

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

**А.В. Нурмакин, инженер второй категории  
отдела разработки газовых месторождений  
ООО «ТюменНИИгипрогаз»,  
тел.: +7 (3452) 286-401; e-mail: tohez@mail.ru**

**А.Н. Лапердин, заместитель генерального директора  
по научным и проектным работам  
в области разработки и эксплуатации газовых месторождений  
ООО «ТюменНИИгипрогаз»,  
тел.: +7 (3452) 286-274; e-mail: geologi2007@yandex.ru**

**С.Г. Кочетов, заведующий лабораторией  
технологии разработки месторождений углеводородного сырья  
«ТюменНИИгипрогаз»,  
тел.: +7 (3452) 286-003; e-mail: geologi2007@yandex.ru**

**А.С. Епрынцева, младший научный сотрудник  
отдела разработки газовых месторождений  
ООО «ТюменНИИгипрогаз»,  
тел.: +7 (3452) 286-401; e-mail: epryntsev@tngg.info**

Рецензент: Серебряков А.О.

Описаны основные газодинамические исследования скважин. Выделены основные проблемы. Предложено решение по оптимизации количества газодинамических исследований на месторождениях.

The main gas-dynamic studies of wells were described in the article. The main problems were defined. The solution to optimize the number of gas-dynamic studies in fields was suggested.

*Ключевые слова:* кривая восстановления давления, фильтрационные коэффициенты, газодинамические исследования.

*Key words:* curve of pressure recovery, filter coefficients, gas-dynamic studies.

Современные технологии добыча газа требуют детальной обработки данных при принятии управленческих решений при освоении газовых месторождений. Одним из способов получения необходимой информации о состоянии скважин и объектов являются газодинамические исследования. Исследования скважин включают в себя комплекс взаимосвязанных методов, отличающихся теоретической основой и технологией исполнения. В основном используется метод установившихся отборов, позволяющий получить зависимость дебита газа от депрессии на пласт и давления на устье, а также изменение устьевой температуры от дебита.

При обработке газодинамических исследований (ГДИ) геологическими службами не используются современные математические методы. Фактически методика ГДИ не менялась более 30 лет. На практике используется наиболее простое двухчленное уравнение притока газа к забою несовершенной скважины. При этом в настоящее время разработаны методы обработки ГДИ, позволяющие получить дополнительную информацию, имеющую важное практическое значение.

Периодичность исследований устанавливается проектным документом по разработке месторождения. Основным регламентирующим документом является «Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин», утвержденная Мингазпромом в 1979 г. Обычно рекомендуется исследовать большую часть фонда скважин, но при этом не указываются критерии отбора скважин для исследований. В связи с этим авторами предлагается методика выбора скважин для проведения стандартных газодинамических исследований.

Данная методика применима для месторождений, вышедших на стадию постоянного режима. На основании анализа установлено, что основные фильтрационные характеристики пласта и скважины в период постоянных отборов являются медленно меняющимися функциями времени. Это позволяет прогнозировать продуктивность на основании её динамики и значительно сократить ежегодное выполнение дорогостоящих исследований. Необходим детальный анализ обработки данных ГДИ с целью получения дополнительной информации, например, значение скин-фактора и др. [2].

При выборе скважин для исследований необходимо анализировать изменения скин-фактора, статического давления на устье скважины, коэффициентов фильтрационного сопротивления за предыдущие годы. В случае, когда не отмечается существенных изменений, стандартные ГДИ следует заменить записью кривой восстановления давления (например согласно инструкции по исследованию скважин) и исходя из полученных результатов определить необходимые параметры работы скважин.

Если при обработке результатов исследований за предыдущие годы, анализе скин-фактора и статического устьевого давления видно, что параметры значительно изменились, то проводятся стандартные ГДИ с записью КВД.

Аналитически коэффициенты фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$  описываются следующими формулами:

$$a = \frac{3,68 \cdot \mu \cdot z \cdot P_{ст} \cdot T_{пл}}{k \cdot h \cdot T_{ст}} \cdot [\ln(R_k/R_c) + C_1 + C_2] \quad (1.1)$$

$$b = 0,0000068 \cdot \rho_{ст} \cdot z \cdot P_{ст} \cdot T_{пл} \cdot l \cdot h^2 \cdot T_{ст} \cdot [(1/R_c) - (1/R_k) + C_3 + C_3], \quad (1.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент вязкости, мПа·с;  $z$  – коэффициент сверхсжимаемости газа, доли ед.;  $P_{ст}$  – значение стандартного давления, МПа;  $T_{ст}$  – значение стандартной температуры, К;  $T_{пл}$  – значение пластовой температуры, К;  $k$  – проницаемость пласта, мкм<sup>2</sup>;  $h$  – толщина пласта, м;  $l$  – коэффициент макрошероховатости пласта, мкм;  $\rho_{ст}$  – плотность газа при стандартных условиях, кг/м<sup>3</sup>;  $C_1$  и  $C_3$  – коэффициенты совершенства скважины по степени вскрытия пласта, доли ед. и 1/м соответственно;  $C_2$  и  $C_3$  – коэффициенты совершенства по характеру вскрытия пласта, б/р и 1/м соответственно;  $R_k$ ,  $R_c$  – радиус контура питания и радиус скважины, м.

Для определения продуктивных характеристик пласта используются результаты интерпретации КВД. Существует несколько методов обработки КВД. При решении уравнения, описывающего процесс восстановления давления, используется два вида условий: бесконечный пласт и ограниченный пласт с постоянным давлением на контуре. Формулы, полученные для бесконечного пласта, применяются в тех случаях, когда в процессе исследования скважины границы области дренирования не сказываются на поведении этой

скважины. Метод обработки КВД для бесконечного пласта зависит от условий работы скважины до остановки.

Если время работы скважины  $T$  до снятия КВД больше времени восстановления давления  $t$  ( $T \geq t$ ), КВД обрабатывается по формуле:

$$P_3^2(t) = \alpha + \beta \cdot \lg(t) \quad (1.3)$$

где  $P_3(t)$  – забойное давление, МПа;  $t$  – время с момента остановки скважины, с;  $\lg(t)$  – десятичный логарифм времени.

Для определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  выделяется прямолинейный участок на графике  $P_3^2$  от  $\lg t$  (рис. 1) и проводят к нему касательную прямую. Тангенс угла наклона касательной равен  $\beta$ , а отрезок, отсекаемый касательной на оси ординат, равен  $\alpha$ . По найденным  $\alpha$  и  $\beta$  рассчитывается параметры пласта. Проводимость пласта рассчитывается по формуле:

$$\frac{k \cdot h}{\mu} = \frac{3,23 \cdot Q \cdot T_{пл} \cdot z_{пл} \cdot P_{ст}}{\beta \cdot T_{ст}} \quad (1.4)$$

где  $k$  – проницаемость пласта, дарси;  $h$  – газонасыщенная толщина пласта, м;  $\mu$  – вязкость газа, сП;  $Q$  – дебит скважины перед остановкой;  $z_{пл}$  – коэффициент сверхсжимаемости;  $P_{ст}$  – статическое давление;  $T_{пл}$  – пластовая температура, К;  $T_{ст}$  – температура при стандартных условиях, К.

Если время работы скважины  $T$  до снятия КВД меньше времени восстановления давления  $t$  ( $T \leq t$ ), то в этом случае применение формулы (1.3) искажает конечный участок КВД и может привести к ошибочным результатам при расчете параметров пласта, КВД обрабатывается по формуле:

$$P_3^2(t) = P_{пл}^2 - \beta \cdot \lg[(T_p + t)/t], \quad (1.5)$$

где  $P_{пл}$  – пластовое давление, МПа;  $T_p$  – время работы скважины до остановки, с.

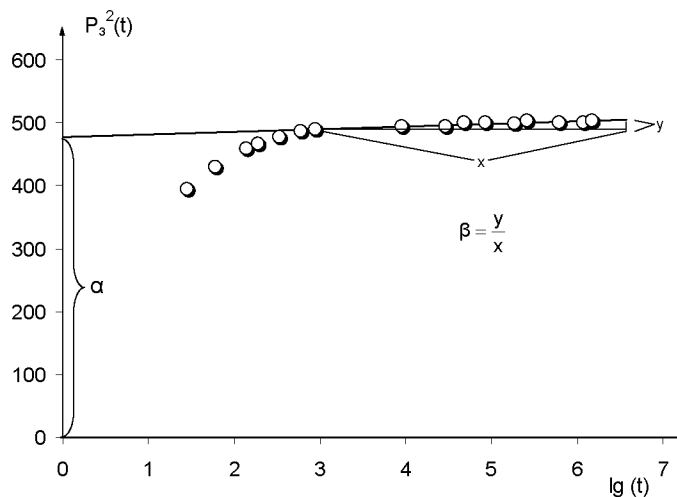


Рис.1. Обработка КВД в полулогарифмических координатах

КВД строят в координатах  $P_3^2$  от  $\lg [(T + t) / t]$  и по углу наклона прямолинейного участка определяют коэффициент  $\beta$  (рис. 2). Для определения пластового давления необходимо аппроксимировать КВД до значения  $\lg [(T + t) / t] = 0$ . Точка пересечения прямой с осью  $P_3^2$  даст значение квадрата пластового давления.

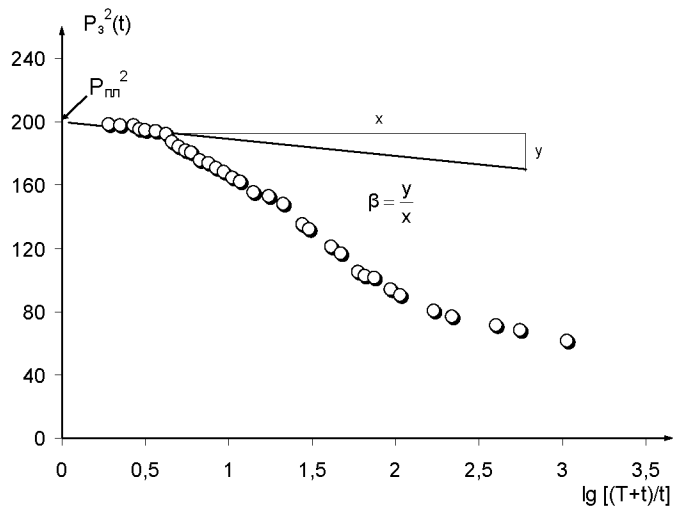


Рис. 2. Обработка КВД методом Хорнера

Если в процессе исследования скважины на ее поведении сказываются условия на границе контура питания, то обработка КВД проводится по формуле для ограниченного пласта [1]:

$$\lg(P_{i\bar{e}}^2 - P_{\bar{c}}^2) = \alpha_1 - \beta_1 t \quad (1.6)$$

Таким образом, обоснованный выбор скважин для проведения ГДИ позволит существенно снизить затраты на дорогостоящие исследования, сократить технологические потери газа, как следствие, увеличить прибыль предприятия. Кроме этого, улучшается экологическая безопасность, так как основная масса ГДИ выполняется с выпуском газа в атмосферу.

В ходе анализа было установлено, что при снятии КВД величина  $\frac{kh}{\mu}$  совпала со значением данного параметра, определённого при газодинамических исследованиях, проведённых ранее.

#### Библиографический список

1. *Гриценко А. И.* Руководство по исследованию скважин / А. И. Гриценко, З. С. Алиев, О. М. Ермилов, В. В. Ремизов, Г. А. Зотов ; под общ. ред. Е. Н. Ивакина. – М. : Наука, 1995. – 523 с.
2. *Ланчаков Г. А.* Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / под ред. Г. А. Ланчакова, В. И. Маринина, Д. В. Люгая, З. С. Алиева. – М., 2008. – 279 с.