

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ В ПРИСУТСТВИИ ПРИСТЕНОЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ

А. А. Канаев

Институт безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия

Во время тяжелой аварии (ТА) на АЭС с реакторами с водяным теплоносителем в помещении защитной оболочки (ЗО) может быть выброшено значительное количество водорода, что может привести к образованию взрывоопасных водородсодержащих смесей с воздухом, горение и детонация которых представляет серьезную угрозу для ЗО.

Распространение водорода в помещениях ЗО определяется сложными тепловыми и гидравлическими процессами, протекающими на разных этапах тяжелой аварии, в т.ч. конденсацией пара на поверхностях и связанным с этим конвективным тепломассобменом.

Обоснование водородной взрывобезопасности АЭС при тяжелых авариях представляет собой сложную научно-техническую проблему, решение которой требует комплексного подхода, включающего в себя проведение как расчетно-аналитических, так и экспериментальных исследований.

В ИБРАЭ РАН проводится разработка программного комплекса «CABARET-SC1» [1], ориентированного на численное моделирование задач водородной взрывобезопасности объектов инфраструктуры атомной и водородной энергетики в CFD-приближении. Для аппроксимации уравнений многокомпонентной газовой динамики используется балансно-характеристическая схема КАБАРЕ [2], обладающая улучшенными дисперсионными и диссипативными свойствами в классе схем второго порядка точности с компактным вычислительным шаблоном. Данный подход позволяет проводить моделирование турбулентных течений в вихререзающемся приближении без использования настроечных параметров, что повышает прогнозные возможности в части моделирования распространения и перемешивания многокомпонентных газовых смесей.

Ввиду многообразия и сложности взаимодействующих процессов, обусловленных источниками пара и водорода, работой систем безопасности, сложностью геометрии ЗО, изучение процессов, влияющих на распределение водорода в ЗО в ходе ТА носит поэтапный характер и ведется в направлении от простого к сложному.

В экспериментах ОЭСР SETH и ERCOSAM-SAMARA исследовались процессы крупномасштабного перемешивания/стратификации и переноса среды между двумя сообщающимися объемами, возникающие в следствие подачи пара при постоянном давлении и в условиях роста давления.

В эксперименте ОЭСР NYMERES HP1_8 исследовался процесс эрозии слоя гелия, вызванной вертикальной струей пара, взаимодействующей с горизонтальным препятствием, в «реалистичной» постановке – в трехкомпонентной среде (воздух, пар и гелий) в условиях роста давления и конденсации пара на стенках сосуда.

Моделирование рассмотренных экспериментов ОЭСР SETH, ERCOSAM-SAMARA и ОЭСР NYMERES с помощью программного комплекса CABARET-SC1 позволило проанализировать влияние пристенной конденсации на параметры переходного процесса накачки паром и разрушения стратификации легкого газа в крупномасштабной экспериментальной установке, а также разработать рекомендации по использованию данных этих экспериментов для верификации CFD-кодов.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М. В. Ломоносова [3].

Литература

1. **Большов, Л. А.** Валидация кода CABARET_SC1 на экспериментах по водородной взрывобезопасности на АЭС [Текст] / Л. А. Большов, В. Ю. Глотов, В. М. Головизнин и др. // Атомная энергия. – 2019. – Т. 127, № 4. – С. 18–23.
2. **Головизнин, В. М.** Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов [Текст] / В. М. Головизнин, М. А. Зайцев, С. А. Карабасов и др. – М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2013. – 472 с.

3. **Voevodin, VI.** Supercomputer Lomonosov-2: Large Scale, Deep Monitoring and Fine Analytics for the User Community [Text] / VI. Voevodin, A. Antonov, D. Nikitenko et al. // Supercomputing Frontiers and Innovations. – 2019. – Vol. 6, No. 2. – P. 4–11. DOI:10.14529/jsfi190201.
