

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 528.48

**ВЛИЯНИЕ КРАНА КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ СТРОЯЩЕЙСЯ ЗАЩИТНОЙ ГЕРМЕТИЧНОЙ
ОБОЛОЧКИ АЭС**

© 2016 Ю.И. Пимшин*, Е.Б. Ключин**, О.А. Губеладзе***, В.Н. Медведев****,
С.М. Бурдаков*, Ю.В. Заяров*

* *Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

***Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия*

****Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия*

*****Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия*

Целью работы является исследование влияния на техническое состояние защитной герметичной оболочки полярного крана; в статье рассмотрены вопросы поэтапного монтажа и наладки крана кругового действия, устанавливаемого в реакторных отделениях АЭС, и воздействие его на стену защитной оболочки; выделены: этап установки крана на рельс, этап ходовых и статических испытаний, представлены результаты натурных измерений, характеризующих деформацию ЗГО; выводы: представленный материал в настоящей работе описывает ситуацию по оболочкам НП-1000 то есть проекта реализация которого в строящихся АЭС завершается. Однако в проекте АЭС-2006 те же самые исследования и их результаты справедливы и требуют своего решения.

Ключевые слова: защитная герметичная оболочка, деформации, перемещения, кран кругового действия, консоли полярного крана, трещины, строительная часть.

Поступила в редакцию 14.05.2016 г.

Атомная энергетика является одним из немногих динамично развивающихся производственных направлений в России. В силу этого исследования, выполняемые по различным направлениям изучения и совершенствования объектов атомной энергетики, являются актуальными и своевременными. Особо важное направление связано с изучением контуров защиты, к которым в, том числе, относится защитная герметичная оболочка (ЗГО). Защитная герметичная оболочка характеризуется сложным строительным решением, является элементом, обеспечивающим защиту окружающей среды от негативного расчетного события гипотетически возможного в гермообъеме, с одной стороны, и обеспечение защиты работающего реактора от внешних воздействий, с другой стороны. Однако этими функциями не ограничивается назначение ЗГО. Не менее важным является то, что она является фундаментной частью подъёмно-транспортного оборудования, устанавливаемого в реакторном отделении, в том числе: механизма обслуживания купола, крана кругового действия и консольно-кругового крана. Особо из приведенного выше перечня рассмотрим кран кругового действия, это технологическое оборудование выполняет сопровождение основных механомонтажных работ на стадии строительства и в период ППР – при эксплуатации. Кроме того, выполняет работы по загрузке свежего и выгрузке отработанного топлива

из гермообъема на стадии эксплуатации станции. Некоторые параметры описываемых кранов приведены в таблице 1.

Воздействие крана на оболочку начинается с его установке на рельсовый путь, который смонтирован на подкрановых балках, установленных в свою очередь на консолях ЗГО, изготовленных на строительной отметке 46.000 мм (см. рис. 1, рис. 2) [1], [2], [3]. При этом подчеркнем, что установку крана выполняют на строящейся оболочке, как правило, возведенной примерно до отметок 55.000-60.000 мм.

Таблица 1. – Некоторые параметры кранов кругового действия

№ п/п	Вид параметра	Значение параметра
1	Пролет крана:	
1.1	АЭС с реактором ВВЭВ-1000	43000 мм
1.2	АЭС-2006 и АЭС ВВЭР-ТОИ	41500 мм
2	Масса крана	500-600 и более т.
3	Грузоподъемность	~ 400 т.
4	Точность наведения	7 мм
5	Точность выполнения диаметра ходовой части	±5 мм
6	Точность установки ходового колеса на касательной номинальной окружности	±1 мм

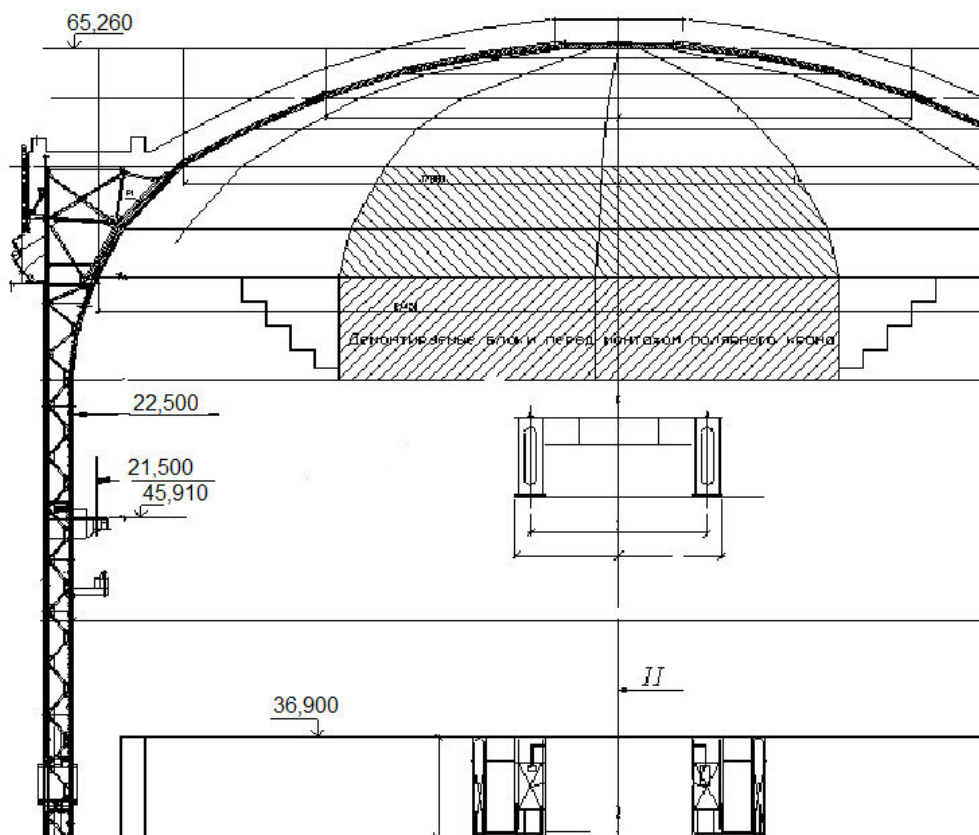


Рис. 1. – Схема разреза защитной оболочки по оси I-III

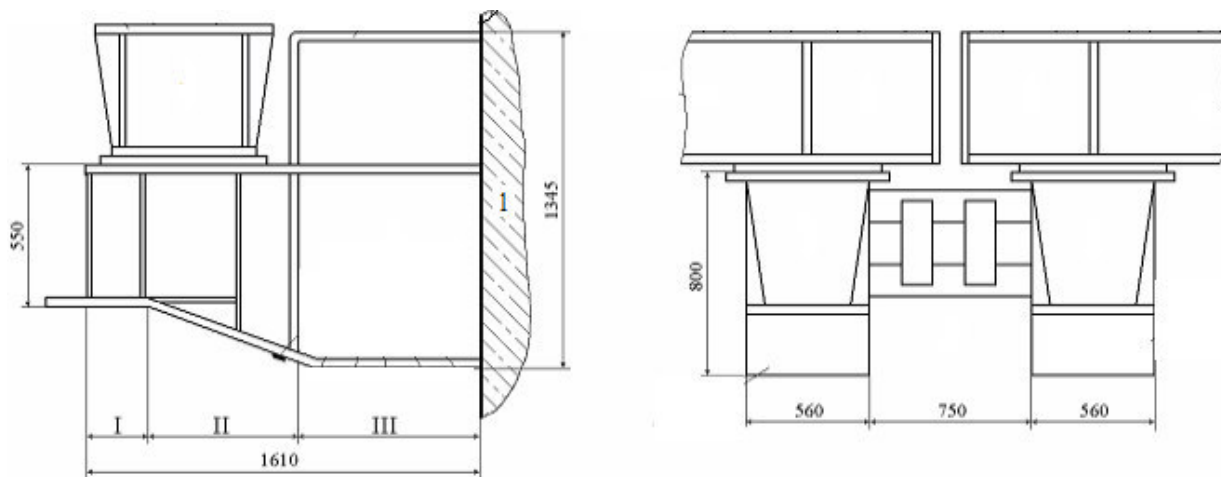


Рис. 2. – Схема консолей полярного крана

Перераспределенный вес крана через его ходовые колёса передается по соответствующим сторонам на подкрановый путь, затем на балки и далее посредством консолей 5, на стену защитной оболочки 1 которая в зоне 2 воспринимает момент силы, (см. рис. 3, рис. 4).

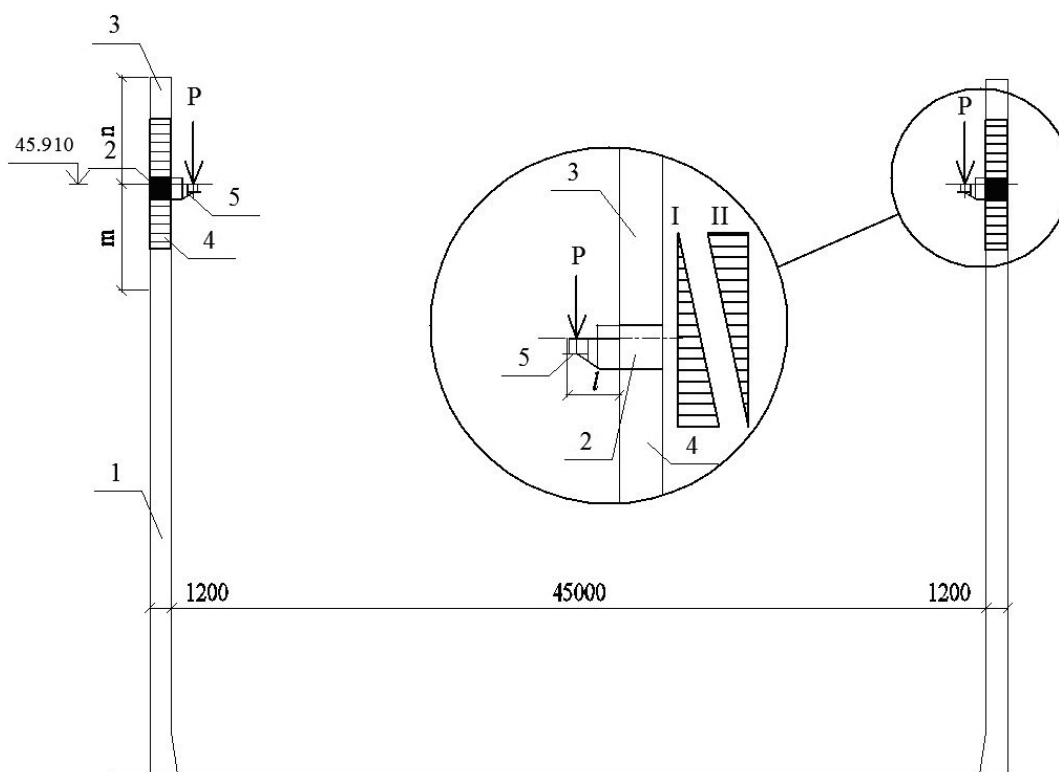


Рис. 3. – Схема строительных элементов защитной оболочки

1– стена защитной оболочки, 2– зона крепления консоли, 3 – зона защитной оболочки, расположенная выше зоны крепления консоли и непосредственно примыкающая к ней, 4 – зона защитной оболочки, расположенная ниже зоны крепления консоли и непосредственно примыкающая к ней, 5– консоль.



Рис. 4. – Установка крана на рельс

$$M_O = l \cdot P_k, \quad (1)$$

что вызывает упругие деформации стены оболочки. При этом зона 2 крепления консоли 5 является фрагментом стены, зоны которой, расположенные выше и ниже зоны 2, обладают соответствующей, на конкретный момент строительства, жесткостью. При этом совокупная жесткость того или иного яруса является величиной интегральной:

$$U_n = \int_{H_2}^{H_n} f(U, H_i) \cdot dH \quad (2)$$

$$U_m = \int_{H_m}^{H_2} f(U, H_i) \cdot dH \quad (3)$$

Определение значения U_m осуществляется путем интегрирования функции $f(U, H_i)$ в пределах от H_m до H_2 , при этом интегрирование в больших пределах значений не имеет смысла, так как пределы интегрирования принимаются такими, что $U = U_{np} - U_m$ пренебрежимо малая величина (см. рис. 5).

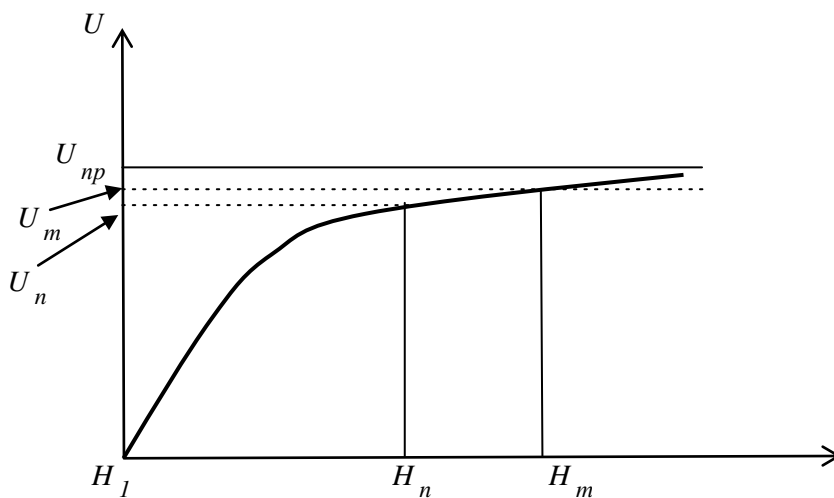


Рис. 5. – График функции $f(U, H_i)$

В то же время значение U_n определяется путем интегрирования функции $f(U, H_i)$ в пределах от H_2 до H_n , при этом H_n является величиной изменяющейся в соответствии с графиком возведения защитной оболочки. Следовательно, и значение U_n является изменяющейся величиной. При этом возникают ситуации когда $U_m > U_n$ и $U_m < U_n$ (данная ситуация возникает тогда когда в зону интегрирования попадает возведенное опорное кольцо).

Рассмотрим последовательно возможные варианты сочетания U_m и U_n . В случае, когда $U_m > U_n$ тогда воздействие момента M_0 силы на стену защитной оболочки приводит к тому, что ось вращения консоли располагается в нижней ее части (см. рис. 6). Этому соответствует то, что выше зоны крепления расположенный ярус в горизонтальном сечении деформируется в эллипс, большая диагональ которого перпендикулярна оси моста крана кругового действия.

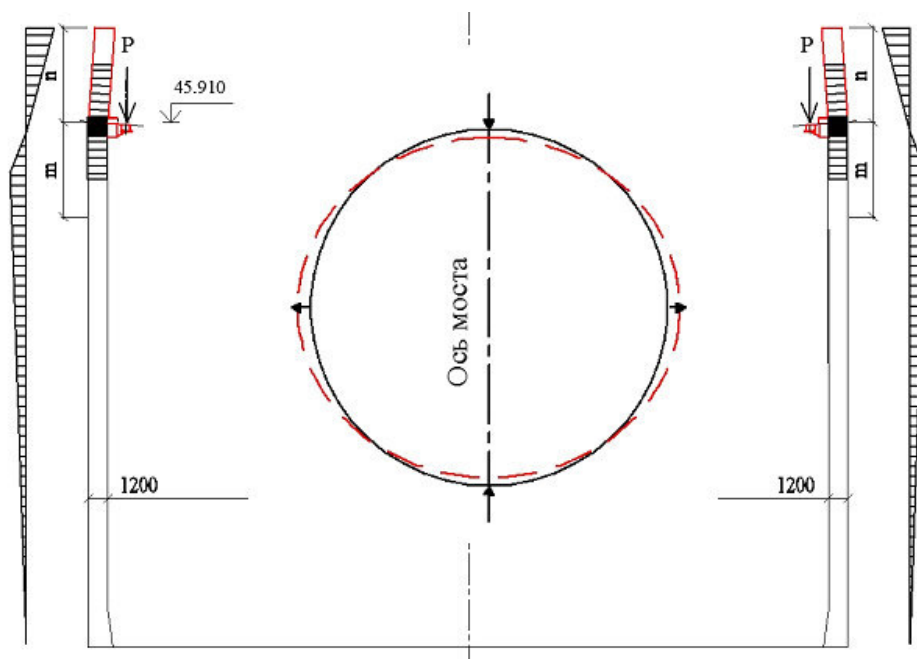


Рис. 6. – Схема изменения формы горизонтального сечения защитной оболочки на горизонте подкрановых путей крана кругового действия при условии $U_m > U_n$

В случае, когда $U_m < U_n$ тогда воздействие момента M_0 силы на стену защитной оболочки приводит к тому, что ось вращения консоли располагается в верхней ее части (см. рис. 7). Этому соответствует то, что ниже зоны крепления расположенный ярус в горизонтальном сечении деформируется в эллипс, большая диагональ которого параллельна оси моста крана кругового действия. Таким образом, после монтажа крана формируются, в зависимости от ее строительной готовности, различные сочетания U_m и U_n , при этом воздействие момента M_0 силы на стену защитной оболочки приводит к различному по направлению деформированию того или иного яруса. Однако этим не исчерпывается влияние полярного крана на техническое состояние недостроенной оболочки.

До момента полной строительной готовности ЗГО, кран проходит несколько этапов испытаний и, собственно монтаж оборудования первого контура, выполняется как минимум на не обжатой оболочке.

Рассмотрим влияние крана на оболочку при его ходовых и статических испытаниях.

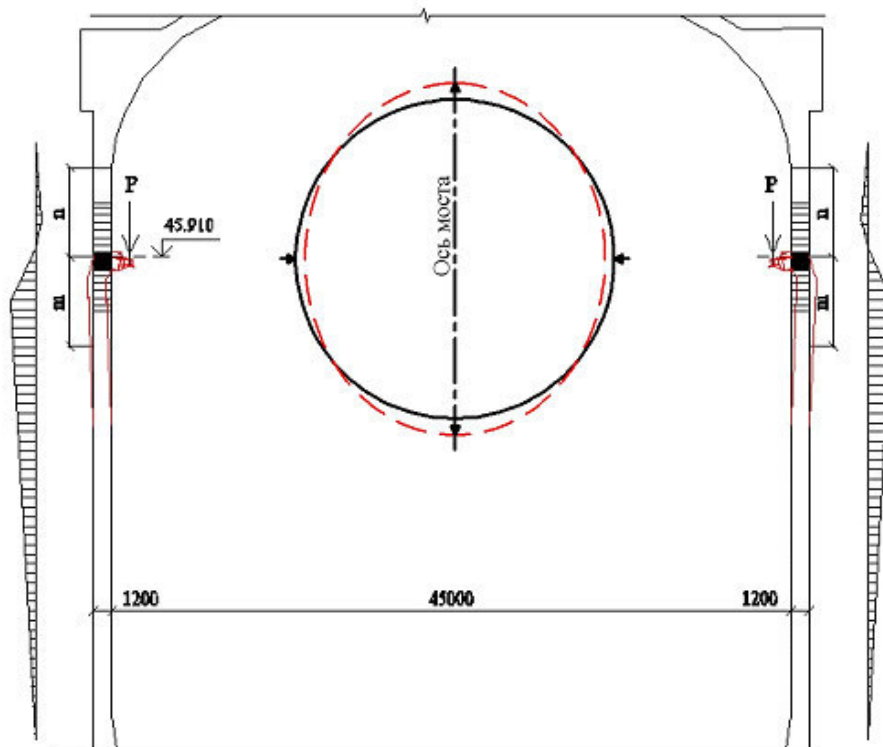


Рис. 7. – Схема изменения формы горизонтального сечения защитной оболочки на горизонте подкрановых путей крана кругового действия при условии $U_m < U_n$

При этом определим, что вертикальное давление крана с грузом на одну его сторону опирания колес P_1 и на другую P_2 (см. рис. 8), в зависимости от положения груза l_1 и l_2 определяют по формулам:

$$P_1 = \frac{P_{\text{крана}}}{2} + \frac{l_1}{l_1 + l_2} P_{\text{груза}}, \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{P_{\text{крана}}}{2} + \frac{l_2}{l_1 + l_2} P_{\text{груза}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{крана}}$ – собственный вес крана; $P_{\text{груза}}$ – вес грузовой тележки и поднимаемого груза.

В соответствии с этим моменты M_1 и M_2 по каждой стороне не одинаковы. Так в период ходовых испытаний крана поднимают груз весом 40-50% от его грузоподъемности. Работы проводят согласно программе, заключающейся, например, в подъеме груза и прокатывании крана кругового действия, первый раз против хода часовой стрелки на 30° от нулевого положения, второй и третий разы - по ходу часовой стрелки соответственно на 80° и 100° от нулевого положения. При этом в третьем случае груз перемещают примерно в центр оболочки (см. рис.8). После каждого прокатывания при остановленном кране контролируются геометрические параметры оболочки [4, 5].

При статических испытаниях мост крана устанавливают по направлению оси II-IV (см. рис. 9). При этом предварительно на главном подъеме, установленном в середине моста, закрепляют гидравлический нагрузчитель. Гидронагрузчитель также скреплен с тросами, смонтированными в главном зале реакторного отделения. Затем этим

устройством производя нагружение крана на 25% больше его паспортной максимальной грузоподъемности, т.е. до 460 тонн. При этом на рисунке 9 приведены схемы эпюр нагружения стены оболочки полярным краном при его испытании. В каждом случае происходит соответствующее деформирование оболочки, следствием чего является формирование трещин с внешней стороны стены оболочки.

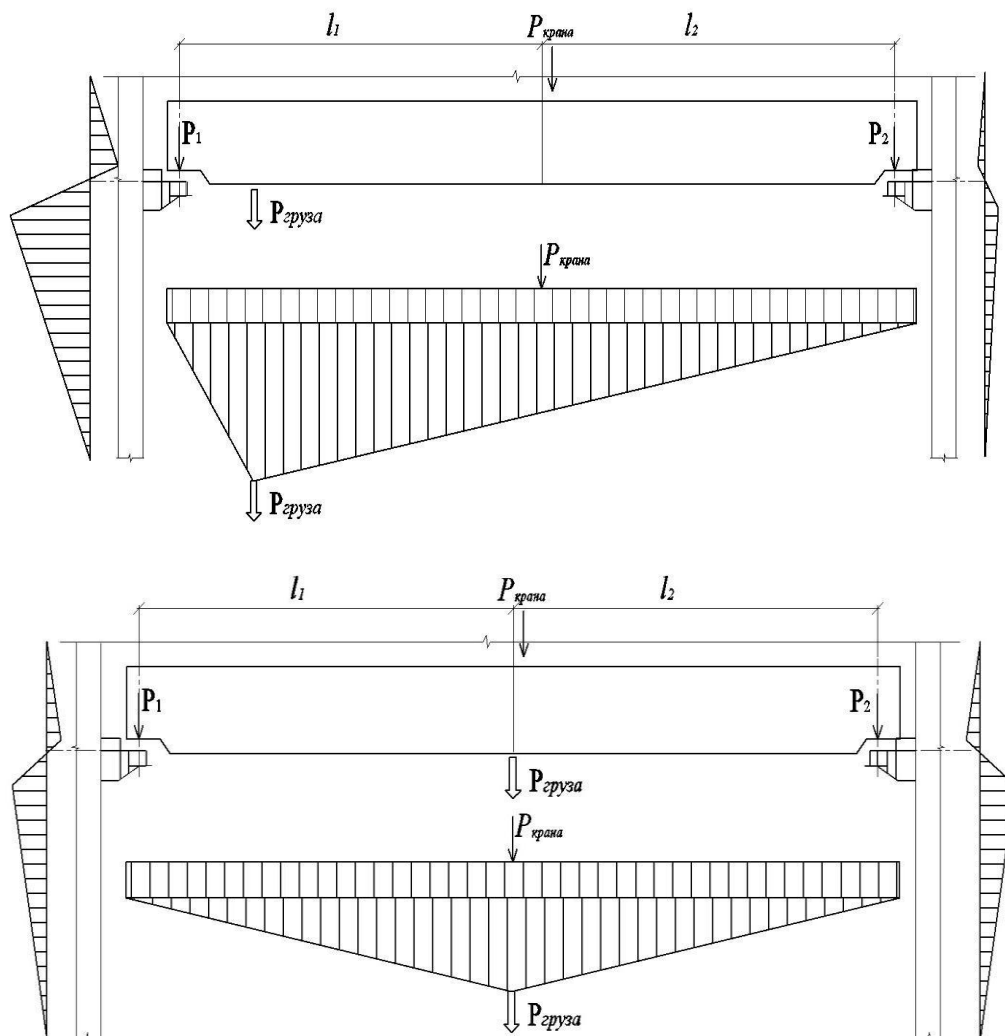


Рис. 8. – Распределение нагрузок при работе полярного крана

Далее, после получения разрешения, полярный кран обеспечивает подъемно транспортные работы при монтаже тяжеловесных конструкций первого контура герметичной зоны – это корпус реактора, парогенераторы и главные циркуляционные насосы.

Процесс влияния крана на ЗГО при выполнении этих операций, в основном, соответствует ранее описанным процессам, лишь силовые воздействия на оболочку будут увеличены. В связи с тем, что, например, вес корпуса реактора составляет 320 тонн и при его подъёме на ближнюю к транспортному коридору сторону крана приходится 297,7 тонн распределенной нагрузки от реактора, в то время как при испытаниях на ту же сторону приходится 230 тонн распределенной нагрузки от гидронагрузжателя.

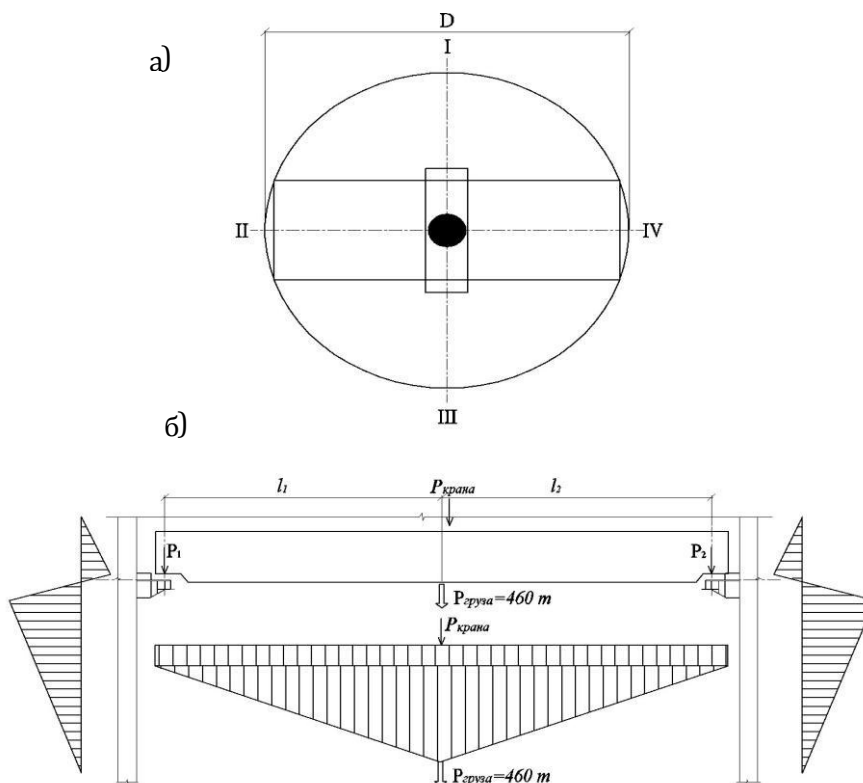


Рис. 9. – Схема расположения и распределение нагрузки при статических испытаниях:
 а – положение крана и нагрузки;
 б – распределение нагрузки

Как уже говорилось выше, следствием этих деформационных процессов являются формирование вертикальных трещин. При этом в чертежах на изготовление ЗГО сформулировано требование, что допускаются усадочные трещины с раскрытием 0.3 мм. В реальности эти значения могут быть завышены в несколько раз (см. рис. 10). При этом глубина трещины может достигать величины до 160 мм.



Рис. 10. – Трещины стены защитной оболочки

Представленный материал в настоящей работе описывает ситуацию по оболочкам НП-1000, то есть, проекта, реализация которого в строящихся АЭС завершается. Однако и в проекте АЭС-2006 те же самые исследования и их результаты справедливы и требуют своего решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пимшин, Ю.И. и др. Анализ работы строительных элементов герметичной оболочки АЭС при ее преднапряжении и испытании [Электронный ресурс] / Ю.И. Пимшин, Ю.С. Забазнов, Л.Ф. Кирильчик // Инженерный вестник Дона : сетевой журн. – 2014. – №1. – Режим доступа: URL:<http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2263> – 12.05.2016.
2. Пимшин, Ю.И. и др. Геодезическое обеспечение мониторинга технического состояния защитных герметичных оболочек атомных электрических станций (АЭС) в период их строительства, преднапряжения и испытания [Текст] / Ю.И. Пимшин, Ю.С. Забазнов, Е.Б. Ключин // Сборник статей по итогам научно-технических конференций. Выпуск 7 (в двух частях). – Ч1.–М.: МИИГАиК, 2014 / прилож. к журналу «Геодезия и аэрофотосъемка» №6. – 2014. – С. 19–23.
3. Гайрабеков, И.Г. и др. Результаты выполненных работ в рамках мониторинга защитных герметичных оболочек строящихся блоков Ростовской АЭС [Текст] / И.Г. Гайрабеков, Ю.И. Пимшин, О.А. Губеладзе, В.Н. Медведев // Сборник статей по итогам научно-технических конференций. Выпуск 7 (в двух частях) – Ч1. – М.: МИИГАиК, 2014 / прилож. к журналу «Геодезия и аэрофотосъемка» №6. – 2014. – С. 29–30.
4. Пат. 2426089 Российская Федерация, МПК G01, М 99/00. Способ определения деформационных характеристик сооружений [Текст] / Ю.И. Пимшин, В.А. Наугольнов, И.Ю. Пимшин, Ю.С. Забазнов, В.В. Яковлев; заявитель и патентообладатель Пимшин Ю.И., Наугольнов В.А., Пимшин И.Ю., Забазнов Ю.С., Яковлев В.В. – №2010105351/28; заявл. 15.02.10; опубл. 20.08.11, бюл. №22. – 8 с.: ил.
5. Пат. 2546990 Российская Федерация, МПК G01, М 99/00. Способ определения деформационных характеристик защитной герметичной оболочки [Текст] / Ю.И. Пимшин, Ю.С. Забазнов, О.А. Губеладзе, П.Ю. Пимшин; заявитель и патентообладатель Пимшин Ю.И., Забазнов Ю.С., Губеладзе О.А., Пимшин П.Ю., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет», РГСУ.– № 2013154404/28; заявл. 06.12.13; опубл. 10.04.15, бюл. №10.– 8 с.: ил.

REFERENCES

- [1] Pimshin Yu.I., Zabaznov Yu.S., Kirilchik L.F. Analiz raboty stroitelnykh elementov germetichnoy obolochki AES pri ee prednapryazhenii i ispytanii [The analysis of work of construction elements of a tight cover of the NPP at its pretension and test] . Engineering journal of Don, 2014, №1. – Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2263> ISSN 2073-8633 (in Russian)
- [2] Pimshin Yu.I., Zabaznov Yu.S., Klyushin E.B. Geodezicheskoe obespechenie monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya zashchitnykh germetichnykh obolochek atomnykh elektricheskikh stantsiy (AES) v period ikh stroitel'stva, prednapryazheniya i ispytaniya [Geodetic support of monitoring of technical condition of protective tight covers of the nuclear power plants (NPP) during their construction, pretension and test]. The collection of articles following the results of scientific and technical conferences. Release 7 (in two parts). – Part 1. – М.: МИИГАиК / annex to the "Geodesy and Aero Photofilming" magazine №6, 2014. pp. 19–23. (in Russian)
- [3] Gayrabekov I.G., Pimshin Yu.I., Gubeladze O.A., Medvedev V.N. Rezultaty vpolnennykh работ v ramkakh monitoringa zashchitnykh germetichnykh obolochek stroyashchikhsya blokov Rostovskoy AES [Results of the performed works within monitoring of protective tight covers of blocks under construction of the Rostov NPP]. The collection of articles following the results of scientific and technical conferences. Release 7 (in two parts). – Part 1. – М.: МИИГАиК / annex to the "Geodesy and Aero Photofilming" magazine №6, 2014. p. 29–30. (in Russian)
- [4] Pimshin Yu.I., e.a. Sposob opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik sooruzheniy [Way of definition of construction deformation characteristics]. Patent RF, no. 2426089, 2011. (in Russian)
- [5] Pimshin Yu.I., e.a. Sposob opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik zashchitnoy germetichnoy obolochki [Way of deformation definition of protective tight cover characteristics]. Patent RF, no. 2546990, 2015. (in Russian)

Influence of Circular Action Crane on Technical Condition of the NPP Constructing Protective Tight Cover

Yu.I. Pimshin^{*1}, E.B. Klyushin^{2}, O.A. Gubeladze^{***3}, V.N. Medvedev^{****4},
S.M. Burdakov^{*5}, Yu.V. Zayarov^{*6},**

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

*** Moscow State University of Geodesy and Cartography
МИИГАиК №4, Gorokhovskiy pereulok, Moscow, Russia 105064*

**** Don State Technical University
Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000*

***** Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences
Bolshaya Tulsckaya, 52, Moscow, Russia 113191*

¹ e-mail: yipimshin@mephi.ru ; ² e-mail: eklyushin 37@mail.ru ; ³ e-mail: buba26021966@yandex.ru ;
⁴ e-mail: cont@ibrae.ac.ru ; ; ⁵ e-mail: SMBurdakov@mephi.ru ; ⁶ e-mail: yvzayarov@mephi.ru

Abstract – OBJECTIVES We researched technical condition of a protective tight cover of the polar crane. In article questions of stage-by-stage installation and adjustment of the circular action crane established in NPP reactor buildings and its impact on protective cover wall are considered. A stage of installation of the crane for a rail, a stage of trial and static tests are allocated. Results of the natural measurements characterizing deformation of a protective tight cover (PTC) are presented.

CONCLUSIONS The presented material describes NP-1000 situation covers, that is the project, realization of which at the constructing NPPs, comes to the end. However there are the same researches in the NPP-2006 project and their results are fair and require the solution.

Keywords: protective tight cover, deformations, movements, circular action crane, polar crane consoles, crack, construction part.