

ВАЛИДАЦИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АТЭК-ВЭ В ЧАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА-СТРУИ И «ОГНЕННОГО ШАРА»

М. А. Юматова, Ж. С. Богданова, О. В. Шульц

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

Согласно «Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации» одной из первоочередных задач развития водородной энергетики является создание низкоуглеродных технологий производства водорода. Принимая во внимание высокую воспламеняемость и пожаровзрывоопасность водорода, важным аспектом является обеспечение безопасности на объектах водородной энергетики. В целях минимизации рисков аварийных ситуаций, адекватной оценки тяжести их последствий, оптимизации технологических процессов и для проведения детерминистского анализа безопасности объектов водородной энергетики разрабатываются специальные программные средства (далее – ПС), в частности, ПС АТЭК-ВЭ, разработанное на платформе АТЭК [1] и предназначенное для консервативного моделирования аварийных сценариев, описывающих выбросы пожаровзрывоопасных веществ и их последствия на объектах водородной энергетики.

В 2018 году была введена процедура обязательной аттестации программных средств, реализующих расчетные модели процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии [2]. Поэтому для решения задач, связанных с количественной оценкой риска развития аварийных ситуаций, должны использоваться только такие подходы, которые успешно прошли процедуру валидации, заключающуюся в сравнении параметров реальных экспериментов с результатами их математического моделирования.

В целях подтверждения возможности применения ПС АТЭК-ВЭ была проведена валидация таких расчетных модулей как «пожар-струя» и «огненный шар». Модели валидировались на экспериментальных данных, опубликованных в открытых источниках.

Инженерная модель «огненный шар» позволяет оценивать зоны поражения тепловым излучением от крупномасштабного пламени, реализуемого при сгорании облака горючего газа. Модель позволяет рассчитывать диаметр огненного шара, время его существования, а также значение среднеповерхностной интенсивности, зависящие от массы опасного вещества, участвующего в процессе горения.

Валидация инженерной модели огненного шара проводилась на экспериментальных значениях диаметра огненного шара и времени его существования [3].

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало, что средняя относительная погрешность диаметра огненного шара составила 13%, а времени его существования – 14%.

Математическая модель пожара-струи описывает термическое воздействие горящей струи газа без учета плавучести. Реализованная модель позволяет определять видимую длину пламени и рассчитывать массовый расход и время полного истечения для выходного отверстия заданного диаметра, а также оценивать поля потенциального риска термического поражения в результате воздействия горящей струи в течение заданного промежутка времени.

Модель пожара-струи была валидирована на основе экспериментальных значений видимой длины пламени и массового расхода для трех разных диаметров отверстий: 52,5; 20,9 и 5,08 мм. Сравнение результатов моделирования с данными, полученными экспериментально, показало, что среднее относительное отклонение видимой длины пламени для диаметра отверстия 52,5 мм составило 3,5%, массового расхода – 0,7%, для диаметра отверстия 20,9 мм – 2,6% и 1% соответственно [4]. Для экспериментов, проводимых при диаметре отверстия 5,08 мм, среднее относительное отклонение видимой длины пламени составило 9,5%, а массового расхода – 18,8% [5].

Показано удовлетворительное согласие результатов расчета с данными соответствующих экспериментов. По результатам работы были составлены матрицы верификации для описанных моделей, которые будут расширены данными, полученными с помощью экспериментальной базы РФЯЦ – ВНИИТФ. Матрицы верификации будут использованы в верификационном отчете ПС АТЭК-ВЭ для прохождения процедуры его аттестации.

Литература

1. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программная платформа и среда моделирования АТЭК. Версия 3.0 (Платформа АТЭК 3.0) / РФЯЦ – ВНИИТФ. Макеева И. Р., Соколов В. П. [и др.]. – 2022 – № 2022610062.О
 2. О внесении изменений в статью 26 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации: федер. закон от 23 мая 2018 г. № 118-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/557485199> (дата обращения: 03.07.2018).
 3. **Betteridge, S.** Large scale pressurized LNG BLEVE experiments [Text] / S. Betteridge, L. Phillips // Symposium series. – 2015. – No. 160.
 4. **Ekoto, I. W.** Updated jet flame radiation modeling with buoyancy corrections [Text] / I. W. Ekoto, A. J. Ruggles, L. W. Creitz, J. X. Li // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39. – P. 20570–20577.
 5. **Shefer, R. W.** Characterization of high-pressure, underexpanded hydrogen-jet flames [Text] / R. W. Shefer, W. G. Houf, T. C. Williams, B. Bourne, J. Colton // International Journal of Hydrogen Energy. – 2007. – Vol. 32. – P. 2081–2093.
-