

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-1-72-80

УДК 622.276.1/.4:55.001

Л.Л. Камалеева, М.Р. Рахимов (ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация), А.Р. Хафизов (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ПРИМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫТЕСНЕНИЯ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ

Leisan L. Kamaleeva, Marat R. Rakhimov (RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation), Airat R. Khafizov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

APPLICATION OF DISPLACEMENT CHARACTERISTICS FOR FORECASTED PRODUCTION INDICATORS EXPRESS-EVALUATION

Введение

В последнее время в нефтегазодобывающем комплексе наблюдается неуклонная тенденция к ухудшению структуры запасов нефти и газа, что, в свою очередь, накладывает особые условия и требования при выполнении прогнозных расчетов уровней добычи. Особенно это касается месторождений с карбонатными коллекторами сложнопостроенного типа с высокой неоднородностью, в частности трещиновато-поровые кавернозные известняки и доломиты. Рассмотрим в качестве примера карбонатные коллекторы месторождения N. По действующему проектному документу, на месторождении предусматривается формирование системы разработки объектов с заводнением коллекторов и использованием в качестве рабочих агентов воды, водогазовой смеси.

Background

Recently, in the oil and gas production complex, there has been a steady trend towards a deterioration in the structure of oil and gas reserves, which, in turn, imposes special conditions and requirements when performing predictive calculations of production levels. This is especially true for deposits with carbonate reservoirs of a complex type with high heterogeneity, in particular fractured-pore cavernous limestones and dolomites. Let's consider carbonate reservoirs of field N as an example. According to the current project document, the field provides for the formation of a system for the development of facilities with waterflooding of reservoirs and the use of water and water-gas mixture as their working agents.

Эффективность процесса вытеснения нефти рабочим агентом по промысловым данным выражается так называемыми характеристиками вытеснения нефти водой, представляющими собой зависимости нефтеотдачи от объема внедрившейся в залежь воды. Характеристика вытеснения для нефтяной залежи более полно характеризует эффективность разработки нефтяной залежи, чем, например, коэффициент нефтеотдачи. Характеристика вытеснения отражает историю залежи, отчетливо показывая эффективность процесса вытеснения в любой момент разработки, и является удобной формой для изучения характера и особенностей разработки и обводнения нефтяной залежи. Характеристика вытеснения описывает не только конечную нефтеотдачу по залежи, но и динамику коэффициента интенсивности нефтеотдачи от обводненности продукции при разработке неоднородных пластов на режиме вытеснения нефти водой.

Цели и задачи

Получение аналитической характеристики вытеснения, учитывающей опыт разработки месторождений-аналогов и данные фактической эксплуатации, а также дальнейшая адаптация на характеристику вытеснения, полученную по результатам гидродинамического моделирования, в которой наиболее полно представлены все задействованные механизмы вытеснения.

Результаты

Выполненный анализ особенностей геологического строения месторождения, месторождений-аналогов и результаты гидродинамического моделирования позволили построить характеристику вытеснения, максимально учитывающую все геологические особенности месторождения и внедрение водогазового воздействия. Полученная характеристика вытеснения позволяет оперативно выполнять расчеты прогнозных показателей добычи без применения длительных расчетов на гидродинамических моделях.

The efficiency of the process of oil displacement by a working agent according to field data is expressed by the so-called oil displacement characteristics by water, which are the dependences of oil recovery on the volume of water that has penetrated into the reservoir. The displacement characteristic for an oil deposit more fully characterizes the efficiency of the development of an oil deposit than, for example, the oil recovery coefficient. The displacement characteristic reflects the history of the reservoir, clearly showing the effectiveness of the displacement process at any time of development, and is a convenient form for studying the nature and characteristics of the development and flooding of an oil reservoir. The displacement characteristic describes not only the final oil recovery in the reservoir, but also the dynamics of the oil recovery intensity coefficient from the water cut of the product during the development of heterogeneous formations in the mode of oil displacement by water.

Aims and Objectives

Obtaining an analytical displacement characteristic that takes into account the experience of developing analogous deposits and actual operating data, as well as further adaptation to the displacement characteristic obtained from the results of hydrodynamic modeling, in which all the involved displacement mechanisms are most fully represented.

Results

The performed analysis of the features of the geological structure of the field, analogous fields and the results of hydrodynamic modeling made it possible to construct a displacement characteristic that takes into account all the geological features of the field and the introduction of water and gas effects. The obtained displacement characteristic allows you to quickly perform calculations of predicted production indicators without the use of lengthy calculations on hydrodynamic models.

Ключевые слова: характеристика вытеснения; пустотное пространство; двойная пористость/двойная проницаемость; гидродинамическая модель; трещино-каверново-поровый коллектор; водогазовое воздействие

Key words: extrusion characteristic; hollow space; double porosity/double permeability; hydrodynamic model; fractured cavern pore collector, water and gas impact

Целью данной статьи является использование корректной информации для прогнозирования профиля добычи, сокращении времени, затраченного на расчет прогнозных показателей разработки.

Научная новизна представленного материала заключается в том, что характеристики вытеснения (ХВ), полученные расчетным путем, учитывают особенности пустотного пространства: наличие трещин, каверн, поровой матрицы, параметры месторождений-аналогов и результаты гидродинамического моделирования.

Рассматриваемое месторождение многопластовое, промышленно-нефтеносными являются карбонатные отложения средне- и верхнефранского подъярусов (пласты D3src и D3dm), овинпармского горизонта (пачки D1sk1, D1op1, D1op2 и D1op3) и гребенского горизонта (пачка S2gr1). Основной продуктивной пачкой является пачка D1op1.

Результаты анализа собственного кернового материала, проведенные геофизические исследования в скважинах, анализ структуры пустотного пространства показали, что коллекторами в отложениях D1 и S2 являются доломиты, преобладающий тип пустотного пространства - трещинно-каверново-поровый (рисунок 1).

Анализ седиментационных условий и вторичных преобразований по керновым данным и данным ГИС позволил определить основные элементы пустотного пространства, включающие трещины, каверны и поры [1-3]. Трещины - каналы фильтрации, каверны - каналы фильтрации и частичный объем, поровая матрица (поры) - емкостная характеристика коллектора. В процентном соотношении поры составляют 70-80 % пустотного пространства, каверны - 20-30 %, трещины - 1 % (рисунок 2).

Расчет технологических показателей производится с использованием гидродинамической модели. Гидродинамическая модель, которая предназначена для постоянного мониторинга разработки месторождений, представляет собой сложную систему, учитывающую трехфазную фильтрацию в системе двойной пористости/двойной проницаемости (рисунок 3, а). В связи с этим происходят длительные фактические, прогнозные расчеты на модели месторождения, которые занимают продолжительное время (рисунок 3, б). Время расчетов характеризуется следующим образом: если рассчитывать историю, то будет занимать порядка 4 ч; если делать прогнозы на 20 лет, то - до 2 сут.



Рисунок 1. Петрофизическая модель коллектора

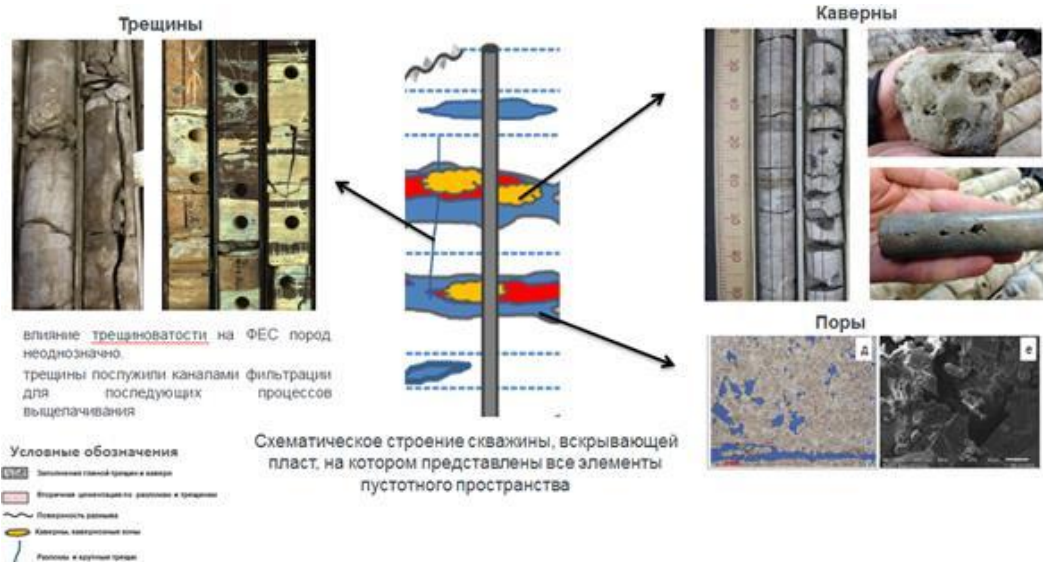
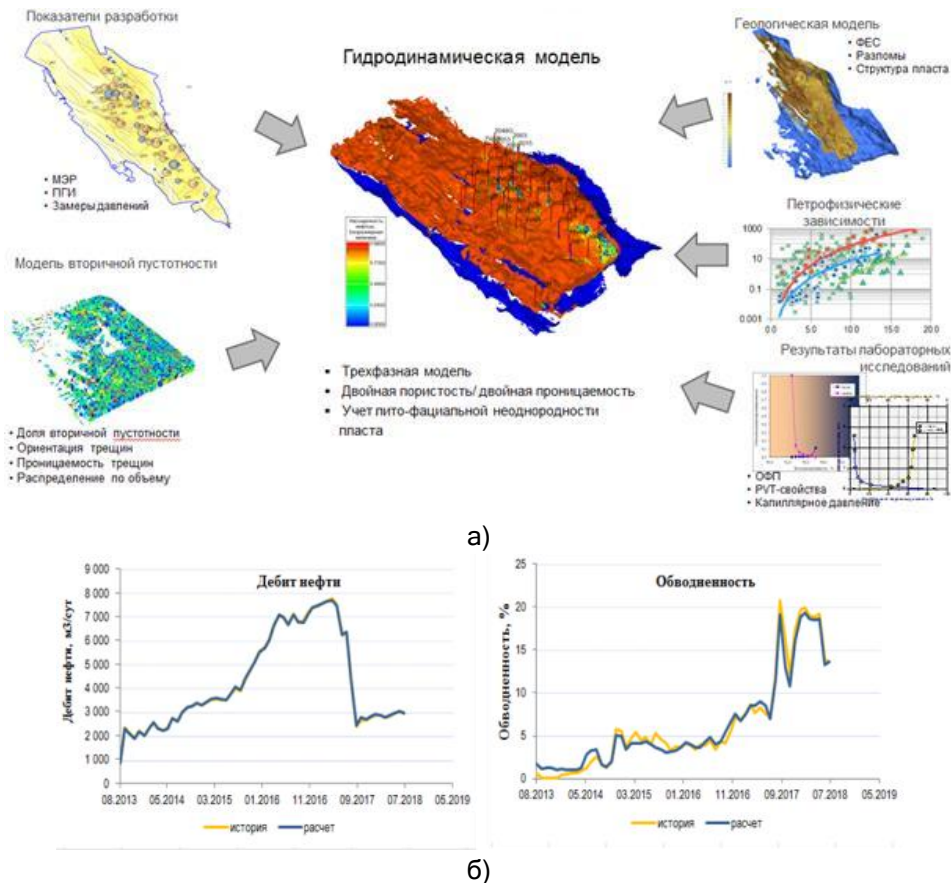


Рисунок 2. Особенности пустотного пространства коллекторов пласта D10r1



а) гидродинамическая модель месторождения;
б) расчеты показателей дебита нефти и обводненности по гидродинамической модели

Рисунок 3. Анализ гидродинамической модели месторождения N

В результате возникает необходимость проведения экспресс-расчетов различными методами, одними из которых являются расчеты по форме бизнес-планирования, у которой одним из надстраиваемых параметров в качестве исходных данных является характеристика вытеснения [4-6].

Для построения модели характеристики вытеснения были выбраны исходные данные: добыча нефти, добыча жидкости, обводненность, результаты, которые носят экспериментальный характер. Отсюда следует, что необходимо прийти к фактическим показателям, поскольку результаты определили наличие воды, что приводит к несоответствию кривых (аналитической ХВ, ХВ по гидродинамической модели, ХВ по аналогам) друг другу (рисунок 4).

Существует несколько подходов построения прогнозных показателей. Одним из таких подходов является подбор месторождений-аналогов, у которых должны быть схожие геолого-физические характеристики, территориальный фактор и фильтрационные параметры. В результате анализа выбраны группы месторождений: С, К, L и М.

По геолого-физическим характеристикам они выбраны как аналоги, поскольку у группы месторождений С схожие фильтрационно-емкостные свойства.

Отличия в том, что продуктивные отложения месторождения N залегают на больших глубинах, имеют большую вторичную пористость и меньший газовый фактор.

В качестве одного из примеров рассмотрено Черпаюское месторождение, характеризующееся длинным безводным периодом, поздним вводом системы поддержания пластового давления (ППД).

Была рассмотрена база месторождения М и построен тренд.

Адаптация гидродинамической модели (ГДМ) производилась на фактические данные по добыче, по состоянию на 01.11.2017 г. Предложенная оптимистичная характеристика вытеснения настроена на аналог по Черпаюскому месторождению без учета водогазового воздействия (ВГВ) и фактического роста обводненности за счет действующей системы ППД.

Подстройка модели на уровень добычи жидкости не внесла существенного изменения в ХВ. В результате этого были выявлены недостатки: полученные данные не соответствуют фактическим показателям и есть расхождения с отбором от начальных извлекаемых запасов, также динамика по месторождению N не сходится ни с одним аналогом, следовательно, необходимо отражать ХВ по модели (рисунок 5).

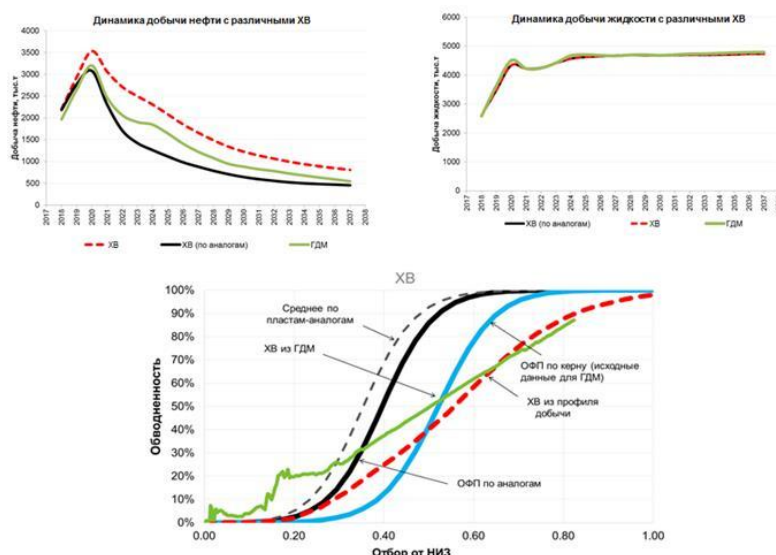


Рисунок 4. Расчет технологических показателей для различных ХВ

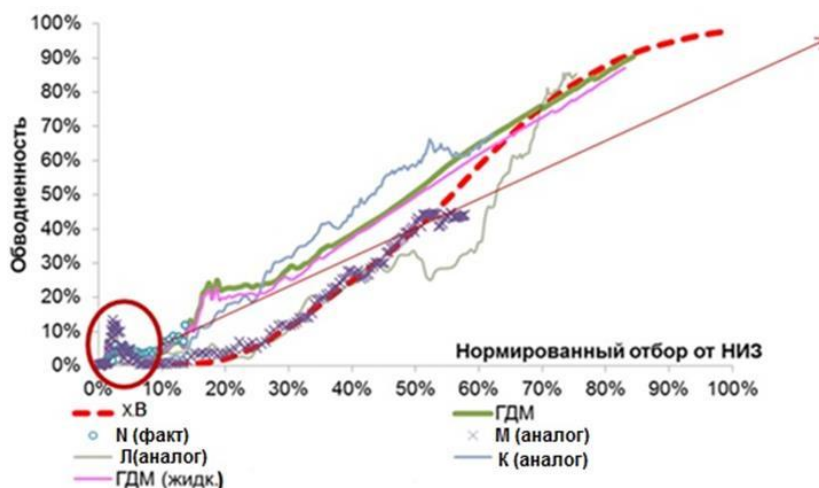


Рисунок 5. Обоснование ХВ проекта на основе фактических данных добычи и ГДМ

В явном виде после адаптации эту кривую модифицировали с применением ВГВ, вследствие чего произойдет стабилизация, и вид кривой будет отличаться от теоретической. Необходимо учитывать зависимость потенциала в расчетах на пять лет. Есть скважины с прорывами воды: скв. 2071, скв. 2077, скв. 2023 (рисунок 6).

Одним из параметров модификации является сама характеристика вытеснения, т.е. модификация относительных фазовых проницаемостей, которые заложены в модель за счет функции Corey (K_{rw} , K_{r0}), которая отражает вторичную среду трещины, в результате чего происходит адаптация характеристики вытеснения на относительные фазовые проницаемости (ОФП), заложенные в модели ГДМ.

Исходные параметры ОФП были настроены для повторения интенсивности динамики обводнения, характеризующиеся длительным расчетом на ГДМ для ХВ (на длительный период), что может привести к $K_{ИН} = 0,4$. ОФП смодифицированы. Характеристика вытеснения отображается модифицированной интегральной кривой. Была выявлена неопределенность в недостаточности данных и сложности коллектора, есть прорыв воды (рисунок 7).

Полученная кривая вытеснения имеет линейный характер, следовательно:

- сопоставимы значения вязкостей вытесняющей и вытесняемой агентов;
- сопоставимы значения K_{rw} , K_{r0} ;
- планируемая закачка ВГВ приводит к стабилизации обводнения.

Альтернативным вариантом кривой вытеснения выбран подсчет значений при $K_{rw} = 1$ (вместо $K_{rw} = 0,3$), при котором произойдут отклонения по фактическим и прогнозным показателям, а именно: кривая будет носить оптимистичный характер обводнения, что не соответствует фактическим и прогнозным данным.

В итоге было принято решение оставить $K_{rw} = 0,3$ (рисунок 8). Поскольку коллектор трещинно-каверново-поровый и были введены новые скважины, впоследствии был получен новый уровень прорыва воды. С момента организации закачки скважины обводняются на 70 % и, по данным анализа кривой рисунка 8, происходит скачок на 1 %. Приведены кривые вытеснения по варианту с ВГВ и заводнением (рисунок 8). В варианте с применением ВГВ прослеживается «линеаризация» кривой относительно варианта с заводнением, что показывает анализ чувствительности.

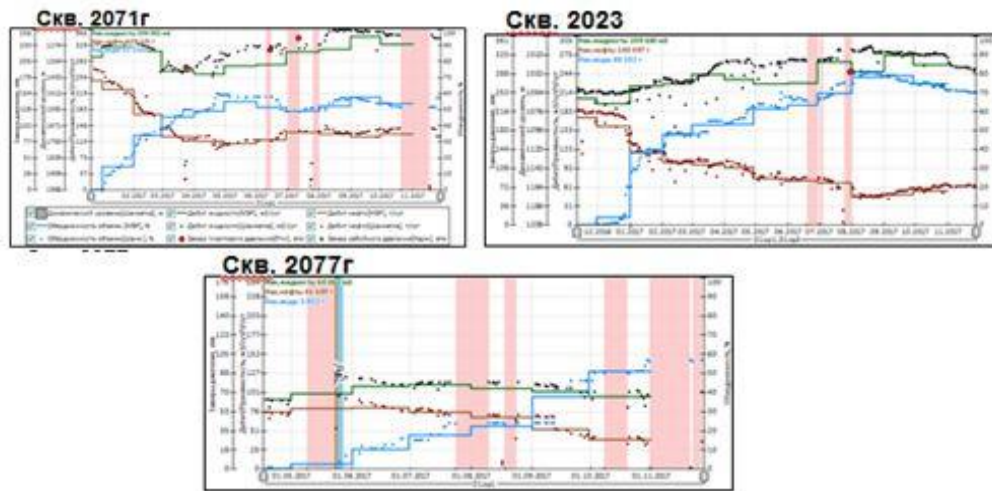
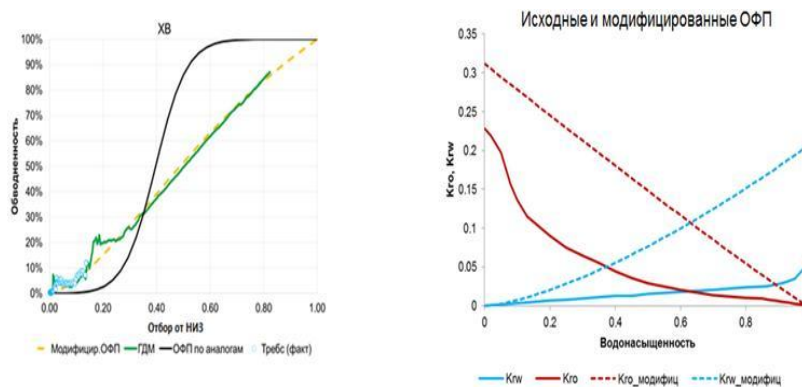


Рисунок 6. Скважины с высокой обводненностью продукции



Входная информация	Требс (Статусы Корр ОФП по аналогам)
E_o	6
E_w	2.9
$K_{гв_Swir}$	0.22
$K_{гн_Sor}$	0.06
Вязкость нефти	0.85
Вязкость воды	0.67
$Swir$	0.00
Sor	0.01
Объемный коэф. нефти	1.394
Объемный коэф. Воды	1
плотность нефти	0.816
плотность воды	1.134
Предельная обводненность	98%



Входная информация	
E_o	0.97
E_w	1.448
$K_{гв_Swir}$	0.31
$K_{гн_Sor}$	0.21
Вязкость нефти	0.85
Вязкость воды	0.67
$Swir$	0.00
Sor	0.01
Объемный коэф. нефти	1.394
Объемный коэф. Воды	1.1
плотность нефти	0.816
плотность воды	1.134
Предельная обводненность	98%

Рисунок 7. Модификация ОФП под расчет ГДМ для учета геологических особенностей

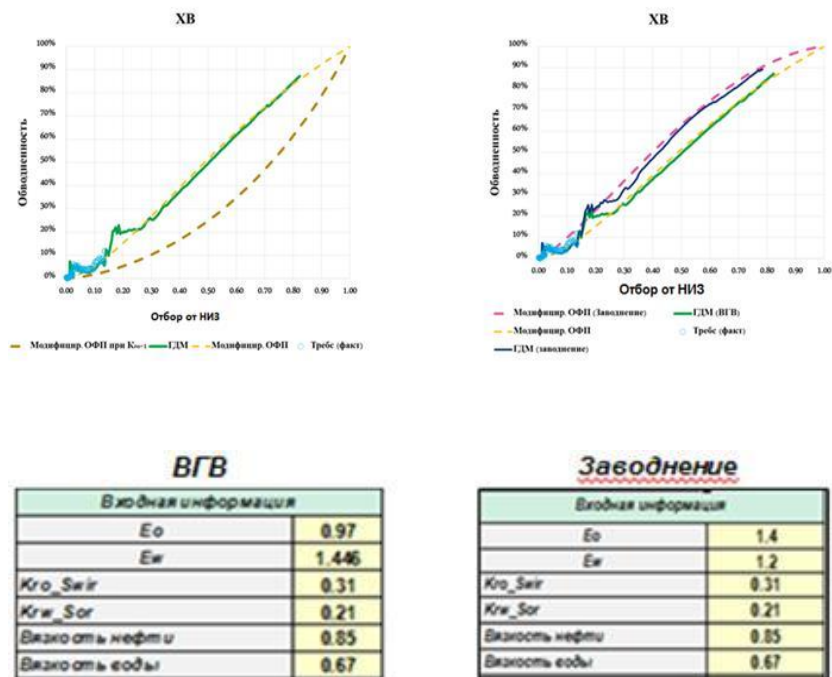


Рисунок 8. Обоснование исходной информации при модификации ОПГ

Вид характеристики вытеснения, который был построен в работе, позволяет определить: ожидаемые извлекаемые запасы нефти и сравнить их с утвержденными; эффективность от применения BGB.

Вывод

Выполненный анализ особенностей геологического строения месторождения, ме-

сторождений-аналогов и результаты гидродинамического моделирования позволили построить XB, максимально учитывающую все геологические особенности месторождения и внедрение BGB.

Полученная XB позволяет оперативно выполнять расчеты прогнозных показателей добычи без применения длительных расчетов на гидродинамических моделях.

Список литературы

1. Казаков А.А. Прогнозирование показателей разработки месторождений по характеристикам вытеснения нефти водой // Нефтепромысловое дело. 1976. № 8. С. 5-7.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность. Уфа: Гилем, 1999. 462 с.
3. Пьянков В.Н. Алгоритмы идентификации параметров модели Баклея-Левретта в задачах прогноза добычи нефти // Нефтяное хозяйство. 1997. № 10. С. 62-65.

References

1. Kazakov A.A. Prognostirovanie pokazatelei razrabotki mestorozhdenii po kharakteristikam vytesneniya nefiti vodoi [Forecasting of Indicators of Development of Fields on Characteristics of Displacement of Oil by Water]. *Neftpromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 1976, No. 8, pp. 5-7. [in Russian].
2. Mirzadzhanzade A.Kh., Khasanov M.M., Bakhtizin R.N. *Etyudy o modelirovanii slozhnykh sistem neftegazodobychi. Nelineinost', neravnovesnost', neodnorodnost'* [Etudes on Modeling of Complex Oil and Gas Production Systems. Nonlinearity, Nonequilibrium, Inhomogeneity]. Ufa, Gilem Publ.,

4. Островский Ю.М. К расчету относительных проницаемостей при нестационарном трехфазном потоке // Труды Укрпипрониинетфть. 1973. Вып. 11-12. С. 226-232.

5. Лискевич Е.И., Гнатюк Р.А. Характеристики вытеснения пластовых жидкостей месторождения Самотлор // Труды Укрпипрониинетфть. 1973. Вып. 11-12. С. 241-249.

6. Kryuchkov V.I., Romanov G.V., Pecherkin M.F., Ibatullin R.R., Sahabutdinov R.Z. Water-Gas Impact on the Reservoir on the Basis of Associated Gas as an Alternative to the Flooding // Interval. 2004. No. 4-5. P. 56-60.

1999. 462 p. [in Russian].

3. Pyankov V.N. Algoritmy identifikatsii parametrov modeli Bakleya-Leveretta v zadachakh prognoza dobychi nefiti [Algorithms for Identification of Buckley-Leverett Model Parameters in Oil Production Forecast Problems]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 1997, No. 10, pp. 62-65. [in Russian].

4. Ostrovskii Yu.M. K raschetu otnositel'nykh proniitsaemostei pri nestatsionarnom trekhfaznom potoke [On the Calculation of Relative Permeability in a Non-Stationary Three-Phase Flow]. *Trudy Ukrpiproiniineft' - Proceedings of Ukgidromet*, 1973, Issue 11-12, pp. 226-232. [in Russian].

5. Liskevich E.I., Gnatyuk R.A. Kharakteristiki vytesneniya plastovykh zhidkostei mestorozhdeniya Samotlor [Characteristics of Displacement of Reservoir Fluids of the Samotlor Field] *Trudy Ukgiproiniineft' - Proceedings of Ukgidromet*, 1973, Issue 11-12, pp. 241-249. [in Russian].

6. Kryuchkov V.I., Romanov G.V., Pecherkin M.F., Ibatullin R.R., Sahabutdinov R.Z. Water-Gas Impact on the Reservoir on the Basis of Associated Gas as an Alternative to the Flooding. *Interval*, 2004, No. 4-5, pp. 56-60.

Авторы

• Камалева Лейсан Линаровна
ООО «РН-БашНИПИнефть»
Специалист
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант
Российская Федерация, 450005, г. Уфа,
ул. Комсомольская, 2
e-mail: leisan_kamaleeva@mail.ru

• Рахимов Марат Рашитович
ООО «РН-БашНИПИнефть»
Главный инженер проекта
Российская Федерация, 450015, г. Уфа,
ул. Ленина, 86/1
e-mail: RakhimovMR@bashneft.ru

• Хафизов Айрат Римович, д-р техн. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Заведующий кафедрой «Бурение нефтяных
и газовых скважин»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: hafizov57@mail.ru

The Authors

• Kamaleeva Leisan L.
RN-BashNIPIneft LLC
Researcher
Ufa State Petroleum Technological University
Post-graduate Student
2, Komsomolskaya str., Ufa, 450005,
Russian Federation
e-mail: leisan_kamaleeva@mail.ru

• Rakhimov Marat R.
RN-BashNIPIneft LLC
Project Chief Engineer
86/1, Lenin str., Ufa, 450015,
Russian Federation
e-mail: RakhimovMR@bashneft.ru

• Khafizov Airat R., Doctor of Engineering Sciences,
Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Oil and Gas Drilling Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: hafizov57@mail.ru