Расчет течения в режиме “Blow out” для скважин различной геометрии с учетом реальных свойств природного газа.

В.И.Алферов, Л.М. Дмитриев, С.З. Имаев

(Московский физико-технический институт)

Wolfgang Schacht

(Gasversorgung Thueringen GmbH, Erfurt)

I Постановка задачи.

Рассматривается следующая задача: определяется максимально возможный расход газа при его истечении из емкости A, в которой поддерживается давление P_0, T_0, в емкость B, в которой поддерживается давление $P_в$, через трубопроводы C (см. рис. 1). При $P_в$ = 1 атм такое течение моделирует истечение газа из скважины в режиме Blowout [1]. В отличие от работы [1], в которой такое течение рассматривалось как течение совершенного газа, в настоящей работе рассчитывается течение реального газа с учетом его реальных термодинамических свойств (сверхсжимаемости, эффекта Джоуля-Томсона и т.д.). Подводом тепла к газу от стенок трубопровода, также как и в работе [1] пренебрегается. Задача рассматривается как одномерная (осредненные параметры зависят только от одной пространственной координаты x), ось x направлена вверх – против вектора силы тяжести. Исследуется квазистационарное течение [1].

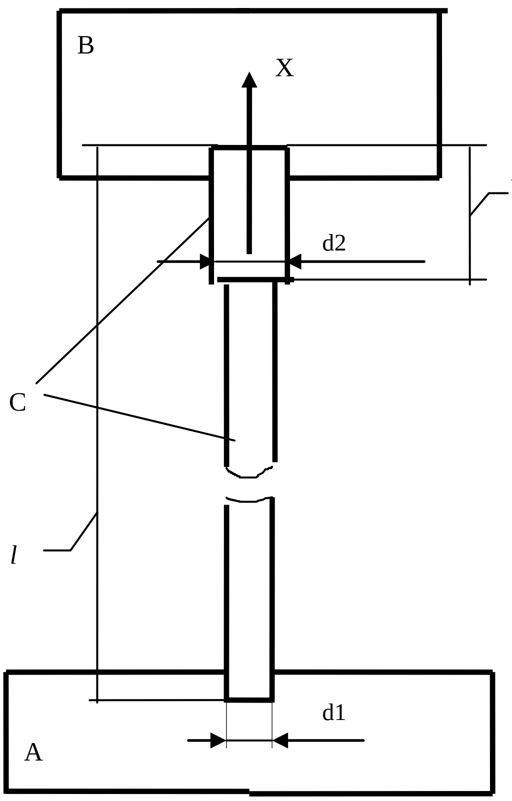

Рис. 1

II. Уравнения для осредненных параметров при больших числах Re≥ 10^6

Основные уравнения, описывающие движение газа в трубопроводах, изложены в монографиях [2],[3] и др., в которых указывается, что распределение скорости потока по сечению неоднородно. Для использования одномерных уравнений необходимо предварительно провести осреднение по сечению и получить уравнения для осредненных параметров.

В случае несжимаемой жидкости (M^2«1) установившийся профиль скорости газа в цилиндрической трубе имеет вид [2]

$$U(y) = 2{,}5\sqrt{\frac{\tau_W}{\rho}}\ln\left(\frac{y}{R_0}\right) + B = A\left(\ln\frac{y}{R_0} + C\right)$$

где τ_W - напряжение трения на стенке, ρ - плотность, C - величина, зависящая от числа $Re = \frac{\rho U d}{\mu}$ и шероховатости стенок, y - расстояние от стенки. Величина τ_W связана с коэффициентом трения ξ соотношением

$$\xi\frac{\rho U_v^2}{2} = 4\tau_W$$

где U_V - осредненная по сечению скорость жидкости

$$U_V = \int_0^{R_0}\frac{2\pi U(y)(R_0 - y)dy}{\pi R_0^2} = A\left(C - \frac{3}{2}\right)$$
$$A = 2{,}5\sqrt{\frac{\tau_W}{\rho}} = 2{,}5 U_V\sqrt{\frac{\xi}{8}} \qquad (1)$$

Осредненная по сечению величина квадрата скорости:

$$\left(U^2\right)_V = A^2\left(C^2 - 3C + \frac{7}{2}\right) \qquad (2)$$

Из соотношений (1) - (2) следует, что

$$\left(U^2\right)_V - U_V^2 = \frac{5}{4}A^2 = \frac{5}{4}6{,}25\frac{U_V^2}{8}\xi = $$
$$= 0{,}98\xi U_V^2 \approx \xi U_V^2 \qquad (3)$$

Аналогичным образом можно показать, что с точностью до величин $\xi^{3/2}$, ξ^2 выполняются соотношения

$$\left(U^3\right)_V - U_V^3 = 3\xi U_V^3\left(1 - 0{,}53\sqrt{\xi}\right)$$
$$\left(U^4\right)_V - U_V^4 = 6\xi U_V^4\left(1 + 0(\sqrt{\xi})\right) \qquad (4)$$
$$\left(U^5\right)_V - U_V^5 = 10\xi U_V^5\left(1 + 0(\sqrt{\xi})\right)$$

Рассмотрим также среднемассовые значения:

$$U_* = \int_0^1 U\,dm = \frac{\left(U^2\right)_V}{U_V}$$
$$dm = \frac{\rho U 2\pi r dr}{G}$$
$$G = \int_0^{R_0}\rho U 2\pi r dr \qquad (5)$$
$$U_* = (1+\xi)U_V;\ \left(\frac{1}{U}\right)_* = \frac{1}{U_V} = \frac{1+\xi}{U_*}$$

Из соотношений (3) - (5) следует (с точностью до членов $\xi^{3/2}$)

$$\left(U^2\right)_* - U_*^2 \approx \xi U_*^2$$