



УДК 622.276.1

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА



MONITORING AND DIAGNOSIS OF OILFIELD DEVELOPMENT TRANSIENT PROCESSES BASED ON THE ENTROPY APPROACH

Гусейнова Динара Фикрет гызы

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR
dinara-huseynova@mail.ru

Аннотация. Традиционный детерминированный подход к описанию процессов разработки нефтегазовых месторождений является необходимым, но не достаточным и существенно ограничивающим возможности управления.

Прогнозирование процессов нефтегазодобычи наряду с детерминированными моделями требует привлечения и динамического подхода к анализу технологических показателей разработки, при котором нефтяная залежь рассматривается как единая сложная пластовая система, с учётом внешних воздействий и изменения её состояния.

Анализ геолого-промысловой информации с применением мер и характеристик, свойственных динамическим системам, позволяет оценить границы переходных процессов для мониторинга и регулирования процесса разработки нефтегазового месторождения.

На основе энтропийного подхода была дана оценка извлекаемых объемов нефти и проведен анализ характерных особенностей динамики основных технологических показателей разработки месторождения. Особенностью данного подхода является возможность выявления характерных особенностей развития пластовых систем и совершенствования системы разработки на основе учета переходных процессов.

Ключевые слова: нефтяное месторождение, разработка, энтропия, извлекаемые объемы, технологические показатели разработки.

Guseynova Dinara Fikret

PhD (technical science),
leading researcher,
Oil and Gas Research and Design Institute,
SOCAR
dinara-huseynova@mail.ru

Annotation. The traditional deterministic approach to the description of oil and gas field development processes is necessary, but not sufficient and significantly restricts management capabilities.

Prediction of oil and gas production processes along with deterministic models requires a dynamic approach to the analysis of main technological parameters, in which the oil reservoir is considered as a single complex reservoir system, taking into account external influences and changes in its state.

Analysis of geological and field data using measures and characteristics inherent in dynamic systems allows us to evaluate the boundaries of transient processes for monitoring and regulating the development of oil and gas fields.

Based on the entropy approach, the recoverable oil volumes were estimated and the characteristic features of the dynamics of the main technological parameters of the oilfield development were analyzed. A peculiarity of this approach is the ability to identify the characteristic features of the development of reservoir and improve the oil production system based on transient processes analysis.

Keywords: oilfield, development, entropy, recoverable volumes, technological data.

Прогнозирование основных технологических показателей разработки нефтяных месторождений является одной из важных задач нефтедобычи, актуальность которой заключается в раннем диагностировании изменения динамических особенностей процесса нефтедобычи для принятия решений по изменению стратегии разработки [1, 2].

При анализе и моделировании процесса разработки нефтяных месторождений используют детерминированные модели, по которым расчеты фильтрационных течений в реальном пласте проводятся на основе численного решения общих уравнений движения жидкостей и газов в пористой среде.

При этом имеются некоторые ограничения – невозможность точного прогнозирования динамики отбора нефти и ввода скважин, отсутствие достоверной информации о геологическом строении пласта, неоднородности пористой среды, погрешность промысловых данных и т.д. Поэтому управление процессом разработки нефтяных месторождений на основе детерминированных моделей затруднено и зачастую приводит к неадекватным решениям [3, 0].

Принятие решений по выбору тактики и стратегии разработки нефтяных месторождений на основе моделирования и прогнозирования процессов нефтедобычи наряду с детерминированными моделями требует привлечения и динамического подхода к анализу технологических показателей разработки. При этом нефтяная залежь рассматривается как единая сложная иерархически устроенная пластовая система, с учётом внешних воздействий и изменения её состояния.



Процесс анализа нефтедобычи существенно усложняется также многообразием динамических свойств системы «отбор-закачка», которое способствует возникновению разнообразных по форме и длительности переходных процессов.

В связи с этим, необходимо привлечение значительного объема достоверной информации, характеризующей динамику показателей объекта исследования, что является предпосылкой для надежной идентификации динамических характеристик пластовой системы. Однако при решении многих задач по планированию и выбору стратегии разработки нефтяных месторождений с привлечением математических и статистических методов подобная обширная информация не доступна. При этом необходимость анализа точности математического и статистического моделирования изучаемого процесса и допустимость принимаемых при анализе упрощений остается неизменной, что существенно осложняет проблему объективной оценки самой системы.

При анализе промысловой информации необходима оценка границ переходных процессов для ведения последующих прогнозных процедур.

Для достоверного определения информационного массива, используемого в качестве исходной информации при моделировании нефтегазодобычи, предлагается применение динамического анализа основных технологических показателей (энтропия, коэффициент Джини, корреляционный и фрактальный анализ и др.) и использованием концепции производства энтропии [5, 6].

Для диагностирования переходных процессов был применен энтропийный подход на основе анализа динамики производства энтропии и приращения производства энтропии [5, 7].

В теории передачи информации (теории связи, communication theory) и в математической статистике энтропия рассматривается в качестве меры неопределенности (энтропия Шеннона):

$$S = -\sum_{i=1}^k p_i \log_a(p_i), \tag{1}$$

где k – число классов разбиения вариации параметра.

Алгоритм расчета значения энтропии [8, 9] заключается в построении распределения с числом классов разбиения вариации k . Затем определяются вероятности p_i ($i = 1, 2, \dots, k$) и значение энтропии по формуле (1).

Организационная обособленность и иерархичность присущи многим самоорганизующимся системам. Взаимосвязь или когерентность между отдельными частями самоорганизующейся системы определяет ее структурную упорядоченность, но необходимо учитывать, что наличие некоторой упорядоченности еще не означает организованность. В данном случае организованность системы можно рассматривать как свойство упорядоченности или структурированности, определяемое особой функцией [10]. В самоорганизующихся системах эта функция поддерживает специфическую структуру, несмотря на возмущения.

Любая самоорганизующаяся система адаптирована к среде, и специфическая стабильная конфигурация достигается соответствием специфическим внешним условиям, что важно учитывать при анализе процессов разработки нефтегазовых месторождений. Т.е. работу отдельной скважины, как часть единой системы, нельзя рассматривать без учета ее адаптации к процессу разработки всего эксплуатационного объекта [0].

Энтропийный анализ был применен при анализе информационного массива динамики основных технологических показателей разработки месторождения Forties (Северное море) (рис. 1, 2).

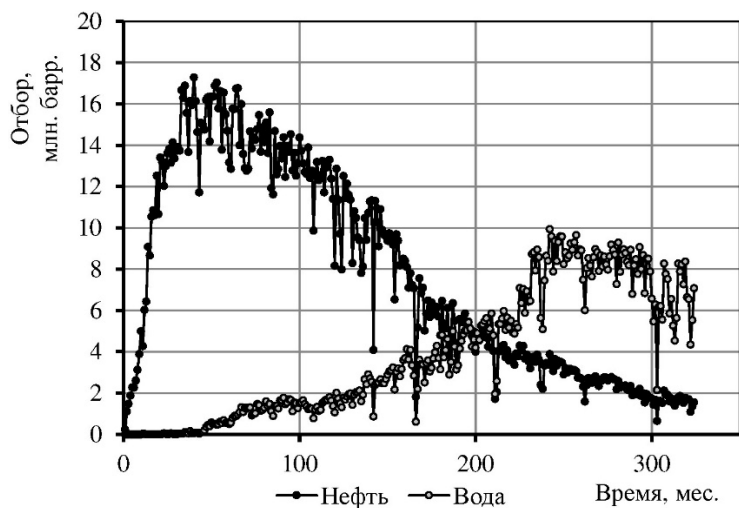


Рисунок 1 – Показатели разработки месторождения Forties

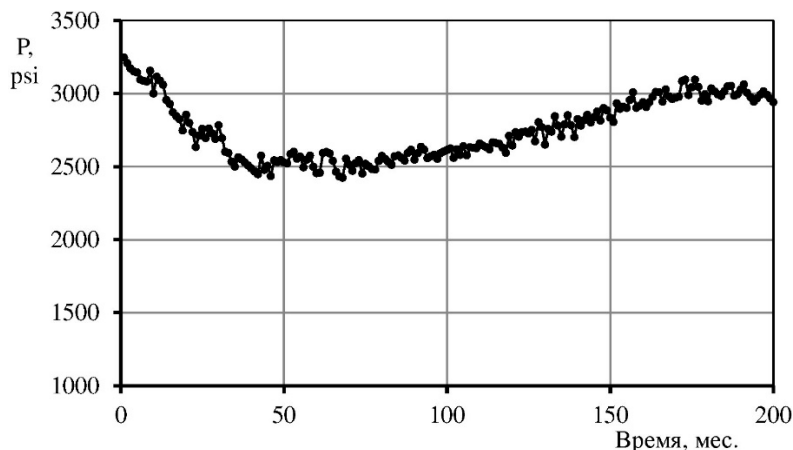


Рисунок 2 – Динамика пластового давления месторождения Forties

В отличие от известных подходов к применению кривых падения (decline curves) при оценке извлекаемых объемов углеводородов в данном случае используется информационный массив данных, который характеризуется относительной устойчивостью фронта вытеснения и упорядоченным состоянием пластовой системы.

Интервал обучения был определен на основе анализа динамики значений энтропии, производства энтропии и приращений производства энтропии (рис. 3–5).

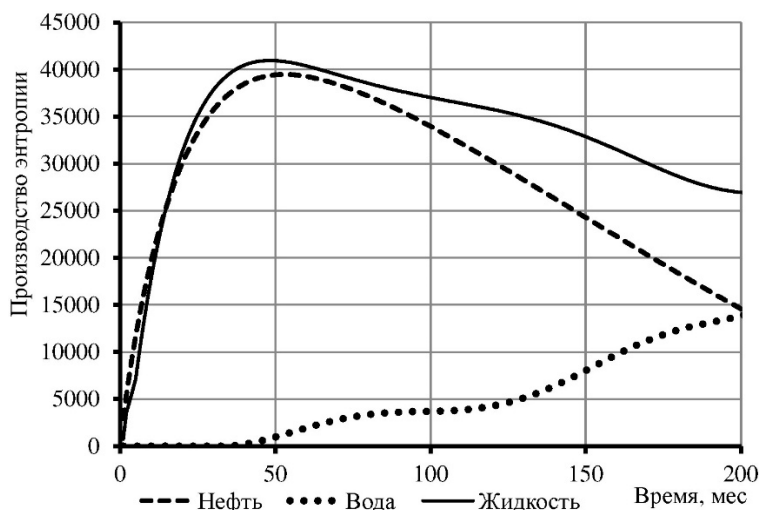


Рисунок 3 – Динамика производства энтропии по месторождению Forties

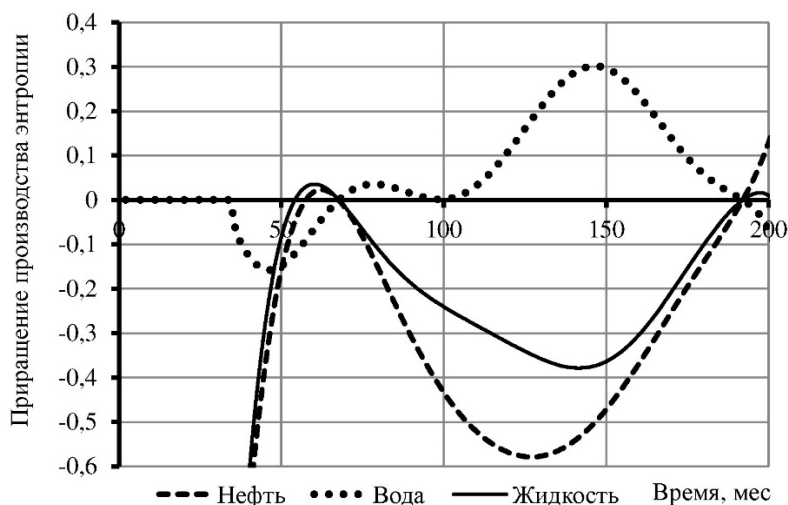


Рисунок 4 – Динамика приращений производства энтропии по месторождению Forties

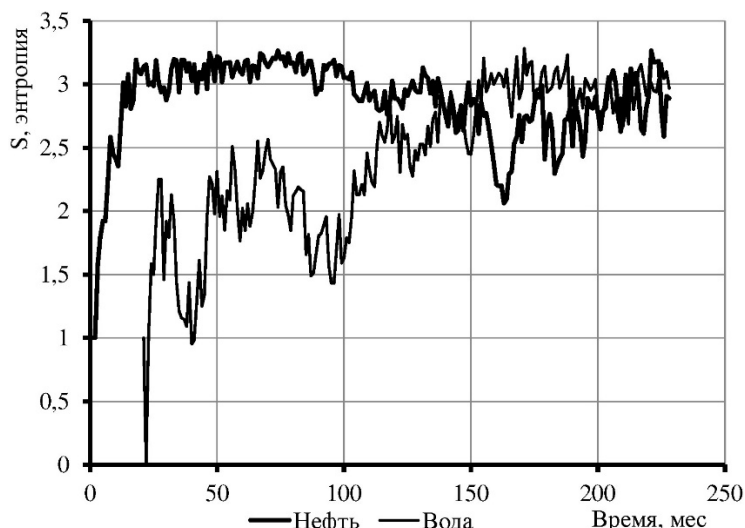


Рисунок 5 – Динамика значений энтропии по месторождению Forties

Следует отметить, что одним из основных требований к применению кривых падения добычи для оценки извлекаемых запасов углеводородов является вовлечение всей залежи в разработку и рассмотрение ее в единой системе дренажа.

Степень упорядоченности пластовой системы можно оценить по изменению энтропии, коэффициента Джини, фрактальным характеристикам и др. На рисунках 6 и 7 представлены относительные значения энтропии и коэффициента Джини по отборам нефти и воды по скважинам месторождения Forties.

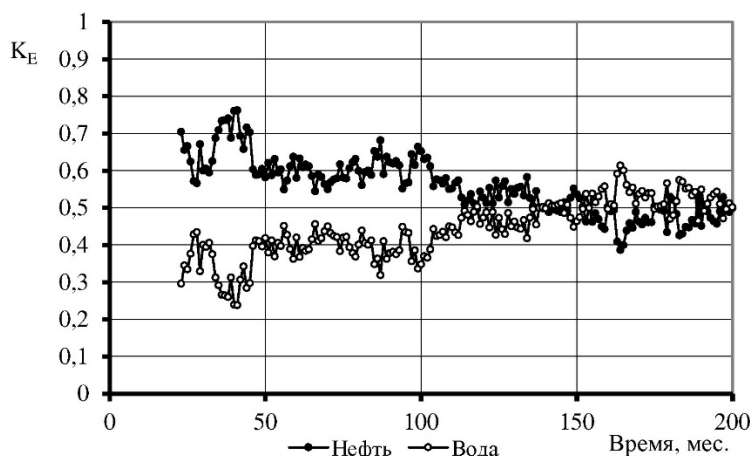


Рисунок 6 – Динамика относительных значений энтропии по месторождению Forties

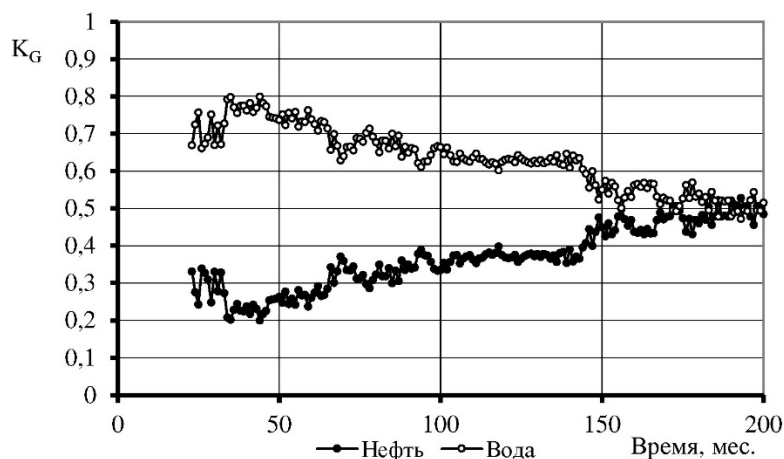


Рисунок 7 – Динамика относительных значений коэффициента Джини по месторождению Forties



Применение энтропийного подхода позволяет определять границы времени переходных процессов и характерные особенности динамики процесса разработки, дать оценку эффективности процесса разработки, а также принимать решения по проведению мероприятий по регулированию процесса разработки.

Таким образом, сравнительный анализ темпа отбора нефти, динамики обводненности, коэффициента Джини и энтропии позволяет более достоверно определить границы переходных процессов для ведения последующих прогнозных операций. Данный подход позволил выявить границы информационного массива, характеризуемого относительно постоянным значением обводненности продукции (порядка 10 %) и темпа отбора нефти.

Анализ полученной зависимости прогнозного отбора нефти по модели Баренблатта-Капицы [Ошибка! Источник ссылки не найден., 0] позволил оценить извлекаемые объемы нефти по месторождению Forties в 4,2 млрд барр. В то же время неучет переходных процессов и состояния пластовой системы приводит к значительным погрешностям в оценке извлекаемых объемов углеводородов. Так, например, при использовании информационного массива конечного интервала отбора нефти определено значение прогнозной оценки извлекаемого объема нефти в 2,7 млрд барр.

Таким образом, предложенный подход позволяет получать достоверные прогнозные значения извлекаемых объемов углеводородов с учетом переходных процессов пластовой системы и принимать обоснованные решения по управлению и выбору стратегии разработки нефтегазовых месторождений.

Литература

1. Методическое руководство по определению начальных извлекаемых запасов нефти в залежах, находящихся в поздней стадии разработки (при водонапорном режиме) : РД 39-9-1069-84. – М. : ВНИИнефть, 1994. – 87 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче. – М. : Наука, 1997. – 255 с.
3. Хасанов М., Карачурин Н., Тяжев Е. Оценка извлекаемых запасов нефти на основе феноменологических моделей // Вестник Инжинирингового Центра ЮКОС. – 2001. – № 2. – С. 3–7.
4. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность. – Уфа : Гилем, 1999. – 464 с.
5. Хазен А.М. О возможном и невозможном в науке или где границы моделирования интеллекта. – М. : Наука, 1988. – 384 с.
6. Santos J.P., Landi G.T., Paternostro M. Wigner Entropy Production Rate // Phys. Rev. Lett. – June 2017. – Vol. 118. – Issue 220601.
7. Heylighen F. The science of self-organization and adaptivity // The Encyclopedia of Life Support Systems. – 2001. – № 5 (3). – P. 253–280.
8. Atkins P. The laws of thermodynamics: A very short introduction. Oxford University Press. – New York, 2010.
9. Theodoratos N. Entropy. Uncertainty in hydrology and nature. PhD dissertation. – NTU, Athens, Greece, 2012.
10. Heylighen F. Stigmergy as a universal coordination mechanism I: Definition and components // Cognitive Systems Research. – 2016. – № 38. – P. 4–13.

References

1. Methodological Guidance for Determining Initial Retrievable Oil Reserves in Late Stage of Development (under water pressure regime) : RD 39-9-1069-84. – М. : VNIIneft, 1994. – 87 p.
2. Mirzajanzade A.Kh., Shahverdiev A.Kh. Dynamic processes in oil and gas production. – М. : Nauka, 1997. – 255 p.
3. Khasanov M., Karachurin N., Tyazhev E. Estimation of recoverable oil reserves on the basis of phenomenological models // Vestnik of YUKOS Engineering Center. – 2001. – № 2. – P. 3–7.
4. Mirzajanzade A.H., Hasanov M.M., Bakhtzin R.N. Etudes about modeling complex systems of oil production. Nonlinearity, Inequilibrium, Homogeneity. – Ufa : Gilem, 1999. – 464 p.
5. Khazen A.M. About possible and impossible in a science or where borders of modelling of intellect. – М. : Nauka, 1988. – 384 p.
6. Santos J.P., Landi G.T., Paternostro M. Wigner Entropy Production Rate // Phys. Rev. Lett. – June 2017. – Vol. 118. – Issue 220601.
7. Heylighen F. The science of self-organization and adaptivity // The Encyclopedia of Life Support Systems. – 2001. – № 5 (3). – P. 253–280.
8. Atkins P. The laws of thermodynamics: A very short introduction. Oxford University Press. – New York, 2010.
9. Theodoratos N. Entropy. Uncertainty in hydrology and nature. PhD dissertation. – NTU, Athens, Greece, 2012.
10. Heylighen F. Stigmergy as a universal coordination mechanism I: Definition and components // Cognitive Systems Research. – 2016. – № 38. – P. 4–13.