

РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CABARET-SC1 ДЛЯ ЗАДАЧ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В. Ю. Глотов

Институт безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия

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 вихреразрешающем приближении без использования настроечных параметров, что дает повышенные прогнозные возможности в части моделирования распространения и перемешивания многокомпонентных газовых смесей. Значительную часть валидационной базы программного комплекса «CABARET-SC1» составляют эксперименты международных проектов ERCOSAM-SAMARA, HYMERES, HYMERES-2 [1]. Эти проекты в совокупности представляют собой систематические исследования процессов распространения и перемешивания водорода, направленные на изучение механизмов формирования и разрушения стратификации легкого газа, в том числе при работе систем безопасности.

Для расчета задач горения и детонации водородосодержащих газовых смесей на базе вычислительной платформы программного комплекса «CABARET-SC1» разрабатывается специальный модуль «CABARET-COMBUSTION», в котором реализованы современные математические модели горения и детонации: (1) – модель на основе детальной химической кинетики, (2) – модель крупномасштабного горения в однородных и стратифицированных газовых смесях TFC (Turbulent Flame speed Closure), (3) – модель диффузионного горения пожар-струй EDM (Eddy Dissipation Model), (4) – модель детонации на основе одностадийной необратимой химической кинетики. Для валидации моделей горения и детонации использовались данные отечественных (РФЯЦ – ВНИИТФ, РУТ) [3] и зарубежных экспериментов (THAI HD, ENACCEF), а также принималось участие в слепой фазе международного бенчмарка ENACCEF2 (2022 г.) [4].

В задачах горения и детонации помимо барических нагрузок важно также рассчитывать тепловые нагрузки от излучения горячих продуктов реакции. Помимо этого излучение может оказывать заметное влияние на процессы перемешивания и образования стратификации водорода в горячей и влажной атмосфере контейнмента. Для моделирования теплообмена излучением в программном комплексе «CABARET-SC1» были реализованы 2 модели: (1) – диффузионная модель Росселадна для оптически плотных сред, и (2) – конечно-объемный метод дискретных ординат (FVM). Для валидации модели излучения использовались данные экспериментов серии H2P2 [5] из программы HYMERES-2 и эксперимента Национальной лаборатории Сандия по изучению характеристик турбулентного диффузионного водородного пламени [6].

В данной работе представлен краткий обзор математических моделей, реализованных в программном комплексе «CABARET-SC1» и результаты их валидации, обсуждаются дальнейшие направления развития кода.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М. В. Ломоносова [7].

Литература

1. **Большов, Л. А.** Валидация кода CABARET_SC1 на экспериментах по водородной взрывобезопасности на АЭС [Текст] / Большов Л. А., Глотов В. Ю., Головизнин В. М. 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.