

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ САМООРГАНИЗАЦИИ ПЛАСТОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Т.С.КЕНГЕРЛИ

Институт Математики и Механики НАН Азербайджана

Построена модель множественной регрессии в предположении существования линейной зависимости между независимыми переменными ускорения, скорости и дебита нефти и переменным значением интенсивности закачки воды. Это позволило учесть темп, интенсивность добычи флюида в процессе закачки воды с целью поддержания пластового давления. При этом рассмотрена возможность применения аналогии колебаний электрической цепи и механической системы к процессу вытеснения нефти закачиваемой в пласт водой. Для полноты описания процесса эксплуатации месторождения учтено воздействие на среду внешних воздействий, в частности, закачки воды в пласт.

Задача управления в известных фундаментальных законах механики изучал И.Ньютон. В своей работе «Оптика» он задался вопросом: «Каким образом движение тел следует воле?». Ньютон говорил, что «вся трудность физики состоит в том, чтобы по явлениям движения распознавать силы природы, а затем по этим силам объяснить другие явления».

Разработка такого общего метода в нефтедобыче имеет помимо общенаучного значения исключительную важность для определения эффективных методов воздействия на разрабатываемые месторождения. В терминах механики целью конструирования таких систем является выполнение желаемых аналитических соотношений, связей между координатами, скоростями, ускорениями и т.д. В механике такие связи называют «управляющими связями».

Предположим, что существует линейная зависимость между каждой независимой переменной Q_n'' - ускорением, Q_n' - скоростью и Q_n - дебитом и переменной Q_e , т.е. закачка воды должна линейно зависеть от темпа, интенсивности добычи и дебита нефти.

Запишем уравнение множественной регрессии:

$$Q_e = m_1 Q_n'' + m_2 Q_n' + m_3 Q_n + Q_0. \quad (1)$$

Здесь Q_0 - поправка на воздействие закачки за счет потери или притока дополнительного объема воды. Эта поправка может учитывать воздействие на добычу пластовой воды, оттока объема воды в скважины и переменность фонда действующих скважин.

Требуется определить коэффициенты m_1 , m_2 , m_3 и m_0 по данным промысловых замеров дебита нефти $Q_{ni}(\tau_i)$ и закачки воды $Q_{ei}(\tau_i)$.

Уравнение (1) можно свести к виду:

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 Q_n}{d\tau^2} + m_2 \frac{dQ_n}{d\tau} + m_3 Q_n = Q(\tau), \\ Q_n(\tau)|_{\tau=0} = x_0, \quad \left. \frac{dQ_n(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=0} = v_0, \end{cases} \quad (2)$$

где $Q(\tau) = Q_e - Q_0$.

В работе [2] модель (2) использовалась как аналог двух систем – механической и электрической. В механической цепи пружина служила накопителем потенциальной энергии, а тело, прикрепленное к пружине, – накопителем кинетической энергии. Демпфер являлся элементом, рассеивающим энергию.

В электрической цепи, подобно элементам механической системы, индуктивность и емкость служили накопителями энергии, а сопротивление рассеивало энергию.

Как и во всякой реальной колебательной системе в нефтяных пластах имеется сила, действие которой приводит к уменьшению энергии системы. Для механической системы таковой является сила трения, для колебательного контура – электрическое сопротивление. Если убыль этой энергии не восполняется, то колебания затухают.

В случае эксплуатации нефтяного месторождения коэффициент m_1 характеризует плотность, m_2 – сопротивление пористой среды или является аналогом сопротивления, а коэффициент m_3 характеризует жесткость среды или является аналогом емкости.

Как известно, форма кривой, описывающей решение (2), существенно зависит от знака дискриминанта $D = \omega_0^2 - \beta^2$ соответствующего характеристического уравнения, где $\beta = \frac{m_2}{2m_1}$, $\omega_0^2 = \frac{m_3}{m_1}$.

Если эта величина положительна, т. е. $\beta < \omega_0$ (трение по сравнению с жесткостью мало), решение имеет вид:

$$z(\tau) = A_0 e^{-\beta\tau} \sin(\omega\tau + \alpha) + \frac{1}{\omega} \int_0^\tau y(t) e^{\beta(t-\tau)} \sin \omega(\tau - t) dt, \\ y(\tau) = Q(\tau)/m_1, \quad \omega = \sqrt{D}. \quad (3)$$

Здесь A и α — постоянные величины, зависящие от начальных условий (2):

$$A_0 = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0 + \beta x_0}{\omega}\right)^2}, \quad \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{x_0 \omega}{v_0 + \beta x_0}\right).$$

Первое слагаемое в решении (1.3) играет заметную роль только в начальной стадии процесса, при установлении колебаний. С течением времени из-за экспоненциального множителя роль слагаемого уменьшается, и по прошествии достаточного времени им можно пренебречь, сохранив в решении только второе.

При $y(\tau) \equiv 0$ решение принимает форму затухающего колебания с периодом T , частотой ω и декрементом затухания d :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{D}}, \quad \omega = \sqrt{D}, \quad d = \frac{A''}{A'} = e^{-\beta T}. \quad (4)$$

Измерив период и декремент затухания колебаний решения дифференциального уравнения, с помощью формул (4) можно определить коэффициенты β и ω_0^2 уравнения (2):

$$\beta = -\frac{\ln d}{T}, \quad \omega_0^2 = \beta^2 + \frac{4\pi^2}{T^2}. \quad (5)$$

При $\beta < 0$ решение принимает форму колебания с растущей амплитудой.

Если $D < 0$, т.е. $\omega_0 < \beta$ (жесткость по сравнению с сопротивлением мала), то решение уравнения (2) приобретает вид:

$$z(\tau) = A_0 e^{-\beta \tau} \operatorname{sh}(\omega \tau + \alpha) + \frac{1}{\omega} \int_0^{\tau} y(t) e^{\beta(t-\tau)} \operatorname{sh} \omega(\tau - t) dt, \quad (6)$$

$$A_0 = \sqrt{\left(\frac{v_0 + \beta x_0}{\omega}\right)^2 - x_0^2}, \quad \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{x_0 \omega}{v_0 + \beta x_0}\right).$$

Если $D = 0$, т.е. $\omega_0 = \beta$ (жесткость и сопротивление равны), то решение уравнения (2) приобретает вид:

$$z(\tau) = [x_0 + \tau(v_0 + \beta x_0)] e^{-\beta \tau} + \frac{1}{\omega} \int_0^{\tau} y(t) e^{\beta(t-\tau)} (\tau - t) dt. \quad (7)$$

Для определения влияния всех действующих в фильтрации сил на процесс эксплуатации месторождения сопоставим их с «силой инерции» $m_1 \frac{d^2 Q_H}{d\tau^2}$

[1,6]. Отношение «силы трения» $m_2 \frac{dQ_H}{d\tau}$ к «силе инерции» $m_1 \frac{d^2 Q_H}{d\tau^2}$ дает критерий:

$$R = \left| \frac{m_2 Q_H'}{m_1 Q_H''} \right|. \quad (8)$$

Отношение «сил давления» (упругости) $m_3 Q_H$ к «силе инерции» дает критерий:

$$E = \left| \frac{m_3 Q_H}{m_1 Q_H''} \right|, \quad (9)$$

Отношение сил давления к силе вязкости:

$$L = \left| \frac{m_3 Q_H}{m_2 Q_H'} \right|. \quad (10)$$

Результаты вычислений по формулам (8)-(10) показывают, что вклад второй производной в уравнении (2) незначителен по сравнению с остальными членами. Поэтому это уравнение можно упростить, сведя к следующему:

$$\begin{cases} m_2 \frac{dQ_H}{d\tau} + m_3 Q_H = Q(\tau), \\ Q_H(\tau)|_{\tau=0} = x_0, \\ Q(\tau) = Q_e - Q_0. \end{cases} \quad (11)$$

Подобная модель использовалась ранее в работах [3,4].

Расчеты и анализ зависимости доли воды в объеме добываемой жидкости на нефтяном месторождении Forties $z(\tau) = Q_e / (Q_e + Q_H)$ (рис.1) показывают, что весь период эксплуатации

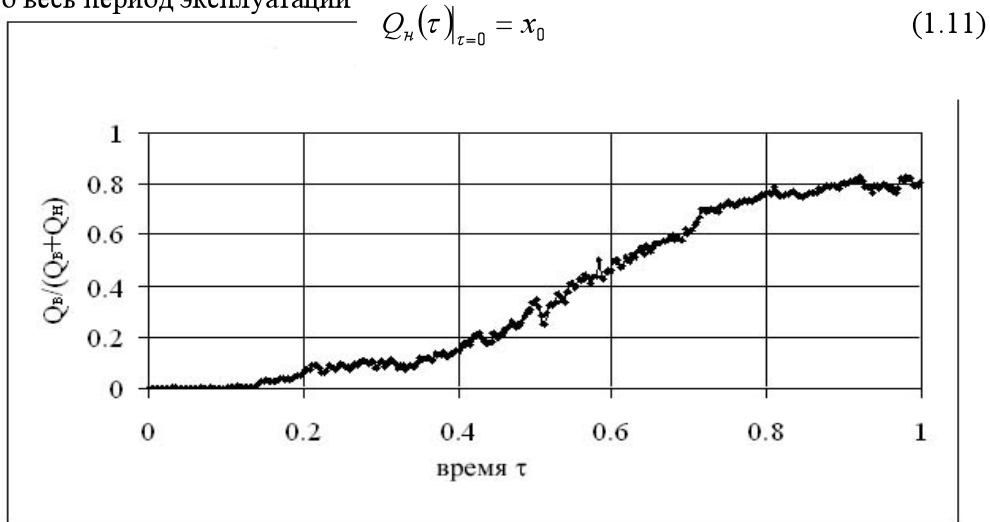


Рис.1.

I участок (1-7 месяцы, $0,031 \leq \tau \leq 0,217$): $2\beta \approx -45$; $\omega_0^2 \approx 767$; $D > 0$.

II участок (8-112 месяцы, $0,2201 \leq \tau \leq 0,3472$): период хаоса в системе.

III участок: (113-227 месяцы, $0,3503 \leq \tau \leq 0,7037$): $2\beta \approx -18$; $\omega_0^2 \approx 94$; $D > 0$.

IV участок (228-260 месяцы, $0,7068 \leq \tau \leq 0,806$): $2\beta \approx 5,3$; $\omega_0^2 \approx 21$; $D > 0$. (12)

V участок (261-296 месяцы, $0,8401 \leq \tau \leq 0,9176$): $2\beta \approx 10$; $\omega_0^2 \approx 2$; $D < 0$.

VI участок (297-323 месяцы, $0,9207 \leq \tau \leq 1$): период хаоса в системе.

Решения

$$z_{i+1} = \frac{(2 + 2\beta h - \omega_0^2 h^2)z_i - z_{i-1} + h^2 y_i}{1 + 2\beta h}, \quad i = 1, 2, 3 \dots N-1, \quad (13)$$

$$z_0 = z_n, \quad z_1 = z_n + v_0 h$$

отдельно по участкам при соответствующих начальных значениях z_n и z_{n0} позволяют сделать вывод о том, что на первом участке наблюдается высокая скорость роста доли воды в общем дебите жидкости вплоть до достижения значения 9%. За этим следует участок хаоса. Третий участок характеризуется с меньшей по отношению к первому скоростью роста. Затем характер поведения системы кардинально меняется. Амплитуда возмущений начинает убывать со временем, причем на пятом участке скорость снижения увеличивается. За этим вновь следует участок хаоса, когда доля нефти составляет 17%.

Приведем процедуру моделирования и прогноза добычи нефти на примере месторождения Forties.

С помощью уравнения регрессии (1) по первым 21-50 точкам и данным промысловых замеров дебита нефти $Q_{ni}(\tau_i)$ и закачки воды $Q_{ei}(\tau_i)$ определяются коэффициенты m_1 , m_2 , m_3 и m_0 . Вычисляются средние арифметические значения этих коэффициентов: $m_{3cp} = 1.87$, $m_{2cp} = 1.47$, $m_{1cp} = 0.43$, $m_{0cp} = Q_0 = -1.7 \cdot 10^7$.

Далее с помощью конечно-разностной схемы при заданных промысловых данных $Q(\tau) = Q_e - Q_0$ решается система уравнений (2):

$$Q_{ni+1} = \frac{(m_2 h + 2m_1 - m_3)Q_{ni} - m_1 Q_{ni-1} + h^2 (Q_{ei} - Q_0)}{m_1 + h m_2}, \quad i = 2, 3, 4 \dots N-1, \quad (14)$$

$$Q_{n1} = x_0, \quad Q_{n2} = Q_{n1} + v_0 h.$$

На рис.2 приведено сравнение промысловых данных и теоретических расчетов. Начиная с 51-го месяца на основе вычисленных ранее коэффициентов и данных промысловых данных закачки воды приведен прогноз на последующие месяцы. Видно, что вплоть до 65-го месяца теоретические расчеты удовлетворительно согласуются с промысловыми данными. С 66-го месяца данные промысловых замеров и расчетов начинают существенно различаться.

Дальнейший прогноз предлагается сделать следующим образом. Константы m_1 , m_2 , m_3 и m_0 определять на основе предыдущих 21-65 месяцев.

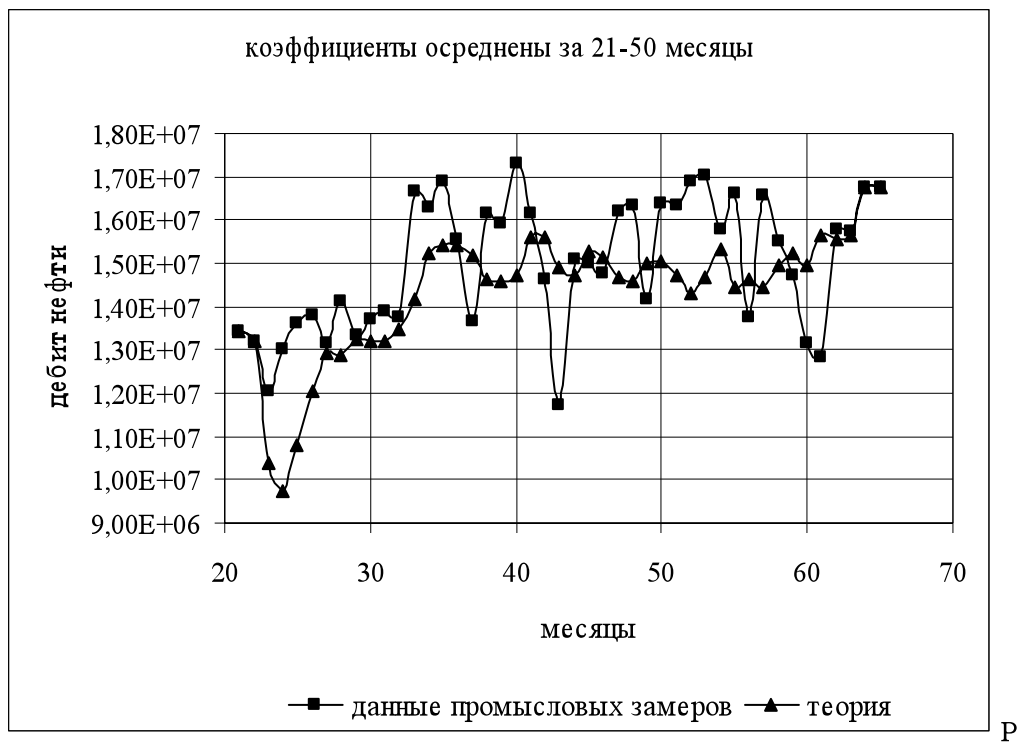


Рис.2.

Далее вновь продолжить расчеты на основе (12).

Указанный метод спрямления не всегда пригоден, так как во многих случаях нефтепромысловые данные сильно колеблются, что не позволяет спрямлять данные в выбранных координатах [5].

Поэтому, для решения обратной коэффициентной задачи предлагается использовать метод операционного исчисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоуценский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: 1970.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Султанов Ч.А. Диакоптика процессов нефтеотдачи пластов. Баку. Изд-во Азерб., 1995, 366с.
3. Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтедобыче. Системный анализ, диагноз, прогноз. М.: Наука, 1997, 254с.
4. Мирзаджанзаде А.Х., Алиев Н.А., Юсифзаде Х.Б. и др. Фрагменты разработки морских нефтегазовых месторождений. Баку: Изд-во Элм, 1997, 408с.
5. Мирзаджанзаде А.Х., Керимов З.Г., Копейкис М.Г. Теория колебаний в нефтепромысловом деле. Изд-во Маариф. Баку: 1976, 363с.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1.2. М.: 1983.

**NEFT YATAQLARININ İSTİSMARINDA LAY SİSTEMİNİN
ÖZÜNÜTƏŞKİL PROSESLƏRİNİN İDARƏ EDİLMƏSİ**

T.S.KƏNGƏRLİ

XÜLASƏ

Neft laylarında su vurma intensivliyinin dəyişən qiyməti ilə asılı olmayan dəyişənlər - sürət, təjil və neft hasilatı arasında xətti asılılığın mövcudluğunun mümkünlüyü üçün çoxluq reqresiya modeli qurulmuşdur. Bu, lay təzyiqinin saxlanması məqsədi ilə su vurma prosesində flüidlərin çıxarması tempini və intensivliyini nəzərə almağa imkan verdi. Yataqların istismarı prosesinin tam təsviri üçün mühitə xarici təsirlərin, o cümlədən laya suyun vurulması nəzərə alınıb.

**CONTROL OF PROCESSES OF STRATAL SYSTEM
SELF-ORGANIZATION IN EXPLOITATION OF OIL FIELDS**

T.S.KENGERLI

SUMMARY

A multiple regression model is constructed under the assumption of existence of linear dependence between independent variables of acceleration, velocity and oil production rate and variable value of water injection intensity. This allowed to consider tempo, fluid extraction intensity in the water injection process to maintain stratal pressure.

For full description of process exploitation of the field influence of external effects, in particular of water injection onto formation is taken into account.