

на устье на диаграмме трубного давления фиксируется в виде горизонтальной линии (см. рис. 37, б). При негерметичных трубах за счет пропусков уровень в трубах растет, что на диаграмме трубного манометра отмечается повышением давления. График трубного манометра при частичной негерметичности труб показан на рис. 67, негерметичность труб появилась на спуске после третьего долива в точке 3, где начался рост давления в трубах; как видно из графика, эта негерметичность (рост давления, обусловленный повышением уровня жидкости в трубах) наблюдалась и в период регистрации КВД (отрезок  $t$  на рис. 67), и на подъеме КИИ до появления труб с жидкостью на поверхности; интенсивность негерметичности оценивается величиной прироста давления (уровня в трубах) в единицу времени.

Для учета негерметичности труб на рис. 67 от точки 4 начала притока проводят прямую (пунктир) с уклоном, равным уклону линии давления перед притоком (в конце спуска КИИ) и после него (на регистрации КВД). Предполагается, что на притоке интенсивность негерметичности была такая же. Ордината 5 соответствует давлению столба притока из пласта; давление суммарного прироста уровня в трубах отвечает ординате 7 графика; прирост давления за счет негерметичности труб оценивается разностью ординат 7 и 5 ( $\Delta p_7 - \Delta p_5$ ).

5. Давление среза шпилек циркуляционного клапана при его открытии.

6. Динамические колебания давления в трубах, вероятность срыва шпилек и открытия циркуляционного клапана на спуске — подъеме КИИ — по величине вертикальных штрихов, отмеченных на диаграмме трубного манометра.

7. Высоту столба (прирост давления) долива труб на спуске (отрезки 2).

По диаграмме забойного манометра определяют:

1) давление в точках, соответствующих основным элементам процесса испытания (см. рис. 37, а):  $p_1$  — начальное гидростатическое давление скважины (точка 1);  $p_2$  — начальное давление притока (точка 2);  $p_3$  — конечное давление притока (точка 3) и начальное давление регистрации КВД;  $p_4$  — конечное давление регистрации КВД (точка 4);  $p_5$  — конечное гидростатическое давление (точка 5);  $p_{T/2}$  — давление в середине периода притока;

2) продолжительность притока  $T$  и восстановления давления  $t$ ;

3) характерные точки изменения забойного давления на притоке — в случае пульсирующего потока, изменения состава или активности притока, засорения штуцера или самопроизвольного закрытия приемного клапана ИП;

4) средний фактический удельный вес промывочной жидкости из равенства

$$\gamma_{\text{ср}} \approx \frac{(p_1 + p_5) \cdot 10}{2H}; \quad (\text{VI.8})$$

5) наличие посадок или затяжек на спуске — подъеме КИИ — как вертикальные штрихи колебаний давления на кривой спуска — подъема КИИ;

6) своевременность долива скважины на подъеме КИИ и величину снижения давления в скважине (опорожнение скважины) на подъеме КИИ — из кривой подъема КИИ.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕБИТА ЖИДКОСТИ

В общем случае средний дебит жидкой фазы при испытании объекта КИИ определяют через объем жидкости, поступившей в трубы над КИИ (или на поверхность) за период притока. В практике промысловых работ применяют три способа определения этого объема: по изменению уровня жидкости в трубах (или мерной емкости на поверхности), по диаграмме трубного манометра или по кривой восстановления давления.

При достаточно высокой интенсивности проявления пласта объем притока определяют по изменению уровня жидкости в трубах. Высоту столба жидкости в трубах устанавливают при подъеме КИИ, с точностью до полусвечи. Анализ показал, что в большинстве случаев для пластов, дающих приток промышленного значения, при испытании их КИИ возможно определение дебита притока с относительной погрешностью, не превышающей 30%. Такая погрешность принята за предельно допустимую. При оценке объема притока по высоте столба жидкости в трубах это условие записывается в виде равенства

$$\epsilon_{\text{ж}} = l_{\text{св}}/2h_{\text{ж}} \leq 0,3, \quad (\text{VI.9})$$

где  $\epsilon_{\text{ж}}$  — относительная погрешность определения высоты столба жидкости притока, доли единицы;  $l_{\text{св}}$  — длина свечи, м;  $h_{\text{ж}}$  — общая высота столба жидкости притока, м.

Точность замера высоты столба жидкости притока обеспечивается минимально допустимой высотой столба притока:

$$h_{\text{min}} = l_{\text{св}}/2 \times 0,3 \quad (\text{VI.10})$$

В соответствии с равенством (VI.10) объем притока (и средний дебит притока) жидкой фазы можно определять по высоте столба жидкости притока в трубах, если эта высота равна или больше длины двух свечей. Для применения этого метода необходима герметичность буровых труб и пакеровки (устанавливаются по диаграммам трубного манометра и по положению уровня в затрубье на притоке). Интервал испытания не должен превышать 50 м (влияние такого подпакерного объема на определение дебита несущественно).

При испытании интервала более 50 м необходимо из найденного объема вычесть объем  $\Delta V_{\text{ж}}$  упругого расширения промывочной жидкости под пакером, определяемый равенством

$$\Delta V_{\text{ж}} = V_{\text{п.п}} \beta_{\text{ж}} \Delta p_{\text{пак}}, \quad (\text{VI.11})$$

где  $V_{п.п}$  — подпакерный объем скважины, м<sup>3</sup>;  $\Delta p_{пак}$  — перепад давления на пакере в начальный момент периода притока, кгс/см<sup>2</sup>;  $\beta_{ж}$  — коэффициент сжимаемости промывочной жидкости, см<sup>2</sup>/кгс.

По экспериментальным данным, промывочные жидкости при давлениях выше 50 кгс/см<sup>2</sup> характеризуются практически постоянным коэффициентом сжимаемости, равным  $4,2 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/кгс (с погрешностью  $\pm 10\%$ ).

Определение объема притока по приросту уровня в трубах с учетом расширения подпакерного объема приемлемо, если объем притока в 10 раз и более превышает величину  $\Delta V_{ж}$ . При меньшем притоке и негерметичности труб над КИИ объем притока оценивают по диаграмме трубного манометра как прирост давления в период притока, деленный на удельный вес жидкости притока (или промывочной жидкости) и умноженный на площадь сечения труб в интервале уровня предварительного долива. Из общего объема притока исключают объем упругого расширения промывочной жидкости под пакером и по возможности — прирост объема за счет негерметичности труб в период притока. Величину этого прироста устанавливают по графику, как показано выше (см. рис. 67).

В соответствии с пределом чувствительности глубинных регистрирующих манометров определить приток по диаграмме трубного манометра с погрешностью не более 30% возможно, если прирост давления за счет притока составляет не менее 10% предела измерения манометра. Если высота притока меньше этого значения или приток вообще манометром не отмечается, при негерметичности труб, которую невозможно учесть, и при отсутствии качественной диаграммы трубного манометра дебит притока следует оценивать по КВД [55].

После закрытия запорного поворотного клапана (при регистрации КВД) приток в скважину продолжается, а дебит его с ростом забойного давления уменьшается от фактического значения в конце притока до исчезающе малого в конце периода восстановления давления. Кривая восстановления давления представляет собой график роста давления в замкнутом объеме подпакерного пространства скважины за счет сжатия находящейся в нем жидкости дополнительным ее объемом, поступающим из пласта (в результате притока). Для расчета используют начальный участок КВД. При пологих КВД дебит определяют по графику средних (текущих) дебитов, рассчитываемых по отрезкам КВД.

При известном подпакерном объеме ( $V_{п.п}$ ) средний текущий дебит на отрезке  $\Delta t$  кривой восстановления давления с приростом давления  $\Delta p_{заб}$  получают по формуле

$$Q_t = \frac{1440\beta_{ж}\Delta p_{заб}V_{п.п}}{\Delta t}, \quad (VI.12)$$

где  $Q_t$  — средний текущий дебит, отнесенный к середине интервала времени  $\Delta t$  на КВД, м<sup>3</sup>/сут; 1440 — коэффициент перевода суток в минуты.

Для определения по КВД среднего текущего дебита за время  $\Delta t$  ее делят на отдельные отрезки по времени. В точках раздела КВД по изменению текущего давления вычисляют его увеличение  $\Delta p$  за каждый интервал времени  $\Delta t$  и рассчитывают соответствующий ему средний текущий дебит по формуле (VI.12). Результаты расчетов заносят в таблицу. Строят график зависимости среднего текущего дебита от времени восстановления давления в координатах  $\sqrt{Q_t}$  и  $\sqrt{t}$ . Линию графика экстраполируют до пересечения с осью дебитов ( $t = 0$ ). По отрезку, отсекаемому на оси дебитов, устанавливают дебит в конце периода притока  $\sqrt{Q}$ .

Для удобства определения текущего дебита по известным длине хвостовика, диаметру скважины и взятым с КВД значениям  $\Delta t$  и  $\Delta p$  — разработана номограмма (рис. 68). На оси  $L_{хв}$  откладывают мощность интервала испытания в метрах. Из этой точки восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией значений номинального диаметра скважины, внутреннего диаметра обсадной колонны или до значения среднего диаметра скважины с учетом кавернозности интервала испытания (точка А на рис. 68). Из точки А опускают перпендикуляр на ось значений подпакерного объема  $V_{п.п}$ . По отрезку, отсекаемому на оси, определяют объем жидкости под пакером. Продолжают перпендикуляр до пересечения с линией прироста давления  $\Delta p$  (точка В), полученного на КВД за время восстановления давления  $\Delta t$ . Из точки пересечения В опускают перпендикуляр на ось объема притока  $\Delta V_{ж}$  под пакер в период восстановления давления  $\Delta t$  и продолжают его до пересечения с перпендикуляром, восходящим из точки  $\Delta t$  на оси интервалов времени восстановления давления. Точка пересечения этих перпендикуляров С лежит на одной из линий (или между линиями) значений дебита  $Q_t$ , который соответствует среднему текущему дебиту, равному в приведенном примере 1,3 м<sup>3</sup>/сут.

На рис. 69 приведен график зависимости среднего текущего дебита от времени восстановления давления, определенного при обработке КВД нефтенасыщенного низкопроницаемого пласта. За период притока получено несколько литров нефти. Фактический дебит при испытании установить практически невозможно ни по записям манометров (диаграмма изменения давления в трубах отсутствует из-за отказа манометра), ни путем визуального замера подъема столба жидкости в трубах. Для определения дебита по КВД с помощью номограммы рис. 68 используются объемы жидкости под пакером и дебиты для отрезков КВД, приведенные в табл. 19 и использованные при построении графика рис. 69.

Экстраполируя кривую рис. 69 по последним точкам до пересечения с осью дебитов ( $\sqrt{t} = 0$ ), получаем значение дебита в конце притока:  $\sqrt{Q_{t=0}} = 1,111$ ;  $Q_{t=0} = 1,2$  м<sup>3</sup>/сут.