

Программный код SINF/Flag-S – 2016

Реализация и модификация метода дробных шагов для решения существенно нестационарных задач гидродинамики

Д.К.Зайцев, А.А. Пожилов, Е.М.Смирнов, А.А.Смирновский

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)

Код SINF/Flag-S предназначен для решения задач гидроаэродинамики и теплообмена по методу конечных объемов на многоблочных неструктурированных сетках с произвольным типом ячеек (в том числе полиэдральными); разрабатывается с 2005 г. на основе исходно структурированного кода SINF; параллелизация кода выполнена при помощи MPI и протестирована на задачах с размером сетки порядка 10^9 ячеек вплоть до 5000 процессов. При помощи кода SINF/Flag-S (или его ответвлений) могут решаться задачи из следующих классов: ламинарные и турбулентные течения жидкости; дозвуковые течения газа; теплообмен при вынужденной, свободной и смешанной конвекции в полях массовых сил (гравитационной, центробежной и силы Кориолиса); задачи сопряженного теплообмена, включая процессы испарения и конденсации на границах раздела сред; задачи конвективно-диффузионного переноса примеси; течения со свободной поверхностью (метод VOF); течения в пористых средах.

В настоящее время для исследований процессов тепло- и массообмена активно применяется численное моделирование на основе вихререзающих подходов, таких как DNS, Implicit LES, Explicit LES, и гибридных RANS/LES, в рамках которых требуется решать существенно нестационарные уравнения. Для более эффективного решения подобного рода задач в коде SINF/Flag-S был реализован «классический» метод дробных шагов (fractional step method, или иначе проекционный метод), в котором для продвижения по времени использовалась схема Кранка-Николсон, а конвективные слагаемые экстраполировались по явной схеме с двух предыдущих шагов по времени. По этой причине реализованный численный метод является устойчивым только при числах Куранта меньше единицы. Также, для учёта скошенности ячеек сетки была введена поправка на скошенность путём введения итерационной процедуры решения балансовых уравнений.

При тестировании реализованного «классического» метода дробных шагов на задачах свободноконвективного течения и теплообмена вблизи шахматных гладкотрубных пучков (с использованием DNS-подхода) было обнаружено, что расчёт на сильно скошенных сетках требует либо очень малых шагов по времени (числа Куранта меньше 0.1), либо вообще расходится. В этой связи в 2016 г. были предложены некоторые модификации метода, которые позволили существенно улучшить его устойчивость, а именно: была добавлена трёхслойная схема продвижения по времени и реализована неявная схема расчёта конвективных слагаемых. Реализованные модификации позволяют проводить расчёт на сильно скошенных сетках при относительно больших шагах по времени, а также увеличивать число Куранта вплоть до нескольких десятков (что, в частности, может применяться для ускорения процесса выхода на установившийся режим).

Программный код SINF/Flag-S – 2016

Моделирование сопряженного тепломассопереноса с испарением рабочего тела на поверхности пористой структуры с применением многосеточных алгоритмов

Д.К. Зайцев, А.А. Пожилов, Е.М. Смирнов, А.А. Смирновский

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В докладе представляются результаты разработки достаточно общей расчетной технологии моделирования трехмерных процессов сопряженного тепломассопереноса с испарением рабочего тела на поверхности одного или нескольких пористых тел. Математическая модель описывает сопряженный тепломассообмен в составных системах, которые включают в себя проточные части, занятые рабочим телом в паровой или жидкой фазе, твердотельные и пористые элементы. Течение теплоносителя в жидких и паровых областях рассчитывается на основе системы уравнений Навье-Стокса в предположении ламинарного и существенно дозвукового характера движения. Течение в пористых элементах описывается уравнением Пуассона для давления, получаемым при подстановке линейного или нелинейного закона фильтрации в уравнение неразрывности. Теплообмен моделируется на основе уравнения энергии, с аккуратным сопряжением соприкасающихся областей по тепловым потокам и температурам. На границе пористого тела с паром температура полагается равной температуре насыщенного пара при местном давлении в паровой фазе, а скорость испарения определяется величиной подводимого к границе теплового потока.

Представленная математическая модель реализована в программном коде SINF/Flag-S. Для решения задач большой размерности разработан геометрический многосеточный метод с оригинальным алгоритмом агломерации ячеек. Данный метод протестирован на различных задачах и показал хорошую вычислительную эффективность.

В качестве примера применения разработанной расчетной технологии приводятся результаты имитационного численного моделирования течения и сопряженного тепломассопереноса в трехмерной модели испарителя контурной тепловой трубы (КТТ), построенной по имеющейся в открытом доступе информации о КТТ американского микроспутника TacSat-4.