

Расчет течения жидкости в тройниковом соединении труб квадратного сечения с применением современных подходов к моделированию турбулентности

Козелков А.С.^{a,b,c}, Тятюшкина Е.С.^{a,b}, Куркин А.А.^b,
Курулин В.В.^{a,b}, Куркина О.Е.^b, Кочетова О.А.^c

^aРоссийский Федеральный Ядерный Центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

^bНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия

^cСаровский физико-технический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Саров, Россия

Статья посвящена описанию методики моделирования течений жидкости в тройниковых соединениях труб квадратного сечения, основанной на численном решении трехмерных уравнений Навье – Стокса. В рамках методики решения данных уравнений применяется современный подход к моделированию турбулентности – зонный EARSМ-LES подход, в котором в областях интенсивного вихреобразования, и где необходимо увеличить точность получаемого решения, используется LES модель турбулентности, в остальной области используется модель рейнольдсовых напряжений EARSМ. В модели EARSМ моделируется перенос всех компонентов тензора рейнольдсовских напряжений, что приводит к увеличению точности при расчете сложных течений, в частности, течений вблизи двугранных углов. В статье приводится описание математической модели, в основе которой лежат осредненные по Рейнольдсу трёхмерные уравнения Навье – Стокса, а также уравнения используемой гибридной модели EARSМ-LES. В статье проведено сравнение использования разных базовых моделей, таких как EARSМ и SST, в RANS-LES подходе для трехмерных задач, содержащих двугранные углы. Показано, что модель EARSМ дает увеличение точности, по сравнению с SST, что объясняется учетом в ней анизотропности тензора рейнольдсовских напряжений, профили скорости и компоненты тензора рейнольдсовых напряжений по модели EARSМ предсказаны намного точнее, чем по SST. Благодаря этому, модель EARSМ-LES в итоге дает результаты и по скорости, и по компонентам тензора лучше, чем модель SST-LES.

Для моделирования задач, представленных в данной, использовался российский пакет программ вычислительной гидродинамики и инженерного анализа ЛОГОС.

Ключевые слова: численное моделирование, уравнения Навье-Стокса, турбулентность, пакет программ ЛОГОС, тройниковые соединения

Fluid flow simulation in a T-connection of square pipes using modern approaches to turbulence modeling

Kozelkov A.S.^{a,b,c}, Tyatyushkina E.S.^{a,b}, Kurkin A.A.^b,
Kurulin V.V.^{a,b}, Kurkina O.E.^b, Kochetkova O.A.^c

^aRussian Federal Nuclear Center-All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russian Federation

^bNizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

^cSarov State Physics and Technical Institute, National Research Nuclear University MEPhI, Sarov, Russian Federation

In the article the description is given of the new technique for fluid flow simulation in T-joints of square pipes, based on the numerical solution of the three-dimensional Navier-Stokes equations. As part of the methodology for solving these equations, a modern approach to modeling turbulence is used - the zonal EARSМ-LES approach, in which in areas of intense vortex formation, and where it is necessary to increase the accuracy of the solution obtained, the LES turbulence model is used, in the rest of the area the Reynolds stress model EARSМ is used. The EARSМ model simulates the transfer of all components of the Reynolds stress tensor, which leads to an increase in accuracy when calculating complex flows, in particular, flows near dihedral angles. The article describes a mathematical model based on the Reynolds-averaged three-dimensional Navier-Stokes equations, as well as the equations of the EARSМ-LES hybrid model used. The comparison of the use of different basic models, such as

EARSM and SST, in the RANS-LES approach for 3D problems containing dihedral angles. It is shown that the EARSM model gives an increase in accuracy compared to the SST, which is explained by taking into account the anisotropy of the Reynolds stress tensor in it, the velocity profiles and components of the Reynolds stress tensor according to the EARSM model are predicted much more accurately than using the SST. Due to this, the EARSM-LES model ultimately gives better results in terms of velocity and tensor components than the SST-LES model.

The Russian software package for computational fluid dynamics and engineering analysis LOGOS was used to simulate the tasks presented in this paper.

Keywords: numerical simulation, Navier-Stokes equations, turbulence, LOGOS software package, T-connections