

В диссертационный совет 24.2.377.02
при ФГБОУ ВО «СамГТУ»

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Ткачева Василия Константиновича «Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в локально равновесных и неравновесных условиях», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность проблемы

Классические математические модели тепломассопереноса основаны на параболических уравнениях, при выводе которых вводится допущение о локальном термодинамическом равновесии и гипотеза сплошной среды (не учитывается молекулярно – атомное строение вещества). При использовании допущения о локальном термодинамическом равновесии предполагается, что в областях среды, сопоставимых с длиной свободного пробега микрочастиц (молекул, атомов, электронов и др.), перенос теплоты происходит мгновенно. Именно по этой причине в уравнениях классических моделей оказывается заложеной бесконечная скорость распространения теплоты. Такие модели не могут быть использованы для описания процессов, время протекания которых сопоставимо со временем свободного пробега микрочастиц, а также для объектов, размеры которых сопоставимы с длиной их свободного пробега (нанопленки, нанотрубки, фуллерены, нановискеры и проч.). Для их описания необходима разработка новых локально – неравновесных математических моделей, основанных на учете дискретного (молекулярно – атомного) строения вещества и, следовательно, конечной скорости распространения теплоты. В связи с вышесказанным, тему работы, посвященной исследованию нелокальных процессов тепломассопереноса, следует признать актуальной.

Научная новизна положений и выводов диссертации

1. Разработана математическая модель локально-неравновесного теплообмена в жидкостях, основанная на учете скоростей и ускорений теплового потока и градиента температуры в формуле закона Фурье.

2. На основе учета скоростей и ускорений касательного напряжения и градиента скорости в эмпирической формуле закона Ньютона получено

модифицированное уравнение Навье – Стокса, описывающее распределение скорости в движущейся жидкости с учетом релаксационных явлений.

3. Разработана математическая модель теплообмена в движущейся жидкости при зависимости вязкости от температуры, основанная на раздельном решении гидродинамической задачи формирования профиля скорости и задачи теплообмена.

4. Разработаны математические модели динамического и теплового пограничных слоев, основанные на определении соответствующих фронтов возмущения (представляющих дополнительные искомые функции) и дополнительных граничных условий.

5. На основе построенных моделей получены новые точные и приближенные решения некоторых задач теплопроводности, теплообмена и гидродинамики.

6. Разработаны принципы построения математических моделей сложных разветвленных многокольцевых трубопроводных сетей с автоматической идентификацией параметров.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в диссертации положений и выводов базируется на использовании при разработке математических моделей классических законов сохранения и формул эмпирических диффузионных законов. Она также подтверждается сравнением с известными точными и приближенными аналитическими решениями, а также с результатами, полученными численными методами.

Теоретическая значимость выводов и положений диссертации заключается в получении ряда новых, неизвестных ранее явлений гидродинамики и теплообмена, определение которых стало возможным благодаря использованию локально - неравновесных моделей. И, в частности, показано, что стабилизация профиля скорости при нестационарном течении происходит в пульсирующем режиме. Из полученных в диссертации решений следует, что для нанообъектов диффузионный процесс теплообмена переходит в баллистический, свидетельствующий об изменении свойств исследуемой среды. Кроме того, показано, что ни при каких условиях внешнего теплообмена тело не может мгновенно принимать температуру среды и, следовательно, установление граничного условия первого рода может происходить лишь в течение некоторого начального временного участка.

Практическая ценность результатов работы состоит в том, что разработанные в диссертации теоретические методы были использованы при построении компьютерных моделей теплосетей централизованного

теплоснабжения г. Тольятти и г. Саратова. И, в частности, для г. Тольятти разработан проект объединения теплосетей ТЭЦ ВАЗ и Тольяттинской ТЭЦ с целью обеспечения возможности передачи тепловой нагрузки от одного объекта к другому.

Структура и объем диссертации

Диссертация содержит 5 глав, выводы, список литературы, включающий 135 наименований, приложения. Изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 2 таблицы.

В первой главе диссертации дается обзор работ по избранному направлению исследований. Отмечается существование большого числа теорий локально – неравновесных процессов переноса теплоты, среди которых особое внимание уделяется теории двухфазного запаздывания. Однако схемы вывода дифференциальных уравнений были определены лишь для тепловых задач при практическом отсутствии локально – неравновесных теорий передачи импульса применительно к движущимся жидкостям. При этом, результаты различных теорий плохо между собой согласуются, что свидетельствует об отсутствии единой обобщающей теории, применимой к различным процессам переноса (тепла, массы, импульса).

Во второй главе диссертации рассматриваются двумерные задачи теплопроводности для бесконечного бруса с источником теплоты. На примере этой задачи предлагается эффективный метод получения приближенных аналитических решений, основанный на определении дополнительной искомой функции и дополнительных граничных условий. Этот метод позволяет свести решение уравнения в частных производных к интегрированию обыкновенного дифференциального уравнения относительно дополнительной искомой функции. Благодаря использованию дополнительных граничных условий, снимается необходимость выполнения исходного дифференциального уравнения внутри рассматриваемой области, достаточно его выполнения лишь на границе. В известной литературе приводятся строгие математические доказательства теорем о том, что выполнение уравнения на границах при большом числе приближений приводит к его выполнению и внутри рассматриваемой области. Применение в процессе получения решения ортогонального метода Л. В. Канторовича позволяет использовать данный метод к интегрированию сложных дифференциальных уравнений (нелинейных, с переменными по координатам свойствами среды и др.), не поддающихся решению классическими аналитическими методами.

В третьей главе диссертации рассматриваются задачи теплопроводности и гидродинамики с переменными физическими свойствами среды и с зависящей от температуры вязкостью. Применительно к получению решений таких задач вводится дополнительная искомая функция и дополнительные граничные условия. Для задачи с зависящей от температуры вязкостью применен метод, позволяющий разделить задачу получения профиля скорости от температурной задачи.

В четвёртой главе рассматриваются задачи, связанные с определением профиля скорости в динамическом и профиля температуры в тепловом ламинарном и турбулентном пограничных слоях. Для получения их решений вводятся фронты динамического и теплового возмущения, что эквивалентно принятию допущения о конечной скорости распространения импульса и теплоты. На границах слоев задаются условия сопряжения возмущенной и невозмущенной зон, а также дополнительные граничные условия, выполнение которых искомым решением эквивалентно выполнению исходных дифференциальных уравнений на соответствующем фронте возмущения (динамическом или тепловом). На основе полученного в диссертации аналитического решения для турбулентного теплового пограничного слоя найдено критериальное уравнение для определения коэффициентов теплоотдачи.

В четвёртой главе приведены также результаты разработки математической модели локально – неравновесной гидродинамики, основанной на использовании модифицированной формулы закона Ньютона, в которой учитываются скорости и ускорения касательного напряжения и градиента скорости. Численное исследование полученной модели приводит к заключению о пульсирующем режиме течения жидкости, подтверждаемом многочисленными экспериментальными исследованиями.

Используя модифицированную формулу закона Фурье с учётом скоростей изменения теплового потока и градиента температуры, получена математическая модель локально – неравновесного теплообмена в движущейся жидкости. Её численный анализ позволил сделать заключение о невозможности мгновенного установления граничного условия первого рода, а также о баллистическом переносе теплоты в каналах нанометрических размеров.

В пятой главе представлены результаты разработки компьютерных моделей сложных трубопроводных систем различного назначения, основанные на использовании двух законов Кирхгофа, используемых в электротехнике при расчётах электрических цепей. Применительно к этим моделям разработан также и метод автоматической идентификации их параметров.

