УДК 51-73; 51-74; 519.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХАОТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ НЕФТЕДОБЫЧИ

THE MATHEMATICAL MODEL OF CHAOTIC BEHAVIOR IN THE PROCESS OF OIL PRODUCTION

©Эфендиева А. Т.
канд. экон. наук, Бакинский государственный университет
г. Баку, Азербайджан, aytek@mail.ru
©Efendiyeva A.
PhD, Baku State University
Baku, Azerbaijan, aytek@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены математические методы диагностирования сценария с целью предсказать наступление в системе хаотических явлений. Разработанная оценка позволяет определить основные данные которые должны быть учтены для анализа и прогнозирования процесса нефтедобычи с применением бурно развивающейся в настоящее время междисциплинарной науки — теории системного анализа.

Abstract. The article investigated mathematical methods of diagnosing of the scenario with the purpose to predict approach in system of the chaotic phenomena. The developed assessment allows to define a specification which have to be considered for the analysis and forecasting of process of oil production with application of the interdisciplinary science which is roughly developing now — theories of the system analysis.

Ключевые слова: хаотические явления, точка равновесия, синергетика, математические моделирование пластов.

Keywords: chaotic phenomena, point of balance, synergetic, reservoir simulation.

Постановка проблемы. Теория самоорганизации объединяет в себе в основном более общие свойства присущие сложным природным механизмам, поэтому учитывая все сказанное при рассмотрении решений проблем математического моделирования, контроля и управления технологическими процессами нефтедобычи, необходимо рассматривать методы и примеры решения обратных задач нефтепромысловой механики. Многие области современной науки базируются на рассмотрении методов теории регулярных хаотических систем в решении проблем поставленных задач. Знание характерных типов решений сложных нелинейных систем дает возможность получить обобщенное преставление качественной картины динамики исследуемой нелинейной системы.

Анализ последних исследований и публикаций. Задачи и проблемы синергетике связаны с развитием математического моделирования у истоков которого стояли С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий, И. Г. Медведев, Н. А. Митин [1], И. Пригожин, И. Стенгерс [8] и др. Непосредственный вклад в применении теории хаоса к проблемам нефтегазодобычи был внесен известным отечественным ученым А. Х. Мирзаджанзаде [6].

Цель исследования является экономико–математического моделирование, что позволяет непосредственно вычислить управляющий параметров процессах нефтедобычи. В работе использовались теоретические и экспериментальные методы теории системного анализа, с использованием методов математического анализа, дифференциальных уравнений, теории вероятностей и математической статистики.

Основные результаты исследования. Азербайджан, обладающий глубоким нравственным, культурным, научно–экономическим потенциалом, имеющий выгодное географическое и политическое положение, в то же время богат природными ресурсами, где главное место занимает нефть.

Обострение конкурентной борьбы в современных условиях происходит не только на глобальном рынке, но и внутри национальной экономики Азербайджана. Ресурсы нефти сосредоточены в благоприятных геолого–геофизических условиях, нефть отличается высоким качеством. В последние годы нефтяные запасы Азербайджана считались по крупному счету, отработанными.

Процесс разработки должен быть так осуществлен, чтобы разрабатываемое месторождение отличалось повышенной эффективностью и высокой нефтеотдачей. При разработке каждого месторождения с самого начала проектирования учитываются основные цели, заключающиеся в более высокой нефтеотдаче, в получении высоких темпов выработки запасов нефти, а также обязательно оптимальное экономическое осуществление проекта [7].

Традиционная теория информации, как новое веяние в научной среде сразу привлекло особое внимание и интерес в 50-х годах XX-го века. Если рассмотреть суть теории хаоса, то можно проследить зависимость сложных систем от начальных условий, которые могут вызвать неожиданные последствия при малейших колебаниях окружающей среды [2, 10]. В математических хаотических системах подчиняющимися строгим законам в некотором смысле, можно увидеть упорядоченность. Математическая динамическая система, которая классифицируется как хаотическая, должна иметь следующие свойства: система должна иметь нелинейные характеристики, быть глобально устойчивой, но иметь хотя бы одну неустойчивую точку равновесия колебательного типа [13].

Рассмотрим логистическое уравнение, которое широко применяется как для описания эволюции добычи жидкости на нефтяном месторождении, так и для моделирования некоторых универсальных закономерностей процессов роста в самоорганизующихся системах [3, 11]:

$$\frac{dW}{dt} = DW\left(1 - \frac{EW}{D}\right), \qquad W = W_0 \text{, при } t = t_0 \tag{1}$$

Решение уравнения (1) имеет вид:

$$W(t) = \frac{DW_0}{(D - EW_0)\exp[-D(t - t_0)] + EW_0} \tag{2}$$

Это решение имеет асимптоту

$$\lim_{t\to\infty} W(t) = D/E \tag{3}$$

и точку перегиба в момент времени $t_{перегиба} = t_{**} = \frac{1}{D}\ln\left(\frac{D - EW_0}{EW_0}\right) + t_0$, в которой

$$W_{перегиба} = W_* = \frac{D}{2E}.$$

Уравнение (1) запишем в конечных разностях:

$$\frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta t} = DW_i\left(1 - \frac{EW_i}{D}\right) \tag{4}$$

Преобразуем (4) к виду:

$$W_{i+1} = W_i(1 + D\Delta t - E\Delta t W_i) = (1 + D\Delta t)W_i\left[1 - \frac{E\Delta t W_i}{(1 + D\Delta t)}\right] \tag{5}$$

Если ввести новые обозначения

$\lambda = D\Delta t + 1$ и $y_i = \frac{E\Delta t}{\lambda} W_i$,

то уравнение (4) примет вид

$$y_{i+1} = \lambda y_i (1 - y_i) \quad (6)$$

Это уравнение интересно тем, что оно позволяет продемонстрировать один из универсальных сценариев перехода к хаотическому поведению [12], проявляющийся, в частности, и в процессах нефтедобычи. Рассмотрим типы движений, возникающих при различных значениях параметра λ.

Если $0 < \lambda \le 1$, то это уравнение описывает движение к устойчивой точке равновесия $y = 0$.

При $1 < \lambda \le 3$. происходит бифуркация, в результате которой точка равновесия теряет устойчивость и появляется новая притягивающая точка $y_* = 1 - 1/\lambda$.

Когда $3 < \lambda \le 1 + \sqrt{6} \approx 3{,}45$ происходит новая бифуркация. В результате бифуркации возникают автоколебания: точка равновесия y_* становится неустойчивой и вместо нее появляется устойчивый двукратный цикл.

При переходе параметра λ *через значение* $1 + \sqrt{6}$ $3{,}45 < \lambda < \lambda_e = 3{,}5699$ *двукратный цикл сменяется устойчивым четырехкратным циклом, который, в свою очередь, при* $\lambda \ge 3{,}45$ *сменяется циклом периода 8 и т. д. Период автоколебаний последовательно удваивается в бифуркационных точках* $a_2 = 3{,}41, a_3 \approx 3{,}53, a_4 \approx 3{,}56, \ldots$.

Последовательные бифуркации удвоения периода происходят, таким образом, до значения $\lambda = \lambda_e = 3{,}5699, \ldots$ В точках сгущения $\lambda_* = \lim_{k \to \infty} \approx 3{,}57$ колебания приобретают хаотический характер [14].

Рассмотренное уравнение представляет собой пример системы, в которой проявляется детерминированный хаос–случайное, на первый взгляд, движение, вызванное эволюцией динамических систем, в которых отсутствуют случайные силы или параметры [9].

Из условия совпадения начальных условий $Q_0 = W_0$, значений точек перегиба $t_* = \frac{a}{3c} = t_{**} = \frac{1}{D} \ln\left(\frac{D - EW_0}{EW_0}\right) + t_0$ и дебитов в точке перегиба

$Q_* = at_*^2 - ct_*^3 = W_* = D/2E$, $t_* = \frac{a}{3c}$ и $W_* = \frac{D}{2E}$, и t_{**}, можно определить коэффициенты D и E:

$$D = \frac{\ln\left(\frac{2Q_*}{Q_0} - 1\right)}{t_* - t_0}, \; E = \frac{D}{2Q_*}, \; Q_* = at_*^2 - ct_*^3, \; t_* = a/3c \quad (7)$$

Расчеты, произведенные с помощью (4), при этих значениях коэффициентов по формуле $W_{i+1} = W_i(1 + D\Delta t - E\Delta t W_i)$, $W_1 = Q_0 = 0{,}056507$.

Параметр $\lambda = D\Delta t + 1$ для данного случая оказался равным 1,13. В данном случае происходит бифуркация, в результате которой точка равновесия теряет устойчивость и появляется новая притягивающая точка $y_* = 1 - 1/\lambda$=0,11.

Таким образом, предложенная процедура позволяет путем аппроксимации функцией $Q = at^2 - ct^3$ участка кривой, описывающей зависимость накопленного дебита жидкости от времени, определив коэффициенты a и c, а затем D и E непосредственно вычислить параметр λ.

По значению λ можно диагностировать сценарий перехода системы к хаотическому поведению.

В процессе проведения исследований весьма часто анализируется взаимосвязь системных объектов, выделяемых в составе изучаемой системы, и, как следствие, возникает необходимость количественной оценки информации, отражаемой системными объектами относительно друг друга. Поставленные вопросы будут в дальнейшем рассмотрены в наших исследованиях.

Выводы. Рассмотрено логистической модели, что позволяет непосредственно вычислить управляющий параметр. Определение этого параметра позволяет диагностировать сценарий, а также предсказать наступление в системе хаотических явлений. На основе существующих методов представить усовершенствованный метод разработки управления фондами скважин, обеспечивающих эффективную доразработку нефтяных месторождений Азербайджанской Республики.

Список литературы:

1. Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Медведев И. Г., Митин Н. А. Нелинейная динамика и проблемы прогноза // Безопасность Евразии. 2001. №2. С. 481–525.
2. Кобляков А. А. Синергетика и творчество: универсальная модель устранения противоречий как основа новой стратегии исследований // Синергетическая парадигма. М.: Прогресс–Традиция, 2000. С. 305–324.
3. Лагоша Б. А., Емельянов А. А. Основы системного анализа. М.: Изд–во МЭСИ, 7. 1998. 77 с.
4. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решения. М.: Логос, 2000. 296 с.
5. Майнцер К. Сложность и самоорганизация. Возникновение новой науки и культуры на рубеже века // Синергетическая парадигма. М.: Прогресс Традиция, 2000. С. 56–79.
6. Мирзаджанзаде А. Х., Хасаев М. М., Бахтизин Р. Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность. Уфа: Гилем, 1999. 464 с.
7. Нагиев Ф. Б. О конвективной неустойчивости нефтяных месторождений // Азербайджанское нефтяное хозяйство. №3. 2005. С. 5–11.
8. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 240 с.
9. Руденко А. П. Самоорганизация и синергетика // Синергетика. Труды семинара. Т. 3. М.: МГУ, 2000. С. 61–99.
10. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. М.: Прогресс–Традиция, 2000. 536 с.
11. Системный анализ в управлении / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
12. Эфендиева А. Т. Синергетическая модель экономико–экологической системы // Университет ОдларЮрду. Новости науки и педагогики. №15. 2005. С. 25–32.
13. Guckenhenheimer J., Holmes P. Nonlinear Oscillations. Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields, New York, Springer, 1983.
14. Waldrop M. M. Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos. Touchstone, New York, 1993.

References:

1. Kurdyumov S. P., Malinetskii G. G., Medvedev I. G., Mitin N. A. Nelineinaya dinamika i problemy prognoza. Bezopasnost Evrazii, 2001, no. 2, pp. 481–525.
2. Koblyakov A. A. Sinergetika i tvorchestvo: universalnaya model ustraneniya protivorechii kak osnova novoi strategii issledovanii. Sinergeticheskaya paradigm, Moscow, Progress–Traditsiya, 2000, pp. 305–324.

3. Lagosha B. A., Emelyanov A. A. Osnovy sistemnogo analiza. Moscow, Izd–vo MESI, 7, 1998, 77 p.

4. Larichev O. I. Teoriya i metody prinyatiya resheniya. Moscow, Logos, 2000, 296 p.

5. Maintser K. Slozhnost i samoorganizatsiya. Vozniknovenie novoi nauki i kultury na rubezhe veka. Sinergeticheskaya paradigma. Moscow, Progress Traditsiya, 2000, pp. 56–79.

6. Mirzadzhanzade A. Kh., Khasaev M. M., Bakhtizin R. N. Etyudy o modelirovanii slozhnykh sistem neftedobychi. Nelineinost, neravnovesnost, neodnorodnost. Ufa, Gilem, 1999, 464 p.

7. Nagiev F. B. O konvektivnoi neustoichivosti neftyanykh mestorozhdenii. Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo, no. 3, 2005, pp. 5–11.

8. Prigozhin I., Stengers I. Vremya, khaos, kvant. K resheniyu paradoksa vremeni. Moscow, Editorial URSS, 2000, 240 p.

9. Rudenko A. P. Samoorganizatsiya i sinergetika. Sinergetika. Trudy seminara. V. 3. Moscow, MSU, 2000, pp. 61–99.

10. Sinergeticheskaya paradigma. Mnogoobrazie poiskov i podkhodov. Moscow, Progress–Traditsiya, 2000, 536 p.

11. Sistemnyi analiz v upravlenii / ed. A. A. Emelyanov. Moscow, Finansy i statistika, 2002, 368 p.

12. Efendieva A. T. Sinergeticheskaya model ekonomiko–ekologicheskoi sistemy. Universitet OdlarYurdu. Novosti nauki i pedagogiki, no. 15, 2005, pp. 25–32.

13. Guckenhenheimer J., Holmes P. Nonlinear Oscillations. Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields, New York, Springer, 1983.

14. Waldrop M. M. Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos. Touchstone, New York, 1993.

Работа поступила в редакцию 16.06.2016 г.

Принята к публикации 17.06.2016 г.