

О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК БЛОКОВ РЕАКТОРНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ АЭС

© 2018 Ю.И. Пимшин, Ю.В. Заяров, Ю.С. Забазнов

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета (МИФИ), Волгодонск, Ростовская обл., Россия

В работе рассмотрено теоретическое решение оценки технического состояния защитной герметичной оболочки. Предложено решение штатной системы, предназначенной для определения и оценки напряженно деформированного состояния защитных герметичных оболочек в период приёма-сдачи и эксплуатации.

Ключевые слова: защитная герметичная оболочка, техническое состояние, преднапряжение, испытание, контроль, мобильная геодезическая диагностическая система, оценка напряженно деформированного состояния.

Поступила в редакцию: 27.06.2018

Предлагаемый способ оценки эксплуатационной надежности двухслойной защитной герметичной оболочки 1, 2 реакторного отделения АЭС (рис. 1) заключается в маркировании по заданным сечениям защитной герметичной оболочки 1, 2 контролируемых точек 3 и выполнении поцикловых определений их положения [1-3]. При этом контролируемые точки 3 привязывают к геодезическим планово-высотным пунктам. Планово-высотное геодезическое обоснование формируют многоярусным, как вне преднапрягаемой части 2 оболочки, так и внутри ее в единой системе координат (для внешнего и внутреннего измерительных каналов), причем, данная система координат совмещается с системой координат защитной герметичной оболочки 1, 2. Исследуемые точки 3 размещают в деформационных зонах элементов преднапрягаемой части 2 оболочки на ее внешней и внутренней поверхностях [4-10].

Контроль геометрических параметров выполняют поэтапно, при этом геодезическое обоснование создается с привязкой к осям или образующим капитальных строительных конструкций защитной герметичной оболочки 1, 2 или конструктивных элементов технологического оборудования установленного в гермообъеме. В процессе контроля внутренние и (или) внешние геометрические параметры преднапрягаемой части 2 защитной герметичной оболочки определяют расстояние между контрольно-измерительными 5 устройствами и контролируемыми точками 3 во внешнем измерительном канале, и электронным тахеометром (например, SOKKIA NET05AXII, на рисунке не обозначен) и контрольными точками 3 во внутреннем измерительном канале на этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки 1, 2, после выполнения полной программы напряжения преднапрягаемой части 2 оболочки, при испытании преднапрягаемой части 2 на этапе создания максимального внутреннего давления и в последствии при эксплуатации в период каждого планового предупредительного ремонта ($A_0, A_{\text{преднапряж}}, A_{\text{испытан}}, A_{\text{экспл}(i)}$).

По полученным поэтапным результатам определяют величины перемещений контролируемых точек 3,

$$\begin{aligned} \delta_{\text{обж}} &= A_{\text{обж}} - A_0, \\ \delta_{\text{испыт}} &= A_{\text{обж}} - A_{\text{испытан}}, \\ \delta_{\text{экспл}(1)} &= A_{\text{экспл}(1)} - A_{\text{обж}}, \\ \delta_{\text{экспл}(2)} &= A_{\text{экспл}(2)} - A_{\text{экспл}(1)}, \\ \delta_{\text{экспл}(i+1)} &= A_{\text{экспл}(i+1)} - A_{\text{экспл}(i)}, \end{aligned}$$

где A_0 , $A_{обж}$, $A_{испытан}$ – измеряемые параметры исследуемых точек 3 на этапах полного возведения оболочки, завершения преднапряжения и при испытании на этапе набора максимального давления;

$A_{экспл(1)}$, $A_{экспл(i)}$, $A_{экспл(i+1)}$ – измеряемые параметры исследуемых точек 3 на этапах планово предупредительных ремонтов, поочередно следующих за этапом испытания;

$\delta_{обж}$, $\delta_{испыт}$, $\delta_{экспл(1)}$, $\delta_{экспл(i+1)}$ – соответствующие межэтапные параметры перемещения исследуемых точек 3;

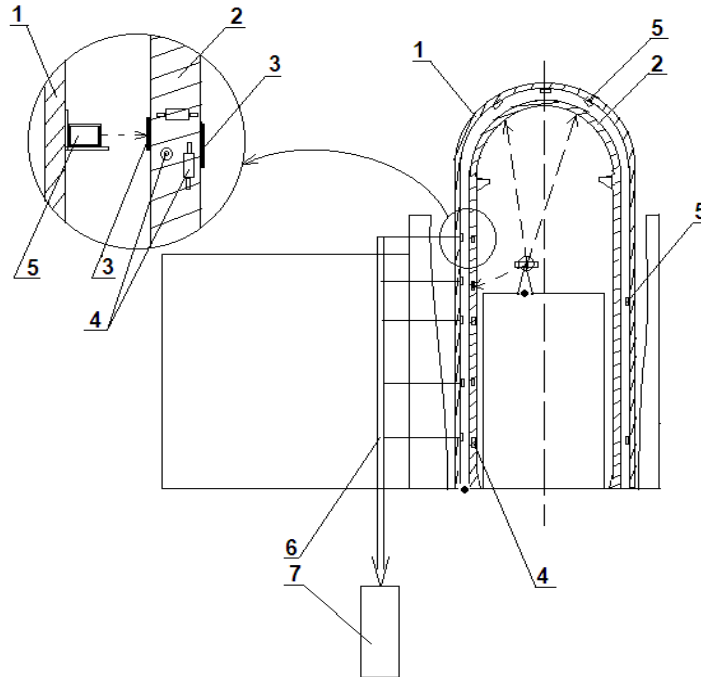


Рисунок 1 – Схема размещения системы контроля в двухслойной защитной оболочке [The layout of the control system in a two-layer protective shell]

и определяют коэффициент запаса прочности строительных конструкций защитной герметичной оболочки,

$$K_{исх} = \left(\frac{\delta_{обж}}{\delta_{испыт}} \right),$$

$$K_{текущ(i)} = \frac{[\delta_{обж} + (\delta_{экспл(1)}) + \sum_2^n \delta_{экспл(i)}]}{\delta_{испыт}},$$

где $K_{исх}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K_{текущ(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

При этом контролируемые точки 3 расположенные с внешней стороны преднапрягаемой части 2 оболочки примерно совмещают с сечениями, где смонтированы блоки датчиков 4 (например, в качестве датчиков – используют струнные датчики деформаций в арматуре (ПСАС) модели IRNP-2000) встроенной системы контроля. Контролируемые точки 3 размещают только в безмоментных зонах цилиндра и купола в напрягаемой части 2 оболочки. При этом контролируемые точки 3 не приурочивают к концентраторам напряжений, к которым относятся пилястры, проходки под трубопроводы, включая транспортные шлюзы, зона вуда, горизонты крепления консолей для балок и рельсового пути крана кругового действия, а также в зоне сопряжения купола и цилиндра, отступая от них не менее трех толщин напрягаемой части 2 оболочки.

Контрольно-измерительные устройства 5 (например, электронный измеритель расстояний LeicaDistoX-310) размещают в тех же сечениях, размещая их на непреднапрягаемой 1 части оболочки, с внутренней ее стороны, на одной отметке с контрольными точками 3 и диаметрально противоположно им. Кроме того, контрольно-измерительные устройства 5 посредством шин 6 соединяют с сервером 7. На этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки, после выполнения полной программы ее напряжения, при испытании на этапе создания максимального внутреннего давления и в последствии при эксплуатации в период каждого планового предупредительного ремонта определяют расстояние между контрольно-измерительными устройствами 5 и контролируемыми точками 3

($A_0, A_{преднапряж}, A_{испытан}, A_{экспл(i)}$). По измеренным значениям вычисляют перемещения контролируемых точек 3, в свою очередь по этим значениям вычисляют коэффициенты запаса прочности $K'_{текущ(i)}$ ($K'_{исх}$),

$$K'_{исх} = \left(\frac{\delta_{обж}}{\delta_{испыт}} \right),$$

$$K'_{текущ(i)} = \frac{[\delta_{обж} + (\delta_{экспл(1)}) + \sum_2^n \delta_{экспл(i)}]}{\delta_{испыт}},$$

где $K'_{исх}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений геодезической системой при реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K'_{текущ(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений геодезической системой при реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

Одновременно измеряют напряжения датчиками 4, установленными в окружной арматуре на цилиндрической части и, окружной и меридиональной арматуры в купольной части, встроенной системы контроля напряжений на тех же этапах ($U_0, U_{преднапряж}, U_{испытан}, U_{экспл(i)}$), по измеренным значениям напряжений вычисляют их межэтапное изменение,

$$\delta''_{обж} = U_{обж} - U_0,$$

$$\delta''_{испыт} = U_{обж} - U_{испытан},$$

$$\delta''_{экспл(1)} = U_{экспл(1)} - U_{обж},$$

$$\delta''_{экспл(2)} = U_{экспл(2)} - U_{экспл(1)},$$

$$\delta''_{экспл(i+1)} = U_{экспл(i+1)} - U_{экспл(i)},$$

где $U_0, U_{обж}, U_{испытан}$ – измеряемые напряжения по соответствующим датчикам встроенной системы на этапах полного возведения оболочки, завершения преднапряжения и при испытании на этапе набора максимального давления;

$U_{экспл(1)}, U_{экспл(i)}, U_{экспл(i+1)}$ – измеряемые напряжения по соответствующим датчикам встроенной системы на этапах планово-предупредительных ремонтов, поочередно следующих за этапом испытания;

$\delta''_{обж}, \delta''_{испыт}, \delta''_{экспл(1)}, \delta''_{экспл(i+1)}$ – соответствующие межэтапные параметры изменения напряжений в зонах размещения соответствующих датчиков встроенной системы.

В свою очередь по этим значениям вычисляют коэффициенты запаса прочности $K''_{текущ(i)}$ ($K''_{исх}$),

$$K''_{исх} = \left(\frac{\delta''_{обж}}{\delta''_{испыт}} \right),$$

$$K''_{текущ(i)} = \frac{[\delta''_{обж} + (\delta''_{эксп(1)}) + \sum_2^n \delta''_{эксп(i)}]}{\delta''_{испыт}},$$

где $K''_{исх}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений встроенной системой при реализации этапов преднапряжения и испытания преднапрягаемой части 2 оболочки;

$K''_{текущ(i)}$ – коэффициент запаса прочности, определенный по результатам измерений встроенной системой при реализации i -этапов на стадии эксплуатации преднапрягаемой части 2 оболочки.

Далее выполняют сравнение полученных коэффициентов:

$$K'_{исх} - K''_{исх} \leq \varepsilon \text{ или } K'_{текущ(i)} - K''_{текущ(i)} \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная величина допустимой разности коэффициентов.

Соблюдение неравенств является надежной и объективной оценкой технического состояния напрягаемой части оболочки.

Предлагаемое техническое решение способа оценки эксплуатационной надежности двухслойной защитной герметичной оболочки реакторного отделения АЭС, обеспечивает независимый контроль технического состояния защитной оболочки на ее всех возможных жизненных этапах двумя системами, в том числе штатной встроенной системой и геодезической системой. В то время как штатная (встроенная) система контроля, основанная на использовании датчиков напряжения, встраиваемых в арматурный каркас и в тело бетона стены защитной оболочки, не обеспечивает надежного определения технического состояния защитной оболочки на продолжительный срок эксплуатации. А геодезическая система не зависит от фактора времени, она ремонтпригодна. При этом ее внутренний измерительный канал является дублирующим для внешнего измерительного канала и используется при технической возможности и необходимости. На этапах после полного возведения герметичной защитной оболочки, после выполнения полной программы ее напряжения, при испытании на этапе создания максимального внутреннего давления и, впоследствии, в первые годы эксплуатации обе системы оценивают работоспособность оболочки и обеспечивают взаимный контроль. По мере выхода из строя датчиков внутренней встроенной системы на продолжительном сроке эксплуатации оболочки, контроль и оценка ее технического состояния обеспечивается геодезической системой. Таким образом, обеспечивается повышение объективности и достоверности оценки эксплуатационной надежности двухслойных железобетонных защитных герметичных оболочек по результатам контроля их деформаций встроенной системой контроля и геодезической системой на этапах преднапряжения, испытания и в последующей эксплуатации, на основе оценки их абсолютных величин и сравнения коэффициентов запаса прочности, полученных каждой из систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пимшин, Ю.И. Оценка деформированного состояния объектов по результатам геодезических измерений [Текст] / Ю.И. Пимшин, Ю.С. Забазнов, Г.А. Науменко // Научное обозрение. – Москва. – 2013. – С. 57.

2. *Пимшин, Ю.И.* Состояние и перспективы контроля технического состояния зданий и сооружения Ростовской атомной электростанции [Текст] / Ю.И. Пимшин, А.В. Кривошеев, Г.А. Науменко // *Материалы научно-практической конференции.* – Ростов-на-Дону, 29.02-1.03.2000. – С. 91-95.
3. Пат. 2577555 Российская Федерация, Способ оценки эксплуатационной надежности защитной герметичной оболочки реакторного отделения АЭС [Текст] / Пимшин Ю.И., Ключин Е.Б., Губеладзе О.А., Забазнов Ю.С., Пимшин П.Ю. ; опубли. 20.03.16, Бюл. №8.
4. *Арутюнян, Р.В.* Предпосылки возможности продления срока службы защитных оболочек АЭС с ВВЭР-1000 [Текст] / Р.В. Арутюнян, В.Н. Киселев, В.Ф. Медведев, А.Н. Стрижов // *Препринт ИБРАЭ №ИВРАЕ-2005-03.* – Москва, ИБРАЭ РАН. – 2005. – Вып. 3. – С. 20-25.
5. *Кирильчик, Л.Ф.* Геодезическое обеспечение испытаний герметичных оболочек реакторных отделений [Текст] / Л.Ф. Кирильчик, Г.А. Науменко, Ю.С. Забазнов // *Известия высших учебных заведений северокавказский регион.* – 2009. – Спецвыпуск. – С. 47-50.
6. *Медведев, В.Н.* Определение эксплуатационной безопасности защитной оболочки 3-го энергоблока Калининской АЭС [Текст] / В.Н. Медведев, А.Н. Ульянов, А.С. Киселев // *Сб. статей ; вып. 10. МОО «Пространственные конструкции».* – Москва. – 2006. – С. 230-243.
7. *Стерман, Л.С.* Тепловые и атомные электростанции [Текст] / Л.С. Стерман, А.С. Телвин, А.Т. Шарков. – Москва : Энергоиздат, 1982. – С. 257-260.
8. *Ульянов, А.Н.* Оценка напряженного состояния защитной оболочки 2-го энергоблока Калининской АЭС [Текст] / А.Н. Ульянов, В.Н. Медведев, В.Ф. Стрижов, А.С. Киселев, А.С. Залесов // *Третья международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики».* Концерн «Росэнергоатом», 18-19 апреля, 2002 г. – Москва : ВНИИАЭС, 2002. – С. 107-118.
9. РД ЭО 0624-2005 Типовая инструкция по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций [Текст]. – Москва : Недра, 1986. – 263 с.
10. *Соколов, В.И.* Контроль пространственно-временного состояния крупных инженерных сооружений [Текст] / В.И. Соколов, А.Г. Зюкин, А.В. Гудков // *Геодезия и картография.* – 1989. – Вып. 12. – С. 12-14.

REFERENCES

- [1] Pimshin Y.I., Zabaznov Y.S., Naumenko G.A. Ocenka deformirovannogo sostoyaniya obektov po rezultatam geodezicheskix izmerenij [Evaluation of the Strain State of the Objects According to the Results of Geodetic Measurements]. *Nauchnoe obozrenie [Scientific Review].* Moscow. 2013. P. 57 (in Russian).
- [2] Pimshin Y.I., Krivosheev A.V., Naumenko G.A. Sostoyanie i perspektivy kontrolya texnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniya Rostovskoj atomnoj elektrostancii [Status and Prospects of Control of Technical Condition of Buildings and Constructions of the Rostov Nuclear Power Plant]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii [Materials of Scientific-Practical Conference].* Rostov-on-don. 29.02-1.03.2000. P. 91-95 (in Russian).
- [3] Pat. 2577555. Sposob ocenki ekspluatacionnoj nadezhnosti zashchitnoj germetichnoj obolochki reaktornogo otdeleniya AES [A method of Assessing the Operational Reliability of the Protective Sealed Shell of the Reactor Compartment of the NPP]. Pimshin Y.I., Klyushin, E.B., Gubeladze O.A., Zaboltnov J.S., Pimshin I.Y. Opubl. 20.03.2016. Byul. № 8 (in Russian).
- [4] Harutyunyan R.V., Kiselev V.N., Medvedev V.F., Strizhov A.N. Predposylki vozmozhnosti prodleniya sroka sluzhby zashchitnyh obolochek AES s VVER-1000 [Prerequisites for the Possibility of Extending The Service Life of NPP Protective Shells with VVER-1000]. *IBRAE Preprint № ИВРАЕ-2005-03.* Moscow. Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences. 2005. Issue. 3. P. 20-25 (in Russian).
- [5] Kirilchik L.F., Naumenko G.A., Zabaznov Yu.S. Geodezicheskoe obespechenie ispytaniy germetichnyh obolochkek reaktornyh otdelenij [Geophysical software of Testing Sealed Shells of Reactor Compartments]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij severokavkazskij region [News of Higher Educational Institutions of the North Caucasian Region].* 2009. Special issue. P. 47-50 (in Russian).
- [6] Medvedev V.N. Ulyanov A.N., Kiselev A.S. Opredelenie ekspluatacionnoj bezopasnosti zashchitnoj obolochki 3-go energobloka Kalininskoy AES [Definition of Operational Safety of the Protective Shell of the 3rd Kalinin NPP Power Unit]. *Sat. articles. Issue. 10, MOO "Spatial Constructions".* Moskva [Moscow]. 2006. P. 230-243 (in Russian).
- [7] Sterman L.S., Telvin A.S., Sharkov A.T. Teplovye i atomnye elektrostancii [Thermal and Nuclear Power Plants]. Moscow, Energoizdat. 1982. P. 257-260 (in Russian).
- [8] Ulyanov A.N., Medvedev V.N., Strizhov V.F., Kiselev A.S., Zalesov A.S. Ocenka napryazhennogo sostoyaniya zashchitnoj obolochki 2-go energobloka Kalininskoy AES [Evaluation of the Stress State of the Protective Shell of the 2nd Kalininskaya NPP Power Unit]. *Tret'ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya "Bezopasnost', effektivnost' i ekonomika atomnoj energetiki"* [The Third

- International Scientific and Technical Conference "Safety, Efficiency and Economy of Atomic Energy". Rosenergoatom concern [Rosenergoatom concern]. April 18-19. 2002. Moscow. VNIIAES. 2002. P. 107-118 (in Russian).
- [9] RD EO 0624-2005 Tipovaya instrukciya po ekspluatatsii proizvodstvennyh zdaniy i sooruzhenij atomnyh stancij [Standard Instruction on Operation of Industrial Buildings and Facilities of Nuclear Power Plants]. Moskva. Nedra [Moscow. Subsoil]. 1986. 263 p. (in Russian).
- [10] Sokolov V.I., Zyukin A.G., Gudkov A.V. Kontrol' prostranstvenno-vremennogo sostoyaniya krupnyh inzhenernyh sooruzhenij [Control of Space-Time State of Large Engineering Structures]. Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]. 1989. Issue. 12. P. 12-14 (in Russian).

Possible Approach to Technical Condition Assessment of Two-Layer Reinforced Concrete Covers of NPP Unit Reactor Compartments

Y.I. Pimshin¹, Y.V. Zayrov², Y.S. Zabaznov³

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0001-6610-8725

WoS Researcher ID: J-6791-2017

e-mail: YIPimshin@mephi.ru

²ORCID: 0000-0003-3353-803

e-mail: YVZayarov@mephi.ru

³ORCID:0000-0003-1856-5221

WoS Researcher ID: V-3311-2017

e-mail: Jur-rik@mail.ru

Abstract – The paper deals with the theoretical solution of the technical condition assessment of the protective hermetic shell. The decision of the regular system intended for determination and assessment of the stress-strain state of protective hermetic covers during acceptance and operation is offered.

Keywords: protective hermetic shell, technical condition, pre-stress, testing, control, mobile geodetic diagnostic system, assessment of stress-strain state.