

Черданцев А.В., Исаенков С.В., Черданцев М.В.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1

Дисперсно-кольцевой режим течения может быть охарактеризован, как течение высокоскоростного потока газа, окруженного пленкой жидкости, стекающей по стенкам канала, а также присутствием капель жидкости в ядре газового потока, срывааемых с поверхности пленки. Волновая картина при таком режиме течения представлена двумя типами волн: крупномасштабными волнами возмущения и мелко-масштабными волнами ряби.

Ранее было получено много информации о характеристиках данного типа течения и о поведении поверхностных волн. На больших расстояниях от входа волны возмущения распространяются с постоянной скоростью (Hall Taylor et al. 1963). Частота следования волн возмущения уменьшается с увеличением расстояния от входа, это происходит благодаря слиянию волн возмущения, распространяющихся с различной скоростью (Hall Taylor & Nedderman 1968). Быстрая волна поглощает более медленную волну и в результате слияния образовавшаяся волна движется со скоростью быстрой волны, породившей ее (Hall Taylor et al. 1963). Генерация волн ряби происходит на задних склонах волн возмущения, затем часть волн распространяется со скоростью меньшей, чем скорость волн возмущения («медленная рябь»), а другая часть волн распространяется по поверхности волн возмущения, затем отрываясь в виде капель жидкости («быстрая рябь»), как описано в работе (Alekseenko et al. 2009). Но вопрос о процессе генерации волн возмущения остается открытым.

В недавней работе (Zhao et al. 2013) авторы исследовали развитие волн возмущения в кольцевом газожидкостном потоке. Для определения локальной толщины пленки жидкости был использован метод электропроводности. Основным критерием разделения волн на волны возмущения и волны ряби была амплитуда волн. Было обнаружено, что генерация волн возмущения происходит на расстоянии равном 5-10 диаметров канала. Но данный метод не позволяет проследить эволюцию отдельно взятой волны во времени и пространстве.

Для изучения механизма генерации волн возмущения был проведен ряд экспериментов в опускном водовоздушном адиабатическом дисперсно-кольцевом течении в цилиндрическом канале с внутренним диаметром 15 мм на малом расстоянии от входа в канал (2-3 мм). Рабочая область была представлена одним продольным сечением канала, длина которого составляла 10 см. Измерения проводились при высоких скоростях газа ($Vg=15-57$ м/с) и числах Рейнольдса жидкости ($Re=140-400$).

Для измерения локальной толщины пленки жидкости был использован метод лазерно-индуцированной флуоресценции (LIF). Данный метод позволяет проводить полевые измерения толщины пленки жидкости с высоким пространственным (0.2 мм) и временным (частота съемки 10 КГц) раз-

решением, что позволяет проследить эволюцию каждого возмущения на поверхности пленки.

Было обнаружено, что формирование волн возмущения происходит благодаря слиянию начальных возмущений различной скорости и амплитуды, генерируемых на входе в канал (Рис. 1). А координата начала образования волны возмущения зависит от начальных условий, таких как амплитуда, частота следования начальных возмущений и их различий по скорости.

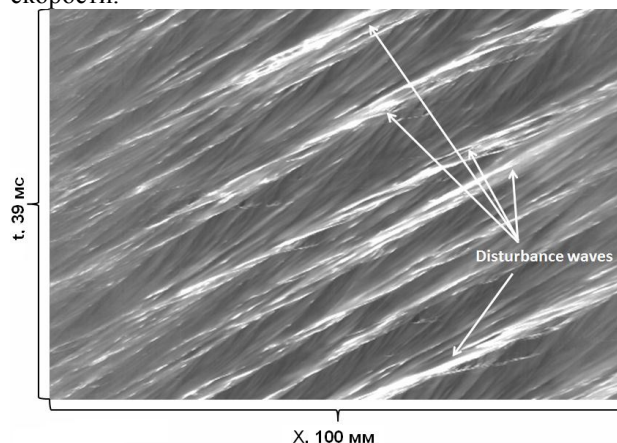


Рис. 1. Фрагмент матрицы толщины пленки жидкости при малом расстоянии от входа. $Re_{ж}=400$, $Vg=43$ м/с.

Для получения количественной информации о характеристиках поверхностных волн был использован спектральный анализ данных. Анализ показал, что на малом расстоянии от входа на поверхности пленки преобладают высокочастотные возмущения, которые соответствуют начальным возмущениям (пик «1» на Рис. 2а). С увеличением расстояния от входа на поверхности пленки начинают доминировать низкочастотные возмущения, которые соответствуют волнам возмущения (пики «2» и «3» на Рис. 2в).

Также был применен алгоритм автоматической обработки данных, предложенный (Alekseenko et al. 2014). С помощью алгоритма автоматической обработки данных были идентифицированы пространственно-временные траектории волн возмущения и получены основные характеристики волн: частота, скорость и время разделения. На рисунке 3 представлены зависимости частоты волн возмущения от скорости газа в канале при малом расстоянии от входа, определенные с помощью спектрального анализа данных и с помощью алгоритма автоматической обработки данных.

Из рисунка видно, что частоты, измеренные разными способами, близки; это говорит об адекватности интерпретации спектральных данных. На основе сравнения с экспериментами, проведенными на больших расстояниях от входа, частоты волн возмущения уменьшаются вниз по потоку, а скорости растут, что соответствует общепринятым представлениям. Тем не менее, прямое сравнение скоростей вбли-

зи и вдали от входа приводит к выводу, что модель наиболее вероятного сценария слияния волн возмущения, описанная в работе (Hall Taylor et al 1963), не объясняет в полной мере развития волновой картины. Поэтому требуются дополнительные исследования сценариев слияния волн в начальной области.

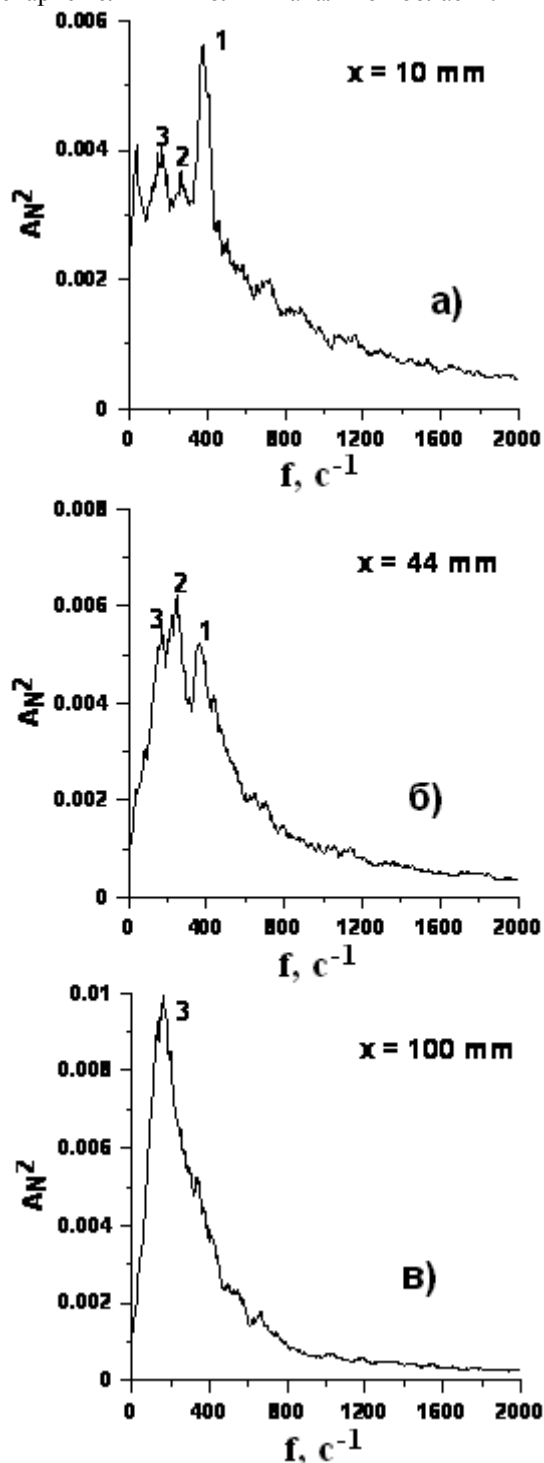


Рис. 2. Эволюция спектра мощности сигнала вниз по потоку. $Re_{жс}=400$, $Vg=57 \text{ м/с}$.

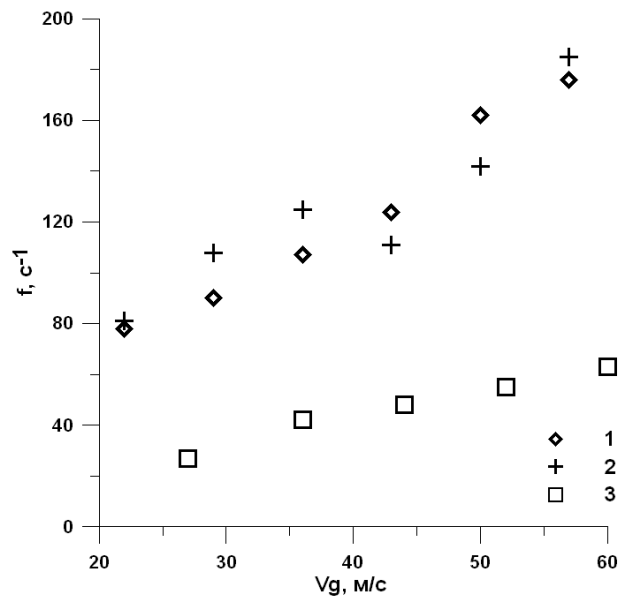


Рис. 3. Сравнение частот волн возмущения, измеренных на участке 4-10 см при $Re_{жс}=400$ (1,2) с частотой, измеренной на участке 50-62 см при $Re_{жс}=350$ (3). Частоты измерены с помощью алгоритма автоматической обработки (1,3) и с помощью спектрального анализа (2).

Список литературы:

1. Alekseenko SV, Antipin VA, Cherdantsev AV, Kharlamov SM, Marcovich DM. Two-wave structure of liquid film and waves interrelation in annular gas-liquid flow with and without entrainment// *Phys Fluids* 21: 061701-061704. 2009.
2. Hall Taylor NS, Hewitt GF, Lacey PMC. The motion and frequency of large disturbance waves in annular two-phase flow of air-water mixtures// *Chem Engng Science* 18: 537-552. 1963.
3. Hall Taylor NS, Nedderman RM. The coalescence of disturbance waves in annular// *Chem Engng Science* 23: 551-564. 1968.
4. Zhao Y, Markides CN, Matar OK, Hewitt GF. Disturbance wave development in two-phase gas-liquid upwards vertical annular flow// *Int J Multiphase Flow* 55: 111-129. 2013.
5. Alekseenko SV, Cherdantsev AV, Heinz OM, Kharlamov SM, Markovich DM. Analysis of spatial and temporal evolution of disturbance waves and ripples in annular gas-liquid flow// *Int J Multiphase Flow*, in press, DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.07.009. 2014.