© С.Б. Бекетов, В.М. Пищухин, Т.А. Коссович, С.И. Штепа, 2005

УДК 622.245+622.279.7

С.Б. Бекетов, В.М. Пищухин, Т.А. Коссович, С.И. Штепа

АППРОКСИМАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЙ ПЛАСТ С ЦЕЛЬЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА УГЛЕВОДОРОДОВ

В структуре основных фондов месторождений нефти и газа основную часть капитальных вложений составляют скважины. В связи с этим показатели эксплуатации месторождения во многом определяются эффективностью эксплуатации скважин. Под эффективностью понимается:

- полнота использования фонда скважин (коэффициент эксплуатации);
- производительность скважин.

Производительность во многом зависит от состояния призабойной зоны пласта (т.е. фильтрационно-емкостных свойств). В связи с этим основной целью применяемых технологий интенсификации притока углеводородов является увеличение проницаемости призабойной зоны пласта (а также самого продуктивного пласта в радиусе нескольких десятков метров от скважины) как основного фактора, влияющего на производительность скважин. Работы по интенсификации проводятся в скважинах, для которых фактический коэффициент продуктивности меньше потенциального, т.е.;

$$K_{пр} = K_{ф} / K_{пот} \langle 1$$

где $K_{пр}$ – коэффициент продуктивности, ед.; $K_{ф}$ - фактическая продуктивность м^3/сут, $K_{пот}$ - потенциальная продуктивность м^3/сут.

Как показывает опыт проведения работ по интенсификации притока углеводородов, фактическое изменение дебитов скважин после выполнения технологических операций по воздействию на пласт можно описать рядом зависимостей, рисунок.

На рисунке $Q_{нач}$ - дебит скважины до проведения операций по интенсификации притока.

Кривая *1* соответствует режиму работы с установившимся неизменным дебитом, т.е. после воздействия на пласт скважина стабильно работает с некоторым постоянным дебитом, превышающим начальный. В этом случае изменение дебита во времени описывается выражением

$$Q(t) = Q_{const} \qquad (1)$$

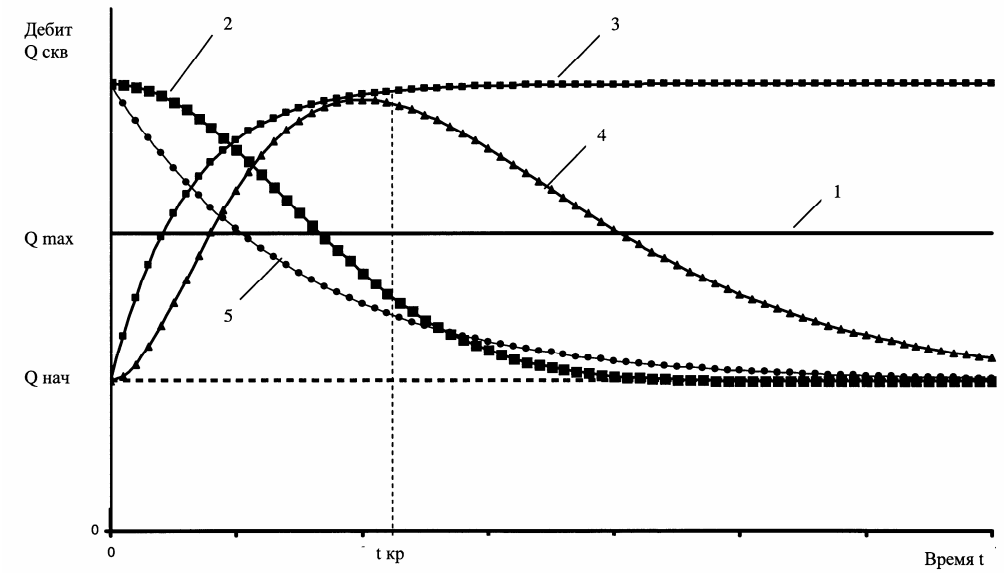
где *Q(t)* – дебит скважины во времени; Q_{const} – постоянный дебит.

Накопленная добыча за время эксплуатации может быть найдена:

$$\Sigma Q = \int_0^{t_0} Q(t)dt = Qt_0 \qquad (2)$$

где ΣQ - накопленная добыча углеводородов из скважины; t_0 – время наблюдения.

Кривая *2* описывает изменение дебита по усеченной гауссовой кривой. В этом



Типичные кривые изменения дебита скважин в результате работ по интенсификации углеводородов: *1* - дебит скважины постоянный; *2* - усеченная Гауссова кривая; *3* - логарифмическая Гауссова кривая; *4* - гамма-распределение (распределение Вейбулла); *5* - экспонинциальная зависимость

случае дебит описывается выражением [1]:

$$Q(t) = \frac{c_0}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{\sigma^2}} + Q_{\min}, \quad \text{при}$$

$$0 < T < \infty \qquad (3)$$

где σ_t и σ_t - параметры кривой; Q_{min} - дебит скважины до обработки; c_0 – постоянная усеченной гауссовой кривой, находится: $c_0 = \dfrac{1}{\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{T_0}{\sigma_t}\right)}$, где $\Phi\left(\frac{T_0}{\sigma_t}\right)$ - нормированная функция Лапласа, находится по формуле:

$$\Phi\left(\frac{T_0}{\sigma_t}\right) = \Phi\left(x = \frac{T_0}{\sigma_t}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Накопленная добыча за время эксплуатации в этом случае находится по формуле:

$$\Sigma Q = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t - T_0}{\sigma_t}\right) + Q_{\min} t \qquad (4)$$

Кривая *3* на начальном этапе возрастания дебита описывается восходящей ветвью логарифмической гауссовой кривой с последующим установлением постоянной величины.

Величина дебита в этом случае определяется как:

$$Q(t) = \frac{\lg e}{t\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_{\lg t}} e^{-\frac{(\lg t - m_{\lg t})^2}{\sigma_{\lg t}^2}} + Q_{\min},$$

$$\text{при } 0 < t < t_{кр} \qquad (5)$$

$$Q(t) = Q_{const}, \text{ при } t > t_{кр}$$

Накопленная добыча углеводородов из скважины находится как:

$$\Sigma Q = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\lg t - m_{\lg t}}{\sigma_{\lg t}}\right) + Q_{\min}\cdot t,$$

$$\text{при } 0 < t < t_{кр} \qquad (6)$$

$$\Sigma Q = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\lg t_{кр} - m_{\lg t}}{\sigma_{\lg t}}\right) + Q_{\min}\cdot t_{кр} + ,$$

$$+ Q_{\max}(t - t_{кр})$$

№ зависи-мости	Вид экстраполяции	Текущий дебит	Накопленная добыча
1	Постоянный дебит	$Q(t)=Q_{const}$	$\Sigma Q=\int_0^{t_0} Q(t)dt=Qt_0$
2	Усеченная гауссова кривая	$Q(t)=\frac{c_0}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}e^{-\frac{(t-T_0)^2}{\sigma^2}}+$ $+Q_{\min}$	$\Sigma Q=\frac{1}{2}-\Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma_t}\right)+Q_{\min}t$
3	Логарифмическая гауссова кривая	$Q(t)=\frac{\lg e}{t\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_{\lg t}}e^{-\frac{(\lg t-m_{\lg t})^2}{\sigma_{\lg t}^2}}+$ $+Q_{\min}$ при $0<t<t_{кр}$.	$\Sigma Q=\frac{1}{2}-\Phi\left(\frac{\lg t-m_{\lg t}}{\sigma_{\lg t}}\right)+Q_{\min}\cdot t$ при $0<t<t_{кр}$
		$Q(t)=Q_{const}$ при $t>t_{кр}$	$\Sigma Q=\frac{1}{2}-\Phi\left(\frac{\lg t_{кр}-m_{\lg t}}{\sigma_{\lg t}}\right)+$ $+Q_{\min}t_{кр}+Q_{\max}(t-t_{кр})$ при $t>t_{кр}$
4	Гамма-распределение	$Q(t)=\frac{1}{(k-1)!T_{0Г}}\left(\frac{t}{T_0}\right)^{k-1}$ $\times e^{-\frac{t}{T_{0Г}}}+Q_{\min}$	$\Sigma Q=\sum_{i=0}^{k-1}\frac{1}{i!}\left(\frac{t}{T_{0Г}}\right)^i e^{-\frac{t}{T_{0Г}}}+$ $+Q_{\min}t$
	Распределение Вейбулла	$Q(t)=\frac{k_B}{T_{0B}}t^{k_B-1}e^{-\frac{t^{k_B}}{T_{0B}}}+$ $+Q_{\min}$	$\Sigma Q_c=e^{-\frac{t^{k_B}}{T_{0B}}}+Q_{\min}t$
5	Экспоненциальная зависимость	$Q(t)=(Q_{\max}-Q_{\min})e^{-\frac{t}{t_0}}+$ $+Q_{\min}$	$\Sigma Q=(Q_{\max}-Q_{\min})t\left(1-e^{-\frac{t}{t_0}}\right)+$ $+Q_{\min}t$

при $t>t_{кр}$

Зависимость 4 может описываться либо кривой гамма-распределения либо распределения Вейбулла с соответствующими подобранными параметрами.

При описании с использованием гамма-распределения текущий дебит и суммарный дебит вычисляются соответственно:

$$Q(t)=\frac{1}{(k-1)!T_{0Г}}\left(\frac{t}{T_0}\right)^{k-1}e^{-\frac{t}{T_{0Г}}}+Q_{\min} \qquad (7)$$

$$\Sigma Q=\sum_{i=0}^{k-1}\frac{1}{i!}\left(\frac{t}{T_{0Г}}\right)^i e^{-\frac{t}{T_{0Г}}}+Q_{\min}\cdot t \qquad (8)$$

где k и $T_{0Г}$ - параметры гамма-распределения: $k\geq 1$, $T_{0Г}=\frac{T_0}{k}$

Частным случаем гамма-распределения является распределение хи-квадрат при

$T_{0\Gamma} = 2$ и $k_\Gamma = \frac{k}{2}$, где k_Γ - параметр гамма-распределения, то получим выражение для текущего дебита в виде:

$$Q(t) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)2^{\frac{k}{2}}} t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}$$

При его использовании кривой распределения Вейбулла текущий дебит и накопленная добыча описываются соответственно выражениями:

$$Q(t) = \frac{k_B}{T_{0B}} t^{k_B - 1} e^{-\frac{t^{k_B}}{T_{0B}}} + Q_{\min} \qquad (9)$$

$$\Sigma Q_c = e^{-\frac{t^{k_B}}{T_{0B}}} + Q_{\min} t \qquad (10)$$

где k_B и T_{0B} - параметры распределения Вейбулла, причем $T_{0B} = \frac{T_0}{k}$

Следует отметить, что параметр формы k_B может быть больше или меньше единицы, что делает это распределение универсальным [1].

Зависимость 5 описывается экспонентой [2]. В этом случае текущий дебит и накопленная добыча описываются выражениями:

$$Q(t) = (Q_{\max} - Q_{\min}) e^{-\frac{t}{t_0}} + Q_{\min} \qquad (11)$$

$$\Sigma Q = (Q_{\max} - Q_{\min}) \cdot t \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right) + Q_{\min} \cdot t \qquad (12)$$

Учитывая многообразие условий работы эксплуатационных скважин, для уточнения применения одного из предложенных соотношений необходимо использовать статистические данные наблюдений для каждой конкретной скважины, после чего применять соотношения.

Изложенное можно свести в таблицу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для ВУЗов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. С. 576.

2. *Лысенко В.Д.* Определение эффективности мероприятий по увеличению нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти. / Нефтяное хозяйство №2, 2004 г. С.114-188.

3. *Справочник* по теоретическим основам радиоэлектроники. Под ред. Б. Х. Кривицкого, В. Н. Дулина. В 2-х томах. Том 1. М.: «Энергия». 1977.

Коротко об авторах

Бекетов С.Б. - кандидат технических наук, первый заместитель начальника НТЦ ООО «Кубаньгазпром», г. Краснодар.

Пищухин В.М. – доцент СевКавГТУ, кандидат технических наук, академик АН ПРЭ, директор НТП «СтавТехноПарк»,

Косович Т.А. – кандидат экономических наук, руководитель учетно-контрольной группы (главный бухгалтер) НТЦ ООО «Кубаньгазпром»,

Штепа С.И. – ведущий бухгалтер НТЦ ООО «Кубаньгазпром».