**Разработка комплекса программных средств для анализа радиационных последствий запроектных аварий на АЭС с ВВЭР**

###### Ю.Б. Шмельков1, Н.В. Шутов1, Л.В. Петров1, Ю.А. Звонарев1, С.С. Савекин1

*1НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва,*

*эл. почта:* [*Shmelkov\_YB@nrcki.ru*](mailto:Shmelkov_YB@nrcki.ru)

Анализ радиационных последствий запроектных аварий (ЗПА) является обязательной составляющей анализа безопасности АЭС. При этом моделирование поведения радиоактивных продуктов деления (ПД) – это комплексная задача, решение которой требует реалистического подхода к описанию физических процессов. Глобально задача моделирования поведения ПД в условиях ЗПА может быть разделена на несколько крупных подзадач: моделирование выхода ПД при разгерметизации оболочек твэлов, моделирование выхода ПД при плавлении топлива, моделирование выхода ПД из расплава кориума, моделирование переноса ПД в системе первого контура и в защитной оболочке (ЗО), моделирование переноса изотопов ПД в окружающей среде с учетом застройки, рельефа и изменения погодных условий.

Для решения задачи моделирования поведения ПД в условиях тяжелой аварии (ТА) в НИЦ «Курчатовский институт» разработан расчётный код МАВР-ТА [1]. Код МАВР-ТА состоит из 4-х модулей, решающих следующие задачи: моделирование выхода ПД из ТВС активной зоны или ТВС бассейна выдержки при разгерметизации оболочек твэлов и при плавлении топлива; моделирование выхода ПД из расплава при его удержании на днище корпуса реактора и в УЛР, при взаимодействии расплава с бетоном; перенос и осаждение ПД в первом контуре реакторной установки (РУ); перенос и выведение радиоактивных ПД из атмосферы ЗО, в том числе для расчёта выброса изотопов радиоактивных ПД в окружающую среду. В 2021 году завершена процедура аттестации кода МАВР-ТА в Ростехнадзоре, ожидается получение аттестационного паспорта.

Для решения задачи моделирования переноса и осаждения ПД в ЗО и расчёта выброса изотопов радиоактивных ПД в окружающую среду при нарушениях нормальной эксплуатации, проектных авариях и ЗПА без плавления топлива в НИЦ «Курчатовский институт» разработан расчётный код ИРКА [2], являющийся расширением отдельных модулей кода МАВР-ТА. Проведена валидация кода ИРКА на существующих данных экспериментальных программ VANAM, Phebus-FP, TOSQAN, CSE. В настоящее время код ИРКА проходит процедуру аттестации в Ростехнадзоре.

На сегодняшний день для решения задачи переноса радиоактивных ПД в окружающей среде в НИЦ «Курчатовский институт» применяются коды, реализующие гауссову модель рассеивания. Однако она имеет свои ограничения и не применима в тех случаях, когда требуется учет влияния на перенос рельефа, застройки, изменения погодных условий. В этих случаях необходимо применять к моделированию переноса ПД реалистичные подходы. Для решения данной задачи в НИЦ «Курчатовский институт» разрабатывается код МАП-ТА.

Все представленные в работе коды снабжены модулем для анализа неопределенности, реализующим методику, соответствующую РБ-166-20 [3].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Шмельков Ю.Б., Звонарев Ю.А., Петров Л.В., Шутов Н.В*.* Разработка и верификация кода МАВР-ТА для моделирования выхода продуктов деления и их переноса под защитной оболочкой при тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. Выпуск 5. С. 92-104.
2. ИРКА. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666574, правообладатель ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», 2019.
3. РБ-166-20 «Рекомендации по оценке погрешностей и неопределенностей результатов расчетных анализов безопасности атомных станций», 2020.