

Особенности оценки конструкций защитных герметичных оболочек АЭС с реактором ВВЭР-1000 в период возведения

О.А. Губеладзе, Ю.С. Новик

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрены вопросы особенностей оценки железобетонных конструкций защитных оболочек проекта НП-1000 АЭС с реактором ВВЭР-1000 в период возведения. Приводятся результаты измерений прочностных характеристик бетона, толщины защитного слоя арматуры и параметров трещин, выполненных в рамках инструментального обследования. Проведенное инструментальное обследование позволило получить достаточно полные и достоверные сведения о параметрах элементов ЗГО для выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния оболочки.

Ключевые слова: защитная герметичная оболочка, методы неразрушающего контроля, деформации, перемещения, трещины, прочность бетона.

Одной из основных концепций безопасности атомных электростанций (АЭС) является система глубоководной защиты, заключающаяся в организации последовательных физических барьеров, в том числе и защитную гермооболочку (ЗГО), важнейшей функцией которой является локализация и удержание радиоактивных веществ в пределах зоны сосредоточения аварии. Строительные конструкции ЗГО проектируются с учетом обеспечения возможности их испытания. Для ЗГО проекта НП-1000 энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 установлен второй класс безопасности [1] и первая категория ответственности за ядерную и радиационную безопасность [2]. В соответствии со своими эксплуатационными характеристиками защитная оболочка должна создавать условия для стабильной работы в период жизненного цикла объекта.

Целью оценки железобетонных конструкций АЭС является определение их настоящего технического состояния при данных условиях эксплуатации, созданных режимах и параметрах устройств, направленных на обеспечение эксплуатационной безопасности и сохранение окружающей среды. Исходными данными для расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) защитной оболочки являются: результаты контроля

пространственного положения и геометрических параметров ЗГО геодезическими методами [3 – 5]; результаты контроля физических и механических свойств строительных конструкций.

Обследование защитной герметичной оболочки на момент строительства проводится методом инструментального контроля с отметки 13,2 м до отметки 55,6 м. Прочность бетона, параметры трещин и толщина защитного слоя арматуры определяются неразрушающими методами [6]. Диагностирование геометрических параметров ЗГО производится по завершению установки на подкрановый путь крана кругового действия. Перед облицовкой купольной части ЗГО, после устройства купольной части, во время обкатки крана и его испытаний выполняется оценка эллиптичности рельсового пути [7,8]. Также оболочка подвергается обследованию в целях выявления визуальных деформаций и дефектов строительных конструкций ЗГО, способствующих снижению несущей способности и долговечности, а именно присутствие: вертикальных и горизонтальных трещин; участков с некачественным уплотнением бетона; участков с коррозией оголенной арматуры; участков с крупнопористым бетоном и крупными раковинами.

В качестве примера ниже приводятся некоторые результаты натуральных наблюдений за строительством ЗГО энергоблока одной из АЭС с ВВЭР-1000. В результате визуального обследования цилиндрической и купольной ее частей обнаружены: участки с некачественным уплотнением бетона (рис.1,а) и участки с поверхностными раковинами (рис.1,б); трещины, образованные в следствие усадки бетона и имеющие хаотичное расположение (рис.2,а). Величина раскрытия данных трещин составляет 0,1-0,2 мм, глубина трещин – 20-60 мм.

Более пристальное внимание было уделено участку в пределах отметок 46.00 и 49.00, конкретно на горизонте крепления консолей крана кругового действия. В ходе диагностирования по всей окружности оболочки были

выявлены равномерно рассредоточенные трещины. Обследование в конкретной зоне проводилось три раза до преднапряжения оболочки.

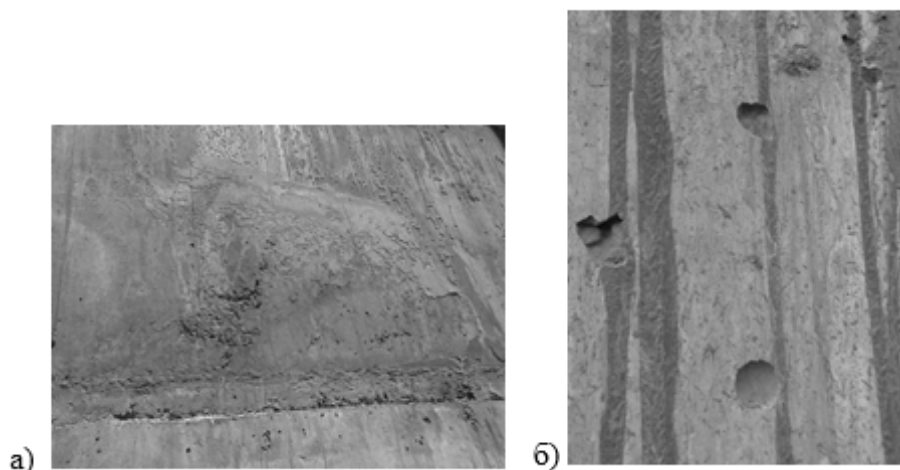


Рис. 1. – Участки с некачественным уплотнением бетона и с поверхностными раковинами

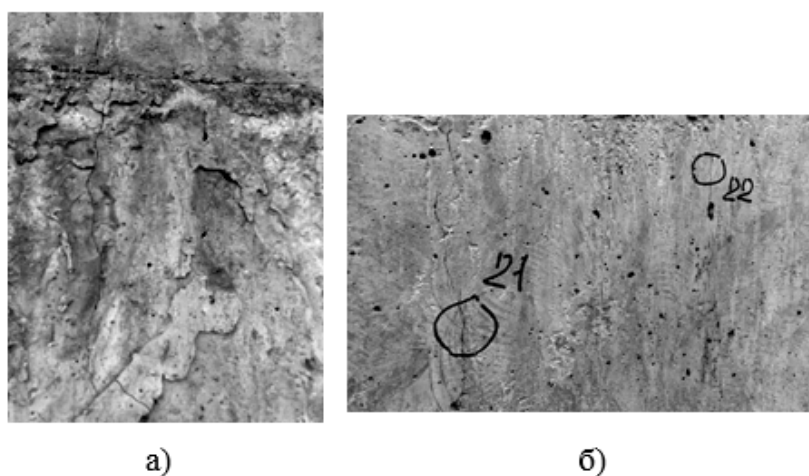


Рис. 2. – Трещины, выявленные на поверхности ЗГО

Все трещины были отмечены стойкой краской и пронумерованы (рис.2,б). При определении параметров трещин использовались: ультразвуковой прибор «Тестер УК1401М» – для измерения глубины трещин; измерительная лупа ЛИ-3-10х – для измерения ширины раскрытия. В таблице 1 приведены результаты таких измерений.

Прочностные параметры были определены на наружной стороне оболочки по четырем захваткам на ярусе. Необходимые участки контроля

были выбраны на каждой захватке по каждому ярусу. Измерения прочности на участках контроля осуществляли в трех-пяти точках. Итоговым результатом по определенной зоне является среднее значение из пяти полученных значений.

Таблица № 1

Параметры некоторых трещин, выявленных в пределах отметок 46.00 и 49.00

№ трещины	Ширина раскрытия трещины, мм			Глубина трещины, мм		
	22.05.	07.08.	26.09	22.05.	07.08.	26.09
1	0,4	0,5	0,5	104	104	104
5	0,3	0,4	0,5	65	103	103
5-1	-	0,3	0,4	-	140	142
18-1	-	-	0,2	-	-	151
26	0,5	0,5	1,0	96	97	104
65	0,2	0,4	0,4	86	91	91
83	0,1	0,3	0,4	17	94	94

В каждой контролируемой точке перед выполнением измерений внешняя поверхность оболочки очищалась от наплывов бетона и выравнивалась от местной шероховатости. После проведения измерений контролируемая точка на поверхности оболочки маркировалась окрашиванием и подписывался ее номер. В качестве основного метода определения прочностных свойств бетона был принят ударно-импульсный [6] (прибор «Beton Pro CONDTR0L»). В таблице № 2 приводятся результаты определения прочности бетона по ярусам и захваткам на цилиндрической части защитной оболочки. Результаты определения прочности бетона на купольной части защитной оболочки приведены в таблице № 3.

Защитный слой бетона определялся на наружной стороне оболочки также по четырем захваткам на всех ярусах (на каждой не менее 4-х участков). При этом регистрировались результаты только на участках, где определялся диаметр арматуры, соответствующий реальным значениям. В качестве основного метода определения защитного был принят магнитно-

вихревой (прибор ИПА-МГ-4.01). При этом на горизонтах расположения встроенных датчиков напряжения и температуры участки контроля совмещали с секторами расположения датчиков. Участки располагали не ближе 100 мм до края яруса.

Таблица № 2

Результаты измерений прочности защитной оболочки на ее внешней поверхности, МПа, на отм. 18,950÷20,150

№ захватки	Исследуемые точки						Контрольные образцы	Среднее
	1	2	3	4	5	6		
1	43,8	62,9	55,3	44,1	52,7		52,2	51,8
2	51,1	52,7	54,0	57,0	49,4		52,54	52,8
3	51,2	60,1	54,4	53,2	54,9		52,73	54,8
4	50,3	49,5	57,7	52,4	53,6		53,91	52,7

Таблица № 3

Результаты измерений прочности бетона на купольной части ЗГО (МПа).

№ осей	I	I / II	II	II / III	III	III / IV	IV	IV / I
№ п/п точек, расположенных на осях								
1					16,8		41,5	
2	45,0		40,8		23,3		49,0	
3	31,6		19,7		24,2		57,8	
9	33,0	53,8	31,2		27,5	45,7	32,7	56,6
10	37,8		30,4	49,0			30,7	
0				28,4				

В проекте на производство работ по возведению ЗГО сформулированы требования по величине усадочных трещин, прочности бетона и толщине защитного слоя. В реальности эти значения не всегда соответствовали нормативным (9,10). Проведенное инструментальное обследование позволило получить достаточно полные и достоверные сведения о параметрах элементов ЗГО, достигнутых в процессе реализации проектных решений при ее возведении и использовать их в расчетах НДС оболочки.

Литература

1. Денисов О.В., Губеладзе О.А., Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.

2. Казарин А.М., Молчанов А.В., Ершов Г.А. Современная АЭС – требования и пути реализации. Спб.: АО «АТОМПРОЕКТ», 2015. – 20 с.

3. Пимшин Ю.И., Ключин Е.Б., Медведев В.Н., Губеладзе О.А. Диагностика технического состояния защитных герметичных оболочек АЭС // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. №4. С. 55-59.

4. Пимшин Ю.И., Забазнов Ю.С., Кирильчик Л.Ф. Анализ работы строительных элементов герметичной оболочки АЭС при ее преднапряжении и испытании // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2263.

5. Забазнов Ю.С., Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Геодезическая технология определения деформаций гермооболочки // Инженерный вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/245.

6. Касторных Л. И., Трищенко И. В., Гикало М. А. Контроль и оценка прочности бетона на заводах сборного и товарного бетона // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2320.

7. Пимшин Ю.И., Забазнов Ю.С., Губеладзе О.А. Способ определения деформационных характеристик защитной герметичной оболочки: пат. 2546990 Рос. Федерация. МПК G01M 99/00; опубл. 10.04.2015, Бюл. №10.

8. Пимшин Ю.И., Ключин Е. Б., Губеладзе О. А. Влияние крана кругового действия на техническое состояние строящейся защитной оболочки АЭС. Глобальная ядерная безопасность. 2016. №2. С. 33-42.

9. Design of reactor containment systems for nuclear power plants. Safety guide №NS-G-1.10. Ed. International Atomic Energy Agency. Vienna, 2008, 117 p.

10. Gubeladze O., Gubeladze A., Kiril'chik L. Initial data on protective containment for safety analysis of NPP with WWER-1000. Preparation MATEC Web of Conferences 106, 2017, 4 p.

References

1. Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.CH., Bulygin YU.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territorij v chrezvychajnykh situatsiyakh [Comprehensive safety of the population and territories in emergency situations. Problems and solutions]. Problemy i resheniya. Rostov n/D: Izdatel'skij tsentr DGTU, 2016. 278 p.

2. Kazarin A.M., Molchanov A.V., Ershov G.A. Sovremennaya AEHS – trebovaniya i puti realizacii [Present NPP – requirements and ways of implementation]. Spb.: AO «ATOMPROEKT», 2015. 20 p.

3. Pimshin YU.I., Klyushin E.B., Medvedev V.N., Gubeladze O.A. Izvestiya vuzov «Geodeziya i aehrofotos"emka». 2016. №4. pp. 55-59.

4. Pimshin YU.I., Zabaznov YU.S., Kiril'chik L.F. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2263.

5. Zabaznov YU.S., Gajrabekov I.G., Pimshin YU.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/245.

6. Kastornyh L. I., Trishchenko I. V., Gikalo M. A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2320.

7. Pimshin YU.I., Zabaznov YU.S., Gubeladze O.A. Sposob opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik zashhitnoj germetichnoj obolochki [The method of determining the deformation characteristics of the protective pressure-tight shell]: pat. 2546990 Ros. Federatsiya. MPK G01M 99/00; opubl. 10.04.2015, Byul. №10.

8. Pimshin YU.I., Klyushin E. B., Gubeladze O. A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2016. №2. pp. 33-42.



9. Design of reactor containment systems for nuclear power plants. Safety guide №NS-G-1.10. Ed. International Atomic Energy Agency. Vienna, 2008, 117 p.

10. Gubeladze O., Gubeladze A., Kiril'chik L. Initial data on protective containment for safety analysis of NPP with WWER-1000. Preparation MATEC Web of Conferences 106, 2017, 4 p.