

УДК 622.691.482:532

В.А. Алькин, А.А. Ротов, А.Ф. Атаева

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ МЕТОДИКИ
ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ
В ШЛЕЙФЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ**

Рассмотрен вопрос расчета потерь давления в шлейфах поглощающих скважин. Проведен анализ коэффициента гидравлического сопротивления шлейфа. Показано, что при проведении инженерных расчетов целесообразно использовать коэффициенты гидравлического сопротивления, определенные на основе промысловой информации о работе шлейфов.

Ключевые слова: потери давления, гидравлическое сопротивление, поглощающая скважина.

Создание и эксплуатация подземных хранилищ газа (ПХГ) является важной задачей для обеспечения надежности работы газотранспортных систем, бесперебойного снабжения газом потребителей, покрытия сезонной неравномерности газопотребления при пиковых нагрузках [1].

Циклический характер работы ПХГ, заключающийся в переменной закачке и отборе газа, обуславливает перемену знака отдельных процессов, связанных с изменяющимся режимом искусственной залежи в пласте. Многие ПХГ созданы и успешно эксплуатируются в водоносных пластах. За годы эксплуатации накоплен большой опыт работы. Однако выявились и определенные трудности.

Опыт эксплуатации ПХГ, созданных в водоносных пластах [2] показывает, что к концу отбора нередко происходит активное обводнение скважин. Это приводит к увеличению объема добытой пластовой воды. Захоронение пластовой воды обычно производят путем закачки воды в пласт-коллектор, залегающий ниже

объекта эксплуатации. В системе полигона захоронения можно выделить три основных объекта: поглощающие скважины, через которые производится закачка пластовой воды; шлейфы, по которым вода доставляется к поглощающим скважинам; насосы, создающие необходимое давление закачки. Каждый из объектов системы захоронения должен отвечать определенным характеристикам, которые позволяют эффективно производить утилизацию добытой пластовой воды.

Чем больше происходит обводнение скважин, тем выше объем воды, который необходимо утилизировать. При увеличении объема пластовых вод для эффективной работы полигона захоронения нередко приходится увеличивать фонд поглощающих скважин. При проектировании новых поглощающих скважин, для расчета характеристик насосов нужно оценить потери давления в шлейфе. Шлейфы иногда достигают нескольких километров, поэтому потери давления в некоторых случаях достигают до 20 атм. Рассмотрим теоретические

основы расчета потерь давления в шлейфах [3, 4].

При движении жидкости в трубопроводе часть энергии потока (гидродинамического напора $H_{гд}$) расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений.

Последние бывают двух видов:

1) *сопротивления по длине* $h_{w.дл}$, пропорциональные длине потока;

2) *местные сопротивления* $h_{w.м}$, возникновение которых связано с изменением направления или величины скорости в том или ином сечении потока.

К местным сопротивлениям относятся внезапное расширение потока, внезапное сужение потока, вентиль, кран, диффузор и т. д.

Величина общих потерь энергии (напора) учитывается дополнительным членом h_w , в уравнении Бернулли для реальной жидкости.

Определение величины потерь энергии (напора) при движении жидкости является одной из основных задач гидродинамики.

При движении жидкости в прямой трубе потери энергии определяются формулой Дарси – Вейсбаха

$$h_{w.дл} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}; \quad (1)$$

где $h_{w.дл}$ – потери напора по длине, м.

Эту же потерю напора можно выразить в единицах давления:

$$\Delta p = \rho g h_{w.дл} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

где Δp – потери давления, Па; $h_{w.дл}$ – потери напора, м; λ – коэффициент сопротивления трения по длине; l – длина трубы, м; d – диаметр трубы, м; v – средняя скорость движения жид-

кости в выходном сечении трубы, м/с; g – ускорение силы тяжести, м/с²; ρ – плотность жидкости (газа), кг/м³.

Выразим из формулы (2) λ – коэффициент сопротивления трения трубы,

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot d}{l \cdot \rho \cdot v^2}. \quad (3)$$

Коэффициент сопротивления трения шлейфа зависит от состояния внутренней поверхности, сужений (расширений), гипсометрических перепадов, количества кранов и т.д. На практике получение исчерпывающей информации о шлейфе и ее учет при расчете коэффициента является сложно выполнимой задачей. Следствием этого является то, что расчетные значения коэффициента сопротивления отличаются от фактических значений. Более удобным и точным способом является определение коэффициента на основе анализа фактической информации о режимах эксплуатации аналогичного шлейфа. Полученные на основе этого анализа значения могут быть, затем использованы для проведения прогнозных расчетов.

Рассмотрим фактические данные по эксплуатации шлейфа поглощательной скважины №1:

Производительность насоса $P_{пр} = 8 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,002222 \text{ м}^3/\text{сек}$, длина шлейфа $l = 3 \text{ км} = 3000 \text{ м}$, плотность жидкости $\rho = 1,18 \text{ г/см}^3 = 1180 \text{ кг/м}^3$, потери давления $\Delta p = 10 \text{ кгс/см}^2 = 980700 \text{ Па}$, внутренний диаметр шлейфа $d = 76 \text{ мм} = 0,076 \text{ м}$, площадь сечения трубы $S = 0,0045 \text{ м}^2$, средняя скорость движения жидкости в выходном сечении трубы $v = P_{пр}/S = (0,002222 \text{ м}^3/\text{сек})/0,0045 \text{ м}^2 = 0,49 \text{ м/сек}$.

Подставив в формулу (3) фактические данные рассчитаем коэффициент сопротивления шлейфа:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot d}{l \cdot \rho \cdot v^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 980700 \cdot 0,076}{3000 \cdot 1180 \cdot 0,49^2} \left(\frac{\text{Па} \cdot \text{м}}{\text{м} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}}{\text{сек}}} \right),$$

$$\lambda = 0,17.$$

Получаем, фактический коэффициент сопротивления рассмотренного шлейфа равный 0,17.

На текущий момент существует достаточно большое количество эмпирических формул для определения теоретических значений коэффициента гидравлического сопротивления трубопроводов [5]. Достаточно широкое применение получили формулы, основанные на зависимости коэффициента от числа Рейнольдса, характеризующего степень турбулизации потока:

$$\text{Re} = \frac{d v \rho}{\mu},$$

где d – диаметр трубопровода, м; v – скорость потока, м/с; ρ – плотность потока, кг/м³; μ – вязкость потока, кг/(с·м).

Определим значение числа Re для рассматриваемой нами задачи. Коэффициент динамической вязкости воды при стандартных условиях со-

ставляет $1,01 \cdot 10^{-3}$ кг/(с·м), следовательно:

$$\text{Re} = \frac{0,076 \cdot 0,49 \cdot 1180}{1,01 \cdot 10^{-3}} = 43508.$$

При значениях $\text{Re}=2000-100000$ поток является турбулентным и коэффициент гидравлического сопротивления может быть определен по следующей зависимости:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{43508}} = 0,022.$$

Полученное теоретическое значение коэффициента гидравлического сопротивления шлейфа значительно ниже фактического, что может привести к значительной недооценке гидравлических потерь в шлейфах поглощательных скважин и, как следствие, необходимой мощности насосного оборудования.

Таким образом, при проведении прогнозных расчетов по реконструкции насосного оборудования или проектировании новых поглощательных скважин следует использовать коэффициенты гидравлического сопротивления, полученные на основе анализа промышленной информации о работе аналогичных шлейфов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузинов С.Н., Михайловский А.А., Соловьев А.Н., Парфенов В.И. Шелковское подземное хранилище газа: проблемы, решения и перспективы. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2003, 59 с.
2. Закиров С.Н., Пискарев В.И., Гереш П.А., Ершов С.Е. Разработка водоплавающих залежей с малыми этажами газоносности. – М.: ИРЦ Газпром, 1997, 37 с.
3. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: Недра, 1996, 217 с.
4. Ипатов А.И., Керенский М.И. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006, 780 с.
5. Левенталь Л.Я., Рожницкий Д.Б. Гидрогазодинамика. – М., МИИТ, 2007, 30 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Алькин Виктор Анатольевич – младший научный сотрудник, V_Alkin@vniigaz.gazprom.ru
 Ротов Александр Александрович – научный сотрудник, A_Rotov@vniigaz.gazprom.ru
 Атаева Алия Фларидовна – младший научный сотрудник, A_Ataeva@vniigaz.gazprom.ru
 ООО «Газпром ВНИИГАЗ»