

УДК 622.244.443

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ ПНЕВМОУДАРНОМ БУРЕНИИ С ПЕНОЙ

В.Я.КЛИМОВ

Разработка методики расчета глубины пневмоударного бурения с применением газожидкостного очистного агента представляется весьма важной для правильной оценки возможностей пневмоударного бурения и определения рациональных режимов подачи газожидкостной смеси (ГЖС), обеспечивающих получение максимальных энергетических параметров пневмоударника при минимальных потерях давления в скважине. Гидравлические сопротивления в восходящем по кольцевому каналу потоке ГЖС решающим образом влияют на энергетические параметры пневмоударника, так как при установившемся давлении на входе пневмоударника его частота и энергия ударов зависят от противодавления на выходе. Как показали стендовые исследования пневмоударника РП-III [3], при избыточном давлении рабочего агента на входе, равном 0,6 МПа, давление на выходе не должно превышать 0,35-0,4 МПа, в противном случае пневмоударник глохнет. Изучение расходных характеристик пневмоударника при работе на ГЖС позволило определять количество воздуха ($8,6 \cdot 10^{-2}$ - $7,7 \cdot 10^{-2}$ м³/с) в составе смеси, проходящее через пневмоударник при использовании компрессоров низкого давления (0,8 МПа избыточных). С учетом пластовой воды, поступающей в скважину, и расхода раствора поверхностно-активного вещества, подаваемого в циркуляционную систему для ликвидации осложнений, расход жидкой фазы ГЖС может составлять $2,7 \cdot 10^{-4}$ - $1,5 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Такая ГЖС имеет степень аэрации $\alpha = 318$ -55 и в соответствии с классификацией [1] представляет собой ячеисто-пленочную дисперсную систему - пену.

Точные аналитические выражения для определения давления в потоке пены как однородной среды рассмотрены в работе [4]. Для восходящего по кольцевому каналу потока пены получено следующее выражение

$$p = p_y + (b+n)h - \frac{a(b-n)}{2(b+n)} \ln \frac{(b+n)p^2 + 2anp + a^2n}{(b+n)p_y^2 + 2anp_y + a^2n} + \frac{2a\sqrt{bn}}{b+n} \operatorname{arctg} \frac{a\sqrt{bn}(b+n)(p-p_y)}{a^2bn + [(b+n)p + an][(b+n)p_y + an]}, \quad (I)$$

где

$$a = \rho \frac{G_0}{G} RT; \quad b = g\rho \left(1 + \frac{G_0}{G}\right); \quad n = \lambda_{\text{см}} \frac{G(G+G_0)}{2D_3 F^2 \rho};$$

ρ - плотность жидкости, кг/м³; G и G_0 - массовые расходы соответственно жидкости и газа, кг/с; F - площадь сечения кольцевого канала, м²; T - средняя температура в скважине, К; R - газовая постоянная, для воздуха $R = 287$ Дж/(кг·К); p и p_y - давление в скважине на глубине h и устье соответственно, Па; g - ускорение свободного падения, м/с²; $\lambda_{см}$ - коэффициент сопротивления, согласно теории пневматического транспортирования $\lambda_{см} = \lambda_0 (1 + K_{\Gamma} G/G_0)$; λ_0 - коэффициент сопротивления движения чистого воздуха, по формуле Веймаута $\lambda_0 = 0,009407 / \sqrt[3]{D_9}$; K_{Γ} - безразмерный коэффициент, предложенный И. Гастерштадтом [2], определяемый из опыта и не зависящий от концентрации $\mu = G/G_0$; D_9 - эквивалентный диаметр канала.

Численное значение K_{Γ} в условиях пневмотранспорта зависит от крупности частиц и скорости их транспортирования. Применительно к условиям движения пены параметрами-аналогами будут скорость движения и степень аэрации.

Единственный путь надежного определения K_{Γ} - эмпирический. Однако опытное значение K_{Γ} лишь тогда можно с уверенностью применять в расчетах, если оно определено для соответствующих интервалов скорости движения и степени аэрации пены. Для циркуляции пены при пневмоударном бурении истинная степень аэрации, т.е. приведенная к забойному давлению, $\alpha_{ист} = \alpha_a p_a / p_3$ (здесь α_a - степень аэрации пены при атмосферном давлении; p_a и p_3 - атмосферное и забойное давление), составляет 10-250. Параметр Фруда $Fr = v^2 / g D_9$ (здесь v - скорость потока), определяющий скоростные характеристики потока, меняется в пределах 9,0-112, а в зазоре между колонковой трубой и скважиной достигает 1100.

До настоящего времени измерения давления в скважине при указанных режимах движения пены не производились. Применительно к условиям пневмоударного бурения с пеной нами были проведены серии экспериментальных замеров давления на моделях. Моделирование было выполнено для двух участков восходящего потока пены: в кольцевом зазоре между стенками скважины и бурильными трубами и в кольцевом зазоре между стенками скважины и колонковой трубой.

Модели участков скважины были изготовлены из серийно выпускаемых бурильных обсадных труб, а также переходников, муфтово-замковых соединений и оснащены устройствами для замера перепада давления (рис.1). Измерения перепада давления на исследуемом участке модели скважины проводились с помощью дифференциального манометра 3, который был подключен с помощью соединительных шлангов 4 к верхней 6 и нижней 16 цилиндрическим камерам, сообщающимся через радиальные отверстия 7 с кольцевым зазором скважины.

Для снижения погрешности измерений камеры и соединительные шланги были заполнены буферной жидкостью - водой. Начальная разность уровней ртути на дифференциальном манометре соответствовала перепаду давления Δp_H , равному гидростатическому давлению буферной жидкости. Приготовленная пена подавалась в скважину по нагнетательному шлангу через

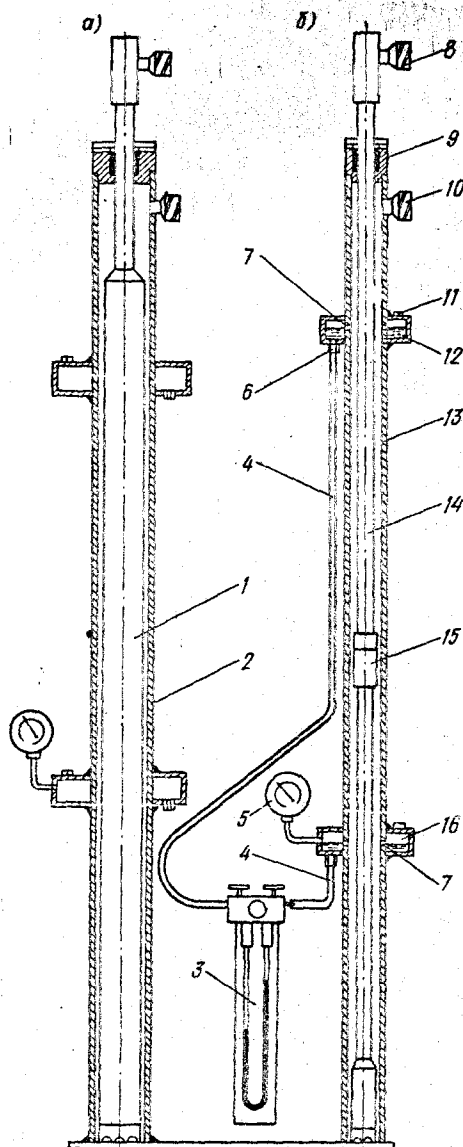


Рис. 1. Схема моделей участков скважины для исследования коэффициента гидравлического сопротивления: а и б - в зазоре между стенками скважины и соответственно колонковой трубой и бурильными трубами

1 - колонковая труба диаметром 108 мм; 2 - обсадная труба диаметром 127 мм; 3 - дифференциальный манометр ДТ-50; 4 - измерительные трубопроводы; 5 - образцовый манометр; 6 - штуцер для подсоединения измерительного трубопровода; 7 - радиальные отверстия; 8 - ниппель для соединения с нагнетательным шлангом; 9 - уплотняющее устройство; 10 - ниппель для соединения со сливным шлангом; 11 - пробка; 12 - верхняя камера с буферной жидкостью; 13 - обсадная труба диаметром 89 мм; 14 - бурильная труба диаметром 50 мм; 15 - замковое соединение; 16 - нижняя камера с буферной жидкостью

штуцер 8, а ее выброс из кольцевого зазора скважины осуществлялся через штуцер 10 и сливной шланг с вентилем. С помощью этого вентиля создавалось начальное давление в модели скважины, контролируемое по образцовому манометру 5. Затрубное пространство было герметизировано с помощью уплотняющего устройства 9.

Состав пены, циркулирующей в скважине, соответствовал реально существующему в производственных условиях с учетом возможных водопритоков в скважину.

В связи с отличием геометрических размеров моделей скважины от реальных расход воздушной и жидкой фаз пены корректировался применительно к обеим моделям по параметру Фруда и степени аэрации. Процесс моделирования осуществлялся как по степени водопритока, так и по глубине скважины. При этом для получения режима движения смеси на заданной глубине с определенным водопритоком изменяли расход воздушной и жидкой фаз, а давление на уровне нижней камеры поддерживали постоянным. Жидкой фазой пены служил водный раствор сульфата с концентрацией 0,5 %.

При циркуляции смеси в моделях скважины измеряли установившийся перепад давления ΔP_y в восходящем кольцевом потоке с помощью дифференциального манометра, затем вычисляли истинный перепад давления $\Delta P_{ист} = \Delta P_H - \Delta P_y$. Экспериментальные значения K_T расчи-

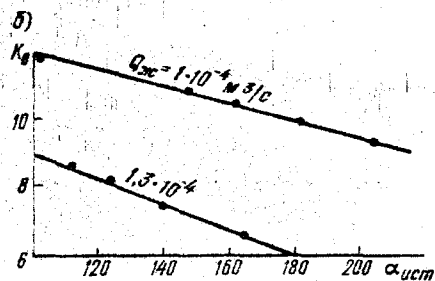
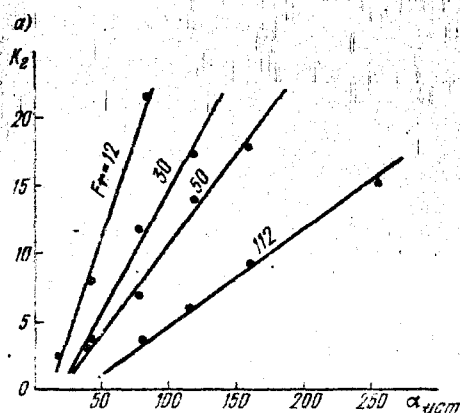


Рис.2. Зависимость K_T от степени аэрации для восходящего потока пены в кольцевом зазоре буровая труба - скважина (а) и колонковая труба - скважина (б) Диаметр скважины 0,113 м, диаметр буровой и колонковой труб 0,06 и 0,102 м

тывали по уравнению (1), подставляя в него измеренные давления на исследуемом участке, фактические значения режимных параметров движения пены и геометрические размеры моделей скважины.

Зависимость K_T от степени аэрации и параметра Фруда для участка кольцевого канала между буровыми трубами и стенками скважины (рис.2,а) удовлетворительно описывается формулой

$$K_T = \alpha_{ист} e^{-(c_1 Fr + c_2)} - k, \quad (2)$$

где $\alpha_{ист} = 20 \div 250$; c_1 , c_2 и k - безразмерные коэффициенты, при $10 < Fr \leq 30$ $c_1 = 0,03$; $c_2 = 0,85$; $k = 3,5$; при $30 < Fr \leq 112$ $c_1 = 0,01$; $c_2 = 1,5$; $k = 2,5$. Средняя относительная ошибка при определении K_T с помощью формулы (2) не превышает 4,5 %. Расход жидкой фазы в опыте $Q_{ж} = 2,5 \cdot 10^{-4} \div 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

Для выяснения влияния давления в скважине на изменение коэффициента K_T были проведены расчеты по формуле (2) с использованием значений $\alpha_{ист}$ и Fr для давлений от 0,1 до 0,3 МПа и различных значений расхода жидкой фазы пены (см. таблицу). Данные расчетов свидетельствуют об относительном постоянстве коэффициента K_T при неизменном расходе жидкой фазы пены, что подтверждает возможность его использования в расчетах давления пены в скважине с допущениями, принятыми в работе [4].

Для участка колонковая труба - скважина коэффициент K_T определялся только для двух значений расхода жидкой фазы пены $Q_{ж}$, так как влияние пластовых вод в этом интервале незначительно (рис. 2,б). Значения K_T как истинного объемного расхода воздуха могут быть определены по эмпирической формуле

$$K_T = m - \alpha_{ист} \ell, \quad (3)$$

где m и ℓ - опытные коэффициенты, при $Q_{ж} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ $m = 14,5$; $\ell = 0,025$; при $Q_{ж} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ $m = 12,9$; $\ell = 0,039$. Относительная ошибка при определении K_T с помощью формулы (3) не превышает 1 %.

Значения коэффициента K_r

Расход жидкой фазы пены, 10^{-3} м ³ /с	Абсолютное давление в скважине, МПа				Среднее ариф- метическое
	0,1	0,15	0,2	0,3	
0,267	15,86	20,15	19,60	20,80	19,10
0,433	8,78	11,41	10,58	11,57	10,58
0,6	5,61	7,46	6,68	7,33	6,77
0,767	3,73	4,60	4,12	4,87	4,35
0,933	2,66	3,91	2,75	3,44	3,19
1,130	2,26	2,75	2,06	1,77	2,20
1,300	1,59	1,99	1,37	1,12	1,51

Полученные значения K_r могут быть использованы при выполнении расчетов давления пены в скважине, бурящейся пневмоударником, в частности марки РП-III, и прогнозировании глубины пневмоударного бурения в осложненных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронзов А.С. Бурение скважин с использованием газообразных агентов. М., Недра, 1979.
2. Гастерштадт И. Пневматический транспорт. М., изд. ВСНХ, 1927.
3. Исследование работы пневмоударника РП-III на газожидкостных смесях с добавками ПАВ / В.Я.Климов, И.И.Николаев, И.В.Куликов, В.П.Певзнер. - Зап. ЛГИ, 1982, т. 93.
4. Кудряшов Б.Б., Мураев Ю.Д., Климов В.Я. Основы теории и расчет давления при движении пены в скважине. - Зап. ЛГИ, 1982, т. 93.