

УДК 628.2

Н. И. ГРИГОРЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПИСАНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ ЖИДКОСТЬ-ВОЗДУХ В НАКЛОННЫХ КАНАЛАХ

В статье выполнен обзор теоретических и практических исследований в области двухфазного движения жидкость-газ. Определено влияние структур потока в наклонных каналах на основные параметры газожидкостных систем. Выбрано направление для дальнейшего изучения систем вакуумного транспортирования жидкости и определения потерь энергии в них.

двухфазные потоки жидкость-газ, вакуумное транспортирование жидкости, наклонные каналы

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Движению двухфазных потоков в последние годы было уделено большое внимание [1–8]. Это объясняется значимостью данной проблемы во многих областях науки и техники, в том числе в системах вакуумной канализации сточных вод. Основной процесс, протекающий в системе вакуумной канализации – это движение сточной жидкости в трубе с наклоном к горизонту не более 10° под действием вакуума и расширения воздуха, подаваемого из атмосферы с помощью клапанов специальной конструкции. Поэтому для описания параметров движения сточных вод в данной системе изучение двухфазных потоков типа жидкость-газ является основополагающим.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Описание внутрифазных процессов и взаимодействий в гетерогенных средах довольно сложно. Поэтому для получения результатов, пригодных и доступных для практического применения и обработки зачастую пользуются различными допущениями и упрощенными схематизациями. Исследования в области движения газожидкостных потоков в трубопроводах проводились многими отечественными и зарубежными учеными, а именно: А. А. Армандом, С. С. Кутателадзе, Р. И. Нигматулиным, Г. Уоллисом, Д. Верслоисом, А. П. Крыловым, В. А. Мамаевым, Г. Э. Одишарией, Д. Чисхолмом, Дж. Хьюиттом, Д. А. Лабунцовым, И. Тейтелом, А. Даклером и др.

Большинство исследований движения смесей воздуха с жидкостями, отличающимися от воды по физическим свойствам, основаны на лабораторных экспериментах с учетом критериев подобия или теории размерностей для анализа полученных результатов [1–8]. В некоторые работы включены элементы аналитического исследования, но описание двухфазных процессов таким образом возможно только при ограничении количества переменных, характеризующих изучаемую среду. Все эти исследования и полученные параметры имеют ощутимую погрешность, связанную с большим количеством переменных, характеризующих двухфазное течение.

Представление о структуре потока (режиме движения) имеет большое значение для понимания сути двухфазного движения, а также имеет влияние на выбор метода расчета градиента давления.

Структура двухфазного потока существенно зависит от расположения канала и направления движения фаз. В настоящее время накоплено много данных по гидродинамике двухфазных процессов в горизонтальных и наклонных трубопроводах и каналах, но эти данные возможно использовать только в конкретных условиях.

Целями работы являются определение особенностей различных режимов движения в системе гетерогенной среды жидкость-воздух в наклонных каналах, выбор направления для дальнейшего изучения вакуумных систем транспортирования жидкости, а также определение основного параметра таких систем – потерь энергии, которые влияют на величину создаваемого вакуума.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Структуры потоков двухфазной смеси в наклонной трубе очень схожи со структурами в горизонтальных трубах (рис. 1). Пузырьковая структура наблюдается при небольших расходах газа (рис. 1а).

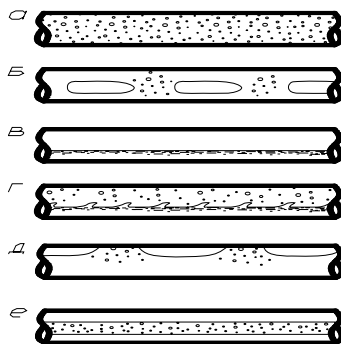


Рисунок 1 – Структуры потоков в горизонтальной трубе: а – пузырьковая; б – пробковая; в – расслоенная; г – волновая; д – снарядная; е – кольцевая.

Данная структура также характерна для начальных этапов двухфазных движений, при этом для движения газа с той же, что и жидкость, скоростью требуется меньший градиент давления, а следовательно, скорость движения газовой фазы оказывается выше, что со временем приводит к объединению и укрупнению пузырьков. Пузырьковый режим движения является изменяющимся, т. к. при одних и тех же давлениях, расходах газа и жидкости размеры и скорости движения пузырьков могут существенно отличаться в зависимости от длины предшествующего участка течения, условий ввода или условий образования газовой фазы.

Если газосодержание достаточно велико и имеются соответствующие условия на предшествующем участке движения, то пузырьки сливаются и образуют пробковую либо снарядную структуру течения (рис. 1б, 1д). Данная структура характеризуется наличием газовых пробок (снарядов), жидкой перемычки между пробками (снарядами), содержащей, как правило, пузырьки газа, а при снарядной структуре – пленки жидкости между снарядом и стенками канала. Данные режимы также подвержены изменениям, т. е. параметры структуры (скорости пробки, снаряда и перемычки, длина пробки, снаряда и т. д.) зависят от предшествующих условий вверх по потоку.

Еще большее увеличение газосодержания приводит к слиянию газовых фракций. При этом вблизи стенок трубы формируется пленка жидкости, для труб круглого сечения такой режим называется дисперсно-кольцевым. При отсутствии в ядре капель используется термин «кольцевая структура» (рис. 1е).

В пузырьковой, снарядной и дисперсно-кольцевой структурах в наклонных каналах за счет сил гравитации наблюдается неравномерность распределения фаз по сечению. При значительном газосодержании и малых скоростях потока, динамическое воздействие газа на жидкость недостаточно велико для формирования кольцевой структуры, поэтому жидкость концентрируется в нижней части трубы, образуя расслоенную структуру движения (рис. 1в).

Для представления результатов наблюдений режима движения обычно прибегают к построению графиков, на которых откладывают значения массовых расходов либо общей массовой скорости (полный массовый расход, деленный на полную площадь сечения) каждой из двух фаз. Такие графики называются «картой режимов течения». Для горизонтального и наклонного течения наиболее широко известна и чаще всего используется карта режимов течения Бейкера, модифицированная Скоттом, (рис. 2).

При изменении параметров фаз, составляющих систему, режимы движения двухфазного потока жидкость-воздух переходят из одного в другое. На этот процесс влияют свойства газожидкостной смеси, а также угол наклона канала к плоскости.

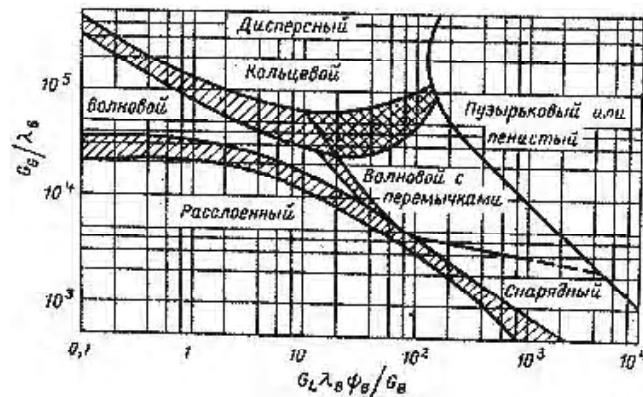


Рисунок 2 – Диаграмма режимов (структур) течения в горизонтальном и наклонном канале: G_L и G_G – массовые скорости соответственно жидкой и газообразной фаз кг/(м²·с); λ и ψ – нормирующие коэффициенты для физических свойств каждой из фаз в данной системе.

Одними из рассмотренных структурных превращений являются переход пузырьковой структуры в снарядную и из снарядной в расслоенную. Первое изменение режима связано с турбулизацией жидкой фазы, при которой мелкие пузырьки агломерируются и образуют снарядную структуру. Однако механизм увеличения пузырька довольно сложен и требует дополнительного изучения. Переход от снарядной структуры в расслоенную вызван нестабильностью Кельвина-Гельмгольца за счет превышения скорости движения одной из фаз.

При исследовании параметров вакуумного транспортирования жидкости было определено, что в трубопроводе происходит смена структур движения от пузырьковой до снарядной и расслоенной, связанная с изменением газосодержания, плотности газожидкостной смеси и угла наклона трубопровода к горизонту. Поэтому в качестве вывода можно сказать, что расчет потерь давления в системе (ΔP) необходимо выполнять для каждого участка, на котором происходит изменение структуры движения, отдельно, с учетом гидропневматических параметров, которые влияют на величину градиента давления (dP/dx) именно на этом участке в зависимости от его длины x :

$$\Delta P = \int_0^{x_{1-2}} \left(\frac{dP}{dx} \right) \cdot x_{1-2} + \int_{x_{1-2}}^{x_{2-3}} \left(\frac{dP}{dx} \right) \cdot x_{2-3} + \int_{x_{2-3}}^{x_{i-j}} \left(\frac{dP}{dx} \right) \cdot x_{i-j}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения [Текст] / Г. Уоллис. – М. : Мир, 1972. – 440 с.
2. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред [Текст]. В 2-х частях / Р. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1987. – Ч. 1. – 464 с.
3. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред [Текст]. В 2-х частях / Р. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1987. – Ч. 2. – 360 с.
4. Brennen, Christopher E. Fundamentals of Multiphase Flows [Текст] / Christopher E. Brennen. – Pasadena, California : California Institute of Technology, 2008. – 410 p.
5. Studies on two-phase co-current air/non-Newtonian shear-thinning fluid flows in inclined smooth pipes [Текст] / Jing-yu Xu, Ying-xiang Wu, Zai-hong Shi and other // International journal of Multiphase flow. – 2007. – 33. – P. 948–969.
6. Ситенков, В. Т. Гидравлика. Теория и расчет двухфазных систем [Текст] / В. Т. Ситенков. – Нижневартовск : [б. и.], 2006. – 121 с.
7. Чермошенцева, А. А. Математическое моделирование пароводяных течений в элементах оборудования геотермальных промыслов [Текст] : Монография / А. А. Чермошенцева, А. Н. Шулюпин. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2011. – 144 с.
8. Григоренко, Н. И. Исследование параметров основных элементов гидропневматической вакуумной системы канализации в лабораторных условиях [Текст] / Н. И. Григоренко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2011. – Вип. 2011-3(89) : Матеріали X Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – С. 110–112.

Получено 14.03.2013

Н. І. ГРИГОРЕНКО

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ОПИСУ РЕЖИМІВ РУХУ ДВОФАЗНИХ
ПОТОКІВ РІДИНА-ПОВІТРЯ В НАХИЛЕНИХ КАНАЛАХ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті виконано огляд теоретичних і практичних досліджень у зоні двофазного руху рідина-газ. Визначено вплив структур потоку в нахилених каналах на основні параметри газорідинних систем. Вибрано напрямок для подальшого вивчення вакуумних систем транспортування рідини і визначення втрат енергії в них.

двофазні потоки рідина-газ, вакуумне транспортування рідини, нахилені канали

NADEZHDA GRIGORENKO

THEORETICAL DESCRIPTION OF GAS-LIQUID INTERFACIAL
DISTRIBUTION IN INCLINED DOWNWARD PIPE FLOW

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This article has given an overview of theoretical and practical research in the field of the liquid-gas movement. The effect of flow patterns in the inclined channels on the basic parameters of gas-liquid systems has been determined. Direction has been selected for further study of vacuum systems for liquid transportation and determine the energy loss in them.

gas-liquid flow, liquid vacuum transport, downward pipe flow