

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛИНИЙ ТОКА

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛИНИЙ ТОКА

*Н.А. Жидкова, младший научный сотрудник,
ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»*

Около 25 - 30 лет назад значительное внимание было привлечено к методу линий (трубок) тока - эффективному методу моделирования процессов заводнения (Борисов, Рябинина, Воинов, 1976; Ковалев, Житомирский, 1976). В настоящее время, на новом уровне развития математического и программного обеспечения, мы наблюдаем новый всплеск интереса к этому методу (Thiele, 2001; Baker, Kuppe, Batycky, 2002).

Анализ эффективности проводится на основе анализа величин потоков флюидов между нагнетательными и добывающими скважинами, а также объемов порового пространства, дренируемого каждой из добывающих скважин. Величины потоков и дренируемые объемы были получены расчетным путем на гидродинамической модели линий тока.

Выбор такой методологии обусловлен тем, что именно модели линий тока, в отличие от традиционных сеточных моделей, являются источниками количественной информации о направлениях и интенсивностях потоков между нагнетательными и нефтяными скважинами, о взаимовлиянии скважин по потокам флюидов и о поровых объемах, дренируемых каждой из скважин. Это позволяет классифицировать нагнетательные и нефтяные скважины по эффективности, провести анализ равномерности вытеснения нефти водой от нагнетательных к добывающим скважинам, рассчитать текущий коэффициент охвата вытеснением и оценить эффективность системы разработки и заводнения в целом.

1. Расчет коэффициентов взаимодействия.

Взаимосвязи нагнетательных и нефтяных скважин по потокам флюидов могут быть количественно описаны коэффициентами взаимовлияния скважин. Коэффициент взаимовлияния скважин (Well Allocation Factor - WAF) это число, которое указывает долю дебита скважины p от общего потока, приходящегося на линии тока от гидродинамически связанной скважины i :

$$WAF_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ij}} q_{k,j}^{p,i}}{q_p} \quad (1)$$

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛИНИЙ ТОКА

где n_{sl} - число линий тока в «SL- пучке» от скважины i к скважине p ,
 $q_{k,j}^{p,i}$ - поток фазы j от скважины i по линии тока k в скважине p ,
 q_p - общий дебит скважины p , n - число фаз.

Все дебиты и потоки в формуле (1) исчисляются в пластовых условиях.

Для добывающей скважины, связанной с несколькими нагнетательными, коэффициент WAF указывают долю от потока к этой скважине от каждой из гидродинамически связанных нагнетательных скважин. Аналогично для нагнетательной скважины, поддерживающей нагнетанием несколько добывающих скважин, WAF указывает долю потока от этой скважины к каждой из добывающих скважин.

2. Анализ эффективности нагнетательных скважин

2.1. Эффективность

Метод линий тока позволяет визуализировать структуру потоков флюидов и дает «снимок» всей структуры потока и взаимодействий скважин. Эффективность влияния i -той нагнетательной скважины на добычу нефти всеми гидродинамически связанными с ней нефтяными скважинами может быть рассчитана с использованием WAF коэффициентов:

$$Ieff_i = \sum_{p=1}^n WAF^{(2)}_{pi} \quad (2.1)$$

Параметр $Ieff$ показывает: сколько нефти добыто n добывающими скважинами в результате закачки единицы объема воды в i -тую нагнетательную скважину. По величине параметра $Ieff$ можно выделить наиболее эффективные нагнетательные скважины (обеспечивают наибольшую добычу нефти на 1 м³ закачанной воды), наиболее неэффективные скважины (при значительном объеме закачки обеспечивают небольшие дебиты нефти).

К числу наиболее эффективных скважин относятся скважины, для которых показатель $Ieff > 0.7$ К числу неэффективных скважин относятся нагнетательные скважины, показатель $Ieff$ которых < 0.25 , закачка в такие скважины может быть прекращена без существенных потерь в добыче нефти.

2.2. Влияние нагнетательных скважин на обводнение продукции добывающих скважин

Влияние i -той нагнетательной скважины на обводнение продукции конкретной p -той добывающей скважины может быть оценено $WAF(j)_{pi}$ коэффициентом. Суммарное влияние i -той нагнетательной скважины на обводнение продукции n гидродинамически связанных добывающих скважин может быть рассчитано по формуле:

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛИНИЙ ТОКА

$$Iwcut_i = \sum_{p=1}^n WAF^{(1)}_{pi} \quad (2.2)$$

Параметр $Iwcut$ показывает, сколько воды отобрано n скважинами в результате закачки единицы объема воды (газа) в i -тую нагнетательную скважину.

Параметры $WAF(1)_{pi}$ и $Iwcut_i$ дают количественные оценки для организации управления нагнетанием с целью уменьшения обводнения продукции добывающих скважин.

2.3. Эффективность участия нагнетательных скважин в процессах компенсации

Эффективность использования воды, закачиваемой в i -тую нагнетательную скважину для компенсации отбора пластовых флюидов n добывающими скважинами, можно оценить с помощью WAF -коэффициентов:

$$Ioffset_i = \sum_{p=1}^n WAF_{pi} \quad (2.3)$$

где n - число добывающих скважин, гидродинамически связанных с i -той нагнетательной скважиной.

В формуле (2.3) параметр $Ioffset$ показывает долю жидкости, притекающую по линиям тока к n добывающим скважинам от i -той нагнетательной скважины, от общего объема закачиваемого вытесняющего агента в эту скважину. Окончательное суждение о величине компенсации отбора закачкой может быть сделано после решения уравнения материального баланса для зоны дренирования.

3. Анализ эффективности добывающих скважин

3.1. Анализ эффективности компенсации отборов

Эффективность компенсации отбора p -й добывающей скважиной закачкой, осуществляемой в m нагнетательных скважин, можно рассчитать с использованием формулы для WAF коэффициентов:

$$Poffset_p = \sum_{i=1}^m WAF_{ip} \quad (3.1)$$

где m - число нагнетательных скважин, гидродинамически связанных с p -той добывающей скважиной.

Параметр $Poffset$ показывает долю жидкости, притекающую по линиям тока к p -й добывающей скважине от m нагнетательных, от общего притока жидкости к этой скважине. Окончательное суждение о величине компенсации отбора закачкой может быть сделано после решения уравнения материального баланса для зоны дренирования.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛИНИЙ ТОКА****3.2. Потенциал и эффективность добывающих скважин**

Потенциалом добывающей скважины $Roilp$ будем называть плотность подвижных запасов нефти в зоне ее дренирования. Расчет потенциала скважины может быть выполнен на основе известного порового объема, дренируемого данной добывающей скважиной. Эффективностью p -й добывающей скважины будем называть отношение ее дебита по нефти к потенциалу скважины:

$$Peff_p = \frac{q_p^{oil}}{R_p^{oil}} \quad (3.2)$$

где q_p^{oil} - дебит скважины p по нефти, м³/сут.

Добывающие скважины, имеющие нереализованный потенциал, - это скважины, дренирующие зоны с нефтенасыщенностью выше среднего уровня, но с недостаточно высокими дебитами.

4. Оценка сбалансированности системы заводнения

Модель линий тока также позволяет произвести оценку сбалансированности заводнения. Сбалансированной системой заводнения будем называть систему с одновременным продвижением фронта вытеснения водой со стороны ближайших нагнетательных скважин (Крейг, 1983). Для сбалансированной системы заводнения коэффициент охвата вытеснением и КИН будут максимальными. Напротив, несбалансированность системы заводнения и потоков таит опасность преждевременного прорыва воды от нагнетательных скважин и раннего обводнения продукции скважин, может привести к пониженному КИН.

По результатам расчетов на модели линий тока строится карта структуры потоков жидкости к добывающим скважинам. Эта карта позволяет визуально оценить сбалансированность системы заводнения и структуру потоков, приходящих от нагнетательных к добывающим скважинам.

Основные выводы:

1. Модели линий тока, в отличие от традиционных сеточных методов, позволяют получить принципиально новую информацию о взаимодействиях каждой пары «нефтяная нагнетательная» скважина и дифференцировать дренируемые поровые объемы, рассчитывать компенсацию отборов закачкой по скважинам.
2. Результаты моделирования методом линий тока - основа для быстрого и эффективного количественного анализа реальных, сколь угодно сложных систем заводнения и классификации скважин по эффективности. Такой анализ основа оптимизации систем заводнения.
3. Количественный анализ необходим для анализа эффективности систем воздействия на залежи и формирования гидродинамических регулирующих воздействий как при проектировании систем разработки месторождений, так и при оперативном геолого-промысловом анализе.