

можно сделать вывод, что описанная технология полимерного заводнения представляет интерес для разработки нефтегазовых залежей в сложно построенных коллекторах.

В ходе реализации проектов наша компания ООО «Альтаир» сталкивались с некоторыми трудностями, поэтому для увеличения эффективности работ рекомендуем следующее:

1. При проведении лабораторных исследований следует выбирать наиболее экстремальные характеристики коллектора.
2. Один насос – одна скважина (или устройство понижения давления).
3. Качество воды первостепенно. При возможности провести исследования на совместимость.
4. Подготовить скважину к закачке (в т.ч. РИР).
5. Соблюдайте режим ТИШИНЫ – на время ОНР.
6. Проведение комплекса исследований (трассерные исследования, гидропрослушивание, ГДИС, ГИС) непосредственно перед ПЗ и далее 1 раз в год.
7. Контроль выхода полимера из скважин (мобильная лаборатория, методика).
8. Процесс подготовки полимерного раствора должен проходить под «азотной подушкой», особенно при большом содержании железа и кислорода.
9. Внедрение ПЗ на большей площади дает лучшие результаты, благодаря снижению фактора влияния соседних нагнетательных скважин и увеличения охвата.
10. Рассматривать реагирующие скважины за пределами ячейки заводнения.
11. При старте проекта применять поэтапное увеличение вязкости и приемистости с контролем «в ручном режиме».
12. Контроль эффективной вязкости в пласте с помощью графика Холла для исключения забивания пласта.

#### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.08.2003 N 1234-р (ред. от 15.06.2009) «Об Энергетической стратегии России на период до 2020 года»
2. Хагай Д.Э., Собослаи М.Г., Петров А.В., Чернова О.С. Полимерное заводнение как метод увеличения нефтеотдачи на сложных месторождениях // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 11. – С. 48–55.
3. Using Tracer Data to Determine Polymer Flooding Effects in a Heterogeneous Reservoir, 8 TH Reservoir, Matzen Field, Austria / SPE-174349-MS Ajana Laoroongroj, Markus Lüftenegger, Rainer Kadnar, Christoph Puls, Torsten Clemens Society of Petroleum Engineers in EUROPEC 2015

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ АССИМЕТРИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ КОНЦЕНТРИЧЕСКОЙ ЛИФТОВОЙ КОЛОННЫ НА ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

**Чимитов С.Н.**

Научный руководитель доцент В.Н. Арбузов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время Сеноманская залежь Ямбургского месторождения находится на завершающей стадии разработки. На данной стадии, вследствие упруговодогазонапорного режима работы залежи, увеличивается обводненность газовой продукции, так как проницаемость разнится в больших диапазонах и возникают перетоки воды по высокопроницаемым участкам пласта. Из-за всего вышперечисленного происходит интенсивный рост эксплуатационных скважин, уходящих в бездействующий фонд. Для решений данной проблемы используют технологию концентрических лифтовых колонн. Технология предусматривает отбор «призобойной» воды по центральной лифтовой колонны (ЦЛК), а отбор газовой продукции по межколонному пространству или основной лифтовой колонны (ОЛК). Возникает вопрос, как наилучшим образом поставить центральную лифтовую колонну, чтобы минимизировать потери давления по стволу скважины и увеличить сроки эксплуатации залежи?

Целью данной работы является анализ ассиметричной конструкции центральной лифтовой колонны на величину потери давления в случае двухфазного потока в стволе скважины.

Опираясь на цель, ставились следующие задачи:

- Произвести расчет потерь давления в случае потока «газ-вода» по методу Грэй [1], в программном обеспечении компании Schlumberger PIPESIM [2].

- Сравнить результаты, полученные при различных соотношениях диаметра труб.

- Рассчитать потери давления при наличии эксцентриситета в концентрических лифтовых колоннах.

- Сделать выводы, основанные на проведенных расчетах.

По методу Грэй можно определить величину градиента давления для газовых скважин, имеющих вертикальную конструкцию, попутно добывающие вместе с газом воду либо углеводородный конденсат.

Величина градиента давления в случае потока, состоящего из двух или более фаз, может получена по известной корреляции Грэй с использованием следующего уравнения формула 1:

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{f \cdot \rho_{cm} \cdot v_{cm}^2}{2d} + \rho_{cm} \cdot g - \rho_{cm}^2 \cdot v_{cm}^2 \cdot \frac{d}{dZ} \left( \frac{1}{\rho_{cm}} \right) \quad (1)$$

где:  $f$  – коэффициент трения Фаннинга;  $\rho_{см}$  – плотность смеси кг/м<sup>3</sup>;  $v_{см}$  – скорость смеси, м/с;  $d$  – диаметр лифтовой колонны, м;  $g$  – ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>),  $\frac{dP}{dz}$  – градиент давления по высоте, Па/м.

Именно эта формула используется в корреляции Грэя в ПО PIPESIM, заметим, что первое слагаемое правой части уравнения отвечает за потери давления при трении, второе слагаемое – потери давлений с учетом гравитационных сил, а третье – с учетом инерционных сил.

За конструкцию межколонного пространства отвечают два параметра: соотношение диаметра труб  $K = d_t/d_c$  и эксцентриситет ( $e$ ).

где:  $K$  – соотношение диаметров ОЛК и ЦЛК;  $d_t$  – диаметр ЦЛК, м;  $d_c$  – диаметр ОЛК, м.

В случае ламинарного потока и наличии эксцентриситета, Шнайдер и Голдштейн разработали аналитический метод расчета. Позже Редбергер и Чарльз смогли усовершенствовать данный метод решения, опираясь на уравнение Фаннинга, они построили в биполярной системе координат зависимости геометрического параметра трения от эксцентриситета и соотношения диаметров труб (рисунок 1), при условии одинакового числа Рейнольдса на участках скважины [3].



Рис. Зависимость геометрического параметра трения кольцевого пространства от эксцентриситета и соотношения диаметра труб

В случае турбулентного потока, Каэтанно предложил использовать метод Дарлингга и Ганна для расчета коэффициента трения. На основе опытов, проводимых в затрубном пространстве, Каэтанно объединил методику Дарлингга и Ганна с формулой Никурадзе, в результате была получена формула 2:

$$\frac{1}{\left[ f \cdot \left( \frac{F_p}{F_{EA}} \right)^{0,45 \exp\left( \frac{-Re-3000}{10^6} \right)} \right]^{0,5}} = 4 \lg \left\{ Re \cdot \left[ f \cdot \left( \frac{F_p}{F_{EA}} \right)^{0,45 \exp\left( \frac{-Re-3000}{10^6} \right)} \right]^{0,5} \right\} - 0,4 \quad (2)$$

где:  $F_{EA}$  – геометрический параметр трения в случае ламинарного потока (в кольцевом пространстве);  $F_p$  – геометрический параметр для труб круглого сечения, численное значение которого равно 16;  $Re$  – число Рейнольдса.

В ПО PIPESIM нельзя рассчитать потери давления при наличии эксцентриситета, так как в данном ПО, потери давления рассчитываются для только концентричного расположения, то есть  $F_{EA} \rightarrow 24$ .

Результаты моделирования потерь давления и распределения давления по стволу концентричного кольцевого пространства представлены в таблице 1.

Таблица 1  
Результаты расчетов распределения давления в стволе скважины и градиента потерь давления на трение по межколонному пространству скважин, оснащенных системой КЛК в ПО PIPESIM

| Высота, м | Давление, атм |            | $dP/dZ$ , Па/м |            |
|-----------|---------------|------------|----------------|------------|
|           | МКП 168/60,3  | МКП 168/73 | МКП 168/60,3   | МКП 168/73 |
| -1126     | 15,0797       | 15,0796    | -              | -          |
| -1126     | 14,6225       | 14,6828    | 716,4111       | 874,6584   |
| -1077,5   | 14,2812       | 14,2656    | 709,7135       | 868,9054   |
| -914,4    | 13,1557       | 12,8808    | 689,0911       | 852,0833   |
| -609,6    | 11,1388       | 10,3601    | 652,0211       | 824,7698   |
| -304,8    | 9,2326        | 7,9115     | 615,6629       | 805,5371   |
| 0         | 7,4315        | 5,4910     | 582,9448       | 811,3694   |

Далее рассчитаем потери давления с учетом эксцентриситета, взяв во внимание то, что инерционная составляющая имеет пренебрежимо малые значения и приняв средние значения потерь давления по стволу скважины, результаты представлены таблицей 2.

Применив анализ размерностей в формуле 2, можно выразить функциональную зависимость коэффициента трения Фаннинга для турбулентного потока в кольцевом пространстве формула 3[4]:

$$\frac{f_p}{f_{EA}} \approx \left( \frac{F_p}{F_{EA}} \right)^{0,45 \exp\left[ \frac{-Re-3000}{10^6} \right]} \quad (3)$$

**Таблица 2**

**Полученные значения градиента давления от эксцентриситета ЦЛК**

|                   | Эксцентриситет | 0       | 0,1     | 0,4     | 0,5     | 0,9     | 1       |
|-------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $dP/dZ$ ,<br>Па/м | МКП 168/60,3   | 667,936 | 655,327 | 609,227 | 583,007 | 485,104 | 462,909 |
|                   | МКП 168/73     | 843,742 | 833,162 | 769,595 | 736,481 | 605,264 | 577,377 |

По вышеприведённым расчетам можно сделать следующие выводы:

- градиент давления при концентричном расположении труб будет всегда выше, чем при эксцентричном положении и чем больше эксцентриситет, тем меньше потери давления.
- большей чувствительностью обладает КЛК с большим коэффициентом соотношения диаметров труб, так как при изменении эксцентриситета идет изменение геометрического параметра трения в большей степени.
- если не учитывать эксцентриситет и соотношение диаметров труб, а учитывать только концепцию введения гидравлического диаметра, в большинстве случаев расчет потерь давления будет ошибочным.

По результатам, полученным в PIPESIM по корреляции Грэя, можно сказать, что при ЦЛК меньшего диаметра будут меньше потери давления, поэтому стоит использовать меньший диаметр НКТ в технологии КЛК. При наличии эксцентриситета, потери давления будут меньше, в случае абсолютной эксцентричности (таблица 2), для МКП 168/60,3 они будут меньше на 30,7 %, а для МКП 168/73, меньше на 31,6 %.

#### Литература

1. Брилл, Д.П. Многофазный поток в скважинах / Д.П. Брилл; Дж. П. Брилл, Х. Мукерджи; пер. с англ. Ю.В. Русских; под ред. М.Н. Кравченко. – Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2006. – 384 с.
2. Schlumberger PIPESIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.slb.ru/sis/pipesim/](http://www.slb.ru/sis/pipesim/) (дата обращения 16.03.22).
3. Kabir C.S. and Hasan, A.R.: Performance of a Two-Phase Gas/Liquid Model in Vertical Wells [Text] / J. Pet. Sci & Eng. (1990) 4, 273.
4. Gunn D.J., Darling C.W.W.: Fluid Flow and Energy Losses in Non-Circular Conduits [Text] / Trans., AIChE (1963) 41, 163.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АДАПТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Шакиров Е.М.**

Научный руководитель доцент И.В. Матвеев

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

В данной статье рассматривается степень влияния дизъюнктивных дислокаций на геологическое строение палеозойских отложений в условиях Арчинского нефтегазоконденсатного месторождения.

Ключевые слова: адаптация, генетический алгоритм, гидродинамическое моделирование.

В настоящее время моделирование повсеместно распространено при изучении различных объектов и последующем прогнозировании их характеристик. Геологические и гидродинамические модели находят широкое применение в нефтегазовой отрасли при разработке месторождений углеводородов. Моделирование месторождения также включает процесс адаптации, заключающийся в итеративной автоподстройке параметров модели в соответствии с историческими данными. На данный момент проекта GDHM (hydrodynamic modeling with history matching) решает задачу реализации автоматизированной адаптации гидродинамических моделей, обеспечивающей контроль геологической обоснованности на всей площади рассматриваемого месторождения и позволяющей оценивать возможные риски.

Таким образом, целью данной работы является анализ работы генетического алгоритма, встроенного в программное обеспечение Petrel, для получения оптимизационных моделей месторождения.

Автоматизированная адаптация учитывает геологические параметры неопределенности, к которым относят структурные (количество, проводимость, расположение и направление распространения дизъюнктивных нарушений) и петрофизические (границы изменения зависимостей пористости, проницаемости, насыщенности, степеней Кори). Скорость адаптации зависит от количества переменных, присутствующих в различных неопределенностях, а также от необходимого уровня адаптации. Высокая скорость адаптации гидродинамической модели возможна при рассмотрении большого спектра определенных заранее зависимостей, обладающих существенным влиянием на динамику процессов, происходящих в пласте в процессе его разработки, а также набора геологических и петрофизических неопределенностей. Границы зависимостей определяются по входным данным, к которым обычно относят исторические значения каротажей скважин и керн в скважинах-аналогах.

При адаптации выполняется сравнение рассчитанных по модели значений эксплуатации скважин и соответствующих реальных данных. При этом сравнение характеризуется величиной целевой функции. В общем случае целевая функция является математическим выражением, определяющим качество некоего параметра объекта. При работе с петрофизическими значениями определяется разницей между расчетными и историческими данными, реализующейся по методу наименьших квадратов.

Построение детальных геологических и гидродинамических моделей производится в специализированном программном продукте, к которым относится Petrel компании Schlumberger. Программное обеспечение Petrel позволяет экстраполировать исторические данные по скважинам на площадь межскважинного пространства данного месторождения, тем самым создается геологически обоснованная модель с рассчитанными параметрами пласта и залежи.