

Оценка извлекаемых запасов нефти с применением интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики

В. С. Шумко^{1,2*}, Е. И. Мамчистова¹, С. С. Кузовлев²

¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

²ООО «Проектное бюро «Технологии эффективной разработки месторождений», г. Тюмень, Россия

*e-mail: vlad-to72@mail.ru

Аннотация. Оценка потенциально извлекаемых запасов нефти является актуальной проблемой при разработке месторождений. Один из способов прогноза запасов — это использование характеристик вытеснения нефти водой. Данный метод, в отличие от трехмерного гидродинамического моделирования, не занимает длительного расчетного времени и не требует информации о геологических и фильтрационных свойствах рассматриваемых объектов, а также больших экономических затрат.

В статье рассмотрено применение интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики для оценки потенциально извлекаемых запасов нефти. Описан алгоритм прогнозирования запасов данным способом. В ходе сравнительного анализа была продемонстрирована работоспособность метода в зависимости от обводненности в конце интервала аппроксимации. В результате при обводненности менее 90 % обнаружен более качественный прогноз, чем у традиционного способа применения характеристик вытеснения нефти водой.

Ключевые слова: характеристики вытеснения нефти водой; вероятностный подход; потенциально извлекаемые запасы нефти; прогноз

Estimating recoverable oil reserves using integral displacement characteristics based on probabilistic methodology

Vladislav S. Shumko^{1,2*}, Elena I. Mamchistova¹, Sergey S. Kuzovlev²

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²"Design Bureau "Technologies of effective field development" LLC, Tyumen, Russia

*e-mail: vlad-to72@mail.ru

Abstract. Estimation of recoverable oil reserves is an actual problem in field development. One way to estimate reserves is to use the characteristics of oil displacement by water. This method, in contrast to hydrodynamic modeling, doesn't take a long computational time and doesn't require information on the geological and filtration properties of the objects under consideration.

The article discusses the use of integral displacement characteristics based on a probabilistic method for assessing potentially recoverable oil reserves. We describe an algorithm for estimating reserves by this method. In the course of the comparative analysis, the efficiency of the method was demonstrated depending on the watercut at the end of the approximation interval. As a result, with a watercut of less than 90 %, a better forecast was found than in the classical application of the characteristics of oil displacement by water.

Key words: characteristics of oil displacement by water; probabilistic approach; potentially recoverable oil reserves; forecast

Введение

Задача оценки потенциально извлекаемых запасов становится актуальной в связи со вступлением большого числа нефтяных месторождений в Российской Федерации в завершающую стадию разработки, характеризующуюся низкими дебитами, высокой степенью выработки запасов добываемой продукции и высоким уровнем обводненности [1–3]. Характеристики вытеснения нефти водой зарекомендовали себя в качестве удобного инструмента для оценки запасов. Суть метода заключается в том, что по фактическим показателям накопленной или текущей добычи нефти, жидкости, воды и по их комбинациям строится функциональная зависимость [4–8]. Разные авторы предложили более 100 характеристик вытеснения, которые подразделяются на следующие группы: интегральные и дифференциальные характеристики, кривые обводнения и падения, двухпараметрические и многопараметрические (трех- и четырехпараметрические) зависимости.

На первом этапе специалисты ведут поиск неизвестных параметров с помощью аппроксимации данных, а на втором — экстраполируют функцию для получения прогнозных данных показателей разработки месторождений. Прогноз запасов выполняется до предельной обводненности продукции (как правило, 98 %), после достижения которой дальнейшая эксплуатация становится нерентабельной. Достоинством метода характеристик является то, что в качестве исходных данных применяется динамика технологических показателей, а информация о фильтрационных и геологических свойствах объекта не используется [9, 10]. Применение эмпирических функциональных зависимостей позволяет избежать больших экономических и временных затрат, необходимых для построения гидродинамической модели.

Однако метод характеристик вытеснения имеет ряд недостатков: плохая работа при низкой обводненности, отсутствие объективных критериев отбора характеристик и настроек интервала аппроксимации, необходимость в стабильной системе разработки на интервале аппроксимации. Кривые обводнения не рекомендуется применять при обводненности продукции менее 50–60 %. Динамика основных технологических и технико-экономических показателей разработки нефтяных месторождений (суммарная и текущая добыча нефти, жидкости и воды, текущий и накопленный водонефтяной фактор, число скважин, обводненность и другие параметры) может значительно меняться на протяжении времени. Эти изменения тесно связаны с уменьшением/увеличением фонда скважин, проведением геолого-технических мероприятий, изменением режима работы скважин.

Таким образом, нарушается прямолинейный характер у конкретной интегральной характеристики на интервале настройки, необходимый для достоверного прогноза. Большое количество существующих эмпирических зависимостей вносит значительный вклад в расхождение прогнозных значений у разных экспертов. Каждый специалист может применять индивидуальный набор характеристик для прогноза извлекаемых запасов, а также использовать разное количество точек на интервале аппроксимации. Могут

отличаться критерии отбора кривых (минимальная величина суммы квадратов разности между фактическими и аппроксимированными значениями, максимальная величина коэффициента корреляции или детерминации, минимальное значение отклонения в последней точке интервала, различные комбинации вышеперечисленных и других критериев). В некоторых случаях предельная обводненность не является одинаковой даже для одного объекта разработки. Также специалисты могут настраивать все характеристики с различных временных периодов, а для выбора конечного прогнозного значения использовать осреднение по всем зависимостям, по их оптимальному набору или брать только одну кривую.

Таким образом, экстраполированные значения потенциально извлекаемых запасов у разных экспертов могут сильно расходиться из-за огромного количества неоднозначных критериев, связанных с настройкой интервала аппроксимации и с отбором кривых, несмотря на одинаковый набор входных данных.

Очевидно, что различие в прогнозных результатах связано не только с субъективным мнением инженера, но еще и с заложенными программными алгоритмами в используемых продуктах.

При построении эмпирических зависимостей годовые и накопленные показатели по добыче нефти и воды должны выражаться в пластовых условиях, так как характеристики вытеснения отображают процесс фильтрации водонефтяной смеси в пласте. В данной работе рассматриваются исключительно интегральные кривые, так как они менее чувствительны к изменению режима работы залежи, чем дифференциальные [11–16].

Объект и методы исследования

Объектами исследования являются данные динамики добычи нефти, жидкости и других основных технологических показателей ряда крупных месторождений Западной Сибири и других регионов Российской Федерации. Начальные геологические запасы нефти по объектам разработки составляют от 142 000 до 210 000 тыс. т, извлекаемые — от 47 100 до 66 700 тыс. т. За время разработки месторождений отбор от начальных извлекаемых запасов составил минимум 94 % на каждом объекте. Рассматриваемые месторождения находятся в промышленной разработке с 70-х годов прошлого века.

Были разработаны две программы, в которых реализована оценка потенциально извлекаемых запасов нефти с помощью характеристик вытеснения нефти (9 интегральных зависимостей) и с помощью характеристик вытеснения на основе вероятностной методики (6 интегральных зависимостей). Для оценки запасов статистическим способом применяются следующие кривые обводнения: С. Н. Назарова — Н. В. Сипачева, Н. В. Сипачева — Л. Г. Посевича, Б. Ф. Сазонова, Н. И. Абызбаева, Г. С. Камбарова и А. М. Пирвердяна.

Для традиционного прогнозирования используются зависимости М. И. Максимова, В. Д. Лысенко, С. Н. Назарова — Н. В. Сипачева, Н. В. Сипачева — Л. Г. Посевича, Б. Ф. Сазонова, Н. И. Абызбаева, Г. С. Камбарова, А. М. Пирвердяна, Французского института нефти.

Входными данными являются текущая добыча нефти и жидкости в пластовых условиях, переводной коэффициент, начальные балансовые запасы нефти, ожидаемые извлекаемые запасы нефти.

Неизвестные параметры аппроксимации у кривых обводнения были найдены с помощью решения оптимизационной задачи. В качестве целевой функции использовались суммы квадратов разности между действительными и аппроксимируемыми значениями. Решение было найдено с использованием метода обобщенного приведенного градиента [17].

На основе применения разработанных программ было проведено сравнение двух описываемых методов оценки запасов нефти. Постепенно отсекались фактические данные с высокой обводненностью для дальнейшего прогноза, чтобы была возможность сравнить экстраполированные значения с известными извлеченными запасами.

Результаты

Применение вероятностной методики позволит избавиться от недостатков, связанных с настройкой интервала аппроксимации, а также с выбором критериев отбора характеристик. При использовании данного метода извлекаемые запасы нефти рассчитываются по каждой характеристике, по всем историческим точкам, начиная с обводненности 25 %. Начальный интервал аппроксимации постепенно смещается до трех последних точек истории разработки. Далее идет поиск нефизичных прогнозных значений извлекаемых запасов нефти: исключаются значения, относящиеся к кратности остаточных извлекаемых запасов более 25 лет и менее 2 лет. После происходит дополнительное отсеивание результатов по критерию двух сигм. Затем строятся функция распределения и функция плотности распределения оставшихся полученных значений извлекаемых запасов [18].

Вероятностный метод, при котором запасы оцениваются по функциям распределения рассчитанной величины вовлеченных в разработку запасов нефти, позволяет дать интервальную оценку изменения запасов нефти и статистическими методами оценить вероятные вовлеченные в разработку запасы [19]. Необходимо использовать единый набор характеристик, установленный в рамках организации для данного способа прогноза запасов.

Рассмотрено применение статистического метода на примере реального месторождения. На рисунке 1 продемонстрированы фактические данные динамики накопленной добычи нефти и обводненности за 40 лет на изучаемом объекте разработки. На первом этапе было получено распределение потенциально извлекаемых запасов. Расчет кривых обводнения начинался с тринадцатого временного интервала (обводненность 30,28 %). Далее число точек на интервале настройки последовательно сместилось до трех. Второй этап подразумевает отбор нефизичных значений. Максимальное число значений запасов для данного интервала составляло 150 (при использовании шести кривых обводнения). Однако произошло отсеивание некоторых прогнозных значений по критерию кратности запасов и по статистическому критерию.

Пример программного расчета прогнозных значений извлекаемых запасов нефти (пласт БВ6 крупного месторождения Западной Сибири) с помо-

щью интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики приведен на рисунке 2.

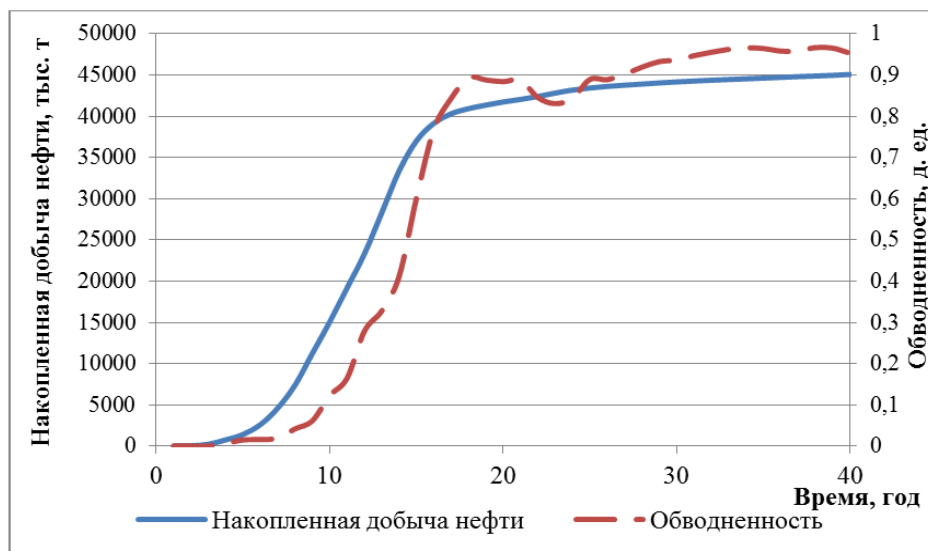


Рис. 1. Динамика фактических значений добычи нефти и обводненности

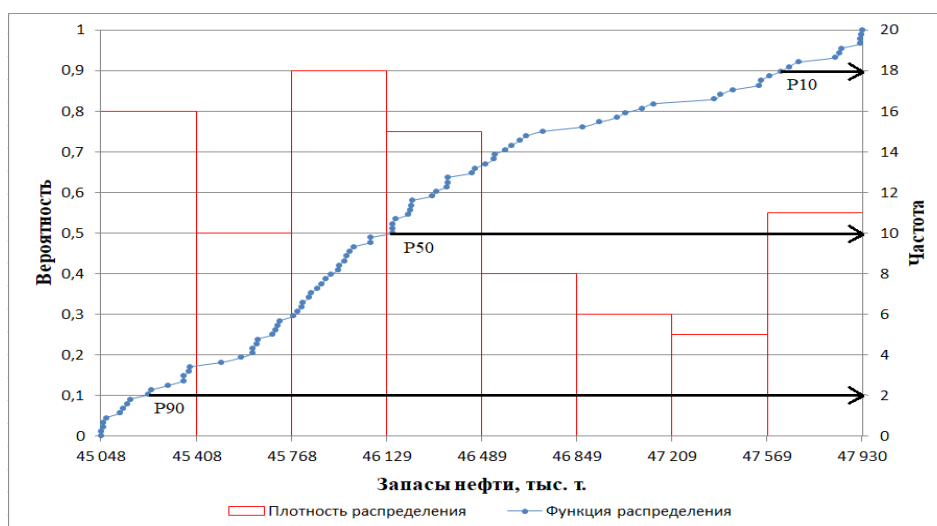


Рис. 2. Плотность распределения и функция распределения потенциально извлекаемых запасов нефти

P10, P50, P90 — вероятности того, что добытое количество нефти не превысит величину отметки с вероятностью 90, 50 и 10 % соответственно [20]. Вероятность P50 используется для определения потенциально извлекаемых запасов нефти. Для рассмотренного объекта разработки величина вероятности извлекаемых запасов P50 составила 46 140 тыс. т, P10 — 47 601 тыс. т, P90 — 45 229 тыс. т.

Обсуждение

Авторы статьи [21] в ходе научно-исследовательской работы анализировали качество оценки запасов на основе вероятностного подхода в зависимости от количества используемых кривых обводнения и интервала аппроксимации. Эксперты сравнивали работоспособность метода при использовании четырех и восьми интегральных характеристик вытеснения и наблюдали за изменением результатов оценки запасов при последовательном смещении начала интервала аппроксимации вплоть до четырех точек. В результате они пришли к тому, что расчетные результаты почти не зависят от числа используемых кривых и от интервала настройки.

В ходе собственных исследований был рассмотрен ряд объектов для сравнения работоспособности характеристик вытеснения на основе вероятностной методики с традиционным применением интегральных характеристик в зависимости от обводненности в конце интервала аппроксимации.

Исходя из фактических значений динамики добычи нефти и жидкости, были спрогнозированы извлекаемые запасы нефти по интегральным кривым и по характеристикам вытеснения на основе вероятностной методики. Для традиционного применения характеристик вытеснения интервал аппроксимации постепенно смещался влево для анализа при разной обводненности. Интервал состоял из четырех точек. После нахождения неизвестных параметров происходил отбор оптимальных характеристик по кратности выработки запасов. За извлекаемые запасы принимается величина, равная среднему значению по оптимальным зависимостям. Алгоритм для характеристик вытеснения на основе вероятностной методики был описан ранее. Оценка запасов с помощью вероятностного подхода осуществлялась по шести интегральным кривым обводнения.

Среднее значение отклонений между прогнозными и фактическими извлекаемыми запасами при разной обводненности на интервале аппроксимации

Обводненность, %	Среднее отклонение от извлекаемых запасов, %		Среднее число рассчитанных значений запасов для вероятностного подхода, шт.
	Характеристики вытеснения	Вероятностный подход (запасы P50)	
95	1,91	2,48	102,3
93	1,08	1,84	96,2
90	1,92	2,77	91,2
88	4,38	2,01	88,8
85	5,91	2,23	80
75	11,67	5,84	71,7
65	13,98	7,68	54
55	15,77	8,44	45,5
45	17,11	9,11	26,5
41	18,29	9,95	18

Полученные прогнозные значения извлекаемых запасов сравнивались с фактическими данными по каждому методу. В качестве отклонения прогнозных показателей от фактических учитывается среднее значение отклонений по всем объектам разработки для различных интервалов обводненности. В таблице и на рисунке 3 приведены результаты расчетов отклонений.

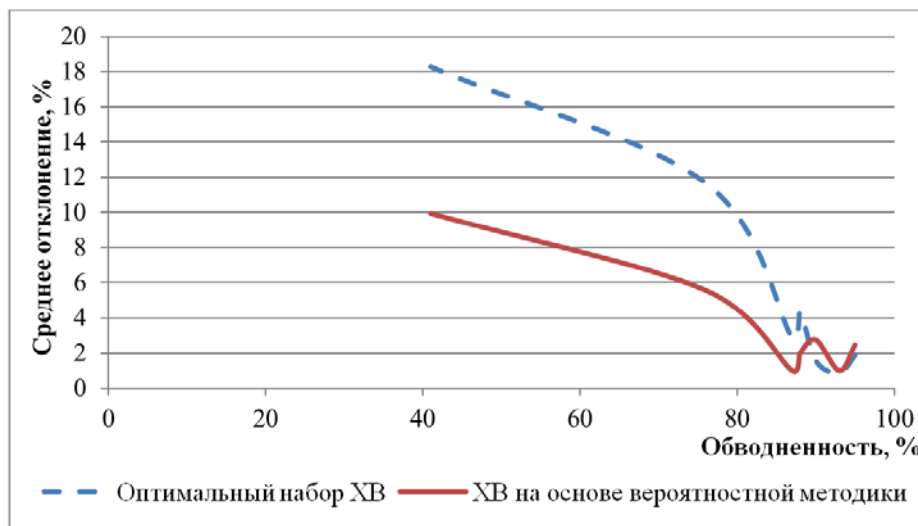


Рис. 3. Среднее значение отклонений между прогнозными и фактическими извлекаемыми запасами при разной обводненности на интервале аппроксимации

Применение интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики устраняет проблемы, связанные с плохой работой характеристик вытеснения при небольшой обводненности. При обводненности менее 90 % предлагаемый метод дает более точные результаты. Однако на более поздней стадии разработки статистический метод зачастую может уступать традиционному применению характеристик вытеснения.

Незначительные колебания отклонений на интервале обводненности 88–93 % у каждого метода можно объяснить нестабильным фондом скважин, так как на позднем этапе разработки начинают отключаться высокообводненные скважины.

Сравнивать работоспособность данных методов проблематично. При традиционном использовании характеристик вытеснения результаты прогнозных значений у различных экспертов могут значительно отличаться друг от друга из-за использования разного набора кривых и их количества, а также из-за отличающихся критериев точности (минимальная величина среднеквадратичного отклонения, минимальная величина ошибки аппроксимации, максимальная величина коэффициента корреляции, различные комбинации вышеперечисленных и других критериев).

Таким образом, результаты сравнительного анализа двух подходов могли бы быть другими из-за неоднозначных критериев характеристик вытеснения.

Выводы

Рассмотрен способ оценки извлекаемых запасов нефти с применением интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики. Предложенный метод стабильно показывает более точный результат при обводненности менее 90 %. Прогнозные значения почти не зависят от количества используемых кривых обводнения, интервала настройки и обводненности, с которой начинается аппроксимация данных. Результаты расчетов не будут отличаться у разных пользователей программного продукта из-за одинаковых настроек интервала аппроксимации, однозначных критериев отбора характеристик, а также из-за использования единого набора функциональных зависимостей. Применение статистического способа позволяет дать как наиболее вероятную оценку потенциально извлекаемых запасов (вероятность P50), так и максимальную (вероятность P10) и минимальную (вероятность P90).

Данное исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» по договору № 619ГУЦЭС8-D3/62126 от 20.10.2020.

Библиографический список

1. Ходанович, Д. А. Экспресс-метод оценки состояния разработки нефтяных месторождений / Д. А. Ходанович, Р. В. Малкош. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-6-84-87. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 84–87.
2. Оценка и классификация невовлекаемых запасов по критерию сложности разработки (на примере Салымской группы месторождений) / М. В. Наугольнов, С. И. Габитова, Р. И. Муртазин [и др.]. – DOI 10.24887/2587-7399-2020-1-42-46. – Текст : непосредственный // PRОнефть. Профессионально о нефти. – 2020. – № 1 (15). – С. 42–46.
3. Прогнозирование показателей разработки по характеристикам вытеснения нефти водой / Б. Ш. Акрамов, Т. Х. Наубеев, И. Я. Сапашов [и др.]. – Текст : электронный // Universum : технические науки : электронный научный журнал. – 2016. – № 7 (28). – URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3413>. – Дата публикации: 24 июля 2017.
4. Paryani, M. Decline curve analysis : a comparative study of proposed models using improved residual functions / M. Paryani, M. Ahmadi, O. Awoleke, C. Hanks. – DOI 10.4172/2157-7463.1000362. – Текст : непосредственный // Journal of petroleum & environmental biotechnology. – 2018. – Vol. 9, Issue 1. – P. [1–8].
5. Darwis, S. Robust decline curve analysis / S. Darwis, B. N. Ruchjana, A. K. Permadi. – DOI 10.22342/jims.15.2.50.105-111. – Текст : непосредственный // Journal of the Indonesian Mathematical Society. – 2009. – Vol. 15, Issue 2. – P. 105–111.
6. Методология прогноза запасов нефти и газа : достижения и перспективы / В. Д. Наливкин, М. Д. Белонин, В. С. Лазарев, Г. П. Сверчков. – Текст : непосредственный // Энергия и топливо. – 1981. – № 3. – С. 96–101.
7. Hudson, E. J. Cutting through the mystery of reserve estimates / E. J. Hudson, S. H. Neuse. – Текст : непосредственный // Oil & Gas Journal. – 1985. – Vol. 83, Issue 12. – P. 103–106.
8. Hudson, E. J. Depletion stage determines most effective methods for reserve-estimate integrity / E. J. Hudson, S. H. Neuse. – Текст : непосредственный // Oil & Gas Journal. – 1985. – Vol. 83, Issue 13. – P. 80–90.
9. Соколов, С. В. Математическая модель прогнозирования базовой добычи нефти с учетом неопределенностей на основе метода характеристик вытеснения / С. В. Соколов. – DOI 10.21684/2411-7978-2016-2-1-82-91. – Текст : непосредственный // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 82–91.

10. Соколов, С. В. Модификация характеристик вытеснения для краткосрочного прогноза добычи нефти и оценки эффекта от реализации программы геолого-технических мероприятий / С. В. Соколов. – Текст : непосредственный // Материалы международной научно-технической конференции, 17–21 ноября 2014 г. – Ханты-Мансийск, 2014. – С. 284–288.
11. Назаренко, М. Ю. Применение машинного обучения для вероятностного прогнозирования добычи и расчета потенциальных извлекаемых запасов нефти / М. Ю. Назаренко, А. Б. Золотухин – DOI 10.24887/0028-2448-2020-9-109-113. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 9. – С. 109–113.
12. Казаков, А. А. Методическое обеспечение единых подходов оценки эффективности методов ПНП / А. А. Казаков. – Текст : непосредственный // Технологии топливно-энергетического комплекса. – 2003. – № 2. – С. 47–53.
13. Integral Type Curves for Advanced Decline Curve Analysis / J. P. Spivey, J. M. Gatens, M. E. Semmelbeck, W. J. Lee. – DOI 10.2118/24301-MS. – Текст : непосредственный // SPE Mid-Continent Gas Symposium, 13–14 April, 1992. – Amarillo, Texas, 1992. – P. 91.
14. Казаков, А. А. Методы характеристик вытеснения нефти водой / А. А. Казаков. – Москва : Недра, 2020. – 176 с. – Текст : непосредственный.
15. Шумко, В. С. Использование характеристик вытеснения для оценки технологических показателей при базовом варианте разработки / В. С. Шумко, Е. И. Мамчистова. – Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии — нефтегазовому региону» (Тюмень, 20–21 мая 2020 г.) : в 2 томах / отв. ред. П. В. Евтин. – Тюмень : ТИУ, 2020. – С. 221–224.
16. Шумко, В. С. Использование интегральных характеристик вытеснения на основе вероятностной методики для оценки извлекаемых запасов нефти при базовом варианте разработки / В. С. Шумко, Е. И. Мамчистова, С. С. Кузовлев. – Текст : непосредственный // Материалы Национальной научно-практической конференции «Нефть и газ : технологии и инновации» (Тюмень, 19–20 ноября 2020 г.) : в 3 томах / отв. ред. Н. В. Гумерова. – Тюмень : ТИУ, 2020. – С. 182–184.
17. Федоренко, Р. П. Приближенное решение задач оптимального управления / Р. П. Федоренко. – Москва : Наука, 1978. – 488 с. – Текст : непосредственный.
18. Шумко, В. С. Применение вероятностного подхода для оценки потенциально извлекаемых запасов / В. С. Шумко, Е. И. Мамчистова. – Текст : непосредственный // Материалы национальной научно-технической конференции (7 декабря 2020 г.). – Тюмень, 2020. – С. 144–147.
19. Ханипов, М. Н. Вероятностная оценка вовлеченных в разработку запасов нефти на основе характеристик вытеснения с применением статистических методов / М. Н. Ханипов, А. В. Насыбуллин, Р. З. Саттаров. – DOI 10.24887/0028-2448-2017-6-37-39. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 6. – С. 37–39.
20. Ручкин, А. А. Вероятностный прогноз извлекаемых запасов по характеристикам вытеснения / А. А. Ручкин, С. А. Левагин. – Текст : непосредственный // Материалы международной научно-технической конференции, 14–18 ноября 2016 г. – Ханты-Мансийск, 2016. – С. 393–401.
21. Ручкин, А. А. Новый подход к оценке извлекаемых запасов по характеристикам вытеснения / А. А. Ручкин, Д. Н. Гусева. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 4. – С. 43–47.

References

1. Khodanovich, D. A., & Malkosh, R. V. (2017). Rapid method for oil-field development assessing. Oil Industry, (6), pp. 84–87. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2017-6-84-87
2. Naugolnov, M. V., Gabitova, S. I., Murtazin, R. I., Klimov, V. Yu., Grishko, F. V., & Edelman, I. Ya. (2020). Evaluation and classification of proved and undeveloped OOIP by reservoir complexity index (in case of Salym brown oil fields). PROneft. Professionals about oil, (1(15)), pp. 42–46. (In Russian). DOI: 10.24887/2587-7399-2020-1-42-46

3. Akramov, B. Sh., Naubeev, T. H., Sapashov, I. Ya., Sanetullaev, E. E., & Eshmuratov, A. B. (2016). Forecasting of indicators of development according to characteristics of replacement of oil by water. *Universum: tekhnicheskie nauki*, (7(28)). (In Russian). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3413>
4. Paryani, M., Ahmadi, M., Awoleke, O., & Hanks, C. (2018). Decline curve analysis: a comparative study of proposed models using improved residual functions. *Journal of petroleum & environmental biotechnology*, (9(1)), pp. [1-8]. (In English). DOI: 10.4172/2157-7463.1000362
5. Darwis, M., Ruchjana, B. N., & Permadi, A. K. (2009). Robust decline curve analysis. *Journal of the Indonesian Mathematical Society*, 15(2), pp. 105-111. (In English). DOI: 10.22342/jims.15.2.50.105-111
6. Nalivkin, V. D., Belonin, M. D., Lazarev, V. S., & Svehkov, G. P. (1981). Metodologiya prognoza zapasov nefi i gaza: dostizheniya i perspektivy. *Energiya i toplivo*, (3), pp. 96-101. (In Russian).
7. Hudson, E. J., & Neuse, S. H. (1985). Cutting through the mystery of reserve estimates. *Oil and Gas Journal*, 83(12), pp. 103-106. (In English).
8. Hudson, E. J. & Neuse, S. H. (1985). Depletion stage determines most effective methods for reserve-estimate integrity. *Oil & Gas Journal*, 83(13), pp. 80-90. (In English).
9. Sokolov, S. V. (2016). Mathematical prediction model for base oil production with account of uncertainties based on the method of displacement characteristics. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, 2(1), pp. 82-91. (In Russian). DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-82-91
10. Sokolov, S. V. (2014). Modifikatsiya kharakteristik vytesneniya dlya kratkosrochnogo prognoza dobychi nefi i otsenki effekta ot realizatsii programmy geologo-tekhnicheskikh mero-priyatiy. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, November, 17-21. Khanty-Mansiysk, pp. 284-288. (In Russian).
11. Nazarenko, M. Yu., & Zolotukhin, A. B. (2020). Application of machine learning for probabilistic production forecasting and ultimately recoverable reserves estimation. *Oil industry*, (9), pp. 109-113. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2020-9-109-113
12. Kazakov, A. A. (2003). Metodicheskoe obespechenie edinykh podkhodov otsenki effektivnosti metodov PNP. *Tekhnologii toplivno-energeticheskogo kompleksa*, (2), pp. 47-53. (In Russian).
13. Spivey, J. P., Gatens, J. M., Semmelbeck, M. E., & Lee, W. J. (1992). Integral Type Curves for Advanced Decline Curve Analysis. *SPE Mid-Continent Gas Symposium* (April, 13-14, 1992). Amarillo, Texas, p. 91. (In English). DOI: 10.2118/24301-MS
14. Kazakov, A. A. (2020). *Metody kharakteristik vytesneniya nefi vodoy*. Moscow, Nedra Publ., 176 p.
15. Shumko, V. S., & Mamchistova, E. I. (2020). Ispol'zovanie kharakteristik vytesneniya dlya otsenki tekhnologicheskikh pokazateley pri bazovom variante razrabotki. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu"* (May, 20-21). Tyumen, pp. 221-224. (In Russian).
16. Shumko, V. S., Mamchistova, E. I., & Kuzovlev, S. S. (2020). Ispol'zovanie integral'nykh kharakteristik vytesneniya na osnove veroyatnostnoy metodiki dlya otsenki izvlekaemykh zapasov nefi pri bazovom variante razrabotki. *Materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nef' i gaz: tekhnologii i innovatsii"* (November, 19-20): v 3 tomakh. Tyumen, Industrial University of Tyumen, pp. 182-184. (In Russian).
17. Fedorenko, R. P. (1978). *Priblizhennoe reshenie zadach optimal'nogo upravleniya*. Moscow, Nauka Publ., 488 p. (In Russian).
18. Shumko, V. S., & Mamchistova, E. I. (2020). Primenenie veroyatnostnogo podkhoda dlya otsenki potentsial'no izvlekaemykh zapasov. *Materialy natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* (December, 7). Tyumen, pp. 144-147. (In Russian).
19. Khanipov, M. N., Nasybullin, A. V., & Sattarov, Rav. Z. (2016). Probabilistic estimate of displaced oil reserves based on oil displacement by water characteristics using statistic methods. *Oil Industry*, (1), pp. 37-39. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2017-6-37-39

20. Ruchkin, A. A., & Levagin, S. A. (2016). Veroyatnostnyy prognoz izvlekaemykh zapasov po kharakteristikam vytesneniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (November, 14-18). Khanty-Mansiysk, pp. 393-401. (In Russian).

21. Ruchkin, A. A., & Guseva, D. N. (2016). New approach to the assessment of recoverable reserves by displacement characteristics. Oilfield Engineering, (4), pp. 43-47. (In Russian).

Сведения об авторах

Шумко Владислав Сергеевич, Тюменский индустриальный университет, инженер, ООО «ПБ «ТЭРМ», г. Тюмень, e-mail: vlad-to72@mail.ru

Мамчистова Елена Ивановна, к. т. н., доцент, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Кузовлев Сергей Сергеевич, заведующий отделом разработки нефтегазовых месторождений, ООО «ПБ «ТЭРМ», г. Тюмень

Information about the authors

Vladislav S. Shumko, Industrial University of Tyumen, Engineer, "Design Bureau "Technologies of effective field development" LLC, Tyumen, e-mail: vlad-to72@mail.ru

Elena I. Mamchistova, Candidate of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Sergey S. Kuzovlev, Head of the Department of Oil and Gas Field Development, "Design Bureau "Technologies of effective field development" LLC, Tyumen