

UOT 517.958:5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРЕГИРОВАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ НЕФТЯНОГО ИЛИ ГАЗОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ «СИСТЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ»**

Бахрам АЗИЗОВ, Нигяр ГАФАРОВА

Университет Азербайджан

Баку / АЗЕРБАЙДЖАН

journal@wu.edu.az

РЕЗЮМЕ

Рассматривается агрегированная динамическая модель нефтяного или газового месторождения. Обосновывается соответствие технологическим процессам. Предлагается система формул, позволяющая рассчитать динамику основных технологических показателей нефтяного или газового месторождений.

Ключевые слова: Система, модель, технология, нефть, дебит нефти, нефтеотдача, нефтяная скважина, нефтедобыча, бурение, месторождение.

**THE USE OF AGGREGATION, DYNAMIC MODEL OF OIL AND GAS
OIL FIELD WITH THE "SYSTEM PROJECTION OF PERSPECTIVE
PLANNING AND WORKING THE HYDROGEN RAW MATERIALS"**

SUMMARY

In this project is under review the aggregation, dynamic model of oil and gas oil field. Here bases conformity of technological processes, which gives the several formula examples giving the opportunity to calculate the dynamic view of the base index of the oil and gas fields.

Keywords; System, model, tehnology,oil, oil flow rate,oil recovery, oil well, oil extraction, drilling, field.

NEFT YAXUD QAZ YATAĞININ AQREQAL DİNAMİK MODELLƏRİNİN "HİDROGEN XAM MAL İSTEHSALINDA PERSPEKTİV PLANLAŞDIRMA SİSTEMİNİN" LAHİYƏLƏŞDİRMƏSİNDƏ İSTİFADƏSİ

XÜLASƏ

Neft yaxud qaz yatağının aqreqal dinamik modelinə baxılır. Texnoloji proseslərin uyğunluğu təsdiqlənir. Neft yaxud qaz yatağının əsas texnoloji göstəricələrin dinamikasını hesablamağa imkan verən düsturlar sistemi təklif edilir.

Açar sözlər: Sistem, model, texnologiya, neft, neft debiti, neftverimi, neft buruğu, neft hasilatı, qazma, yataq.

Актуальность: В настоящее время нефти - газовая промышленность является одной из важнейших и наиболее быстро развивающихся отраслей, стран с большим топливо - энергетическим потенциалом. Энергетическая программа - Азербайджанской республики, обладающая огромными перспективными запасами природных ископаемых - нефти и газа, предусматривает дальнейшее форсированное развитие нефти - газовой промышленности за счёт ввода в разработку большое количество новых месторождений, расположенных в отдалённых и труднодоступных районах - в первую очередь на шельфовых и морских месторождениях Каспийского бассейна и освоения нефтяных и газоконденсатных месторождений Прикаспийской низменности. При этом расходы на разработку, обустройство месторождений, строительство трубопроводов и другие виды работ, связанные с добычей нефти и газа в этих районах, значительно возрастает по сравнению со старыми наземными традиционным способом освоенными нефти - газодобывающими районами.

В таких условиях, становятся особенно актуальными совершенствование методов планирования добычи полезных ископаемых, поиска оптимальных вариантов перспективного плана, определение очередности и срока ввода в разработку отдельных месторождений темпов их эксплуатации, объёма добычи, параметров и сроков строительства сети магистральных и внутрирайонных трубопроводов и прочих экономических и технологических показателей. Очевидно, что для эффективного и своевременного решения этих задач должны широко использоваться современные экономико - математические методы и ЭВМ.

Экономико - математические модели и методы в последнее время довольно широко используются для разработки и анализа перспективных планов добычи углеводородов и других полезных ископаемых.

Одни из предложенных моделей, учитывают большое количество

разнообразных факторов и предназначены для непосредственной разработки вариантов плана развития нефти-газодобывающего района или отрасли, а также отдельных показателей таких планов. Другие модели имеют более простую форму и используются для решения теоретических вопросов и качественного анализа задач планирования.

Следуя [1 стр.82-90], [2 стр.80-82], опишем построение одной из таких моделей месторождения, которая станет основой при построении модифицированных вариантов моделей месторождений учитывающих технико-экономические показатели и характеристики месторождений углеводородного сырья.

В описываемой модели мы будем использовать следующие обозначения;

t – время, везде ниже предполагается величиной непрерывной;

$n(t)$ – число скважин, вводимых в эксплуатацию в единицу времени (шт/год)

$N(t)$ – общее число скважин на месторождении к моменту времени

t , (шт.) (следует отметить, что n и N - величины целочисленные, но для простоты исследования будем допускать для них любые действительные значения);

$q(t)$ – текущий дебит нефтяной или газовой скважины в момент времени (для простоты записи модели будем считать, что дебит измеряется в тоннах в год);

$Q(t)$ – текущая добыча ископаемого продукта на всём месторождении (т/год);

V – текущие извлекаемые запасы ископаемого продукта (т);

ξ –коэффициент падения дебита.

Значения всех величин в момент ($t=0$) помечены нуликом ⁰.

Модель основывается на следующих принципах :

а) скважины пробуриваются и обустриваются мгновенно ;

б) скорость падения дебита линейно зависит от величины дебита при условии, что дальнейшее разбуривание месторождения прекратится;

$$\dot{q} = -\xi q ; \tag{1}$$

в) оставшийся в месторождении запас извлекаемого продукта может быть добыт с помощью любого положительного числа скважин;

г) дебиты всех работающих скважин на месторождении одинаковы.

Эти предположения обосновываются и подробно обсуждаются в работах [2.стр.80-82,3.стр.120-125].

Из (1) получаем закон изменения дебита во времени для $\tau > t$ при условии, что в момент t дальнейшее бурение скважин прекратится:

$$q(\tau) = q(t) \exp [-\xi(\tau - t)]. \tag{2}$$

Учитывая «в» и «г», можем записать:

$$-0 = V = -Nq. \tag{3}$$

Из (2) и (3) вытекает

$$\frac{V(t)}{N(r)q(r)dr} = \frac{N(t)q(t)}{\varepsilon(t)},$$

откуда

$$\xi = \frac{Nq}{V}. \tag{4}$$

Подставляя (4) в (1), получаем:

$$\dot{q} = -\frac{N}{V} q^2. \tag{5}$$

Сравнивая формулы (3) и (5), можно заметить, что

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{V}{V},$$

откуда следует равенство:

$$\frac{q}{V} = \frac{q^0}{V^0} = const.$$

С учётом последнего соотношения выражение (4) можно преобразовать к виду:

$$\xi = \frac{q}{V^0} Nq.$$

Окончательный вид для дебита принимает следующий вид:

$$\dot{q} = \frac{q}{V^0} Nq. \tag{6}$$

Уравнения для изменения числа скважин очевидно:

$$N = n \tag{7}$$

Таким образом, модель месторождения полностью описывается системой двух дифференциальных уравнений (6), (7)

$$A) \quad \begin{cases} \dot{q} = -\frac{q}{V^0} Nq \\ N = n. \end{cases}$$

Такая модель может использоваться при расчёте долгосрочного плана добычи по небольшим нефтяным или газовым месторождениям.

На рис. 1 показано характерное поведение переменных модели А) при постоянном темпе бурения \bar{n} .

В аппроксимирующих моделях группы газовых месторождений, входящих в состав внешнего математического обеспечения СПДГ, используется близкая к ней модель месторождения

$$\begin{aligned}
 & \text{А) } \begin{cases} V = -Nq, \\ 0 \text{ при } V \geq \bar{V}, \end{cases} \\
 \text{Б) } & \begin{cases} \dot{q} = \begin{cases} 0 \\ -\frac{q}{V^0} Nq \text{ при } V < \bar{V}, \end{cases} \\ N = n. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Эта модель совпадает с вышерассмотренной в конечной стадии освоения месторождения, когда оставшийся запас газа в нём станет меньше некоторой фиксированной части извлекаемого запаса $V < \bar{V}$ (обычно $\bar{V} = (0,3 \div 0,4 V^0)$). В начальной же стадии эксплуатации месторождения в этой модели предполагается, что дебит скважин постоянен и равен q^0 . График поведения переменных данной модели при постоянном темпе бурения \bar{n} в начальной стадии эксплуатации месторождения показан на рис. 2.

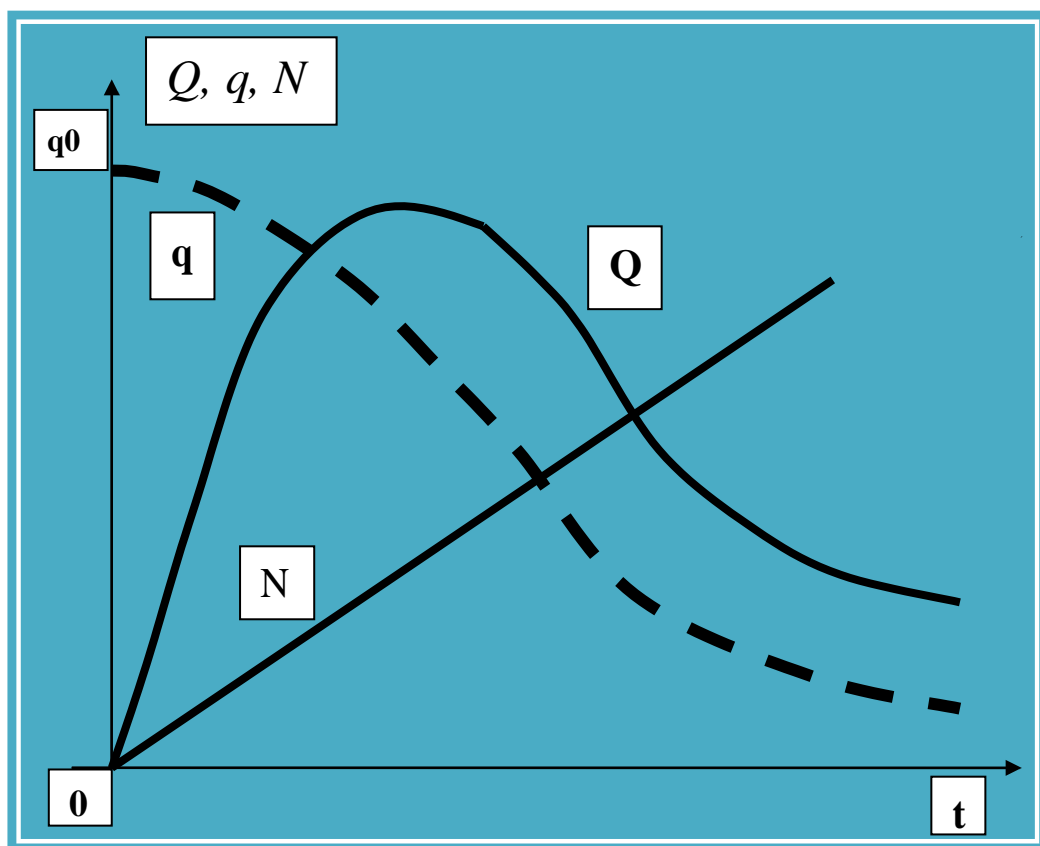


Рис.1. Характерное поведение переменных модели А при постоянном темпе бурения \bar{n}

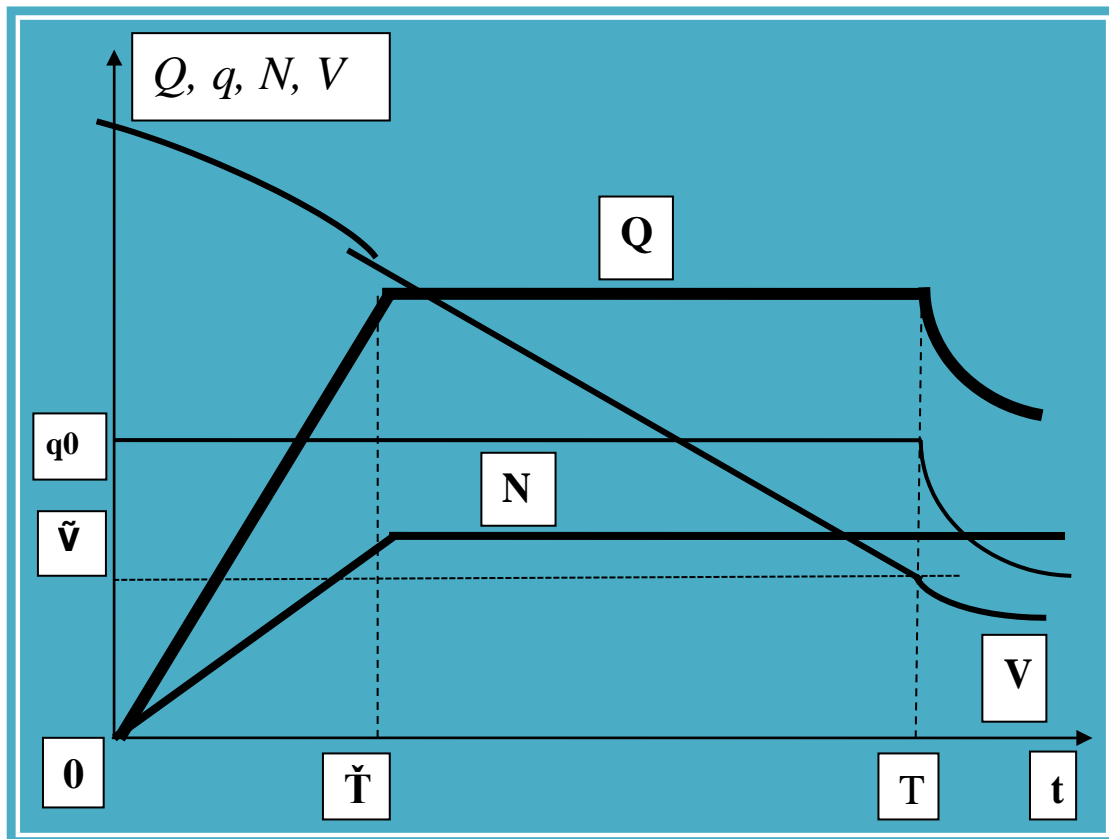


Рис.2. Характерное поведение переменных модели **Б** при постоянном темпе бурения на интервале $0 \leq t \leq T$

Следует отметить, что если на разрабатываемом нефтяном месторождении изменение дебита нефти во времени математически описывается показательной функцией, то между текущим дебитом нефти и текущими извлекаемыми запасами устанавливается прямая пропорциональность и отношение текущего дебита к текущим извлекаемым запасам является постоянной величиной, равной отношению начального дебита к начальным извлекаемым запасам. Именно, такая связь между текущим дебитом и извлекаемыми запасами нефти наблюдаются при разработки нефтяных пластов на замкнуто-упругом режиме. Такая же или близкая к такой связи между дебитом и запасами нефти была замечена по результатам разработки многих старых нефтяных месторождений, а также у нефтяных месторождений с внутриконтурным заводнением.

Приведём некоторые выкладки по обоснованию формулы текущего дебита нефти при фиксированных условиях разработки.

Рассмотрим нефтяную залежь, у которой дебит нефти изменяется по формуле (1). Преобразуем её к виду:

$$q = q_0 e^{-\epsilon t} \tag{1.1}$$

Суммарный отбор нефти к моменту времени определяется, следующим образом:

$$V_d = \int_0^t q(t) dt = \int_0^t q_0 e^{-\epsilon t} dt = \frac{q_0}{\epsilon} (1 - e^{-\epsilon t}). \tag{1.2}$$

При условии неограниченного увеличения времени эксплуатации нефтяной залежи $\infty \dots$ суммарный отбор нефти стремится к величине извлекаемых запасов .

$$t = \infty \dots e^{-\epsilon t} = 0 \dots V_d = \frac{q_0}{\epsilon} = V_0. \tag{1.3}$$

Таким образом, становится понятным физический смысл постоянного коэффициента $\epsilon = \frac{q_0}{V_0}$. Это отношение начального (максимального) дебита нефтяного месторождения q_0 (действительно при $t = 0 \dots$ имеем $e^{-\epsilon t} = 1 \dots$ и $q = q_0$ а при $t \dots q < q_0$) к начальным извлекаемым запасам нефти V_0 или интенсивность отбора извлекаемых запасов нефти. Текущие извлекаемые запасы нефтяного месторождения определяются следующим образом:

$$V = V_0 - V_d = V_0 e^{-\frac{q_0}{V_0} t} = V_0 e^{-\epsilon t} \tag{1.4}$$

и соответственно доля - η не отобранных ещё начальных извлекаемых запасов нефти составит:

$$y = \frac{V(t)}{V_0} = \frac{V_0 - V_d}{V_0} = e^{-\epsilon t} = e^{-\frac{q_0}{V_0} t}. \tag{1.5}$$

С учётом этого можно получить другую формулу текущего дебита нефтяного месторождения

$$q = q_0 e^{-\epsilon t} = q_0 y = q_0 \frac{V}{V_0} = q_0 \frac{V_0 - V_d}{V_0} = \frac{q_0}{V_0} (V_0 - V_d). \tag{1.6}$$

На основании формулы (1.6) можно сделать следующее заключение, что между текущим дебитом – q и текущим суммарным отбором - Q_a нефти существует линейная зависимость и это является основанием для

установления прямой пропорциональности между текущими и начальными дебитами а также, между текущими и начальными извлекаемыми запасами нефти месторождения:

$$\frac{q}{q_0} = \frac{V}{V_0} = \frac{V_0 - V_d}{V_0}; \tag{1.7}$$

$$\frac{q}{V} = \frac{q_0}{V_0 - V_d} = \frac{q_0}{V_0}. \tag{1.8}$$

Для полноты и обоснованности наших рассуждений целесообразно совершить обратный переход от последней формулы (1.8) к исходной формуле (1.1):

$$q = \frac{dV_d}{dt} = - \frac{d(V_0 - V_d)}{dt} = - \frac{dV}{dt};$$

$$\frac{q}{V} = \frac{-\frac{dV}{dt}}{V} = - \frac{q_0}{V_0}, \quad \frac{dV}{V} = - \frac{q_0}{V_0} dt;$$

$$\int_{V_0}^V \frac{dV}{V} = - \int_0^t \frac{q_0}{V_0} dt; \quad \ln \frac{V}{V_0} = \ln \frac{V_0 - V_d}{V_0} = - \frac{q_0}{V_0} t, \tag{1.9}$$

откуда получаем выражение (1.4)

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{q_0}{V_0} t},$$

И в итоге получим исходную формулу текущего дебита нефтяной залежи

$$q = q_0 \frac{V}{V_0} = \frac{dV_d}{dt} = q_0 e^{-\frac{q_0}{V_0} t}, \tag{1.10}$$

и формулу текущего суммарного отбора нефти

$$V_d = V_0 (1 - e^{-\frac{q_0}{V_0} t}). \tag{1.11}$$

Формула (1.10) применяется в условиях замкнуто-упругого режима разработки нефтяных пластов. Подобная формула текущего дебита нефти может также использоваться для различных вариантов эксплуатации нефтяной залежи, разрабатываемой путём искусственного заводнения.

При разработке нефтяной залежи важно учитывать способ разбуривания и темпа ввода в эксплуатацию скважин нефтяной залежи.

Это позволит в частности при равномерном порядке разбуривания и при заданном числе скважин, ежегодно вводимых в разработку, а также их рациональная плотность размещения повлиять на увеличения текущего дебита нефтяного месторождения.

Очевидно, заданное годовое число ввода в эксплуатацию новых скважин, эквивалентно заданным капитальным вложениям и ограничены ими.

$$cn(t) \leq K(t) \leq \bar{K} < \infty.$$

Где c - стоимость строительства, т.е. бурения и обустройства одной скважины на нефтяной залежи, а $K(t)$ - капиталовложения, выделяемые на строительство скважин на нефтяной залежи в год t . $n(t)$ - число скважин, вводимых в эксплуатацию в единицу времени.

(шт./год).

Рассмотрим нефтяную залежь, вводимую в разработку постепенно равными частями(участками) в течении продолжительного периода времени - t .

Выделим элементарные-единичные участки нефтяного месторождения с текущим дебитом нефти q , с начальным дебитом и начальными извлекаемыми запасами нефти. При этом предполагается, что по данному и по другим участкам нефтяного месторождения соблюдается одинаковая интенсивность отбора извлекаемых запасов нефти, т. е. выполняется условие

$$\frac{dq_{0b}}{dV_{0b}} = \frac{q_{0b}}{V_{0b}} = \frac{q_0}{V_0}. \tag{1.12}$$

Время разработки нефтяного месторождения, обозначим - r . Выделенный элементарный-единичный участок введен в эксплуатацию в момент времени t . При условии равномерного ввода месторождения в разработку соответствуют следующие формулы:

$$q_{0b} = q_0 \frac{t}{t_b}; \frac{dq_{0b}}{dt} = \frac{q_0}{t_b}; dq_{0b} = \frac{q_0}{t_b} dt \quad \text{при } t \leq t_b.$$

Формула падения дебита для элементарного участка нефтяного месторождения определяется следующимвыражением:

$$dq_{el} = dq_{0b} \times e^{-\frac{dq_{0b}}{dV_{0b}}(r-t)} = \frac{q_0}{t_b} dt \times e^{-\frac{q_0}{V_0}(r-t)}. \tag{1.13}$$

Очевидно, текущий дебит нефти всего месторождения определяется путём суммирования текущих дебитов нефти на всех элементарных

участках месторождения введенных в разработку за интервал времени $[0, \tau]$:

$$O_{el} = \int_{t=0}^{t=r} dq_{el}. \tag{1.14}$$

Следует учитывать два периода времени:

В первый период времени $0 \leq r \leq t_b$ нефтяное месторождение ещё не полностью введено в строй. Поэтому текущий дебит нефтяного месторождения определяется по формуле:

$$O_{el} = \int_{t=0}^{t=r} dq_{el} = \int_0^r \frac{q_0}{t_b} e^{-\frac{q_0}{v_0} t} dt = \frac{q_0}{t_b} (1 - e^{-\frac{q_0}{v_0} r}). \tag{1.15}$$

Во второй период времени $r \geq t_b$ нефтяное месторождение полностью введена в строй и время разбивания всех элементарных участков месторождения изменяется в пределах $[0, t_b]$

$$O_{el} = \int_{t=0}^{t=t_b} dq_{el} = \int_0^{t_b} \frac{q_0}{t_b} e^{-\frac{q_0}{v_0}(r-t)} dt = \frac{q_0}{t_b} (1 - e^{-\frac{q_0}{v_0} t_b}) e^{-\frac{q_0}{v_0} r}. \tag{1.16}$$

Легко заметить, что в первый период времени, когда нефтяное месторождение равномерно обустроивается, т.е. скважины вводятся в строй текущий дебит возрастает; а во второй период завершается ввод в строй скважин и текущий дебит снижается; достигая своего максимального значения в момент времени $r = t_b$

$$O_{el} = O_{max} = \frac{q_0}{t_b} (1 - e^{-\frac{q_0}{v_0} t_b}). \tag{1.17}$$

Кроме того, для дальнейших построений агрегированных моделей нефтяного или газового месторождения, необходимо учесть, что время ввода в строй обустройства нефтяного месторождения t_b связано с общим числом вводимых в строй скважин N_0 и числом скважин n вводимых в строй в течении года (темп разбуривания), что учтено в модели А) и Б).

$$t_b = \frac{N_0}{n}$$

Следует также учесть, что на больших нефтяных месторождениях с равномерно рассредоточенной по площади энергией (при упругом режиме) начальный максимальный дебит месторождения q_0 при одновременном введении залежи в разработку равен начальному максимальному дебиту одной скважины q_{01} умноженному на общее число скважин N_0 ,

$$q_0 = q_{01}N_0.$$

С учётом этого формула дебита нефтяного месторождения, в момент полного ввода в строй скважин, времени окончания $t_{\text{в}}$ разработки нефтяного месторождения примет следующий вид:

$$Q_{\text{max}} = \frac{V_0}{N_0} \left(1 - e^{-\frac{q_{01}N_0^2}{V_0 n} t} \right). \quad (1.18)$$

Анализ формулы (1.18) показывает, что при прочих равных и неизменных условиях постоянными остаются начальные извлекаемые запасы нефти месторождения - V_0 , начальный максимальный дебит на одну скважину - q_{01} и число скважин вводимых в строй в год n .

Рассмотрена и обоснована система формул, позволяющая рассчитать динамику основных технологических показателей нефтяного или газового месторождения. В эту систему входят формула текущего дебита нефтяного месторождения, формула дебита скважины, фонда и темпа ввода скважин, а также текущих извлекаемых запасов нефтяной залежи. В работе [2стр.85-90], приведены результаты детальных расчётов, где была установлена практическая применимость выше названных показателей.

Таким образом, можно сделать вывод, что получена система достаточно несложных и универсальных формул, позволяющих комплексно рассматривать процесс разработки и обустройства нефтяных и газовых месторождений и выбирать наиболее рациональный (оптимальный) с точки зрения руководителя проекта вариант разработки.

Прежде всего необходимо отметить, что разработка и обустройство нефтяного или газового месторождения является технологическим процессом, т.е. призвана оптимизировать сложный технологический процесс извлечения нефти из залежи с целью максимизировать добычу нефти и минимизировать затраты на разработку и освоение нефтяной залежи. Иными словами максимизировать прибыль (народнохозяйственный экономический эффект) освоения и добычи нефти.

Технологические процессы, являясь кибернетическими и описываются сложными динамическими системами требующими нахождения оптимальных или близких к оптимальным решения.

В связи с этим необходимо иметь модели описывающие разработку месторождений простыми и универсальными формулами динамики дебита нефтяного месторождения, извлекаемых запасов и фонда и темпа ввода скважин в виде обыкновенных дифференциальных уравнений имеющих одинаковый уровень сложности математического описания, для анализа которых могут с успехом применены известные методы оптимизации,

позволяющие качественно оценить поведение системы и дающие возможность получения аналитического решения.

Литература:

1. Азизов Б.Б., Федосеев А.В. Об одной модели освоения нефтяного или газового месторождения. - Известия АН Азерб. ССР, Серия наука о Земле, 1979, № 4, с. 82-92.
2. Лысенко В.Д., Мухарский Э.Д. Проектирование интенсивных систем разработки нефтяных месторождений. - М.: Недра. 1975. 176 с.
3. Федосеев А.В. Исследование методами оптимального управления одной модели разработки группы месторождений полезного ископаемого с ограниченными ресурсами. - В кн.: Методы системного анализа в проблемах рационального использования ресурсов. - М., 1977, с.117-134.