



Теплофизика и аэромеханика

Содержание

Март — апрель, 2015, том 22, № 2 (92)

- 143 Исследование структур и свойств нерегулярных обтеканий титан-термостойкие стали, полученных сваркой лазером с использованием премагнитных вставок и электрокоррекции
Черешкин А.Н., Орловых А.М., Пулатова И.Б., Шаповал В.Н.
- 151 Спектральная модель диффузии тяжелой ионизированной энергии в ступенчатом поле скорости атомной среды
Деревян И.В.
- 171 Особенности тепловой диффузии: влияние в том числе к устойчивости стратифицированных течений перемешивания среды
Курбатова А.Ф., Курбатова Т.Н.
- 187 О влиянии на численность числу Фруда течения в турбулентном слоегтебелазурием телом и ленточно стратифицированной среде
Моискин Н.П., Фокина А.В., Черных Г.Г.
- 195 Формирование нерегулярных структур в каналах с миксотемпидом и их взаимодействие с поперечностями в РДТТ
Бондарский Б.Я., Черныш А.А.
- 201 Моделирование нелинейных волн на неискривленной и изогнутой поверхности, локализованной турбулентным течением газа
Воеводин Н.С., Арханов Д.Г., Цистов О.Ю.
- 215 Влияние анизотропного магнитного поля на двумерные режимы естественной конвекции в замкнутом объеме
Бондарев Н.С., Шеремет М.А.
- 227 Совместное взаимодействие отрывающего и кривизны стенки на сетчатую конвекцию в турбулентном микрогравитационном пространстве
Дюва Б.В., Аити Б., Мухамед С.А.
- 238 Моделирование турбулентного потока в радиальном реакторе с неоднородным распределением скоростей
Жаппасбаев У.К., Рамазанова Г.Н., Кенжетов О.Б.
- 255 Исследование режимов образования густых аэрозолей в пористой среде, насыщенной жидкостью
Насинов М.К.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

- 267 Устойчивость к возмущениям обтекания гиперзвуковых сверхзвуковых высокотемпературных течений
Зайков В.А., Прихоров А.Н., Третьяков И.К.

КОРРЕКТНЫЕ ДАТЫ

- 271 К 90-летию Евгения Моисеевича Хабзмановича
- 273 К 70-летию Виктора Владимировича Козлова

УДК 532.529:536.24

Режимы двухфазного течения в микро- и миниканалах (обзор)*

Е.А. Чиннов, Ф.В. Роньшин, О.А. Кабов

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет*

E-mail: chinnov@itp.nsc.ru

Обзор посвящен анализу факторов, влияющих на границы двухфазных режимов в каналах разного поперечного сечения с минимальным размером менее капиллярной постоянной. Приведена классификация каналов по размеру. Данные по режимам двухфазного течения систематизированы и приведены в таблицах для круглых и прямоугольных каналов. Указано, что в большинстве работ выделены следующие режимы двухфазного течения: пузырьковый, снарядный и кольцевой. Описаны режимы, встречающиеся в отдельных работах. Сохранена используемая для описания режимов терминология. Проанализированы основные факторы, влияющие на структуру двухфазного потока, такие как расходы газа и жидкости, параметры канала и входного участка, смачиваемость внутренней поверхности каналов, свойства жидкости, гравитационные силы. Показано, что развитие неустойчивостей двухфазного потока оказывает существенное влияние на формирование, эволюцию и смену режимов течения.

Ключевые слова: двухфазное течение, плоский канал, микроканал.

Введение

Развитие теплообменников с микро- и наноразмерами показывает, что такие системы оказываются гораздо более энергоэффективными, чем макросистемы с размерами каналов более 1 мм. Существующие системы охлаждения не позволяют обеспечить современных требований по отводу тепла от высокотемпературных источников в электронном и микроэлектронном оборудовании. При уменьшении толщин плоских каналов отношение поверхности к объему канала увеличивается обратно пропорционально его минимальному поперечному размеру, что обуславливает высокую интенсивность теплообмена в микро-системах. Такие системы получают все более широкое распространение в микроэлектронике, в аэрокосмической промышленности, транспорте и энергетике.

Опубликовано значительное количество работ по исследованию двухфазного течения. В литературе имеется различная классификация каналов по их поперечным размерам. Например, в работе (Kandikar, 2003) выделены микроканалы с характерным размером 10–200 мкм, миниканалы с размером 200–3000 мкм и конвективные каналы с размером более 3 мм. Однако систематизация, не зависящая от физических процессов, происходящих в каналах, выглядит искусственно. Изменение режимов течения в большинстве выполненных экспериментов определяется в первую очередь влиянием капиллярных

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.604.21.0053).

и гравитационных сил. Относительное влияние капиллярных и гравитационных сил можно описывать, используя критерий Бонда (Этвеша) или отношение диаметра канала d к капиллярной постоянной l_σ . В работе (Чиннов, Кабов, 2006) приведена следующая классификация размеров каналов. 1. Крупномасштабные (конвективные) каналы $d > 5l_\sigma$, характеризующиеся отсутствием влияния капиллярных сил за счет кривизны канала. В этих условиях возможно проявление капиллярных эффектов на уровне других масштабов: пузыри, волны. 2. Гравитационно-капиллярные каналы $0,5l_\sigma < d < 5l_\sigma$, в которых проявляется совместное влияние капиллярных и гравитационных сил, но гравитационные силы превосходят капиллярные. При $d = 0,5l_\sigma$ происходит вырождение раздельного режима течения. 3. Капиллярно-гравитационные каналы (миниканалы) $0,1l_\sigma < d < 0,5l_\sigma$ с совместным влиянием капиллярных и гравитационных сил, когда капиллярные силы превосходят гравитационные. Каналы второго и третьего типов можно также называть минимасштабными. 4. Капиллярные каналы (микроканалы) $d < 0,1l_\sigma$, где отсутствует действие гравитационных сил, а определяющее влияние оказывают капиллярные эффекты. Каналы этого типа можно называть микромасштабными.

В работе (Ребров, 2010) выделены три характерные группы течений в микроканалах: с преобладанием сил поверхностного натяжения, с преобладанием сил инерции и переходные между первыми двумя случаями. Характерным числом Этвеша для перехода от макро- к микроканалам было названо $Eo = 0,84$ (Bretherton, 1961), оно вычисляется по формуле

$$Eo = gL^2\Delta\rho/\sigma, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, L — характерный поперечный размер, $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ — разность плотностей, σ — коэффициент поверхностного натяжения. Также выделено шесть режимов течений: пузырьковый, снарядный, струйно-снарядный, струйный, вспененный и капельно-кольцевой (рис. 1).

Обзор работ по режимам двухфазных течений в каналах различной геометрии и размера содержится в статье (Чиннов, Кабов, 2006). В публикациях (Ребров, 2010 и Shao et al., 2009) приведен детальный обзор статей, посвященных в основном течению в круглых микротрубах. Рассмотрено влияние размеров канала, свойств жидкости, смачиваемости и др. на режимы двухфазного течения. В работе (Ребров, 2010) проанализировано влияние на эти режимы геометрий разных входных участков. В работах (Haverkamp, 2006 и Ребров, 2010) показано, что границы режимов газо-жидкостного течения в микроканалах

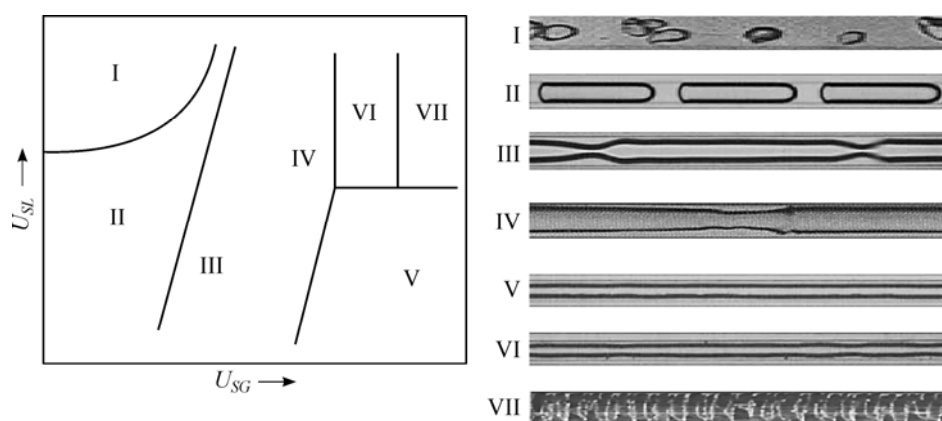


Рис. 1. Схематическое представление режимов течений в микроканалах (Ребров, 2010).

Режимы течения: I — пузырьковый, II — снарядный, III — струйно-снарядный, IV — снарядно-кольцевой, V — струйный, VI — вспененный, VII — капиллярно-кольцевой.