

**Теоретическое исследование
неизотермических эффектов в многофазных потоках**

Д.В. Суркова^{1,2}, В.П. Пименов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Московский научно-исследовательский центр Шлюмберже

Проблема создания и совершенствования методов и средств измерения расхода и состава многофазных потоков остается до сих пор весьма актуальной [1-2]. В нефтегазовой промышленности для этой цели часто используют измерение давления при течении флюида через различные ограничители, например, через трубку Вентури (рис. 1), в сочетании с измерением плотности потока, используя гамма плотномер или другие способы [2]. Важной проблемой является мониторинг добычи в скважинных условиях, где нет возможности использовать громоздкие средства измерения, которые используются на поверхности. Информацию о фазовом составе и расходе флюида желательно получить с использованием наиболее надежных датчиков, например датчиков давления и температуры. Надо определить, где проводить измерения, с какой точностью и как по измеренным значениям рассчитать состав и расход водонефтяной смеси.

Работа включает в себя три этапа: (1) приближенный 1D анализ температурных эффектов в однофазных и двухфазных потоках, (2) анализ двухмерных температурных эффектов в однофазных потоках с помощью численного моделирования, (3) 2D численное моделирование температурных эффектов в двухфазных потоках.

Оценка температурных эффектов в трубке Вентури в 1D приближении проводилась с использованием уравнения движения (рис. 1)

$$P_1 + \rho V_1^2 / 2 = P(x) + \rho V(x)^2 / 2 + \Delta P(x);$$

$$\Delta P_{13} = \kappa \cdot (P_1 - P_2)$$

и уравнения энергии

$$c_p \cdot dT - \mu_{JT} c_p \cdot dP + d(V^2/2) = 0$$

где κ - коэффициент потерь давления ($\kappa \approx 0,15 \div 0,2$), P_1, P_2 и P_3 - статические давления на входе трубы, в горловине и на выходе из диффузора, значения плотности ρ , теплоемкости c_p и

коэффициента Джоуля-Томсона μ_{JT} рассчитывались для гомогенной смеси нефти и воды в зависимости от водосодержания.

Было показано, что при скорости потока на входе в трубку Вентури $V_1 = 3,5$ м/с охлаждение воды и нефти в горловине составляет 11 мК и 33 мК соответственно, нагрев на выходе из диффузора 8 мК и 12 мК. Такие изменения температуры потока могут быть измерены современными скважинными датчиками температуры.

Оценка влияния двухмерных эффектов проводилась с использованием пакета COMSOL. Была показана сеточная сходимость решения и получены типичные значения потерь давления в трубке Вентури. Для модели ламинарного течения, полученол хорошее количественное соответствие между аналитическим и 2D численным расчетом как для нагрева потока на выходе из диффузора, так и для охлаждения потока в горловине. Особенности реализации модели турбулентного течения в COMSOL Multiphysics 3.5 не позволили нам достаточно точно учесть процессы вязкой диссипации на стенках трубки Вентури, и нагрев потока на выходе из диффузора может отличаться от нагрева, рассчитанного по необратимому падению давления ΔP_{13} , который соответствует эффекту Джоуля-Томсона. Установлено, что нагрев потока, по которому можно определить состав смеси, надо измерять на расстоянии от горловины не менее 5-8 диаметров трубки Вентури (рис. 2). Было показано, что в рамках модели ламинарного течения высоковязких флюидов вязкая диссипация может приводить к существенному (более 300 мК, (рис. 3)) нагреву стенок в горловине трубки Вентури. Проводится уточнение величины этого нагрева для турбулентного потока. Рассматривается влияние водосодержания добываемого флюида на величину нагрева стенок трубки Вентури.

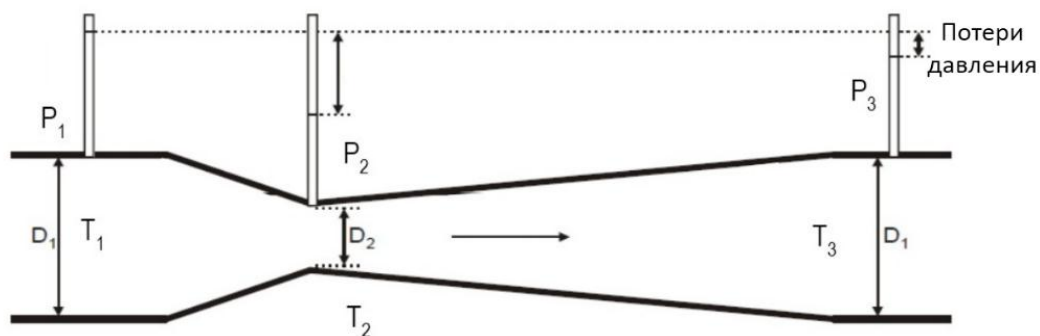


Рис. 1. Трубка Вентури

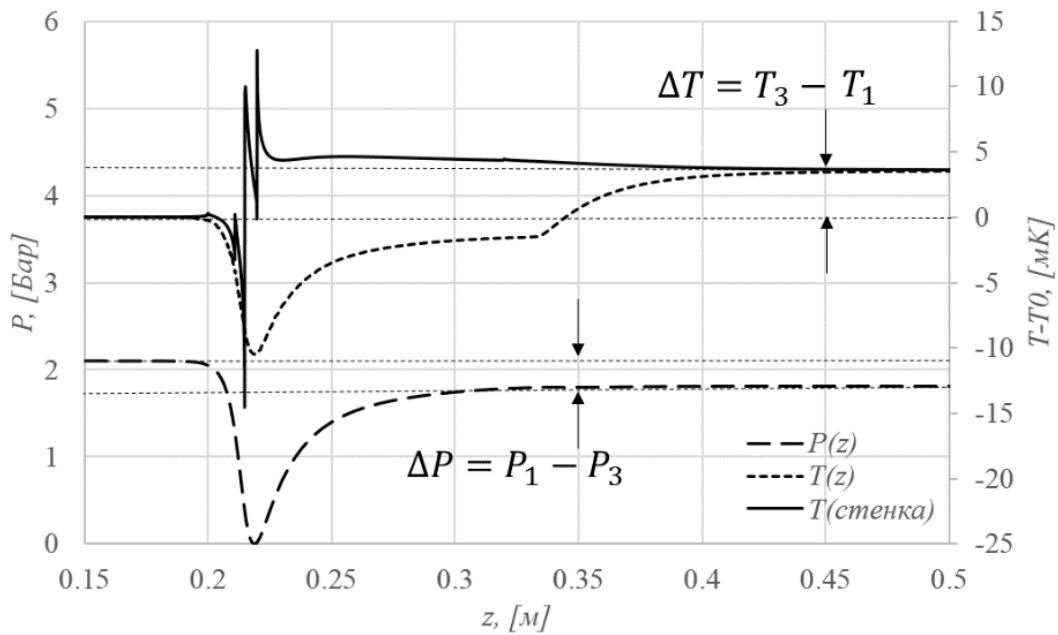


Рис. 2. Изменение давления и температуры по длине трубки Вентури

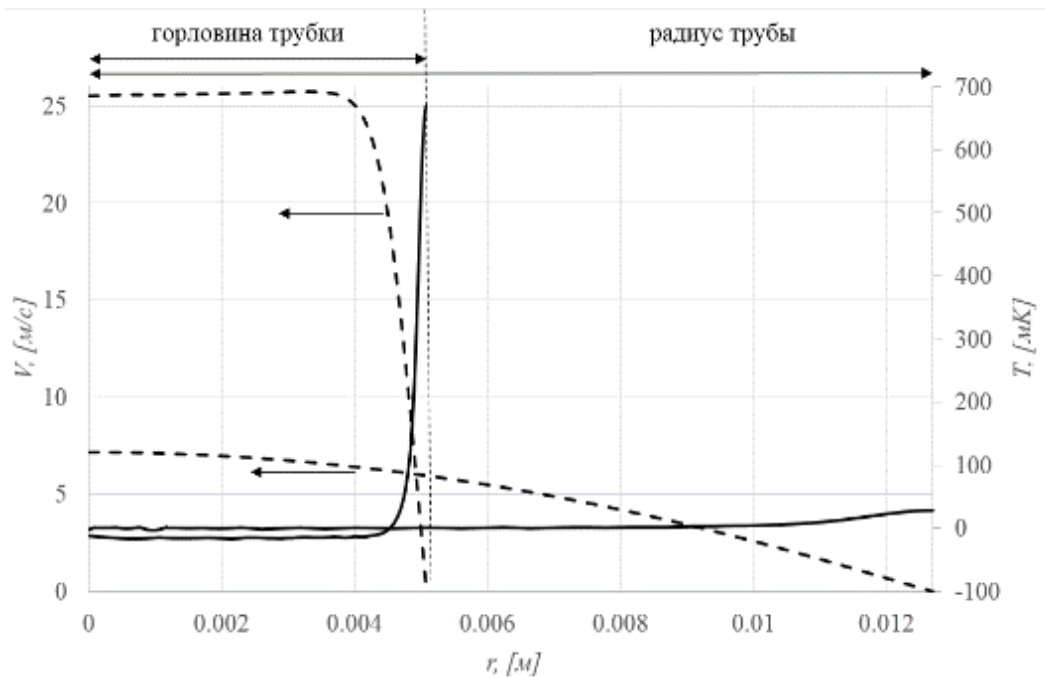


Рис. 3. Изменение скорости и температуры по радиусу трубки Вентури

Литература

1. Вакулин А.А., Шабаров А.Б. Диагностика теплофизических параметров в нефтегазовых технологиях. –Новосибирск: Наука: Сиб. отд. РАН, 1998.
2. Eivind Dahl [et al.]. Handbook of Multiphase Flow Metering. –March 2005. –Revision 2. –113 с.