

В. И. Скалозубов, В. Н. Ващенко*, А. А. Гудима*, И. Л. Козлов**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

**Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Урицкого, 35, Киев, 03035, Украина*

***Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина*

СИМПТОМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ОБОСНОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ЯДЕРНЫМИ АВАРИЯМИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Предложено дальнейшее развитие симптомно-ориентированных подходов по идентификации и обоснованию стратегий управления запроектными и тяжелыми авариями для корпусных ядерных реакторов с целью повышения уровня экологической безопасности АЭС и минимизации или полного недопущения возможных опасных экологических последствий с помощью научно обоснованного алгоритма управления тяжелой ядерной экологической аварией.

Ключевые слова: экологическая безопасность, стратегии управления тяжелыми авариями, симптомно-ориентированный подход, водо-водяной энергетический реактор.

Еще до большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi в ИПБ АЭС НАН Украины [1] был разработан и опубликован принципиально новый подход идентификации перечней запроектных аварийных последовательностей, который основан на рассмотрении всех возможных исходных событий (ИС), приводящих к тяжелым авариям (ТА). К сожалению, проведенные в Украине после большой аварии стресс-тесты по дальнейшему повышению безопасности с учетом уроков АЭС Fukushima-Daiichi фактически не определили актуальность этих вопросов. В частности, из дальнейшего анализа безопасности исключены как маловероятные аналогичные с причинно-аварийными событиями на АЭС Fukushima-Daiichi события с возможным затоплением промплощадки Запорожской АЭС. А в нормативных документах сохранен принцип приоритетности рассмотрения аварийных событий по вкладу в вероятностные показатели безопасности.

Идентификация перечня исходных событий ТА для АЭС с ВВЭР определяется:

перечнем первичных исходных событий аварий (ИСА) – течи реакторного контура и паропроводов, межконтурные течи, потеря электроснабжения и отказы систем, важных для безопасности, которые могут при определенных запроектных сценариях аварийных последовательностей (АП) привести к недопустимому повреждению активной зоны реактора;

перечнем и конечным состоянием запроектных АП с возможными отказами критических конфигураций систем (ККС), обеспечивающих выполнение функций безопасности (ФБ) для предотвращения возникновения тяжелых ядерных экологических аварий.

В общем случае перечень ИС ТА определяется в виде [1, 2]

$$П(ИС ТА) = \sum_i П(ИСА_i) \sum_j АП_{ij}, \quad (1)$$

где $П(ИСА_i)$ – перечень первичных i -х ИСА; $АП_{ij}$ – количество j -х запроектных АП в i -й группе ИСА, приводящих к недопустимому повреждению топлива при одинаковых начальных условиях развития ТА и состояниях ККС, обеспечивающих выполнение необходимых ФБ.

В общем случае полный перечень стратегий управления ТА $\bar{П}_{СУТА}$ определяется в виде

$$\bar{П}_{СУТА} = \sum_{n=1}^N \left[M_n + \sum_{i=1}^{N_1} П(ИСА_i) \sum_{j=1}^{N_2} АП_{ij} \right], \quad (2)$$

где N – общее количество независимых и эффективных мероприятий/действий персонала M_n по управлению ТА; N_1 , $П(ИСА_i)$ – соответственно общее количество и перечень проектных (первичных) исходных событий аварий; $АП_{ij}$ – j -я запроектная аварийная последовательность в i -й группе ИСА.

С учетом разработанного ранее в [1, 2] обобщенного симптомно-ориентированного подхода на принципах идентичности и минимальной достаточности

$$П(ИСА_i) = П_i \left[\bar{C}_i(\Delta t_{mi}) \right], \quad (3)$$

$$АП_{ij} = АП_{ij} \left[СТ_{ij}(\text{отказ ККС/ФБ}) \right], \quad (4)$$

© В. И. Скалозубов, В. Н. Ващенко, А. А. Гудима, И. Л. Козлов, 2014

где $\bar{C}_i(\Delta t_{mi})$ - набор и последовательность первичных симптомов i -й группы ИСА и реализуемые в определенные временные интервалы (Δt_{mi}) начала развития аварийного процесса (определяются по результатам детерминистского моделирования); CT_{ij} - симптомы тяжелой аварии, которые определяются по контролируемому факту отказа ККС, обеспечивающих выполнение необходимых функций безопасности.

Характерные обоснования и примеры симптомов и перечней ИС ТА, доминантных для ВВЭР групп аварий с течами 1-го контура и межконтурными течами, приведены в [1].

В соответствии с представленным подходом примерный *перечень стратегий управления тяжелыми ядерными экологическими авариями* на энергоблоках с ВВЭР-1000, с точки зрения экологической безопасности, может иметь следующий вид:

1. Управление давлением в реакторе при полном обесточивании и «плотном» 1-м контуре.
2. Снижение температуры топлива в реакторе при «плотном» 1-м контуре и отказах аварийной защиты и систем безопасности 2-го контура.
3. Снижение температуры топлива в реакторе при «неплотном» 1-м контуре и отказах активной части системы аварийного охлаждения (САОЗ).
4. Управление давлением в герметическом отсеке при полном обесточивании и «неплотном» 1-м контуре.
5. Снижение температуры расплава в шахте реактора при полном обесточивании.
6. Снижение давления во 2-м контуре при полном обесточивании и др.

Одним из наиболее приоритетных современных направлений повышения экологической безопасности атомной энергетики Украины с учетом уроков ТА на АЭС Fukushima-Daiichi является разработка *достаточно обоснованных симптомно-ориентированных руководств/инструкций по управлению ТА*.

Основные преимущества предлагаемого в этой работе подхода формирования перечней стратегий управления ТА является:

1. Отсутствие принципа рассмотрения запроектных и ТА по их вкладу в вероятностные показатели безопасности: в предлагаемом подходе учитываются все запроектные аварийные последовательности, приводящие к недопустимому повреждению ядерного топлива, в том числе и относительно маловероятные события, подобные тем, что произошли на АЭС Fukushima-Daiichi.
2. Используемые в настоящее время в руководствах/инструкциях по управлению запроектными авариями, а именно в Руководстве по управлению запроектными авариями и в Симптомно-ориентированной аварийной инструкции (РУЗА/СОАИ) симптомы не соответствуют в общем случае принципам идентичности и минимальной достаточности, на которых основан предлагаемый в этой работе симптомно-ориентированный подход. В частности, следствием невыполнения этих принципов является тот факт, что разные группы аварий могут иметь одинаковые симптомы, что недопустимо для обоснованной идентификации и управления авариями.
3. Предлагаемый подход формирования стратегий управления тяжелыми ядерными экологическими авариями применим для исходных условий работы реактора на номинальной и пониженной мощности, в том числе и при остановленном реакторе. А также для управления ТА в бассейнах выдержки отработанного ядерного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы управления запроектными авариями на АЭС с ВВЭР* / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2010.
2. *Анализ причин и последствий аварии на АЭС Fukushima как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах: монография* / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, В. Н. Ващенко; Под ред. В. И. Скалозубова. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. - 280 с.

В. І. Скалозубов, В. М. Ващенко^{*}, А. А. Гудима^{*}, І. Л. Козлов^{}**

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03028, Україна

^{} Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна*

*^{**} Державна екологічна академія післядипломної освіти, вул. Урицького, 35, Київ, 03035, Україна*

СИМПТОМНО-ОРИЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ОБГРУНТУВАННЯ СТРАТЕГІЙ КЕРУВАННЯ ВАЖКИМИ ЯДЕРНИМИ АВАРІЯМИ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ КАТАСТРОФІЧНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ

Запропоновано подальший розвиток симптомно-орієнтованих підходів щодо ідентифікації переліків та обґрунтування стратегій управління запроектованими й важкими аваріями в корпусних ядерних реакторах з метою підвищення рівня екологічної безпеки АЕС і мінімізації або повного недопущення можливих небезпечних екологічних наслідків за допомогою науково обґрунтованого алгоритма керування важкою ядерною екологічною аварією.

Ключові слова: екологічна безпека, стратегії керування важкими аваріями; симптомно-орієнтований підхід, водо-водяний енергетичний реактор.

V. I. Skalozubov, V. M. Vaschenko^{*}, A. A. Gudyma^{*}, I. L. Kozlov^{}**

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, building 106, Kyiv, 03028, Ukraine

^{} Odessa national polytechnic university, blvd. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine*

*^{**} State ecological Academy of postgraduate education and management, Urickogo str., 35, Kyiv, 03035, Ukraine*

SYMPTOM-ORIENTED APPROACH TO VALIDATION OF SEVERE NUCLEAR ACCIDENTS CONTROL STRATEGIES FOR MINIMIZATION OF CATASTROPHIC ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES

This paper proposes further development of symptom-oriented approaches to identification of initial events list and justification for control strategies of beyond-design emergencies and severe emergencies in shell-type reactors in order to increase overall NPP environmental safety level and to minimize or exclude possible dangerous environmental consequences by scientifically grounded algorithm of severe nuclear emergency control.

Keywords: environmental safety, severe emergency control strategy, symptom-oriented approach, pressurized water reactor.

REFERENCES

1. *Government bases by severe accident with the loss of coolant-moderator on NPP with VVER / V. I. Skalozubov, A. A. Kliuchnykov, V. N. Kolykhanov. - Chernobyl: Institut problem bezpeky AES NAN Ukraine (Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants), 2010. - 400 p. (Rus)*
2. *Analysis of reasons and consequences of accident on АЭС of Fukushima as a factor of prevention of severe accidents n reactors / V. I. Skalozubov, A. A. Kliuchnykov, V. N. Vaschenko, S. S. Yarovoy. - Chernobyl: Institut problem bezpeky AES NAN Ukraine (Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants), 2012. - 280 p. (Rus)*

Надійшла 26.09.2013

Received 26.09.2013