

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. Т. Эфендиева

Бакинский государственный университет

Поступила в редакцию 16 октября 2016 г.

Аннотация: в статье рассматриваются задачи описания процесса эксплуатации и прогноза в нефтеотдаче на примере конкретного месторождения Азербайджанской Республики. Используются теоретико-экспериментальные методы теории системного анализа и синергетики. Детально исследованы изменения энтропии с целью предсказать наступление в системе хаотических явлений в разработке нефтяного месторождения. Рассмотрены методы диагностирования сценария.

Ключевые слова: хаотические явления, энтропия, нефтяные месторождения, синергетика, оптимальная нефтеотдача.

Abstract: the paper deals with the problem of describing the process of operation and prognosis in nefteotdache the example of a specific field of the Azerbaijan Republic. Used theoretical and experimental methods of system analysis and synergetic theory. We studied in detail for the purpose of change of entropy in the system to predict the onset of chaotic phenomena in the development of the oil field. The methods of diagnosis scenario.

Key words: chaotic events, entropy, oil fields, synergetics, optimum oil recovery.

Нефть является и занимает главное место среди природных ресурсов, которыми богата Азербайджанская Республика. Более 50 % территории Азербайджана потенциально нефтеносна, но детально разведана лишь часть.

События конца XX и начала XXI в. показали, что топливно-энергетический комплекс является уже не только национальным фактором экономического развития Азербайджана, но и превратился в мощное средство и один из наиболее действенных инструментов межгосударственного экономического и политического сотрудничества. История нефтегазодобывающей промышленности страны свидетельствует о том, что нефтяной фактор на протяжении уже более века, несмотря на достаточно высокий уровень развития отдельных отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспортной и социальной инфраструктуры, по-прежнему остается стержнем и своеобразным «локомотивом» экономики Азербайджана [1].

Во всех областях современной науки возрастают исследования, направленные на изучение методов теории хаотических систем, которая опирается на наиболее общие и повторяющиеся черты и свойства сложных природных механизмов. Цель и суть исследований заключаются в нахождении решений, которые позволили бы проследить динамику изменения сложной нелинейной системы, и в настоящее время результатом этих исследований является

вполне определившаяся теоретическая конструкция, получившая название *синергетическая теория информации* [2–4]. В переводе с греческого термин «синергетика» означает совместный, согласованно действующий, так как суть данной теории заключается в изучении свойств упорядоченности и хаотичности системных образований, то словосочетание «синергетическая теория информации» представляется вполне оправданным.

Результаты развития математического моделирования, у истоков которого стояли известные ученые Н. Н. Моисеев, А. А. Самарский, А. А. Дородницын, А. В. Логов, В. В. Лебедев, Ю. П. Иванилов и многие другие, стали основой фундамента заложения синергетики как самостоятельной науки. Нельзя не отметить огромный вклад известного ученого А. Х. Мирзаджанзаде в применение синергетики к процессам и проблемам нефтегазодобычи [5–6].

В этой работе на примере 10-го горизонта 5-го блока нефтяного месторождения «Нефтяные камни» рассматриваются задачи описания процесса эксплуатации и прогноза в нефтеотдаче.

Проанализируем процесс эксплуатации нефтяного месторождения с целью определения влияния объемов нефти или воды в общей массе добываемой жидкости на процессы вытеснения в нефтяном пласте [7]. Для этого рассмотрим зависимости от времени в процентах доли воды α , где $\alpha = Q_v/Q_{ж}$ в суммарном дебите добываемой на месторождении жидкости (рис. 1).

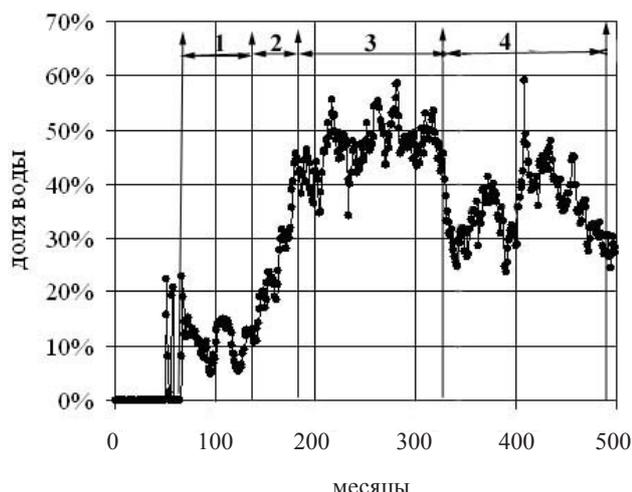


Рис. 1.

На рис. 1 отчетливо видно динамику доли добываемой воды во времени, которая качественно различается на четырех интервалах времени:

- на первом интервале (в течение 70 месяцев, 71–140 месяцы добычи) α совершает два колебания вокруг значения 10 % периодом 35 месяцев и амплитудой 10 %;

- на втором интервале (последующие 40 месяцев, 141–180 месяцы добычи) α интенсивно возрастает с 11 до 46 %;

- на третьем интервале (в течение 140 месяцев, 181–320 месяцы добычи) α совершает колебания вокруг значения 50 %;

- на четвертом интервале (в течение 180 месяцев, 321–500 месяцы добычи) α интенсивно убывает с 48 до 26 %.

Для дальнейшего исследования рассмотрим некоторые понятия. В общей теории систем и в кибернетике термин «энтропия» в отличие от термодинамики означает степень неупорядоченности, беспорядка, разнообразия, хаоса в системе. Обобщенная негэнтропия включает в себя общие принципы обеспечения упорядоченности. Изменение энтропии и негэнтропии происходят одновременно в системах [8].

Для определения энтропии S системы относительно конкретно поставленной цели необходимо измерить вероятность p_i достижения этой цели. Однако для сложных систем, структура, функции и существенные факторы которых изменяются быстро, как правило, статистических данных недостаточно [4]. Проведение статистических экспериментов в уникальных системах вообще невозможно. Для таких случаев придет-

ся провести расчеты по приближенным условным энтропиям и вероятностям, найденным по теоретическим или косвенным методам. Актуальность количественного определения негэнтропии отражения и основанного на ней анализа системных образований во многих областях знания не вызывает сомнений. Вместе с тем констатируется, что традиционная теория информации, изначально ориентированная на решение задач технической связи, не позволяет осуществить такое определение. Покажем это, пытаясь оценить негэнтропию $I_A \llbracket B$ с помощью информационно-энтропийной меры К. Шеннона, занимающей в традиционной теории информации фундаментальное положение:

$$S = -K \sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log p_i, \quad (1)$$

где p_i – вероятность появления какого-либо из N_{gr} возможных событий, причем $\sum_i p_i = 1$; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц измерения. Основание логарифма при этом принято считать произвольным.

Из анализа формулы (1) следует, что информация по Шеннону является максимальной, когда все события имеют одинаковую вероятность ($S = K \log n$), и равна нулю ($S = 0$), когда вероятность какого-либо события равна единице (появление такого события не дает никакой информации) [9].

Рассмотрим последовательно все четыре интервала времени эксплуатации месторождения. На первом интервале число групп N_{gr} данных из $n(A) = 70$ точек равно

$$N_{gr} = 1 + 3,32 \cdot \lg n(A) = 1 + 3,32 \cdot \lg 70 \approx 7.$$

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,153046 - 0,049167 = 0,10388,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,01484.$$

Составим табл. 1, в которой приведем номер группы, диапазон изменения данных α в каждой группе, вычисленных по формуле $\alpha_{\min, i} < \alpha < \alpha_{\min, i} + h$, ($1 \leq i \leq N_{gr}$), количество $n(B_i)$ данных α , попавших в каждый из полученных интервалов, и соответствующие вероятности

$$p_i = \frac{n(B_i)}{n(A)}.$$

Т а б л и ц а 1

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,049167–0,064007	10	0,142857
2	0,064007–0,078847	6	0,085714
3	0,078847–0,093686	6	0,085714
4	0,093686–0,108526	8	0,114286
5	0,108526–0,123366	14	0,2
6	0,123366–0,138206	13	0,185714
7	0,138206–0,153046	13	0,185714

В любой системе A с фиксированным числом элементов $n(A)$ всегда наблюдается равенство:

$$\log_2 n(A) = I_\Sigma + S, \quad I_\Sigma = \sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 n(B_i). \quad (2)$$

Причем если информационно-энтропийное отношение R , равное отношению аддитивной негэнтропии отражения I_Σ к энтропии отражения S больше единицы $R = \frac{I_\Sigma}{S} > 1$, то в структурной организации преобладает порядок, в противном случае, когда $R < 1$ – хаос. При $R = 1$ хаос и порядок уравновешивают друг друга, и структурная организация системных образований является равновесной [10].

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной $S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,732808$.

Согласно (2) имеем

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A) - S}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1. \quad (3)$$

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 70 = 6,129283$, то для рассматриваемого интервала функция R оказывается равной

$$R = \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}} = 1,242851 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 8,366$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную.

На втором интервале (141–180 месяцы добычи) число групп N_{gr} данных из $n(A) = 40$ точек равно

$$N_{gr} = 1 + 3,32 \cdot \lg n(A) = 1 + 3,32 \cdot \lg 40 \approx 6,32.$$

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,443223 - 0,109279 = 0,333944,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,055657.$$

Составим табл. 2, в которой приведем результаты расчетов.

Т а б л и ц а 2

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,109279–0,164936	3	0,075
2	0,164936–0,220594	15	0,375
3	0,220594–0,276251	5	0,125
4	0,276251–0,331908	12	0,3
5	0,331908–0,387566	1	0,025
6	0,387566–0,443223	4	0,1

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной $S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,172242$.

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 40 = 5,321928$, то для рассматриваемого интервала функция R оказывается равной

$$R = \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}} = 1,44997 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 6,324555$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную [11].

Объединим первые два интервала. Получим $n(A) = 110$ точек (71–180 месяцы добычи). Число групп N_{gr} данных из $n(A) = 110$ точек равно

$$N_{gr} = 5 \cdot \lg n(A) = 5 \cdot \lg 110 = 10,20696 \approx 10.$$

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,443223 - 0,049167 = 0,394057,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,0394057.$$

Составим табл. 3, в которую внесем результаты расчетов.

Т а б л и ц а 3

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,049167–0,088572	21	0,190909
2	0,088572–0,127978	30	0,272727
3	0,127978–0,167384	22	0,2
4	0,167384–0,206789	10	0,090909
5	0,206789–0,246195	10	0,090909
6	0,246195–0,285601	3	0,027273
7	0,285601–0,325006	9	0,081818
8	0,325006–0,364412	1	0,009091
9	0,364412–0,403818	2	0,018182
10	0,403818–0,443223	2	0,018182

Таблица 4

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,34118–0,363341	3	0,021429
2	0,363341–0,385502	5	0,035714
3	0,385502–0,407663	5	0,035714
4	0,407663–0,429825	12	0,085714
5	0,429825–0,451986	18	0,128571
6	0,451986–0,474147	32	0,228571
7	0,474147–0,496308	32	0,228571
8	0,496308–0,51847	13	0,092857
9	0,51847–0,540631	11	0,078571
10	0,540631–0,562792	7	0,05
11	0,562792–0,584953	2	0,014286

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной

$$S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,769763.$$

Согласно (3) имеем

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A) - S}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1. \quad (4)$$

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 110 = 6,78136$, то для рассматриваемого интервала функция R оказывается равной

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,448354 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 10,48809$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную (рис. 2).

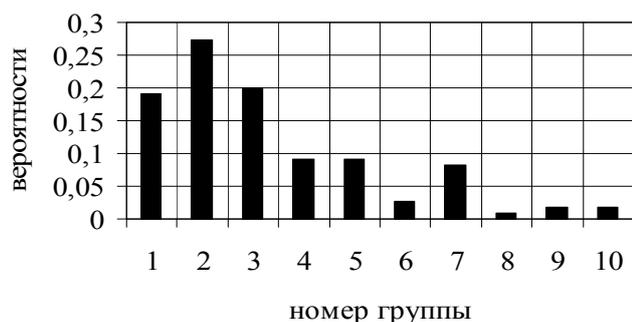


Рис. 2

По гистограмме заметно, что распределение ближе всего к биномиальному распределению Бернулли или к распределению Пуассона $p_k(\lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$, закон распределения Пуассона часто называют законом *редких явлений* [12].

При интерпретации характера обводнения месторождения на этом интервале времени будем этот факт иметь в виду. На третьем интервале (181–320 месяцы добычи) $n(A) = 140 > 100$, поэтому число групп N_{gr} данных из $n(A) = 140$ точек равно $N_{gr} = 5 \cdot \lg n(A) = 10,73064 \approx 11$.

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,584953 - 0,34118 = 0,243774,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,022161.$$

Составим табл. 4, в которую внесем результаты расчетов.

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной $S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 3,030259$.

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 140 = 7,129283$, то функция R оказывается равной

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,352697 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 11,83216$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную.

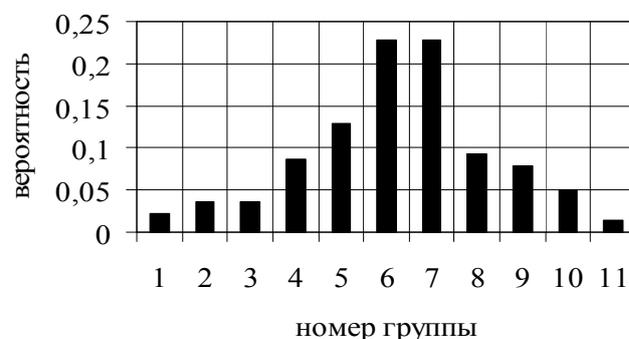


Рис. 3

По гистограмме (рис. 3) заметно, что распределение ближе всего к нормальному. На четвертом интервале (321–500 месяцы добычи) $n(A) = 180 > 100$, поэтому число групп N_{gr} данных из $n(A) = 180$ точек равно

$$N_{gr} = 5 \cdot \lg n(A) = 11,27636 \approx 11.$$

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,59021 - 0,236508 = 0,353702,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,032155.$$

Составим табл. 5, в которую внесем результаты расчетов.

Т а б л и ц а 5

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,236508–0,268662	11	0,061111
2	0,268662–0,300817	22	0,122222
3	0,300817–0,332972	42	0,233333
4	0,332972–0,365127	26	0,144444
5	0,365127–0,397282	31	0,172222
6	0,397282–0,429436	18	0,1
7	0,429436–0,461591	20	0,111111
8	0,461591–0,493746	9	0,05
9	0,493746–0,525901	0	0
10	0,525901–0,558055	0	0
11	0,558055–0,59021	1	0,005556

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной $S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,889316$.

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 180 = 7,491853$, то функция R оказывается равной

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,59295 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 13,41641$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную.

По гистограмме (рис. 4) заметно, что распределение ближе всего к нормальному.

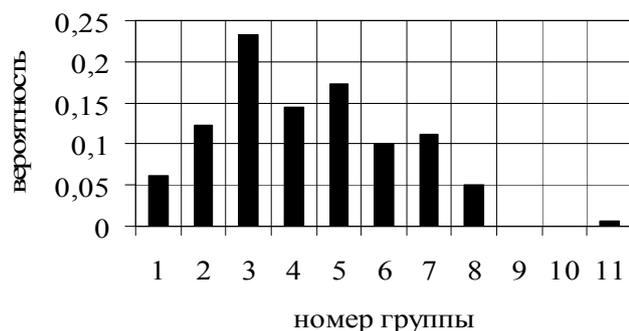


Рис. 4

На всем интервале (70–499 месяцы добычи) $n(A) = 430 > 100$, поэтому число групп N_{gr} данных из $n(A) = 430$ точек равно

$$N_{gr} = 5 \cdot \lg n(A) = 13,16734 \approx 13.$$

Максимальное изменение доли воды и шаг разбиения интервала α оказываются равными

$$\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 0,59021 - 0,049167 = 0,541043,$$

$$h = \frac{\Delta\alpha}{N_{gr}} = 0,041619.$$

Составим табл. 6, в которую внесем результаты расчетов.

Т а б л и ц а 6

№ группы	Интервалы α	$n(B_i)$	p_i
1	0,049167–0,090785	22	0,051163
2	0,090785–0,132404	37	0,086047
3	0,132404–0,174023	17	0,039535
4	0,174023–0,215642	10	0,023256
5	0,215642–0,25726	15	0,034884
6	0,25726–0,298879	33	0,076744
7	0,298879–0,340498	49	0,113953
8	0,340498–0,382116	47	0,109302
9	0,382116–0,423735	50	0,116279
10	0,423735–0,465354	63	0,146512
11	0,465354–0,506973	59	0,137209
12	0,506973–0,548591	22	0,051163
13	0,548591–0,59021	6	0,013953

Энтропия отражения S оказывается для рассматриваемого интервала равной $S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 3,459186$.

Так как $\log_2 n(A) = \log_2 430 = 8,748193$, то функция R оказывается равной

$$R = \frac{I_\Sigma}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,528974 > 1.$$

Для данного интервала времени выполняются условия $N_{gr} < \sqrt{n(A)}$ ($N_{gr} < 20,73644$), $I_\Sigma > S$. Поэтому систему можно квалифицировать как упорядоченную (рис. 5).

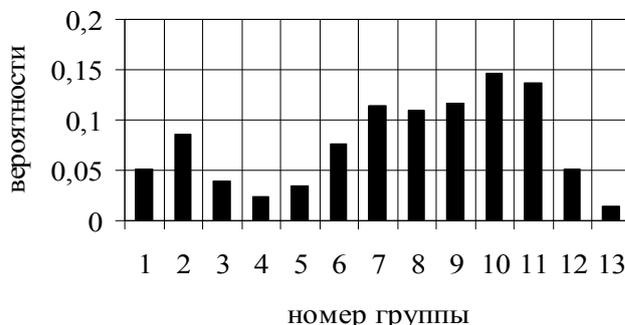


Рис. 5

По анализу суммарной по всему горизонту доли воды в рассматриваемые интервалы времени (порядка 4–10 лет) в данном конкретном месторождении, состоящем из сотен скважин, хаос не наблюда-

ется, так как по мере роста энтропии возрастает и порядок I_{Σ} за счет регулирования процесса разработки (закрытие скважин и т.д.) [13]. Хаос возможен только на небольших временных интервалах из-за прорыва воды. На больших временных интервалах энтропия не возрастает благодаря повышению энергии за счет закачки воды и проводимым мероприятиям. Для обнаружения хаоса при эксплуатации необходимо поэтому использовать в расчетах малые интервалы времени, т.е. небольшое количество промысловых данных [14]. Итак, на *первом интервале* (71–140 месяцы добычи, см. рис. 1):

$$S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,732808,$$

$$R = \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}} = 1,242851.$$

На *втором интервале* (141–180 месяцы добычи, см. рис. 1) энтропия уменьшилась благодаря тому, что резко увеличилась закачка воды (см. рис. 1), дебиты воды и нефти достигли своих максимальных значений:

$$S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,172242,$$

$$R = \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}} = 1,44997 > 1.$$

На *третьем интервале* (181–320 месяцы добычи) энтропия увеличилась из-за уменьшения закачки воды, дебиты воды и нефти резко снизились (рис. 1):

$$S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 3,030259,$$

$$R = \frac{I_{\Sigma}}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,352697 > 1.$$

На *четвертом интервале* (321–500 месяцы добычи) энтропия вновь уменьшилась, благодаря тому что α резко снизилась с 48 до 26 %, оставаясь далее стабильной, при неизменных значениях закачки воды, дебитов воды и нефти:

$$S = -\sum_{i=1}^{N_{gr}} p_i \log_2 p_i = 2,889316,$$

$$R = \frac{I_{\Sigma}}{S} = \frac{\log_2 n(A)}{S} - 1 = 1,59295 > 1.$$

Рассматриваемое нефтяное месторождение есть открытая система, поддерживаемая в нужном состоянии при помощи непрерывного притока извне энергии, вещества или информации. Ключевую роль в открытых системах, помимо закономерных и необходимых факторов, играют случайные

флуктуационные процессы. При сильных флуктуациях существовавшая организация разрушается. Мы детально исследовали изменение энтропии в процессе разработки нефтяного месторождения, т.е. исследовали величину, обратную энергии [15].

Разработанная оценка позволяет определить основные данные, которые должны быть учтены для анализа и прогнозирования процесса нефтедобычи с применением активно развивающейся в настоящее время междисциплинарной науки – теории системного анализа.

Автором ранее рассматривались проблемы хаоса в нефтегазодобыче в работах [16; 17], и важный вывод для дальнейшего продолжения исследований в этой области, необходимый нам: *для увеличения порядка необходима энергия*. Энергия же эта, как мы уже поняли, появляется тогда, когда происходит течение от одного объекта к другому, вследствие чего уменьшаются различия между этими объектами, т.е. уменьшается и степень упорядоченности. Это означает, что процессы на месторождении идут одновременно в обе стороны.

В результате анализа представлена гибкая система информационного моделирования и методические приемы, базирующиеся на динамическом подходе к анализу и интерпретации геолого-промысловой информации, которая позволяет обеспечить надежное управление работой реальных сложных и стохастических систем. Обеспечивается оперативное управление даже в таких условиях, когда система изменяется быстро и решение приходится принимать немедленно, не имея достаточной информации.

1. В работе на примере анализа добычи нефти на месторождении «Нефтяные Камни» делается вывод о том, что синтез новых аналитических и вычислительных подходов, берущих свое начало в различных областях человеческих знаний для анализа и прогнозирования процесса нефтедобычи, стал насущной практической необходимостью. Этот синтез предлагается осуществлять в рамках активно развивающейся в настоящее время междисциплинарной науки – теории системного анализа (хаос).

2. Разработан новый подход к управлению и контролю за разработкой (энтропийный анализ) месторождения на основе принципов самоорганизации, рассмотрены методы, методические приемы и положения, базирующиеся на динамическом подходе к анализу и интерпретации геолого-промысловой информации, получаемой в процессе освоения и разработки нефтегазовых месторождений.

Отличительной особенностью предлагаемого подхода является возможность совершенствования

системы разработки на основе выявления характерных особенностей развития пластовых систем в процессе их разработки.

3. Данное исследование позволяет развить новый подход к анализу процессов, происходящих при эксплуатации нефтяных месторождений, с позиции изучения динамической системы с «памятью».

Сравнение промысловых данных и теоретических расчетов и прогноза на последующие месяцы показало, что теоретические расчеты удовлетворительно согласуются с промысловыми данными.

4. Предложена процедура, позволяющая путем аппроксимации участка кривой, описывающей зависимость накопленного дебита жидкости от времени, определить коэффициенты логистической модели, что позволяет непосредственно вычислить управляющий параметр. Определение этого параметра позволяет диагностировать сценарий, а также предсказать наступление в системе хаотических явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нагиев Ф. Б.* О конвективной неустойчивости нефтяных месторождений / Ф. Б. Нагиев // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 5–11.
2. *Владимиров В. А.* Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / В. А. Владимиров [и др.]. – М.: Наука, 2000. – 432 с.
3. *Вяткин В. Б.* Синергетическая теория информации: общая характеристика и примеры использования / В. Б. Вяткин // Наука и оборонный комплекс – основные ресурсы российской модернизации: материалы Межрегиональной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002.
4. *Кобляков А. А.* Синергетика и творчество: универсальная модель устранения противоречий как основа новой стратегии исследований / А. А. Кобляков // Синергетическая парадигма. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – С. 305–324.
5. *Мирзаджанзаде А. Х.* Парадоксы нефтяной физики / А. Х. Мирзаджанзаде, В. А. Байков. – М.; Ижевск:

Институт компьютерных исследований; НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2004. – 224 с.

6. *Мирзаджанзаде А. Х.* Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи / А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасаев, Р. Н. Бахтизин // Нелинейность, неравновесность, неоднородность. – Уфа: Гилем, 1999. – 464 с.

7. *Курдюмов С. П.* Нелинейная динамика и проблемы прогноза / С. П. Курдюмов [и др.]. // Безопасность Евразии. – 2001. – № 2. – С. 481–525.

8. *Ларичев О. И.* Теория и методы принятия решения / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

9. *Кенгерли Т. С.* Управление процессами самоорганизации пластовой системы при эксплуатации нефтяных месторождений / Т. С. Кенгерли // Вестник БГУ. – 2008. – № 2. – С. 95–101.

10. *Левашов В. К.* Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегия / В. К. Левашов. – М.: Academia, 2001. – 176 с.

11. Системный анализ в управлении / под ред. А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

12. *Руденко А. П.* Самоорганизация и синергетика / А. П. Руденко // Синергетика. Труды семинара. – М.: МГУ, 2000. – Т. 3. – С. 61–99.

13. *Пригожин И.* Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 240 с.

14. *Спицнадель В. Н.* Основы системного анализа / В. Н. Спицнадель. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000.

15. *Стёпин В. С.* Саморазвивающиеся системы и перспективы техногенной цивилизации / В. С. Стёпин // Синергетическая парадигма. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – С. 12–27.

16. *Эфендиева А. Т.* Синергетическая модель микро-экологической системы / А. Т. Эфендиева // Новости науки и педагогики. – Баку: Университет Одлар Юрду. – 2005. – № 15. – С. 57–65.

17. *Эфендиева А. Т.* Нефтяная стратегия Азербайджана и методы анализа эффективности инвестиционных проектов / А. Т. Эфендиева, С. Г. Гафарова // Европейский журнал социальных наук. – М., 2014. – Т. I, № 7(46). – С. 475–481.

Бакинский государственный университет
Эфендиева А. Т., кандидат экономических наук,
доцент кафедры оптимизации и управления
E-mail: aytek@mail.ru
Тел.: (+99451) 851-10-94

Baku State University
Efendiyeva A. T., Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Optimization and Control
Department
E-mail: aytek@mail.ru
Tel.: (+99451) 851-10-94