

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Кафедра Теплофизики

На правах рукописи



Шебелев Александр Валерьевич

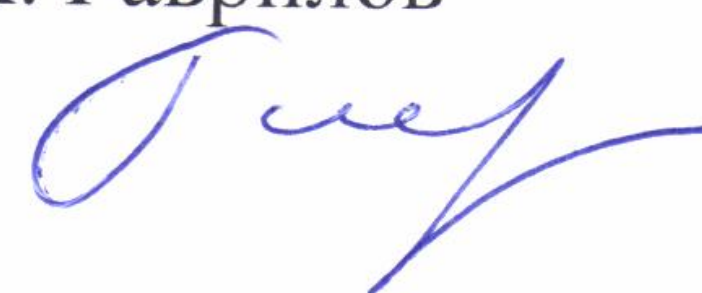
Научно-квалификационная работа (диссертация)  
аннотация

«Численное моделирование ламинарных и турбулентных течений  
высококонцентрированных суспензий в каналах»

Направление подготовки/специальность  
01.06.01 Математика и механика

Направленность (профиль)/специализация:  
01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы

Научный руководитель: канд.  
физ.-мат. наук, доцент  
кафедры Теплофизики  
А.А. Гаврилов



Красноярск 2018

**Актуальность темы исследования.** Течения смеси жидкости с твёрдыми неброуновскими частицами широко встречаются как в инженерной практике во многих отраслях индустрии, так и во многих процессах в природе. В последние годы интенсивно развиваются методы численного моделирования течений суспензии, однако построение модели, описывающей течения в широком диапазоне изменения определяющих параметров (концентрации частиц, чисел Рейнольдса и Стокса) и обладающей вычислительной экономичностью в сочетании с хорошей точностью по-прежнему остается актуальной задачей, особенно для инженерных приложений.

Целью работы является разработка математической модели ламинарных и турбулентных течений суспензий с монодисперсными неброуновскими частицами, обладающей высокой предсказательной способностью, экономичностью и численной устойчивостью в широких диапазонах определяющих параметров задачи.

Для достижения данной цели были **решены следующие задачи:**

1. Построение и валидация модели ламинарных течений высококонцентрированных суспензий с учетом межфазного скольжения и межчастичных взаимодействий.
2. Построение и валидация модели турбулентных течений суспензий на основе осреднения по Рейнольдсу с учетом межфазного скольжения, межчастичных взаимодействий и влиянием частиц на турбулентность несущей жидкости.

**Научная новизна:**

1. Предложена двухжидкостная эйлерова модель для ламинарных течений суспензии на основе законов сохранения для смеси в целом в предположении квазиравновесной скорости скольжения фаз. Суспензия рассматривается как ньютоновская жидкость с эффективной вязкостью, зависящей от локальной концентрации

частиц. Межчастичные взаимодействия описываются реологической моделью изотропного давления континуума частиц. Эффективность и устойчивость численных алгоритмов, реализующих разработанную модель, обусловлены переходом от уравнений сохранения записанных для отдельных фаз к уравнениям для смеси, которые вычисляются хорошо развитыми методами вычислительной гидродинамики несжимаемых сред.

2. Предложена двухжидкостная эйлерова модель для турбулентных течений суспензии на основе осреднения по Рейнольдсу в предположении статистической независимости межчастичных взаимодействий и взаимодействий частиц с турбулентными вихрями. Для замыкания уравнений используется полуэмпирическая четырехпараметрическая низкорейнольдсовская модель турбулентности на основе эллиптической релаксации.

Основным результатом работы является модели для описания ламинарного и турбулентного течения смеси ньютоновской жидкости с твёрдыми частицами, обладающие хорошей предсказательной способностью в широких диапазонах изменения концентраций частиц, размеров частиц (чисел Стокса) и чисел Рейнольдса. Сформулированные модели учитывают силу плавучести; включает миграцию частиц в результате межчастичного взаимодействия, с использованием эмпирических реологических соотношений; и учитывает механизм формирования слоя скольжения на твёрдой стенке. Модель турбулентности учитывает эффект диссипации турбулентности, вызванной частичным вовлечением частиц в турбулентное движение, генерации турбулентности в следе за обтекаемой частицей, влияние силы плавучести и эффект пересечения траекторий.

Модель для ламинарных течений валидизирована на ряде канонических задач для течения суспензии с нейтрально плавучими частицами и на задаче об установившемся течении вязкой жидкости с тяжёлыми частицами в горизонтальной трубе.

Для тестирования модели выполнено моделирование установившихся турбулентных течений гидросмеси в горизонтальной круглой трубе в широком диапазоне концентраций частиц и чисел Рейнольдса. Полученный для канальных задач результат демонстрирует хорошую предсказательную способность моделей как в отношении распределений концентраций частиц и средней скорости по сечению канала, так и в отношении зависимости перепада давления от скорости смеси.