

И.С. Сухарев
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ДВУХФАЗНОЕ ТЕЧЕНИЕ АЭРИРОВАННОГО САПРОПЕЛЯ ПРИ ЕГО ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ПЛАВУЧИМИ ЗЕМСНАРЯДАМИ

Изучение движения двухфазных систем газ-жидкость имеет большое научное и техническое значение. Газожидкостные системы широко используются в гидротранспорте, очистке загрязненных вод, обогащении руд и других отраслях. При добыче сапропеля землесосными земснарядами, сталкиваются со значительными затратами энергии при его транспортировке по напорным трубопроводам, что объясняется вязко-пластичными свойствами грунта [1]. Известен положительный опыт использования аэратора пульпы для повышения энергоэффективности грунтонасосной установки [4]. На практике аэрирование вязко-пластичной жидкости может быть использовано для:

- 1) снижения перепада давления в трубопроводе при заданной скорости смеси;
- 2) увеличения пропускной способности трубопровода при данном перепаде давления.

Имеется достаточное количество работ, посвященных исследованию гидравлических сопротивлений в системах газ (пар) – вода при течении в горизонтальных трубах [9] и воздух – вода при течении в вертикальных трубах [2]. Большинство работ выполнены для теплотехнической и нефтедобывающие отрасли. Несмотря на ньютоновский характер течения жидкой фазы в [3] установлены основные параметры течения двухфазных систем: истинное и расчетное газосодержание, скольжение и относительные скорости фаз, скорости дрейфа и т.п.

Течение газожидкостных смесей представляет собой сложный процесс. Важнейшим параметром, влияющим на гидравлическое сопротивление трения, является структурная форма двухфазного потока. Результаты исследований структур потока для смеси вода-воздух [8] различаются по скоростям фаз с результатами для раствора неньютоновской жидкости и воздуха [5, 12]. Основные структурные формы течения газожидкостной смеси представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Структурные формы течения газожидкостной смеси:
а) пузырьковая; б) снарядная; в) расслоенная; г) пробковая; д) кольцевая; е) капельная.

По результатам исследований значительное снижение гидравлического сопротивления наблюдается при пузырьковой, снарядной и расслоенной структурах течения. Обязательным условием возникновения данного эффекта является ламинарный режим течения жидкой фазы при скоростях не более 2 м/с и малых скоростях газовой фазы [6].

При расслоенной структуре потока эффект снижения гидравлического сопротивления возникает за счет снижения площади смачиваемой вязкой жидкостью поверхности трубопровода. Данному характеру течения смеси соответствует максимальное

снижение гидравлических потерь для вязкоупругих и высоковязких ньютоновских жидкостей [6, 12]. Так как данная структура течения достигается при больших расходах газа по сравнению с пузырьковой, ее применение ограничивается энергетической целесообразностью аэрирования, которая для вязкоупругой жидкости требует снижения скорости газовой фазы на порядок [11].

Поэтому необходимо сделать вывод, что для дальнейшего рассмотрения течения двухфазной жидкости, применительно к аэрированному сапропелю наибольший интерес представляет пузырьковая структура течения.

Особое внимание представляет исследование свойств вязко-пластичной жидкости [13]. В данной работе рассматривалось движение смеси смазочного минерального масла и воздуха в горизонтальных трубопроводах различного диаметра и шероховатости внутренней поверхности. В поток пластичной смазки (соответствующей 2 классу по классификации *NLGI*) в попутном жидкости осевом направлении вблизи стенки трубопровода подавался сжатый воздух. В результате проведенных испытаний было установлено, что значительное снижение гидравлического сопротивления трубопровода достигается при малых расходах газовой фазы ($Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{ч}$) [13], ламинарном течении жидкой фазы и пузырьковом характере течения смеси. При достижении снарядного и пробкового режима с ростом скорости газовой фазы, гидравлические сопротивления начинают возрастать. Эффект снижения сопротивления трения возрастает с увеличением вязкости жидкой фазы и диаметра трубопровода. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от скорости газовой фазы при различных диаметрах трубопроводов и расходах жидкой фазы показаны на рисунке 2.

Значительная вязкость жидкой фазы способствует росту отрывного диаметра пузыря [7]. Наличие вязкоупругих свойств жидкой фазы придает пузырьку воздуха вытянутую форму при свободном всплытии [11]. Исследование элементарного акта флотации в аномально вязких средах [10] устанавливает следующую зависимость для определения радиуса свободно всплывающего пузырька:

$$r = \left(\frac{3R_0\sigma}{2\rho_{\text{ж}}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

где R_0 – радиус отверстий барботера, м;

σ – коэффициент поверхностного натяжения на границе фаз «газ-жидкость», Н/м;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой фазы, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

В большинстве работ форма и размеры пузырька воздуха определяются только эмпирическим путем при исследовании высоковязких ньютоновских и вязкоупругих жидкостей, которые не обладают начальным напряжением сдвига и значительной величиной поверхностного натяжения по сравнению с вязко-пластичной жидкостью.

Движение газожидкостной смеси является сложным процессом, зависящим от большого числа параметров: плотности, вязкости, предельного напряжения сдвига, сил поверхностного натяжения, скорости фаз, химического состава веществ, структуры потока смеси и др. Анализ различных экспериментальных данных показал, что гидравлические сопротивления трения трубопроводов при транспорте газожидкостных смесей в значительной степени зависят от характера ее движения. Структуры двухфазного потока разнообразны, и в большинстве случаев закономерности их образования определяются только опытным путем. Различные научные исследования подтверждают эффективность аэрации сапропеля, как важнейшего способа увеличения производительности грунтонасосной установки. Разработка методик определения реологических параметров сапропеля, в зависимости от газосодержания, расхода воздуха и скорости фаз, расчета гидравлических потерь при его гидротранспорте, разра-

ботка конструкции аэратора и метода его расчета, определение наиболее эффективного способа подачи воздуха является важнейшей задачей для дальнейшего исследования.

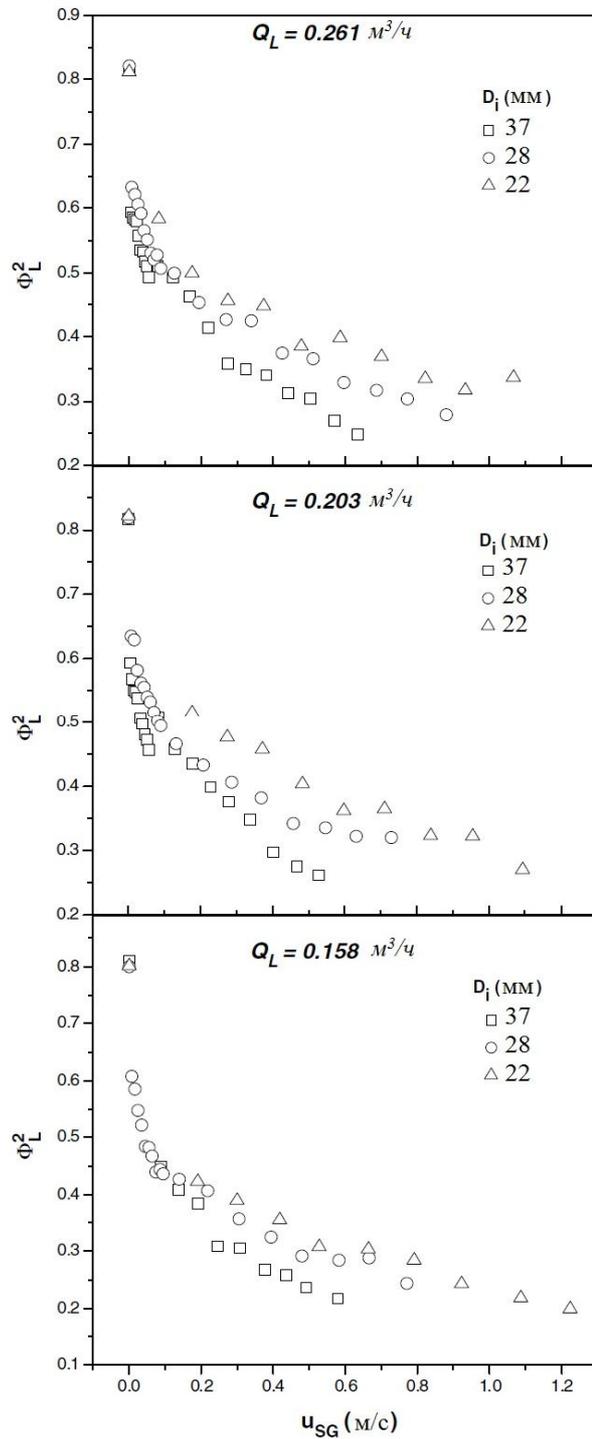


Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от скорости газовой фазы

Список литературы:

- [1] Арефьев Н.Н. Научное обоснование технических решений и разработка на их основе средств повышения эффективности судовых энергетических установок землесосных снарядов: дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н.: 05.08.05/ Николай Николаевич Арефьев; ВГАВТ. – Н. Новгород, 2010. – 389с.
- [2] Арманд А.А., Неструева Е.И. Исследование механизма двухфазной смеси в вертикальной трубе: Тр. инст-та/ А.А. Арманд, Е.И. Неструева – Изв. Всесоюз. теплотехн. института, 1950 – Вып.2 – 1-8с.
- [3] Арманд А.А., Сопротивление при движении двухфазной системы по горизонтальным трубам: Тр. инст-та/ А.А. Арманд, Е.И. Неструева – Изв. Всесоюз. теплотехн. института, 1946 – Вып.9 – 16-23с.
- [4] Грунтозаборное устройство землесосного снаряда: пат. 1613616 Рос. Федерация: МКИ⁵ E02F3/88, E21C45/00/ Н.Н. Арефьев, Н.В. Лукин, Е.Ю. Милославский; заявитель ГИИВТ (СССР), патентообладатель Н.Н. Арефьев (RU). – №4483682/27-03; заявл. 19.09.88; опубл. 15.12.90, Бюл.№46.
- [5] Гриценко А.И. Гидродинамика газожидкостных смесей в сваях и трубопроводах/ А.И. Гриценко, О.В. Клапчук, Ю.А. Харченко – М.:Недра, 1994 – 238с. с ил.
- [6] Карамышев В.Г. Исследование закономерностей совместного транспорта нефти и газа по трубопроводам: дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н.: 25.00.19/ Виктор Григорьевич Карамышев; ИПТЭР. – Уфа, 2002. – 275с.
- [7] Кутателадзе С.С. Тепломассообмен и волны в газожидкостных системах/ С.С. Кутателадзе, В.Е. Накоряков – Новосибирск: Наука, 1984 – 302с.
- [8] Мологин М.А. Формы течений газо-жидкостных смесей в горизонтальных трубах/ М.А. Мологин. – Докл. АН ССР, 1954. – Т. 94, №5 –807-810с.
- [9] Семенов Н.И., Гидравлические сопротивления течений газо-жидкостных смесей в горизонтальных трубах/ Н.И.Семенов. – Докл. АН ССР, 1955. – Т. 104, №4 – 513-516с.
- [10] Соковин О.М. Флотационная очистка сточных вод с аномальной вязкостью: дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н.: 11.00.11/ Олег Михайлович Соковин; ВГТУ. – Киров, 1998. – 228с.
- [11] Chhabra R.P. Bubbles, drops and particles in Non-Newtonian fluids/ R.P. Chhabra. – 2nd ed. – USA: CRC Press, 2006. – 771 p.
- [22] Chhabra R.P. Non-Newtonian flow and applied rheology: engineering applications/ R.P. Chhabra, J.F. Richardson. – 2nd ed. – Hungary: Butterworth-Heinemann, 2008. – 536 p.
- [13] Ruiz-Viera M.J. On the drag reduction for the two-phase horizontal pipe flow of highly viscous non-Newtonian liquid/air mixtures: Case of lubricating grease/ M.J. Ruiz-Viera, M.A. Delgado, J.M.
- [14] Franco M.C., Sanchez C. Gallegos – Elsevier: International Journal of Multiphase Flow, Vol. 32, Issue 2, 2006 – p. 232–247