

Рецензия на статью

«Numerical simulation of pollutant dispersion in the atmosphere based on 3D Navier-Stokes equations»

авторов

Tyatyushkina E.S., Kozelkov A.S., Giniyatullin R.R., Shishlenin M.A., and Strelets D.Yu.

Статья посвящена численному моделированию распространения многокомпонентной газовой примеси в атмосферном воздухе с использованием осредненных по Рейнольдсу трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса, уравнений для температуры и концентраций компонент примеси. Для численного решения применяется пакет вычислительной гидродинамики «Логос Аэро-Гидро». В предложенной статье авторы рассматривают задачу распространения стационарной пропановой струи в спутном воздушном потоке и стационарную задачу переноса неизотермической примеси от невысокой трубы под действием скорости сносящего потока. Результаты расчетов концентрации сравниваются с экспериментом в первом случае и с обобщающими зависимостями, используемыми природоохранными службами при прогнозировании максимальных приземных концентраций выбрасываемых из труб газов.

Цель статьи в явном виде не сформулирована. Скорее всего, статья предназначена для демонстрации возможностей пакета «Логос» для решения прямых задач прогнозирования уровня загрязнения приземного воздуха от точечных источников.

По статье имеются следующие замечания:

1. Как и большинство пользователей различных пакетов вычислительной гидродинамики по всему миру авторы плохо понимают, какие уравнения они решают. В основном такие исследователи надеются на то, что им повезет с выбором комбинации кнопок в настройке пакета, обеспечивающей после проведения расчетов на сетках с чрезмерным количеством узлов получение более-менее правдоподобного результата. Такой подход полностью противоречит современной методологии математического моделирования изучаемого процесса, в соответствии с которой [Самарский А.А., Михайлов А.П.] сначала формулируется принятая физическая постановка задачи, затем на ее основе - математическая постановка, включающая основную систему уравнений с дополнительными условиями, обеспечивающими единственность решения, затем предлагается численный метод решения задачи и, наконец, составляется вычислительная программа для получения приближенного решения задачи. Если на каком-то этапе допущена ошибка, то она неминуемо приведет к неверным результатам после проведения расчетов на компьютере. Представленная в работе математическая модель - система уравнений Рейнольдса и уравнения для температуры и концентраций многокомпонентного газа записана с количеством ошибок, превышающим количество авторов данной статьи. Перечислим их: а) в уравнениях движения для сжимаемого газа ($i=1,2,3$) неправильно записаны члены в левой части уравнений; б) в уравнении для температуры в конвективных слагаемых пропущена теплоемкость при постоянном давлении, причем вынос ее за знак производных еще нужно обосновать в физической постановке задачи; в) в этом же уравнении неправильный знак перед членом, отвечающим за теплопроводность (закон Фика) и совсем неуместным выглядит использование в этом члене

оператора Лапласа; г) совершенно необоснованным и несовместимым по размерности выглядит использование в этом же уравнении частной производной от плотности по времени; д) слагаемые в правой части этого же уравнения, связывающие вязкие и турбулентные напряжения со скоростью, записаны неправильно, чему свидетель – индекс j ; е) рассматривается турбулентное течение, поэтому в уравнении для температуры должны быть члены, отвечающие за турбулентный перенос тепла (возможно, «турбулентный» аналог закона Фика?); ж) такая же проблема имеется и в уравнениях для концентраций компонент газа – отсутствие турбулентной диффузии; з) в уравнениях для концентраций нужно использовать i -ю компоненту для вектора молекулярного и турбулентного потока массы q_{ck} ; и) система уравнений (1) несовместна: количество неизвестных ($n+6$) не совпадает с количеством уравнений ($n+4$), отсутствует уравнение состояния и уравнение для n -й концентрации.

2. За рамками статьи остался способ турбулентного замыкания уравнения для температуры.
3. Использование двойственных обозначений для тензора напряжений является некорректным (начало страницы 6 и конец страницы 8).
4. При построении разностной схемы для уравнения (10) к нему обязательно нужно добавить уравнение неразрывности.
5. Разностная аппроксимация по времени (11) не есть схема Адамса-Башфорда, которая является явной разностной схемой второго порядка, а есть чисто неявная разностная схема Гира [Ортега Дж., Пул. У.] второго порядка. Кроме того, двойное использование индекса j в качестве верхнего и нижнего в (11) и (12) неприемлемо. Лучше использовать в качестве верхнего не j , но его стоит записать и в (11)-(14).
6. Непонятна причина появления формулы первого порядка аппроксимации для нестационарного члена (13).
7. Странным в статье, посвященной численному моделированию загрязнения воздуха, выглядит подробный анализ приближенной полуэмпирической формулы для максимальной приземной концентрации на стр. 10-13. Зачем? Большинство представленной в статье информации в анализе расчетов не используется. Поэтому ее следует убрать из статьи.
8. На странице 13 в начале раздела странным выглядит название «chemney» для рассматриваемого истечения пропана из цилиндрического отверстия в 5,2мм в спутный поток воздуха, тем более, что сами авторы [34,36] называют рассматриваемое течение как Turbulent Nonpremixed Flame.
9. На рисунке 3 представлена картинка с распределением пропана, однако в правом верхнем углу записана химическая формула C_3H_8 . Требуется дать пояснение.
10. Что касается второго выбранного для моделирования случая со скоростью ветра 14м/с на высоте 7м, то при таких условиях влияние стратификации является несущественным и проблем с качеством воздуха обычно не бывает. Более интересным является течение при скорости ветра ~ 1 м/с.
11. На рис. 10 странным выглядит отсутствие влияния подстилающей поверхности на вертикальный профиль скорости U до трубы. На выходе такое влияние заметно. Видимо, выбор положения входной границы с равномерным по вертикали профилем скорости был близок к трубе. А это еще одна ошибка при проведении расчетов с использованием вычислительных пакетов.
12. Выбор размера сеток в расчетах не обоснован.

13. Интересно выглядят в статье, написанной на английском, русскоязычные литературные источники 47-60 и подписи на рисунках и к рисункам №№ 2 и 6(!!!), а также размерности величин в тексте ниже рис.б.

Опечатки:

1. В конце страницы пять трижды повторяется идея: $i, j = \{x, y, z\}$; $i = \{x, y, z\}$; x_i is the vector component in Cartesian coordinates, $i = \{x, y, z\}$;
2. На странице 6 в 13 строчке пропущен значок градиента;
3. Используемое в первой формуле на странице 7 δ_{ij} , видимо, то же самое, что и символы Кронекера.
4. В первом абзаце после рис.1 пропущены стрелки над векторами. В (15) d – вектор!

В представленном виде статья безусловно не рекомендуется к печати, так как содержит большое количество ошибок, опечаток, неверных трактовок и т.п.