

УДК 536.24 + 532.5
Т 35

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук *О. Н. Кашинский*
д-р техн. наук, профессор *В. Н. Ярыгин*
д-р техн. наук, профессор *Ю. В. Овчинников*

Терехов В. И.

Т 35 Теплоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках : монография / В. И. Терехов, М. А. Пахомов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – 252 с. – (Монографии НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4806-9

Рассмотрены вопросы численного моделирования гидродинамики и теплопереноса в двухфазных газокapельных потоках при обтекании плоской пластины, течения в трубе, в пристенной и затопленной струях. Для всех рассматриваемых случаев проведены детальные численные расчеты и определен вклад испарительных процессов в интенсификацию теплообмена. Дается сопоставительный анализ с известными в литературе опытными и расчетными данными по теплообмену в газокapельных потоках. Эти данные также могут быть использованы для анализа интенсификации теплопереноса в теплообменных аппаратах различного назначения, работающие как в ламинарном, так и турбулентном режимах течения.

Разработанные модели и полученные результаты будут весьма полезны в инженерных приложениях при разработке новых методов регулирования теплообмена и сопротивления в проточных трактах энергетических установок.

Адресована научным работникам, занимающимся исследованиями газодинамики и теплопереноса в многофазных потоках, а также преподавателям, аспирантам и студентам высших учебных заведений.

УДК 536.24 + 532.5

ISBN 978-5-7782-4806-9

© Терехов В. И., Пахомов М. А., 2008, 2009, 2022
© Новосибирский государственный
технический университет, 2008, 2009, 2022

УДК 536.24 + 532.5
Т 35

Reviewers:

Prof. *O. N. Kashinsky*
Prof. *V. N. Yarygin*
Prof. *Yu. V. Ovchinnikov*

Terekhov V. I.

T 35 Flow dynamics and heat and mass transfer in a gas-droplets flows : monograph / V.I. Terekhov, M.A. Pakhomov. – Novosibirsk : NSTU Publisher, 2022. – 252 pp. (NSTU Monographs).

ISBN 978-5-7782-4806-9

The monograph has to do with the issues of numerical modeling of hydrodynamics and heat and mass transfer in two-phase gas-drop flows at flat plate flow, flow in the pipe, in wall and submerged jet. For all considered cases detailed numerical calculations have been made and contribution of evaporation processes into heat transfer intensification has been determined. Comparative analysis with experimental and computational data on heat and mass transfer in gas-droplets flows presented in the publications is carried out. These results can be also used for the analysis of intensification of heat and mass transfer in various heat exchangers operating both in laminar and turbulent flow modes.

Developed models and obtained data will be extremely useful for engineering applications at the development of new methods of heat transfer regulation and resistance in flowing channels of power plants.

For research workers studying gas dynamics and heat and mass transfer in multiphase flows, lecturers, post-graduates and university students.

УДК 536.24 + 532.5

ISBN 978-5-7782-4806-9

© Terekhov V. I., Pakhomov M. A., 2008, 2009, 2022
© Novosibirsk State Technical University, 2008, 2009, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Библиографический список к введению	9
Глава 1. Краткие сведения о двухфазных ламинарных и турбулентных потоках	11
1.1. Примеры двухфазных течений	11
1.2. Основные параметры двухфазных потоков	13
1.3. Классификация двухфазных течений	17
1.4. Методы математического моделирования двухфазных течений	18
1.5. Лагранжев подход при моделировании движения и теплообмена частицы	19
1.6. Эйлеров (двухжидкостный) подход для описания движения и теплопереноса частицы	36
1.7. Тепломассообмен частицы с окружающим потоком газа	39
1.8. Методы прямого численного моделирования для двухфазных течений	44
Библиографический список к главе 1	45
Глава 2. Моделирование тепломассопереноса и гидродинамики в ламинарных газокапельных течениях	51
2.1. Особенности тепломассообмена в ламинарных двухфазных потоках при наличии испарения капель	51
2.2. Физическая модель задачи	55
2.3. Основные уравнения	57
2.4. Вычислительные процедуры	60
2.5. Тестирование расчетной модели	61
2.6. Численное исследование тепломассообмена при ламинарном течении газокапельной системы в трубе	63
2.7. Сопоставление с экспериментальными данными	69
2.8. Численное исследование теплообмена при ламинарном обтекании газопарокапельным потоком плоской изотермической пластины	71
Библиографический список к главе 2	85
Глава 3. Тепломассообмен и гидродинамика при течении турбулентного газокапельного потока в трубе	87
3.1. Основные параметры, влияющие на тепломассоперенос в двухфазных потоках с фазовыми переходами	87
3.2. Исследование динамики дисперсной фазы	90
3.3. Физическая модель	92

3.4. Основные уравнения математической модели для газовой фазы	93
3.5. Модели турбулентности	95
3.6. Система уравнений переноса дисперсной фазы	99
3.7. Граничные и входные условия	101
3.8. Вычислительные процедуры	103
3.9. Тестирование численной модели для турбулентных одно- и двухфазных течений	108
3.10. Численное моделирование теплообмена в турбулентном газокапельном потоке в трубе и анализ результатов расчетов	118
3.11. Сопоставление с экспериментальными данными для газокапельного турбулентного потока	136
Библиографический список к главе 3	138
Глава 4. Исследование турбулентных газокапельных пристенных струй	143
4.1. Эффективность одно- и двухфазных пристенных струй	143
4.2. Исследование газокапельной пристенной завесы над адиабатической поверхностью стенки трубы	147
4.3. Численное моделирование двухфазной завесы при наличии теплообмена со стенкой трубы	166
Библиографический список к главе 4	182
Глава 5. Численное моделирование газокапельных струй	185
5.1. Введение	185
5.2. Современное состояние исследований двухфазных струй	186
5.3. Постановка задачи и основные уравнения газовой фазы	191
5.4. Метод численной реализации и тестирование модели	196
5.5. Сопоставление с экспериментальными данными для однофазной струи	201
5.6. Результаты численных расчетов газодисперсной турбулентной струи и их обсуждение	203
5.7. Сопоставительный анализ с данными для газодисперсной струи	209
5.8. Газокапельная струя при наличии фазовых переходов	220
5.9. Сопоставительный анализ для газокапельной струи	235
Библиографический список к главе 5	242

CONTENTS

Introduction.....	7
References for Introduction.....	9
Chapter 1. Short information about two-phase laminar and turbulent flows	11
1.1. Examples of two-phase flows.....	11
1.2. Main parameters of two-phase flows.....	13
1.3. Classification of two-phase flows.....	17
1.4. Methods of mathematical modeling of two-phase flows	18
1.5. Lagrangian description for modeling of particle fluid dynamics and heat transfer	19
1.6. Eulerian (two-fluid) description for behavior of particle fluid dynamics and heat transfer.....	36
1.7. Heat and mass transfer of single particle with ambient gas stream	39
1.8. Methods of DNS and LES for two-phase flows	44
References for Chapter 1	45
Chapter 2. Modeling of flow dynamics and heat and mass transfer in laminar gas-droplets flows	51
2.1. Peculiarities of the heat and mass transfer in laminar gas-droplets flows	51
2.2. Physical model	55
2.3. Governing equations.....	57
2.4. Numerical realization	60
2.5. Testing of the numerical model	61
2.6. Numerical study of heat and mass transfer in laminar gas-droplets flow in a tube	63
2.7. Comparison of experimental data for tube flow with numerical results	69
2.8. Numerical investigation of heat transfer in the laminar gas/vapor/droplets stream over an isothermal flat plate.....	71
References for Chapter 2	85
Chapter 3. Flow dynamics and heat and mass transfer in a turbulent gas-droplets flow in a tube.....	87
3.1. Main characteristics effected on the heat and mass transfer in a two-phase flows with phase changes	87
3.2. Modeling of dynamics of the dispersed phase.....	90
3.3. Physical model	92
3.4. Governing equations for the gas phase.....	93
3.5. Two-equations turbulence models.....	95

3.6. Governing equations for the dispersed phase	99
3.7. Boundary conditions	101
3.8. Numerical procedures.....	103
3.9. Testing of the numerical model for turbulent one-phase and two-phase flows	108
3.10. Predictions of heat transfer in the turbulent gas-droplets tube flow and analysis of numerical results	118
3.11. Comparison with experimental data for gas-droplets turbulent flow in the tube.....	136
References for Chapter 3	138
Chapter 4. The study turbulent gas-droplets wall jets.....	143
4.1. An effectiveness of one-phase and two-phase wall jets.....	143
4.2. The study of gas-droplets wall screen over adiabatic wall surface in a tube	147
4.3. Numerical modeling of two-phase jet with heat transfer between wall surface and gas-droplets stream	166
References for Chapter 4	182
Chapter 5. The study turbulent gas-droplets wall jets.....	185
5.1. Introduction	185
5.2. Review of two-phase jets.....	186
5.3. Problem statement	191
5.4. Numerical realization and model testing jet	196
5.5. Comparison with measurements results for one-phase turbulent jet	201
5.6. Predictions of gas-dispersed turbulent jet and its discussions	203
5.7. Comparative analysis with the experiments for gas-dispersed jet	209
5.8. Investigation of gas-droplets jet with phase changes.....	220
5.9. Comparison with measurements for the gas-droplets turbulent jet.....	235
References for Chapter 5	242