

УДК 532.529

А.С.Мурашов (5 курс, каф. гидроаэродинамики), И.Я.Шейнман, н.с. (ГИПХ)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ РЕЖИМОВ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ЖИДКОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ БАКЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ СПАЛАРТА-АЛЛМАРАСА

Известно, что в экзотермически реагирующих средах, заключенных в замкнутый объём, возможен режим, сопровождающийся резким ростом температуры (тепловой взрыв). Определение условий развития теплового взрыва является важной задачей при обеспечении термической безопасности хранения реагирующих веществ. На предприятии “ChemInform Saint-Petersburg (CISP)”, Ltd. разработан программный продукт “Thermal Explosion in Liquids (LTE)”, позволяющий моделировать тепловой взрыв в условиях ламинарной свободной конвекции в многокомпонентной химически реагирующей жидкости, полностью заполняющей вертикальный цилиндрический бак со стенками конечной толщины.

Оценки, проведенные по числу Рэлея  $Ra = \frac{g\beta_T R^3 \Delta T^*}{\nu a}$ , где  $g$  – ускорение свободного

падения,  $\beta_T$  – коэффициент термического расширения,  $R$  – характерный размер,  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости,  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\Delta T^*$  – характерный перепад температуры по объему, показывают, что для реальных баков  $Ra$ , как правило, составляет величину порядка  $10^{10}$ , что соответствует турбулентным режимам свободной конвекции. Написание расчетного модуля, позволяющего моделировать турбулентные режимы конвекции, является целью данной работы.

При решении этой задачи необходимо учитывать, что конвекция существенно нестационарна. Ещё одной проблемой является моделирование перехода от ламинарного режима течения к турбулентному. В данной работе полагается, что этот переход осуществляется при достижении числом Рэлея определённой величины.

Сравнение результатов расчётных и экспериментальных данных для ламинарных режимов конвекции приведено в [1], где решение искалось на стандартной сетке со значениями величин в центрах ячеек. В настоящей работе численное решение проводится на сетке со смещёнными узлами (MAC-сетке).

В качестве модели турбулентности используется модель Спаларта-Аллмараса, как достаточно простая, и в то же время дающая неплохие результаты для данного типа задач [2]. При выводе вычислительных формул за основу была взята работа [3]. Поскольку модель Спаларта-Аллмараса основана на уравнении для турбулентной вязкости  $\bar{\nu}$ , то возникает сложность при выборе начального значения турбулентной вязкости в момент перехода к турбулентному режиму течения. Авторы работы [3] рекомендуют брать  $\bar{\nu}$  равной  $\nu/10$ . Однако необходимо проведение дополнительного исследования влияния начального приближения на решение вблизи критических условий.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Hess C.F., Miller C.W. Natural convection in a vertical cylinder subject to constant heat flux // Int. J. Heat Mass Transfer, 1979, Vol. 22, pp. 421-430.
2. Бассина И.А., Ломакин С.А., Никулин Д.А., Стрелец М.Х., Шур М.Л. Оценка применимости современных моделей турбулентности для расчёта естественно-конвективных течений и теплообмена // ТВТ, 1998, Т. 36.- №2.- С. 246-254.
3. Spalart P.R., Allmaras S.R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows // AIAA-Paper 92-0439, 1992, p.1-21.