

УЧЕТ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ КРАНА КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ И ЗАЩИТНОЙ ГЕРМООБОЛОЧКИ ЭНЕРГБЛОКА АЭС ПРИ АНАЛИЗЕ БЕЗОПАСНОСТИ

(материал опубликован в журнале «Глобальная ядерная безопасность», № 3 (24), 2017)

О.А. Губеладзе^{*}, А.Р. Губеладзе^{*}, С.М. Бурдаков^{}**

^{*} *Донской государственный технический университет (ДГТУ),*

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

В работе представлены особенности учета взаимодействия крана кругового действия и защитной гермооболочки энергоблока АЭС при анализе безопасности.

Ключевые слова: Защитная гермооболочка, реакторное отделение, кран кругового действия, подкрановый путь, технологическое оборудование, монтаж, атомная энергетика.

Предотвращение аварийной ситуации (АС) предусматривает проведение с высоким качеством мероприятий соответствующих таким этапам жизненного цикла АЭС с ВВЭР как создание (проектирование, строительство, монтаж оборудования) и эксплуатация. Для предотвращения неблагоприятного развития иницирующих событий в рамках концепции выполняются различные функции, одной из которых является безусловное обеспечение охлаждения активной зоны реактора (предотвращение перегрева ТВЭЛов и их разрушения). Машина перегрузки (МП) ядерного топлива (ЯТ) предназначена для загрузки, перегрузки и выгрузки тепловыделяющих сборок на остановленном и расхоложенном реакторе. Точность наведения на заданную координату составляет ± 3 мм. Мостовой кран радиального действия (полярный кран) устанавливается под куполом защитной гермооболочки (ЗГО) реакторного отделения АЭС и применяется для перемещения различных грузов в реакторном отделении. Его конструкция позволяет совершать транспортные операции в любой точке здания. Точность наведения груза таким краном должна составлять ± 7 мм. Особую актуальность это требование принимает в случае неисправности МП при реализации АС, требующей выгрузки тепловыделяющих сборок (ТВС) из реактора.

Важнейшей функцией при неблагоприятном развитии событий необходимо считать локализацию и удержание радиоактивных веществ в пределах зоны локализации аварии. Эффективность реализации защитных функций гермооболочкой в значительной степени зависит от того – насколько успешным будет противодействие ЗГО нерегулируемым деструктивным воздействиям, а точнее деструктивным факторам (ДФ) этих воздействий. В реальной АС следует ожидать одновременное или комбинированное воздействие нескольких ДФ. Комбинированное воздействие возможно при условии, что первое по времени нерегулируемых деструктивных воздействий (НДВ) явилось источником последующих (вторичных) воздействий.

После монтажа крана радиального действия на подкрановый путь, на консоли, расположенные в районе ходовых колес, воздействует сила, обусловленная его весом. Стена защитной оболочки в зоне крепления консоли воспринимает момент силы, который вызывает упругие деформации стены оболочки. При этом зона крепления консоли является фрагментом стены, где расположенные выше и ниже зоны обладают соответствующей на конкретный момент строительства жесткостью.

Исходя из выше сказанного, при решении проблем безопасности АЭС, где существенная роль отводится подъемно-транспортным системам (ПТС), их следует рассматривать как элемент комплекса «ЯТ – технологическое оборудование (ТО) реакторного отделения – ЗГО». Безусловно, АЭС является сложной технической системой,

обладающей рядом специфических свойств. Проведя ее детализацию, выделим элемент для дальнейшего исследования – энергоблок АЭС. Исследуемый объект S представим в виде модели, которая имеет следующие характеристики:

- X – входные воздействия ($x_a \in X, a = \overline{1, N_x}$);
- H – внутренние параметры системы ($h_l \in H, l = \overline{1, N_h}$);
- Y – выходные параметры ($y_b \in Y, b = \overline{1, N_y}$);
- V – набор внешних возмущений ($v_d \in V, d = \overline{1, N_v}$).

При наличии в наборе внешних возмущений НДВ ($V^{НДВ} \cap V, v_d' \in V^{НДВ}, d = \overline{1, N_d}$) возможно возникновение АС, при развитии которой ожидаются исходы G , где $g_j \in G$. Исходы характеризуются критериями $K(g_j)$, в данном случае предпочтения в G можно описать при помощи единственного критерия K , т.е. исход g_0 предпочтительнее других

$$K(g_0) \succ K(g_j), j = 1, 2, 3. \quad (1)$$

С целью предотвращения возникновения или дальнейшего развития АС выполняются мероприятия защиты объекта S . Реализация этих мероприятий зависит от эффективности как отдельных элементов, так и всей системы защиты (СЗ) [2]. Здесь под эффективностью будем понимать свойство, определяющее степень пригодности системы для использования по назначению и характеризующее соответствие достигнутого в процессе применения системы результата ожидаемому (требуемому). Способы реализации мероприятий защиты будем называть стратегиями U ($u_m \in U, m = \overline{1, N_u}$). Если задача характеризуется наличием случайных факторов с известными законами распределения (отказ оборудования, случайный «спрос» и т.д.), то каждой стратегии из множества U можно поставить в соответствие распределение на множество исходов. В данном случае, G является конечным множеством, поэтому для стратегии u_m при воздействии v_d' можно определить вероятность $P_j(u_m, v_d')$ появления каждого исхода g_j . Критерий, характеризующий исходы, является случайной функцией $\tilde{K}(u_m)$. Для любой выбранной стратегии распределение $\tilde{K}(u_m)$ известно. Задав число Z , можно определить вероятность того, что $\tilde{K}(u_m)$ примет значение не меньше Z . Согласно принципу вероятностного гарантированного результата, задается требуемый уровень и вводится числовая функция $K^z(u) = \gamma(u)$, т.е. оптимальная стратегия определяется как нахождение $\max K^z(u)$, где $u \in U$. Однако задача усложняется наличием неопределенности. Это связано с отдаленностью этапа непосредственного применения СЗ, неопределенностью самого момента ее использования, характеристик системы (на момент возникновения НДВ, способного вызвать АС), а также будущих условий применения (сочетание НДВ и их параметров). Технологическое оборудование, а именно ПТС, и защитная гермооболочка, являясь элементами СЗ, в свою очередь также подвергаются НДВ. Это касается не только воздействий непосредственно в момент возникновения АС, а и НДВ в предшествующий период существования энергоблока (возведение, монтаж, испытания, эксплуатация).

Следует отметить, что, являясь составными частями (элементами) энергоблока, ПТС РО и ЗГО оказывают непосредственное воздействие друг на друга как на этапе строительства, так и в период непосредственной эксплуатации. В отсутствии краткосрочных динамических НДВ при эксплуатации энергоблока, основные изменения параметров происходят во время возведения, монтажа и испытаний ПТС и ЗГО [3]. Для устранения неопределенности при анализе безопасности энергоблока необходимо получить как можно более полные и достоверные сведения о параметрах элементов СЗ, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки [4] и монтаже ПТС РО [5].

На рисунке 1 представлена схема НДВ на оболочку и ПТС РО (без влияния ошибок проектирования) с учетом взаимовлияния. Здесь представлены следующие воздействия: v'_{1-1} –

ошибки монтажа крана кругового действия; v'_{1-2} – отклонения от проекта в период возведения ЗГО; v'_{2-1} – массово-инерционные нагрузки; v'_{2-2} – отклонения от программы испытаний; v'_{2-3} – нарушения при проведении транспортно-технологических операций; v'_{2-4} – нагрузки, приводящие к избыточным деформациям кранового пути; v'_{3-1} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в период монтажа, испытаний ККД; v'_{3-2} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в процессе преднапряжения; v'_{3-3} – деформация оболочки на горизонте консолей кранового пути в процессе испытания ЗГО; v'_{4-1} – нарушения технологии преднапряжения ЗГО; v'_{5-1} – нарушения программы испытаний.

К началу непосредственной эксплуатации энергоблока внутренние параметры элементов системы представляют собой множество H^0 . Сюда входят конструктивные параметры ($r_{внеш}$, $r_{внут}$ – внешний и внутренний радиусы ЗГО; δ_i – толщина цилиндрической стенки ЗГО в контрольных точках; физико-механические характеристики материалов конструкции ЗГО) и режимные параметры ($\Delta p_{исп}$ – величина избыточного давления испытательной среды при испытаниях ЗГО на прочность; Δp_{ac} – прогнозируемая величина избыточного давления среды при проектной АС, которое ЗГО способна выдержать; параметры напряженно-деформированного состояния ГО в контрольных точках; усилия в арматурных канатах системы преднапряжения защитной оболочки; нагрузки от ККД).

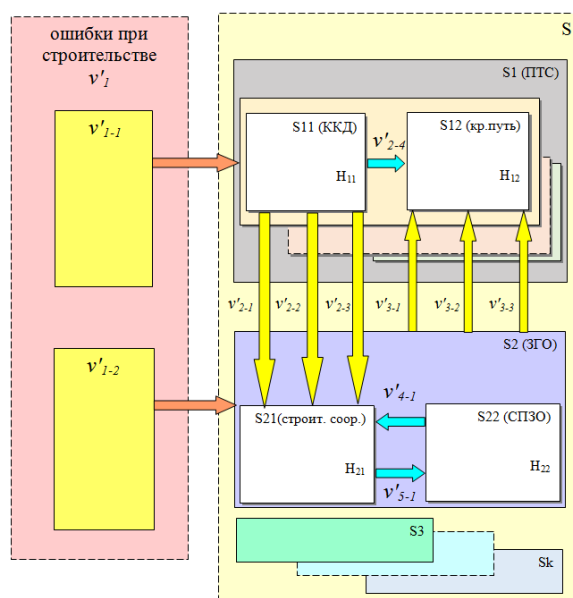


Рисунок 1 – Схема НДВ в период строительства и испытаний

Диапазон значений параметров должен соответствовать проектным допускам, которые определяются с учетом внешних расчетных воздействий (РВ), принятых во внимание при проектировании. Ограничения на параметры η_i ($h^0_i \leq 0$, $i=1, w$; $h^0_i \in H^0$), где w – количество ограничений на параметры объекта. Реальные значения внутренних параметров (множество H) могут отличаться от результатов проектирования, а точнее, находиться вне допуска. Как уже отмечалось, необходимо получить как можно более полные и достоверные сведения о параметрах элементов исследуемого объекта, достигнутых в процессе реализации проектных решений при возведении гермооболочки и монтаже ПТС РО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Острейковский, В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ [Текст] / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.
2. Губеладзе, О.А. Исследование эффективности системы физической защиты ядерноопасных объектов [Текст] / О.А. Губеладзе // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 127-129.

3. *Пимиин, Ю.И.* Влияние крана кругового действия на техническое состояние строящейся защитной оболочки АЭС [Текст] / Ю.И. Пимиин, Е.Б. Ключин, О.А. Губеладзе, В.Н. Медведев, С.М. Бурдаков, Ю.В. Заяров // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 33-42.
4. *НП-010-16.* Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций». Приказ Ростехнадзора от 24.02.2016 N 70 (ред. от 17.01.2017) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – Режим доступа: URL:http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196163/ (дата обращения: 27.01.2018).
5. *НП-043-11.* Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии». Приказ Ростехнадзора от 30.11.2011 N 672 (ред. от 19.11.2013) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125802/4c55d1a30b908c9a13add7e2e5976ffbd97f4b4e/ (дата обращения: 27.01.2018).

Taking into Account the Mutual Influence of the Crane of the Circular Action and the Protective Envelope of the Power Unit of the Nuclear Power Plant under the Safety Analysis

Gubeladze O.A.^{*1}, Gubeladze A.R.^{*1}, Burdakov S.M.^{2}**

**Don state technical university, Rostov-On-Don*

***Volgodonsk Engineering Technical Institute the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,*

Volgodonsk, Rostov region

¹buba26021966@yandex.ru

²SMBurdakov@mephi.ru

Abstract – The paper presents the features of taking into account the interaction of the crane of the circular action and the protective envelope of the power unit of the nuclear power plant under the safety analysis.

Keywords: Protective hermetic shell, reactor compartment, a crane of a circular action, crane runway, technological equipment, installation, nuclear power.

УДК 536.2:614.841.415:621.039

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ АЭС НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О.А. Губеладзе^{*}, А.Р. Губеладзе^{*}, С.М. Бурдаков^{}**

**Донской государственный технический университет (ДГТУ),*

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

В работе представлены особенности моделирования элементов конструкции противопожарной защиты объектов АЭС на этапе проектирования.

Ключевые слова: аварии на АЭС, состояние противопожарного нормирования, локальный пожар, интегральная модель, полевые модели, тепловое поле, вариационный метод.

Аварии на АЭС, связанные с пожарами, представляют серьезную угрозу. Методы количественной оценки опасности последствий пожаров рассматривают два аспекта – оценку вероятности возникновения пожара и вероятностную оценку последствий пожара с учетом принимаемых мер по противопожарной защите объектов. Они используются как