться контактной коррозии.

© Т. И. Матченко, Л. Б. Шамис, Л. Ф. Первушова, 2015

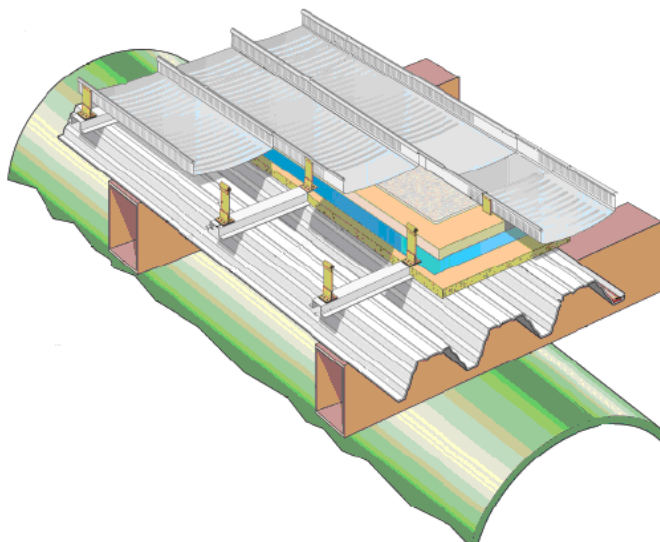


Рис. 1. Внешняя обшивка

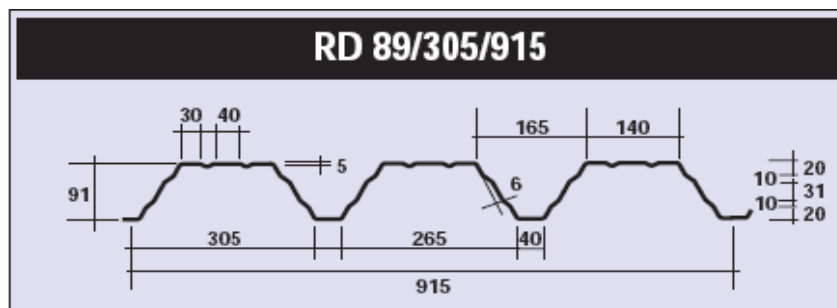


Рис. 2. Сечение RD 89/305/915

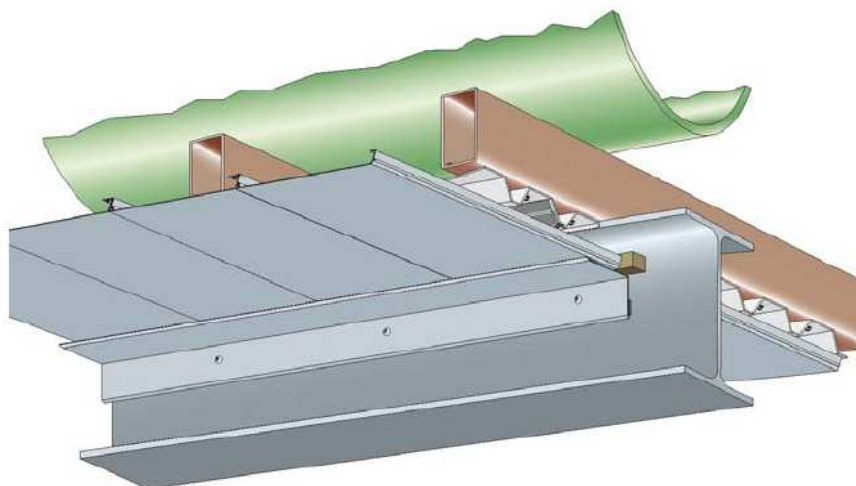


Рис. 3. Внутренняя обшивка.

Расчет ресурса металлоконструкций НБК в коррозионной среде

В соответствии с методикой [2] ресурс конструкций НБК определяют по формуле

$$t_r = t_c + (h_0 - h_t) / V, \quad (1)$$

где t_r – расчетная долговечность профильной стали для принятого технического состояния (лет); t_c – минимальное прогнозируемое время сохранения защитных свойств грунтовок, покраски и оцинковки

в местах прорези саморезами металлоконструкций $t_c = 10$ лет; h_0 – толщина профиля проектная ($h_0 = 1,25$) мм; h_t – толщина листа для заданного технического состояния в соответствии с ДБН 362-92; V – скорость коррозии углеродистой стали в местах повреждения оцинковки саморезами в соответствии с [1, 3]. Так как профилированный настил корродирует с двух сторон, то $V = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ мм/год.

Результаты расчетов по формуле (1) приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Состояние конструкции по табл. 13 ДБН 362-92 | Физический износ, % | h_t , мм | t_r , лет |
|--|---------------------|------------|-------------|
| Хорошее | 5 | 1,14 | 3 |
| Удовлетворительное | 15 | 1,02 | 9 |
| Неудовлетворительное | 40 | 0,72 | 24 |
| Крайне неудовлетворительное | 75 | 0,30 | 45 |
| Аварийное | >75 | | |

Из табл. 1 видно, что $t_r = 10 + 24 = 34$ года.

Т. е. в соответствии с методикой [2] через 34 года эксплуатации профилированного настила покрытия НБК в местах прорези саморезами придет в неудовлетворительное состояние.

Скорость коррозии резьбового соединения профилированного настила НБК определяется по формуле

$$V_p = V_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (2)$$

где V_p – скорость коррозии основного металла, мм/год, по [3]; k_1 – коэффициент, который учитывает изменение структуры резьбового соединения в сравнении с основным металлом; k_2 – коэффициент, который учитывает корреляцию между ускоренными испытаниями в лабораторных условиях и в условиях эксплуатации элементов покрытия; k_3 – коэффициент, который определяется в зависимости от показателя агрессивности среды: $k_3 = 1$ – неагрессивная, $k_3 = 1...1,2$ – слабоагрессивная, $k_3 = 1,2...2,0$ – низкоагрессивная, $k_3 = 2,0...3,5$ – среднеагрессивная, $k_3 = 3,5...8,0$ – высокоагрессивная, $k_3 = 8,0$ и больше – сильноагрессивная среда.

В соответствии с [1, 3] для стали скорость коррозии резьбового соединения $V_0 = 0,01$ мм/год; $k_1 = 1,0$; $k_2 = 1,0$; $k_3 = 1,2$ – среднеагрессивная среда.

Тогда $V_p = 0,012$ мм/год.

При коррозии с двух сторон $V_p = 2 \cdot 0,012 = 0,024$ мм/год.

Долговечность резьбового соединения профилированного настила НБК определяется по формуле

$$\tau_p = \tau_3 + (h_0 - h_t) / V_p, \quad (3)$$

где τ_p – расчетная долговечность резьбового соединения (металл зубьев), год; τ_3 – минимально прогнозируемый срок хранения защитного антикоррозионного слоя, год (10 лет); h_0 – проектная высота зубьев соединения; h_t – высота зубьев после коррозии в соответствии с допустимым техническим состоянием (табл. 13 ДБН 362-92); y_t – глубина коррозии $y_t = h_0 - h_t$.

В зубьях резьбового соединения профилированного настила НБК проектная высота зубьев составляет $h_0 = 3$ мм.

Для профилированного настила наихудшее допустимое техническое состояние – удовлетворительное, т. е. $y_t = 0,40h_0$.

Тогда для неудовлетворительного состояния $\tau_p = 10 + (3 - 1,8) / 0,021 = 67$ лет.

Из двух расчетов в соответствии с консервативным подходом состояние резьбовых соединений профилированного настила покрытия НБК будет оставаться удовлетворительным до 34 лет эксплуатации с момента пуска НБК.

Оценка ресурса несущих металлоконструкций НБК

К основным исследуемым конструкциям, ресурс которых определяет долговечность НБК в целом, относятся стальные решетчатые НБК, связи по верхним и нижним поясам арок, восточная стена, западная стена, включая стойку, опирающуюся на фундамент.

Ресурс указанных конструкций в первую очередь зависит от влияния коррозии.

Коррозия может привести к уменьшению рабочего сечения элементов и в случае превышения предельной величины привести к повреждению. Предельная величина коррозии определяется, исходя из напряженного состояния конструктивных элементов после их уточнения, и сравнивается с несущей способностью этих элементов.

Во внутренних помещениях в условиях отсутствия агрессивной среды по опытным данным коррозия составляет 0,01 мм/год, что приведет к величине глубины коррозии, равной 1 мм за 100 лет. Глубина коррозии a может быть определена по эмпирической зависимости

$$a = k \cdot \sqrt{t}, \quad (4)$$

где t – время, год; $k = 0,075$ – коэффициент скорости коррозии при неагрессивной среде.

В этом случае за 100 лет $a = 0,75$ мм, что соответствует величине, определенной по опытным данным.

Таблица 2

| Конструктивный элемент | Сечение | | Утонение стенки, % за лет | | | |
|------------------------|---------|------|---------------------------|------|------|------|
| | D | t | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 1. Арка | | | | | | |
| 1.1. Верхний пояс | 813 | 35 | 1,4 | 2,9 | 4,3 | 5,7 |
| | 813 | 30 | 1,7 | 3,3 | 5,0 | 6,7 |
| | 813 | 25 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 |
| | 813 | 16 | 3,1 | 6,3 | 9,4 | 12,5 |
| 1.2. Нижний пояс | 813 | 35 | 1,4 | 2,9 | 4,3 | 5,7 |
| | 813 | 30 | 1,7 | 3,3 | 5,0 | 6,7 |
| | 813 | 25 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 |
| 1.3. Раскосы | 813 | 16 | 3,1 | 6,3 | 9,4 | 12,5 |
| | 813 | 12,5 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | 16,0 |
| 1.4. Стойки | 406,4 | 6 | 8,3 | 16,7 | 25,0 | 33,3 |
| | 406,4 | 10 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 |
| | | | | | | |
| 2. Связи | 406,4 | 6 | 8,3 | 16,7 | 25,0 | 33,3 |
| | 406,4 | 8 | 6,3 | 12,5 | 18,8 | 25,0 |
| | 406,4 | 10 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 |
| | 508 | 12,5 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | 16,0 |
| 3. Каркас стен | 406,4 | 6 | 8,3 | 16,7 | 25,0 | 33,3 |
| 3.1. Элементы каркаса | 406,4 | 8 | 6,3 | 12,5 | 18,8 | 25,0 |
| | 406,4 | 10 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 |
| 3.2. Колонна | 508 | 8 | 6,3 | 12,5 | 18,8 | 25,0 |
| | 508 | 12 | 4,2 | 8,3 | 12,5 | 16,7 |

Из табл. 2 следует, что некоторые тонкостенные элементы металлоконструкций НБК через 50...70 лет потеряют от 10 до 15 % своей толщины, что повлияет на их устойчивость и несущую способность.

Для оценки ресурса несущих конструкций НБК через 50...100 лет целесообразно выполнить расчеты НБК методом конечных элементов с учетом изменения площади поперечного сечения элементов.

Описание конструктивных решений фундаментов

Фундамент сервисной зоны выполнен в виде двух симметрично расположенных относительно оси «Арки» ростверков на свайном основании длиной 175,275 м каждая. Ростверки состоят из трех температурных блоков длиной 58,635; 65,335 и 51,305 м, которые разделены двумя деформационными швами. Конструкция деформационных швов предполагает устройство зацепов, исключающих относительное линейное перемещение соседних блоков как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной в направлении «север - юг», и обеспечивает свободное перемещение вдоль оси фундамента.

Сваи приняты железобетонные диаметром 1,0 м и длиной 19,0 м. Сваи в крайних температурных блоках расположены в 4 ряда, в среднем блоке - в 3 ряда.

Ростверк выполнен из бетона класса В50, W6, F200 с арматурой класса А500С и имеет ширину 10 м для среднего температурного блока и 11,5 м для крайних блоков, высота элементов ростверка переменная и изменяется от 2,0 до 4,0 м.

Перечень неблагоприятных факторов

При эксплуатации сооружений первостепенное значение отводится обеспечению безотказной работы несущих конструкций в течение не меньше проектного срока службы, а также правильной и своевременной оценке их технического состояния и выявлению дефектов.

Строительные конструкции в целом эксплуатируются, испытывая ряд воздействий, оказывающих влияние на их долговечность, включая:

многоцикличные физические (климатические) воздействия для наружных конструкций, в том числе увлажнение атмосферными осадками и высушивание, нагрев и охлаждение при суточных колебаниях температуры воздуха и под влиянием инсоляции, замораживание в увлажненном состоянии и оттаивание;

химические воздействия: карбонизация атмосферным углекислым газом, действие агрессивных сред, прежде всего сульфатов и хлоридов, содержащихся в грунтовых водах, действие нефтепродуктов и т.п.;

механические воздействия на внешние элементы конструкций при коррозии внутренних элементов, например раскалывающее воздействие на защитный слой бетона прородированной арматуры за счет увеличения объема продуктов коррозии.

Обоснование срока службы строительных конструкций может быть сделано только с учетом анализа результатов обследования и расчетного обоснования.

Основные решения по обеспечению срока службы надземной части железобетонных конструкций

Долговечность надземных железобетонных конструкций определяется, в основном, величиной глубины и кинетики карбонизации бетона [6, 10, 13]. Опасность появляется с момента, когда глубина карбонизации становится равной защитному слою, вследствие чего начинается коррозия арматуры [7, 11, 13]. Глубину карбонизации можно определить по формулам

$$\gamma = \frac{2 \cdot K_m \cdot D' \cdot C_o}{M_o \cdot K_p} \cdot \sqrt{t}, \quad (5)$$

$$t = Y_c^2 \cdot M_o \cdot K_p / (2 \cdot K_m \cdot D' \cdot C_o), \quad (6)$$

где t – продолжительность процесса карбонизации, лет; Y_c – толщина защитного слоя, см; D' – эффективный коэффициент диффузии, см²/год; M_o – реакционная способность бетона (объем газа, поглощаемый единицей объема бетона); C_o – концентрация углекислого газа в атмосфере, отн. ед. (можно принять $C_o = 4 \cdot 10^{-4}$); K_m – коэффициент, учитывающий климатические условия (для Чернобыльской АЭС можно принять $K_m = 1$); K_p – коэффициент, учитывающий наличие защитной окраски или покрытия:

для незащищенных поверхностей $K_p = 1$;

для окрашенных поверхностей $K_p = 1,25 - 2,0$ в зависимости от вида окраски. В среднем можно принять $K_p = 1,6$;

при защите многослойными полимерными покрытиями $K_p = 3 - 5$ в зависимости от вида покрытия. В среднем можно принять $K_p = 4$.

Глубину карбонизации бетона можно определять по эмпирической формуле

$$\gamma_t = a \cdot \sqrt{t}, \quad (7)$$

где $a = 1,5$ мм/год^{1/2} для бетона В50.

С учетом того, что величины, входящие в первую зависимость, однозначно не определяются, целесообразнее расчет глубины карбонизации выполнить по второй зависимости.

Глубина карбонизации составит: 7,5 мм за 25 лет; 10,6 мм за 50 лет; 13 мм за 75 лет; 15 мм за 100 лет.

За срок эксплуатации, равный 100 лет, защитный слой сохранит свои функции.

Полученные величины не превышают размер защитного слоя, равного 55 мм и более. Защитный слой сохраняет свои функции в течение проектного срока эксплуатации.

Обеспечение необходимого ресурса надземных частей фундамента требует периодического обследования конструкций и оценки их технического состояния.

Основные решения по обеспечению срока службы подземной части железобетонных конструкций

Для свай сервисной зоны опасным фактором старения является коррозия защитного слоя. Защитный слой составляет 75 мм, что обеспечивает срок службы 100 лет.

Выщелачивание извести при фильтрации воды через бетон буроинъекционных свай.

Основным показателем этой коррозии является скорость растворения гидрата окиси кальция. Растворение его происходит при концентрации окиси кальция, близкой к концентрации насыщенного раствора. При малых скоростях фильтрации интенсивность разрушения бетона прямо пропорциональна скорости течения и выщелачивания извести. По мере увеличения скорости течения воды скорость разрушения замедляется. При больших скоростях фильтрации воды интенсивность выщелачивания зависит от скорости диффузии ее из пристенного слоя фильтрата в основную его массу и, естественно, уменьшается.

Расчет допустимого повреждения бетона за срок службы в условиях коррозии I вида может проводиться по общей схеме [8].

Экспериментальные данные для назначения предельно допустимого выноса гидроксида кальция весьма ограничены. Трудность заключается в том, что в большинстве случаев в реальных условиях фильтрация через бетон идет по отдельным сосредоточенным путям, а не равномерно по всему сечению бетона.

Основываясь на данных о содержании свободного гидроксида кальция в цементном камне, можно считать, что после выноса примерно 10 % гидроксида кальция начинается быстрое падение прочности бетона с увеличением количества выносимого CaO. Рассмотрим простейший способ подсчета сроков службы бетона при выщелачивании гидроксида кальция. Ход расчета следующий: определяется количество выносимого гидроксида кальция (в среднем за время службы) единицей объема воды, профильтровавшей через бетон, вычисляется количество воды, которое пройдет через единицу объема бетона в течение единицы времени (года), и общее количество гидроксида кальция, которое допустимо к выносу из единицы объема бетона буроинъекционных свай. Из этих данных определяется срок, в течение которого это произойдет, т.е. срок безопасной службы буроинъекционных свай.

Введем следующие обозначения: $q_{изв}$ – количество извести (CaO), которое может быть удалено из единицы объема бетона без потери им основных эксплуатационных свойств, прежде всего прочности, г/см³; $V_{об}$ – количество воды, фильтрующей в единицу времени через единицу объема бетона (объемная скорость воды), см³/(см³·с); $V_{об} = 0,0425 \cdot 10^{-7}$ см³/(см³·год); $C_{изв}$ – средняя

концентрация извести в воде за время службы конструкций; τ – продолжительность фильтрации воды до достижения выноса $q_{изв}$, равная безопасному сроку службы сооружения:

$$\tau = q_{изв} / V_{об} \bar{C}_{изв} . \quad (8)$$

При этом $q_{изв}$ может быть определено на основании данных о составе бетона и при заданном допустимом проценте выщелачивания извести K , который может быть принят равным 10 % с определенным коэффициентом запаса. Тогда

$$q_{изв} = KЦa , \quad (9)$$

где $Ц$ – содержание цемента в бетоне, г/см³ или кг/л (принимается $Ц = 0,32$); a – содержание СаО в цементе, доли единицы (для портландцемента может быть принято 0,63).

Допустимое количество извести, которое может быть растворено и вынесено из бетона конструкции в расчете на единицу объема (1 см³), будет равно $q_{изв} = 0,1 \cdot 0,32 \cdot 0,63 = 0,02016$ г/см³.

Если считать, что выщелачивание идет постепенно при полном насыщении воды гидроксидом кальция, т.е. $C_{изв} = 1,2$ г/л, или 0,0012 г/см³, то

$$\tau = \frac{q_{изв}}{V_{об} C_{изв}} = \frac{0,02016}{V_{об} 0,0012} = 16,8 / V_{об} , \text{ или в годах } \tau = \frac{5,1 \cdot 10^{-7}}{V_{об}} = \frac{5,1 \cdot 10^{-7}}{0,0425 \cdot 10^{-7}} = 120 \text{ лет.}$$

Долговечность буроналивных свай составит 120 лет.

Расчет прогноза глубины разрушения бетона буроналивных свай при действии минеральной кислоты на бетон [9].

Основная закономерность кинетики коррозионного разрушения бетона при кислотной коррозии выражается формулой, приведенной ниже. Для процессов коррозии, находящихся в диффузионной области, справедливо уравнение, полученное на основе описания кинетики гетерогенной реакции (уравнение Таманна), которое может быть записано в данном случае в следующем виде:

$$\delta = A_{\delta} \sqrt{D^* C_0 \Theta \tau} , \quad (10)$$

где δ – глубина коррозионного повреждения; A_{δ} – коэффициент, постоянный для данного состава бетона, м³ / кг^{1/2}; D^* – эффективный коэффициент диффузии агрессивного вещества через слой продуктов коррозии, см² / ч; C_0 – концентрации агрессивного вещества, кг/м³; Θ – химический эквивалент, представляющий собой соотношение масс оксида кальция и кислоты, вступающих во взаимодействие, определяемый по уравнению

$$\Theta = m M_{CaO} / n M_{кисл} , \quad (11)$$

где m и n – стехиометрические коэффициенты уравнения реакции между кислотой и оксидом кальция, а M_{CaO} и $M_{кисл}$ – молекулярные массы оксида кальция и ионов сульфатов, хлоридов, нитратов; T – время воздействия агрессивной среды на бетоне, ч.

$$A_{\delta} = \sqrt{\frac{2(1/\rho_{Ц} + B/C)\rho_B}{K}} = \sqrt{\frac{2(1/3100 + 0,4/1000)}{0,63}} = 0,0478 . \quad (12)$$

Для портландцемента с достаточной степенью точности при данных расчетах может быть принято содержание гидроксида кальция в цементе $K = 0,63$ в долях единицы; истинные плотности воды и цемента $\rho_B = 1000$ кг/м³ и $\rho_{Ц} = 3100$ кг/м³ соответственно. Следовательно, коэффициент A_{δ} будет изменяться только в зависимости от водоцементного отношения в бетоне. Отсюда для бетона нормальной проницаемости (марка по водонепроницаемости W6, $B/C = 0,4$) коэффициент A_{δ} будет

равен $4,78 \cdot 10^{-2}$, а для пересчета для бетонов с другими B/C можно воспользоваться коэффициентами табл. 3. При проведении расчетов используют эффективные коэффициенты диффузии D^* , определяемые экспериментально. Такие коэффициенты приведены в табл. 4. Коэффициент диффузии определяется для температуры $20\text{ }^\circ\text{C}$. Значение коэффициента диффузии можно привести к фактической температуре эксплуатации, приближенно приняв, что увеличение или уменьшение температуры на $1\text{ }^\circ\text{C}$ дает соответственно увеличение или уменьшение D^* на $2,6\%$.

Таблица 3

| | | | | |
|-------------------|------|------|-----|------|
| B/C | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Коэффициент A_c | 0,89 | 0,95 | 1 | 1,06 |

Таблица 4

| Хлориды Нитраты Сульфаты | Концентрация, C_0 | Значение pH | Коэффициент диффузии | |
|--------------------------------|---------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| | | | $\text{см}^2/\text{с}$ | $\text{см}^2/\text{ч}$ |
| Cl^{-1} | 0,0001 – 0,1 | 4 – 1 | 1,31 | 0,047 |
| NO_3^{-1} | 0,0001 – 0,1 | 4 – 1 | 1,25 | 0,045 |
| SO_4^{-2} | 0,0001 – 0,035 | 4 – 1,5 | 1,14* | 0,041 |

* При увеличении концентрации сульфатов выше 0,035 эффективный коэффициент диффузии уменьшается на порядок.

Определяем глубину коррозии бетона буронъекционной сваи повышенной водонепроницаемости W6 при действии 1000 мг на 1 кг грунта сульфатов в пересчете на SO_4^{-2} в течение 100 лет. Величина A_c для бетона W6 составляет $4,78 \cdot 10^{-2} \cdot 0,97 = 4,64 \cdot 10^{-2}$.

$$D^*_{\text{H}_2\text{SO}_4} = -0,041 \text{ см}^2/\text{ч},$$

$$c_0 = 0,49 \text{ кг/м}^3;$$

$$\delta = 4,64 \cdot 10^{-2} \sqrt{0,041 \cdot 0,49 \cdot \frac{56}{98} \cdot 50,876} = 3,55 \text{ см}.$$

Глубина поражения защитного слоя бетона буронъекционной сваи за 100 лет составит 3,55 см при толщине защитного слоя 7,5 см.

Ростверк фундамента расположен на щебеночной подготовке толщиной 450 мм, что обеспечивает защиту от коррозии нижней арматуры. Для наземной поверхности ростверка опасным фактором является карбонизация защитного слоя за счет диффузии в бетон углекислого газа из воздуха. Глубина карбонизации равна

$$\gamma_t = a \cdot \sqrt{t}, \quad (13)$$

где $a = 1,5 \text{ мм/год}^{1/2}$ для бетона B50.

В течение 100 лет $\gamma = 15 \text{ мм}$, что значительно меньше толщины защитного слоя, равного 55 мм.

Выводы

В случае аварии системы кондиционирования пространства между внутренней и внешней облицовками «Арки» НБК возможны процессы коррозии элементов из углеродистых сталей. В этом случае необходимо выполнять визуальные обследования с интервалом, установленным программой мониторинга НБК. В случае обнаружения коррозии несущих и ограждающих конструкций «Арки» необходимо выполнить проверочные расчеты несущей способности конструкций «Арки» с учетом утонения ее элементов.

Долговечность фундаментов НБК в течение 100 лет обеспечивается. При этом требуется проведение мониторинга и периодической оценки технического состояния железобетонных конструкций.

Обоснована марка бетона фундаментов НБК по водонепроницаемости.

Арматурная сталь, применяемая в фундаментах НБК, класса A500C относится ко II группе арматурных сталей в соответствии с табл. 9 и 10 [5].

В соответствии с табл. 11 [5] для слабоагрессивных сред по отношению к бетону для арматурных сталей II группы марка бетона по водонепроницаемости должна быть равна W6.

В соответствии с п. 2.37 [5] бетон для свай должен иметь марку по водонепроницаемости не ниже W6.

Обоснована марка бетона фундаментов НБК по морозостойкости.

В соответствии с табл. 9 [12] для зданий и сооружений I категории ответственности для конструкций роствержков, фундаментов мелкого заложения и технологического здания (расположенных в сезонно оттаивающем слое грунта) с расчетной зимней температурой ниже минус 20°C марка бетона по морозостойкости должна быть не ниже F200 в пределах глубины промерзания, а для наземных конструкций не ниже F100. Учитывая необходимость обеспечения проектного ресурса 100 лет с возможностью его продления, принята марка бетона по морозостойкости F200 для всех фундаментов НБК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матченко Т.І., Шаміс Л.Б., Матченко П.Т., Первушова Л.Ф.* Методика оцінки корозійного ресурсу зварних з'єднань конструкційних сталей // Нові технології в будівництві. – 2010. – Вип. 19. – С. 72 - 76.
2. *Методика* оценки долговечности строительных конструкций. МИ-10-2006. – М.: ЗАО «Институт «Оргэнергострой», 2006.
3. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку залишкового ресурсу сталевий арматури в корозійному середовищі // Будівництво України. – 2010. - № 3. - С. 37 - 39.
4. *SIP-N-LI-22-A500-CDS-001-01.* Документ по безопасности в рамках концепции проекта ПК-1 НБК/NSC CS – 1 Concept Design Safety Document.
5. *СНиП 2.03.11-85.* Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Госстрой СССР, 1985.
6. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку залишкового ресурсу захисного шару бетону робочий арматури залізобетонних конструкцій, що експлуатуються // Будівництво України. – 2010. - № 2. - С. 36–40.
7. *Матченко П.Т.* Інженерна методика розрахунку залишкового ресурсу сталевий арматури в корозійному середовищі // Будівництво України. – 2010. - № 3. - С. 37 - 39.
8. *Матченко П.Т.* Методика оцінки довговічності залізобетонних конструкцій, що працюють у ґрунті // Будівельні конструкції. – 2010. – Вип. 73. - С. 617 - 628.
9. *Матченко П.Т.* Методика оцінки довговічності залізобетонних конструкцій, що працюють в агресивних рідинах // Будівництво України. – 2011. - № 1. - С. 36 - 39.
10. *МИ-05-2006.* Методика определения глубины карбонизации бетона железобетонных конструкций. - М.: ЗАО «Институт «Оргэнергострой», 2006.
11. *МИ-07-2006.* Методика оценки степени коррозионного повреждения арматуры железобетонных конструкций по толщине продуктов коррозии. - М.: ЗАО «Институт «Оргэнергострой», 2006.
12. *СНиП 2.03.01-84** Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 80 с.
13. *МИ-10-2006.* Методика оценки долговечности строительных конструкций. - М.: ЗАО «Институт «Оргэнергострой», 2006.

Т. І. Матченко, Л. Б. Шаміс, Л. Ф. Первушова

*ПАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект»,
просп. Перемоги, 5, Київ, 01135, Україна*

ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА РЕСУРСУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙМЕНТА

Проведено попередню оцінку ресурсу покриття та несучих конструкцій нового безпечного конфаймента в корозійному середовищі. Установлено, що у випадку відмови системи кондиціонування ресурс покриття становить 34 роки. Ресурс сталевих елементів 75 років. Виконано розрахункове обґрунтування довговічності надземних та підземних частин фундаментів з урахуванням впливу агресивності атмосфери, ґрунту та швидкості руху підземних вод.

Ключові слова: ресурс, корозія, залізобетон, довговічність, конфаймент.

T. I. Matchenko, L. B. Shamis, L. F. Pervushova

*Public joint-stock company “Kyiv research and design institute “Energo project”, Peremoga str., 4,
Kyiv, 01135, Ukraine*

PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE RESOURCE BUILDING DESIGNS NEW SAFE CONFINEMENT

The preliminary estimation of resource of coverage and structural steelwork of new safe confinement in a corrosive environment is executed. It is set that in the case of system air conditioning resource of coverage makes 34 years. The resource of steel elements makes 75 years. Rated validation of the service life of elevated parts and substructures of the foundations is complied subject to the influence of the aggressivity of the atmosphere, ground and groundwater motion speed.

Keywords: resource, corrosion, reinforced concrete, durability, confinement.

REFERENCES

1. *Matchenko T. I., Shamis L. B., Matchenko P. T., Pervushova L. F.* Methods of assessing corrosion life of welded joints of structural steels // *Novi tehnologii v budivnytstvi (New technologies in building)*. – 2010. – Iss. 19. – P. 72 - 76. (Ukr)
2. *Methods of assessing the durability of building structures*. MI-10-2006. – Moskva: ZAO «Institut «Orgenergostroj», 2006. (Rus)
3. *Matchenko P. T.* Engineering method of calculating the residual life of steel rebar in corrosive environments // *Budivnytstvo Ukrainy*. – 2010. - № 3. - P. 37 - 39. (Ukr)
4. *SIP-N-LI-22-A500-CDS-001-01*. Dokument po bezopasnosti v ramkakh kontseptsii proekta PK-1 NSC CS-1 Concept Design Safety Document. (Rus)
5. *SNiP 2.03.11-85*. Protection of building structures against corrosion. – Moskva: Gosstroj USSR, 1985 (Rus)
6. *Matchenko P. T.* Engineering method of calculating the residual life of concrete cover working reinforcement of concrete exploited structures // *Budivnytstvo Ukrainy*. – 2010. - № 2. - P. 36–40. (Ukr)
7. *Matchenko P. T.* Engineering method of calculating the residual life of steel rebar in corrosive environments // *Budivnytstvo Ukrainy*. – 2010. - № 3. - P. 37 – 39. (Ukr)
8. *Matchenko P. T.* Methods of assessing the durability of concrete structures, working in the soil // *Budivelni konstruktzii*. – 2010. – Iss. 73. - P. 617 - 628. (Ukr)
9. *Matchenko P. T.* Methods of assessing the durability of concrete structures operating in aggressive liquids // *Budivnytstvo Ukrainy*. – 2011. - № 1. - P. 36 - 39. (Ukr)
10. *MI-05-2006*. Methods of determining the depth of carbonation of concrete reinforced concrete structures. - Moskva: ZAO «Institut «Orgenergostroj», 2006. (Rus)
11. *MI-07-2006*. Methods of assessing the degree of reinforcement corrosion damage of reinforced concrete structures on the thickness of the corrosion products. - Moskva: ZAO «Institut «Orgenergostroj», 2006. (Rus)
12. *SNiP 2.03.01-84** Concrete and reinforced concrete structures. - Moskva: TSITP USSR, 1989. - 80 p. (Rus)
13. *MI-10-2006*. Methods of assessing the durability of building structures. – Moskva: ZAO «Institut «Orgenergostroj», 2006. (Rus)

Надійшла 01.09.2015
Received 01.09.2015