

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОЖИДКОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ В МИКРОКАНАЛАХ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Г.В. Барткус, В.В. Кузнецов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
630090, Новосибирск, Россия*

В последнее время значительное внимание уделяется исследованиям газожидкостных и двухжидкостных течений в микроканалах. Это связано с применением микроканалов в разных областях технологий. Большие площади поверхности фаз (при уменьшении поперечного размера канала, отношение поверхности к объему канала увеличивается обратно пропорционально диаметру канала) обуславливают высокую интенсивность теплообмена в микросистемах. Такие системы получают широкое распространение в микроэлектронике, в аэрокосмической индустрии, транспорте и энергетике.

Большая площадь контакта фаз позволяет также применять микроканалы в биологических системах (так называемых Lab-on-Chip) для экспресс-анализа крови, инкапсуляции клеток [1]. Данные системы делают возможным управление химическими реакциями с временным масштабом порядка нескольких миллисекунд. Такого типа реакции используются в химических реакторах и при синтезировании монодисперсных частиц. Микроканалы искривленной геометрии улучшают смешение фаз и являются основой для разработки пассивных микромиксеров [2].

Измерение локальных характеристик в свою очередь поможет понять глубже механизмы газожидкостного течения на микромасштабе, что в данный момент является актуальным для оптимизации работы всех типов микрожидкостных систем. Статистические характеристики двухфазного газожидкостного течения в микроканалах также важны и представлены, например, в работе [3].

Целью данной работы стало изучение локальных характеристик двухфазного газожидкостного течения смесей дистиллированная вода-азот и этанол-азот в микроканалах с Т-образным миксером (сечения микроканалов 420×280 мкм², 395×205 мкм²) бесконтактными оптическими методами: высокоскоростной видеосъемкой и лазерноиндуцированной флуоресценцией (ЛИФ, LIF).

В данной работе экспериментально получено, что в микроканалах с прямоугольным сечением (гидравлический диаметр много меньше капиллярной постоянной) формируется три характерных режима течения: периодический режим, переходной и кольцевой режимы течения.

Измерены локальные характеристики (толщина пленки жидкости в центральном сечении длиной стороны микроканала, профиль пленки жидкости) методом ЛИФ для входящего газожидкостного течения смеси дистиллированная вода-азот для периодического и переходного режимов. Определена зависимость локальной толщины пленки жидкости в центральном сечении удлиненного пузыря от величины капиллярного числа. Впервые экспериментально показана неравномерность толщины пленки жидкости вдоль длинной стороны микроканала (рис. 1 а) и вдоль пузыря из-за стягивания жидкости в углы канала под действием капиллярных сил (рис. 1 б). Также установлено, что для прямоугольного канала закон Тейлора [4] не выполняется в полной мере, в особенности для больших расстояний от начала пузыря.

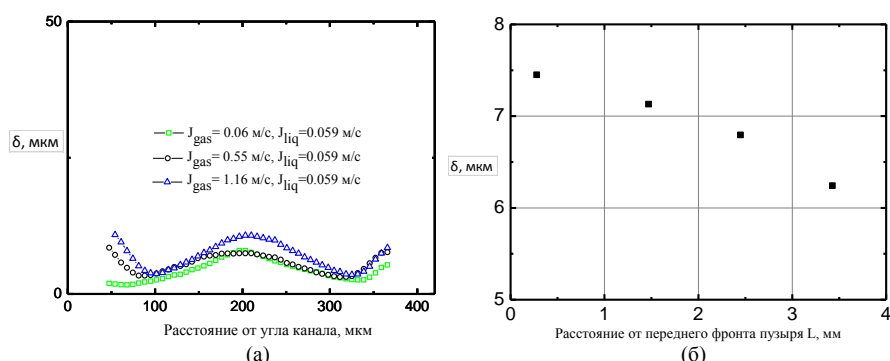


Рис. 1. (а) - Распределение толщины пленки жидкости δ на длинной стороне микроканала $420 \times 280 \text{ мкм}^2$ при восходящем течении смеси дистиллированная вода-азот; (б) - Изменение толщины пленки вдоль пузыря при $J_{\text{liq}} = 0.059 \text{ м/с}$, $J_{\text{gas}} = 0.55 \text{ м/с}$.

Экспериментально получено распределение жидкости для горизонтального течения смеси этанол-азот в микроканале с сечением $395 \times 205 \text{ мкм}^2$ для кольцевого режима течения с волнами. Показана динамика изменения течения во времени. Установлено, что пленка жидкости на передней стороне канала увеличивается сразу после прохождения волны возмущения на менисках, а затем уменьшается до прохождения новых волн. Показано, что большая часть жидкости течет в менисках жидкости на короткой стороне канала.

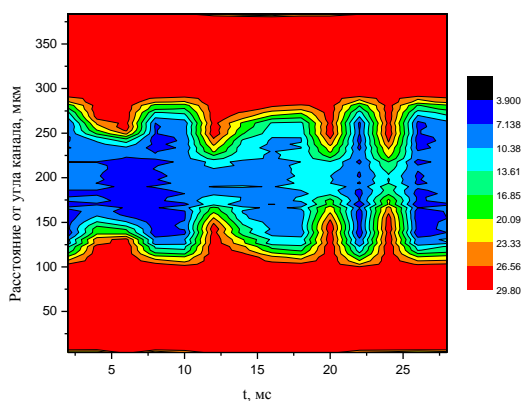


Рис. 2. Распределение толщины пленки жидкости (в мкм) на длинной стороне микроканала $395 \times 205 \text{ мкм}^2$ при горизонтальном течении смеси этанол-азот в зависимости от времени для приведенных скоростей газа и жидкости $J_{\text{liq}} = 0.072 \text{ м/с}$, $J_{\text{gas}} = 11.35 \text{ м/с}$.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (РНФ №16-19-10519).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Günther A., Jensen K. F. Multiphase microfluidics: from flow characteristics to chemical and materials synthesis // Lab Chip. 2006. Vol. 6, No. 12. P. 1487–1503.
2. Анискин В. М., Адаменко К. В., Маслов А. А. Измерение давления внутри микроканалов различной формы // Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3, № 2. С. 37-46
3. Козулин И.А., Кузнецов В.В. Экспериментальное изучение структуры газожидкостного течения в прямоугольном микрочанале оптическими методами // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2015. Т. 10, №3. С. 63-69.
4. Aussillous P., Quere D. Quick deposition of a fluid on the wall of a tube // Physics of fluids. 2000. Т. 12, No. 10. P. 2367-2371.