

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-82-88

УДК 622.276

И.И. Абызбаев (Уфимский государственный нефтяной технический университет, Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация),
Д.Р. Фазлеева, Н.И. Абызбаев, С.В. Янченко (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ibragim I. Abyzbaev (Ufa State Petroleum Technological University, Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation),
Darya R. Fazleeva, Nikita I. Abyzbaev, Svetlana V. Yanchenko
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

ABOUT COMPLEX DESIGN OF OIL FIELD DEVELOPMENT

Введение

При применении методов увеличения нефтеотдачи требуется предусмотреть увеличение пропускной системы сбора и подготовки нефти и газа.

По неоднородности коллекторских свойств пористые пласты разделяются на микронеоднородные, локально неоднородные и слоистые. Микронеоднородность характеризует геометрию поровых каналов, находящихся друг к другу в непосредственной близости; локально неоднородный пласт состоит из больших и малых включений, резко различающихся по коллекторским свойствам. Каждый участок такого пласта также микронеоднороден.

Слоистость пласта, заключающаяся в различии свойств по мощности напластовывания, также включает предыдущие типы неоднородности.

При решении задач вторичной добычи нефти и создания газохранилищ в водоносных пластах важно изучить механизм вытеснения жидкости газом из неоднородных пористых сред. Это позволит наметить путь повышения коэффициента замещения пластовой жидкости.

Background

When applying enhanced oil recovery methods, it is required to provide for an increase in the throughput system for collecting and preparing oil and gas.

According to reservoir properties heterogeneity, porous layers are divided into microinhomogeneous, locally inhomogeneous and layered. Microheterogeneity characterizes the geometry of the pore channels located in close proximity to each other; a locally inhomogeneous reservoir consists of large and small inclusions that differ sharply in reservoir properties. Each section of the reservoir is also microheterogeneous.

The reservoir stratification, consisting in the difference of stratification thickness properties, also includes the previous types of heterogeneity.

When solving secondary oil production problems and the gas storages creation in water-bearing strata, it is important to study the mechanism of liquid displacement by gas from heterogeneous porous media. This will make it possible to outline a way to increase the replacement ratio of the plate fluid.

Как известно, при взаимном вытеснении несмешивающихся жидкостей из пористой среды на границе их контакта возникают капиллярные силы. Вследствие неоднородности пласта эти капиллярные силы распределены неравномерно и оказывают определяющее влияние на фронтообразование. Причиной является то, что капиллярные силы действуют на расстояниях, сопоставимых с размерами пор, и градиенты капиллярных давлений могут существенно превысить градиенты гидродинамического давления.

Цели и задачи

На основе теории графов разработать единую систему функционирования модулей проектирования разработки месторождения, эксплуатации скважин, сбора и подготовки продукции.

Результаты

Модули разработки проектирования месторождения, эксплуатации скважин, сбора и подготовки объединены в единую систему. Анализ увеличения жидкостей был проведен с помощью аналитической теории графов. Обоснован вывод о повышении быстроедействия при принятии решений на основе нового алгоритма.

As it is known, in the case of mutual displacement of immiscible liquids from a porous medium, capillary forces arise at their contact interface. Due to the reservoir inhomogeneity, these capillary forces are distributed non-uniformly and have a determining effect on the frontal formation. The reason is that capillary forces act at distances comparable to pore sizes, and capillary pressure gradients can significantly exceed the gradients of hydrodynamic pressure.

Aims and Objectives

On the basis of graph theory, develop a unified system of functioning of the modules for the design of field development, well operation, and the collection and preparation of products.

Results

The modules for the development of field design, well operation, collection and preparation are combined into a single system. Analysis of the increase in fluids was carried out using analytical graph theory. The conclusion about the increase in the speed of action when making decisions on the basis of the new algorithm is substantiated.

Ключевые слова: метод увеличения нефтеотдачи; эксплуатация скважины; проектирование, сбор и подготовка; нефтесборный коллектор; насосная станция

Key words: method of enhanced oil recovery; well operation; design, gathering and treatment; oil collector; pumping station

Проведенные промысловые опыты по поддержанию пластового давления нагнетанием воды, газа и воздуха положительных результатов не дали. Причину отрицательных результатов можно объяснить хаотической неравномерностью строения коллекторов, как по площади, так и по мощности, большим этажом нефтеносности, а также применением открытой конструкции скважин в продуктивной части пласта. Это приводит к быстрому прорыву закачиваемого агента в эксплуатационные скважины и затрудняет регулирование процесса закачки.

Опыты по фильтрации практически ньютоновских жидкостей показывают, что при малых градиентах давления наблюдаются отклонения от линейного закона фильтрации. Эти отклонения связаны с весьма заметным изменением проницаемости пористой среды. При увеличении или уменьшении градиента давления происходит соответствующее изменение проницаемости. Однако зависимость между проницаемостью и градиентом давления существует только в определенной области изменения последнего. Эта область названа областью малых градиентов

давления. Верхний предел этой области называется критическим градиентом давления.

Точное решение задачи о фильтрации жидкости в неоднородной пористой среде связано с трудностями вычислительного характера, и по этой причине во многих случаях пользуются осредненным значением проницаемости в продуктивных пластах. При учете неоднородности пласта по проницаемости обычно пользуются схемами, для которых можно получить аналитическое решение. Некоторые из этих систем предполагают резкое изменение проницаемости от зоны к зоне при условии, что в пределах каждой зоны она останется постоянной. Другие схемы считают известным характер изменения проницаемости вдоль пласта, задавая его в виде функциональной зависимости.

В настоящее время существует необходимость комплексного проектирования разработки нефтяных месторождений при применении методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Такое проектирование должно предусматривать тесную связь подземных и наземных технологических процессов и определение при этом наиболее рационального варианта разработки того или иного месторождения. Аналогичная задача возникает и при проектировании разработки месторождений в конечной стадии [1]. В этом случае подземные технологические процессы полностью определяются производственными ограничениями.

При массовом применении МУН необходимо предусмотреть увеличение производственных мощностей системы сбора и подготовки нефти на нефтепромыслах [2]. Производственные ограничения - это существующие система сбора, транспорта и подготовки нефти; система поддержания пластового давления; оборудование, установленное в эксплуатационных скважинах и т.д. (рисунок 1).

Рассмотрим на примере проектирования доразработки Туймазинского месторождения [3] как учитывалась система сбора и транспортировки нефти.

Дальнейшая разработка этого месторождения должна осуществляться по одному из трех вариантов, которые различаются

уровнем отбора жидкости, поэтому возникла необходимость проверки производительности системы нефтепроводов сбора и транспорта нефти по варианту, предусматривающему максимальный темп отбора жидкости [4].

По данным гидродинамических расчетов был определен прирост жидкости по отдельным промыслам.

Из этих данных выбрали максимальный прирост для каждого промысла по сравнению с фактическим.

При сравнении проектного и фактического объемов жидкости оказалось, что значительный прирост жидкости наблюдается только на двух промыслах, для которых и были выполнены расчеты.

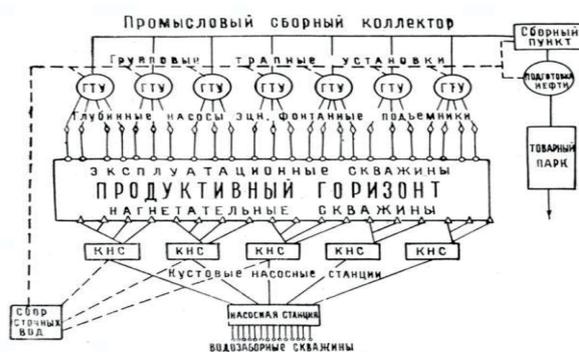


Рисунок 1. Технологическая схема эксплуатации нефтяного месторождения

Для расчета нефтесборных коллекторов был принят ламинарный режим течения жидкости (число Рейнольдса $Re \leq 2320$) [5]:

$$\frac{dvp}{\mu} \geq 2320, \quad (1)$$

где d - диаметр трубопровода, м;

v - средняя скорость движения жидкости, м/с;

ρ - плотность нефти, кг/м³;

μ - динамическая вязкость нефти, кг/м·с;

Для расчета система нефтесбора была разделена на участки и ветви (рисунок 2). Расход на протяжении участков считался постоянным.

Потери напора на трение на любом участке трубопровода определяются по формуле [6]:

$$\Delta P = \frac{128\mu l Q}{\pi d^4 g \rho}, \quad (2)$$

где ΔP – потери напора на трение по участку, м;

l – длина участка, м;

Q – расход жидкости на участке, м³/с.

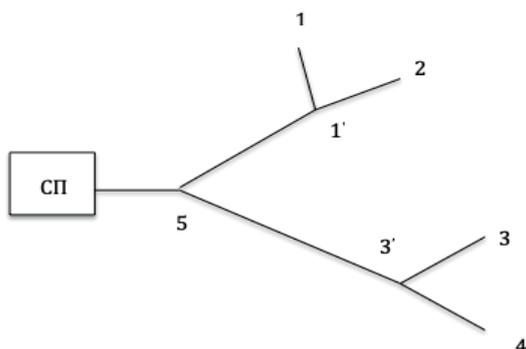


Рисунок 2. Расчетная схема нефтесборных сетей 1 - 1, 2 - 1, 3 - 3, 4 - 3, 1' - 5, 3 - 5, 5 - СП, участки СП - сборный пункт

Потери напора на некоторой ветви равны сумме потерь на всех участках этой ветви:

$$\Delta P = \sum_{j=1}^n \Delta P_j, \quad (3)$$

где n - число участков ветви.

Количество линейных уравнений вида (3) равно количеству ветвей. Очевидно, что движение жидкости в системе возможно при условии, что определенные таким образом потери напора на трение меньше или равны напору, создаваемому насосами откачки

$$\Delta P \leq P_H.$$

Максимальная производительность сети нефтепроводов, определенная приведенным выше методом, оказалась недостаточ-

ной для перекачки запроектированного объема жидкости. Полученные результаты позволили определить необходимый объем работ по реконструкции системы сбора транспорта и нефти.

С внедрением методов комплексного проектирования возникает задача расчета всей технологической системы разработки месторождения (рисунок 1), состоящей из нагнетательных скважин и сети трубопроводов. При этом все основные характеристики системы должны быть заданы: параметры пласта, пластовое и забойное давления, коэффициенты сопротивления прискважинных сооружений, диаметры и длины трубопроводов и т.д. В [7] показано, что подобный расчет можно свести к решению системы уравнений, порядок которой будет равен числу прямолинейных участков плюс число точек разветвления. Под точками разветвления понимаются точки, в которых сходятся два или более потоков жидкости с различными характеристиками сопротивления. Нагнетательные и эксплуатационные скважины при этом также считаются точками разветвления, а ствол скважины и пласт - участками.

В нагнетательные скважины поступает определенный объем воды [8], характеризующийся гидравлическим сопротивлением движения по стволу, а выходит равный ему объем, характеризующийся фильтрационным сопротивлением пласта. В эксплуатационных скважинах обратная картина [9], сюда протекает объем нефти, характеризующийся фильтрационным сопротивлением пласта, а выходит по стволу скважины равный ему объем, характеризующийся сопротивлением движению (зависящим от способа эксплуатации, диаметра насосно-компрессорных труб и т.д.).

Система сбора и транспорта нефти также разбивается на точки разветвления и прямолинейные участки труб.

Для точек разветвления записывается равенство притекающего и вытекающего объемов жидкости, для прямолинейных участков (как уже делалось вначале) записывается уравнение движения, связывающее перепад давления по длине участка с расходом жидкости на рассматриваемом участке.

Расчет системы проводится по следующим основным формулам. Для движения воды по стволу нагнетательной скважины

$$(P_{нас} + P_{ст}) - P_{тр.i} = \alpha_i q_{ни}, \quad (4)$$

где $P_{нас}$ - давление на выкиде насоса;

$P_{ст}$ - гидростатическое давление столба жидкости в скважине;

$P_{тр.i}$ - потери давления на трение в водах и в скважине;

α_i - коэффициент сопротивления, складывающийся из коэффициента сопротивления прискважинных сооружений и коэффициента сопротивления труб в скважине;

$q_{ни}$ - приемистость скважины.

Для притока жидкости в пласт

$$\Delta P_{ни} = b_i q_{ни}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{ни} = P_{заб.i} - P_n$ - перепад давления между забоем i -ой скважины и линией нагнетания;

b_i - коэффициент, зависящий от параметров пласта, жидкости и системы разработки, определяется по известным формулам [10] или по испытанию скважин.

Для притока жидкости (нефти) в эксплуатационную скважину

$$\Delta P_i = c_i q_i, \quad (6)$$

где $\Delta P_i = P_k - P_{ci}$ - перепад давления между контуром питания и забоем i -ой скважины;

c_i - коэффициент, зависящий от параметров пласта, жидкости и системы разработки, определяется по фактическим данным эксплуатации или по известным формулам [3];

q_i - дебит скважины.

Для движения жидкости от забоя до устья эксплуатационной скважины

$$P_{ci} - P_y = k_i q_i, \quad (7)$$

где P_{ci} - давление на забое i -ой скважины;

P_y - давление на устье;

k_i - сопротивление движению по стволу скважины.

Коэффициент учитывает также возможности оборудования. Для движения жидкости по участкам системы сбора записывается уравнение (2) с учетом суммарных сопротивлений.

Условие равенства расходов жидкости для точки разветвления записывается в виде

$$\sum_{a=1}^k (P_{ia} - P_i) b_{iaj} = 0, \quad (8)$$

где b_{iaj} - суммарный коэффициент сопротивления участка.

Суммирование производится по индексу a для всех k труб, приходящих в точку разветвления j . Если мы имеем m прямолинейных участков и n точек разветвления, то система уравнений для определения давления в точках разветвления и расходов по участкам образуется из $(n+m)$ уравнений (2), (4)-(8).

Определяя из уравнений (2), (4)-(7) расходы и подставляя полученные значения в систему уравнений (8), получим систему уравнений для определения давлений в точках разветвления.

После определения давлений в точках разветвления расходы вычисляются по формулам (2), (4)-(7). Количество уравнений вида (2), (4)-(8), при расчете работы всей системы эксплуатации месторождения, может достигать нескольких сотен.

Решение такой системы уравнений потребует выполнения множества арифметических операций. Ясно, что подобные задачи можно решать только с применением ЭВМ.

Выводы

Модули разработки проектирования месторождения, эксплуатации скважин, сбора и подготовки объединены в единую систему.

Анализ увеличения жидкостей проведен с помощью аналитической теории графов.

Обоснован вывод о повышении быстродействия при принятии решений на основе нового алгоритма.

Список литературы

1. Покрепин Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Ростов-на-Дону: Изд-во Феникс, 2015. 318 с.
2. Лебединец Н.П. Особенности строения и разработки нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. М.: ООО «ИНСОФТ», 2011. 187 с.
3. Гавура В.Е. Геология и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений. М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 1995. 496 с.
4. Андреева Н.Н. Проблемы проектирования, разработки и эксплуатации мелких нефтяных месторождений. М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2003. 195 с.
5. Naunton J., Alison P. Oil and Gas. UK, Oxford: Oxford University Press, 2011. 136 p.
6. Серебряков А.О., Серебряков О.И. Промысловые исследования залежей нефти и газа. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 240 с.
7. Григорьев Б.А., Богатов Г.Ф., Герасимов А.А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций. М.: МЭИ, 1999. 327 с.
8. Ривкин П.Р. Техника и технология добычи подготовки нефти на нефтепромыслах. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 493 с.
9. Стрекалов В.Е., Стрекалов А.В., Завьялов В.В. Инновационная техника и технология гидросистем нефтяных промыслов. Санкт-Петербург: Наука, 2006. 326 с.
10. Соколов С.В. Практика проектирования, анализа и моделирования разработки нефтяных месторождений. М.: Наука. 2008. 200 с.

Авторы

• Абызбаев Ибрагим Измаилович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
ГАНУ «Институт стратегических
исследований Республики Башкортостан»
Лаборатория нефтегазовых исследований Центра
исследований реального сектора экономики
Главный научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа,
пр. Октября, 129/3
e-mail: shaura505@mail.ru

References

1. Pokrepin B.V. *Razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii* [Development of Oil and Gas Fields]. Rostov-na-Donu, Phoenix Publ., 2015. 318 p. [in Russian].
2. Lebedinets N.P. *Osobennosti stroeniya i razrabotki neftyanykh mestorozhdenii s treshchinovatyimi kollektorami* [Features of the Structure and Development of Oil Fields with Fractured Reservoirs]. Moscow, INSOFT LLC, 2011. 187 p. [in Russian].
3. Gavura V.E. *Geologiya i razrabotka neftyanykh i gazonefitynykh mestorozhdenii* [Geology and Development of Oil and Gas and Oil Fields]. Moscow, VNIENG Publ., 1995. 496 p. [in Russian].
4. Andreeva N.N. *Problemy proektirovaniya, razrabotki i ekspluatatsii melkikh neftyanykh mestorozhdenii* [Problems of Design, Development and Operation of Small Oil Fields]. Moscow, VNIENG Publ., 2003. 195 p. [in Russian].
5. Naunton J., Alison P. *Oil and Gas*. UK, Oxford, Oxford University Press, 2011. 136 p.
6. Serebryakov A.O., Serebryakov O.I. *Promyslovye issledovaniya zalezhei nefiti i gaza* [Field Studies of Oil and Gas Deposits]. Saint-Petersburg, Lan Publ., 2016. 240 p. [in Russian].
7. Grigor'ev B.A., Bogatov G.F., Gerasimov A.A. *Teplofizicheskie svoystva nefiti, nefteproduktov, gazovykh kondensatov i ikh fraktsii* [Thermophysical Properties of Oil, Petroleum Products, Gas Condensates and Their Fractions]. Moscow, MEI Publ., 1999. 327 p. [in Russian].
8. Rivkin P.R. *Tekhnika i tekhnologiya dobychi podgotovki nefiti na neftepromyslakh* [Technique and Technology of Extraction of Oil in the Oil Fields]. Ufa, DesignPoligraphServis Publ., 2008. 493 p. [in Russian].
9. Strekalov V.E., Strekalov A.V., Zav'yalov V.V. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya gidrosistem nefitynykh promyslov* [Innovative Equipment and Technology of Oil Fields Hydraulic Systems]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2006. 326 p. [in Russian].
10. Sokolov S.V. *Praktika proektirovaniya, analiza i modelirovaniya razrabotki nefitynykh mestorozhdenii* [Practice of Designing, Analyzing and Modeling the Development of Oil Fields]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 200 p. [in Russian].

The Authors

• Aбызбаев Ibragim I., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Oil and Gas & Oil Field Development
and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
Institute of Strategic Researches
of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
Oil and Gas Research Laboratory
of Centre of Real Sector of Economics
Chief Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
e-mail: shaura505@mail.ru

• Фазлеева Дарья Ринатовна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: dashaf123@mail.ru

• Fazleeva Darya R.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: dashaf123@mail.ru

• Абызбаев Никита Ибрагимович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: nik.abyzbaev@mail.ru

• Abyzbaev Nikita I.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas & Oil Field Development
and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: nik.abyzbaev@mail.ru

• Янченко Светлана Владимировна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: sveta-meta@yandex.ru

• Yanchenko Svetlana V.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: sveta-meta@yandex.ru