

Критерии качества автоматизированной адаптации геолого-гидродинамической модели месторождения углеводородов

Еремян Г.А., Рукавишников В.С.

Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Томского политехнического университета, Томск, Россия
eremyanga@hw.tpu.ru

Аннотация

В работе рассматривается решение задачи выделения качественных моделей, полученных в результате автоматизированной адаптации геолого-гидродинамических моделей. Численное моделирование месторождения включает три основных этапа: создание статической геологической модели, построение на ее основе динамической фильтрационной модели, а также итеративный процесс адаптации созданной геолого-гидродинамической модели. На основе выбранных адаптированных моделей производятся прогнозные расчеты, позволяющие оценить неопределенности прогноза и связанные с ними риски. Целью данной работы является изучение критериев качества адаптации модели и обоснованности их использования на примере синтетической модели нефтяной залежи. Результаты данного исследования показывают недостатки использования значения целевой функции как единственного критерия качества адаптации модели, а также указывают пути к более обоснованному выделению качественных моделей.

Материалы и методы

Основными методами в работе являются численное геолого-гидродинамическое моделирование, сравнительный анализ и вычислительный эксперимент с использованием синтетической модели нефтяной залежи.

Ключевые слова

качество адаптации, критерии качества, целевая функция, оптимизационный алгоритм, автоматизированная адаптация, автоадаптация модели, геолого-гидродинамическое моделирование, нефтяное месторождение, численная модель

Благодарность

Авторы выражают благодарность Томскому политехническому университету и ООО «Газпромнефть НТЦ» за возможность проведения настоящего исследования в рамках совместного научно-исследовательского проекта на тему «Создание методологии адаптации геолого-гидродинамических моделей, управляемой геологическими неопределенностями», а также за разрешение опубликовать полученные результаты работы.

Для цитирования

Еремян Г.А., Рукавишников В.С. Критерии качества автоматизированной адаптации геолого-гидродинамической модели месторождения углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 6. С. 76–79. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10117

Поступила в редакцию: 20.11.2020

OIL PRODUCTION

UDC 622.276:532:519.876 | Original Paper

Quality criteria for automated history matching of hydrocarbon reservoir models

Eremyan G.A., Rukavishnikov V.S.

Petroleum Learning Centre of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
eremyanga@hw.tpu.ru

Abstract

The paper considers identifying of high-quality models obtained after automated history matching of hydrocarbon reservoir models. Numerical reservoir modeling consists of three main stages: creation of a static geologic model, construction of a dynamic filtration model on its basis and an iterative process of history matching of the created reservoir model. Based on the selected history matched models, predictive simulations are made to estimate the forecast uncertainties and associated risks. The purpose of this work is to study the quality criteria for the history matched models and the validity of their use on the example of a synthetic reservoir model. The results of this study show disadvantages of using the value of the objective function as the only quality criteria. Also, ways are indicated for a more reasonable selection of desired quality models.

Materials and methods

The main methods in this study are numerical reservoir simulation, comparative analysis and computational experiment using a synthetic reservoir model.

Keywords

history matching quality, quality criteria, objective function, optimization algorithms, automated history matching, reservoir simulation, oil field, numerical model

For citation

Eremyan G.A., Rukavishnikov V.S. Quality criteria for automated history matching of hydrocarbon reservoir models. Exposition Oil Gas, 2020, issue 6, P. 76–79. (In Russ). DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10117

Received: 20.11.2020

Введение

В настоящее время геолого-гидродинамические модели повсеместно применяются при разработке месторождений углеводородов. Численные модели позволяют интегрировать комплексные данные о пласте, имитировать фильтрацию флюида и помогают принимать более обоснованные решения по разработке месторождений. Численное моделирование месторождения включает три основных этапа: создание статической геологической модели, построение на ее основе динамической фильтрационной модели, а также итеративный процесс адаптации созданной геолого-гидродинамической модели. Роль адаптации заключается в приведении расчетных показателей разработки месторождения в соответствие с историческими. Адаптация модели производится путем настройки параметров модели в пределах их неопределенностей. Широкое распространение получили способы автоматизированной адаптации, или автоадаптации, когда параметры модели итерационно подбираются оптимизационным алгоритмом на основе значений целевой функции, чтобы минимизировать ее значение. В свою очередь целевая функция включает в себя расхождение расчетных и исторических показателей, таким образом характеризую точность воспроизведения моделью истории работы скважин месторождения.

Важной инженерной задачей является выделение качественных моделей по результатам автоадаптации. В дальнейшем на основе этих моделей производятся прогнозные расчеты, позволяющие оценить неопределенности прогноза и связанные с ними риски. Целью данной работы является изучение критериев качества адаптации модели и обоснованности их использования на примере синтетической модели нефтяной залежи.

Описание синтетической модели

В качестве инструмента для проверки аналитических умозаключений используется синтетическая модель нефтяной залежи SRM-6, построенная для выполнения множественных численных экспериментов. Модель состоит из 6 скважин, из которых 3 добывающие и 3 нагнетательные (рис. 1). Толщина пласта изменяется от 11 до 14 метров. Имитируется разработка методом заводнения с 7 годами истории, полученной путем расчета модели при истинных значениях параметров адаптации.

В качестве параметров адаптации выбрано 8 параметров, отвечающих за проницаемость, водонасыщенность и уровень зеркала свободной воды. Для вычислительных экспериментов по автоадаптации выбраны такие параметры модели, которые сильно влияют на динамику фильтрации пластовых флюидов и, как правило, обладают наибольшей неопределенностью.

В качестве оптимизационного алгоритма в работе использовалась эволюционная стратегия, отличающаяся простотой для понимания, прозрачностью в реализации и эффективностью в поиске глобального оптимума [1, 8–10].

Результаты расчетов на синтетической модели

В большинстве существующих на сегодняшний день публикаций по автоадаптации

значение целевой функции рассматривается как основной критерий качества адаптации модели [2, 4, 6, 7]. В некоторых публикациях [3] вводится отдельная метрика для описания качества адаптации. Создание отдельной метрики особенно актуально в случае, когда сравниваются разные формулировки целевой функции, и ее численное значение для одних и тех же моделей становится разным, делая сравнение между собой невозможным.

Рассмотрим связь целевой функции с критериями качества адаптации модели, принятыми в нефтегазовых компаниях. В то время как целевая функция является математическим описанием невязок между расчетом и историей, критерии качества адаптации представляют собой заданный набор невязок с пороговыми значениями, при достижении которых адаптация считается качественной (рис. 2).

Существует три причины, по которым использование значения целевой функции как единственного критерия качества адаптации модели некорректно и необоснованно.

Первая причина в том, что в общем случае минимизация целевой функции не гарантирует улучшение качества адаптации, то есть расчетные показатели работы скважин и разработки месторождения не обязательно будут становиться всё ближе к историческим. Наглядный пример из публикации [5] этого показан на рисунке 3. При расчетах на

модели SRM-6 была осуществлена имитация законного перетока в добывающей скважине P2. Обводненность резко выросла до 99,9 % и держалась на протяжении трех месяцев с сентября по ноябрь 2011 года. Дебит нефти упал до 0,001 м³/сут. Затем после ремонтно-изоляционных работ в декабре 2011 года дебит нефти вернулся к уровню до законного перетока.

Значение целевой функции в ходе адаптации уменьшалось, как и положено при оптимизации. Данный эффект приводит к тому, что оптимизатор, пытаясь минимизировать значение целевой функции, игнорирует адаптацию на других участках, где отсутствует описанный эффект. Как мы видим на рисунке, с каждой итерацией значение целевой функции уменьшается, но показатели работы скважин всё хуже воспроизводятся моделью, то есть такая целевая функция не характеризует качество адаптации.

Вторая причина связана с интегральным характером целевой функции. Как правило, на практике для разных показателей разработки применяются разные уровни допустимых отклонений при приемке адаптированных моделей. Целевая функция является суммарным показателем, который характеризует общее расхождение, при этом не проверяя каждую скважину и компонент целевой функции. Например, целевая функция может иметь

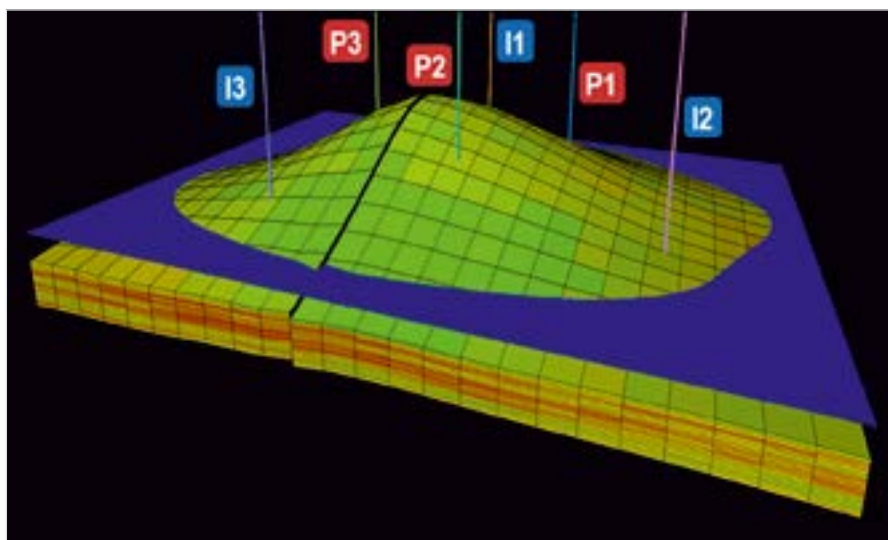


Рис. 1. Синтетическая модель нефтяной залежи SRM-6 в 3D-окне
Fig. 1. Synthetic reservoir model SRM-6 in 3D window

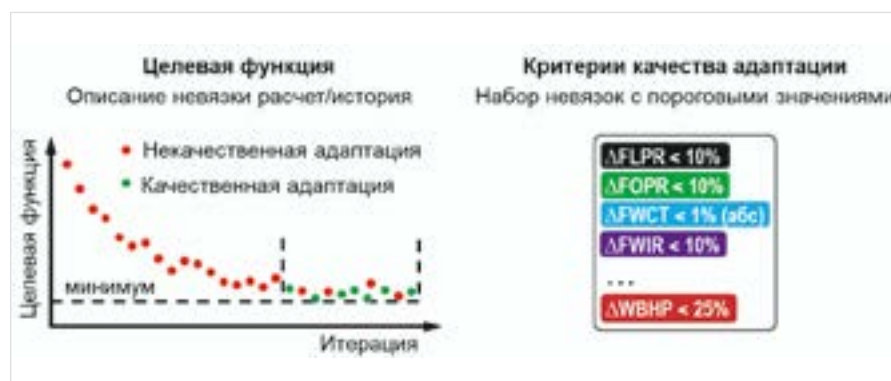


Рис. 2. Связь целевой функции с критериями качества адаптации
Fig. 2. Objective function and history match quality criteria

низкое значение за счет близкой адаптации по забойным давлениям, но при этом иметь отклонения по дебитам нефти выше допустимых для признания адаптации качественной. На рисунке 4 показано распределение значений целевой функции для набора из 600 моделей, полученных в

результате работы алгоритма оптимизации. Модели разделены на 2 группы в соответствии с удовлетворением или неудовлетворением критериев качества адаптации, принятых в ООО «Газпромнефть НТЦ». Пересечение распределений для случаев с качественной и некачественной адаптацией

говорит о том, что не существует такого значения целевой функции, ниже которого все модели были бы удовлетворительного качества, а выше — неудовлетворительного. В данном примере большинство моделей с целевой функцией ниже 21,7 удовлетворяют критериям качества адаптации. Однако в интервал значений целевой функции от 10 до 21,7 попадает некоторое количество моделей, не удовлетворяющих критериям качества. Аналогичная ситуация для моделей с удовлетворительным качеством адаптации со значениями целевой функции от 21,7 до 30. Таким образом, значение целевой функции на пересечении распределений не может быть строгим критерием качества адаптации модели.

Третья причина связана с формализацией в области применения геолого-гидродинамических моделей в нефтегазовой промышленности. Каждая компания может иметь свой набор критериев качества адаптации моделей либо ссылаться на существующие нормативные документы. Дело в том, что подобный набор критериев по допустимым расхождениям не связан напрямую математически со значением целевой функции. Таким образом, минимизировав целевую функцию, невозможно утверждать об удовлетворительном качестве адаптации без введения конкретного набора критериев качества адаптации, принятого

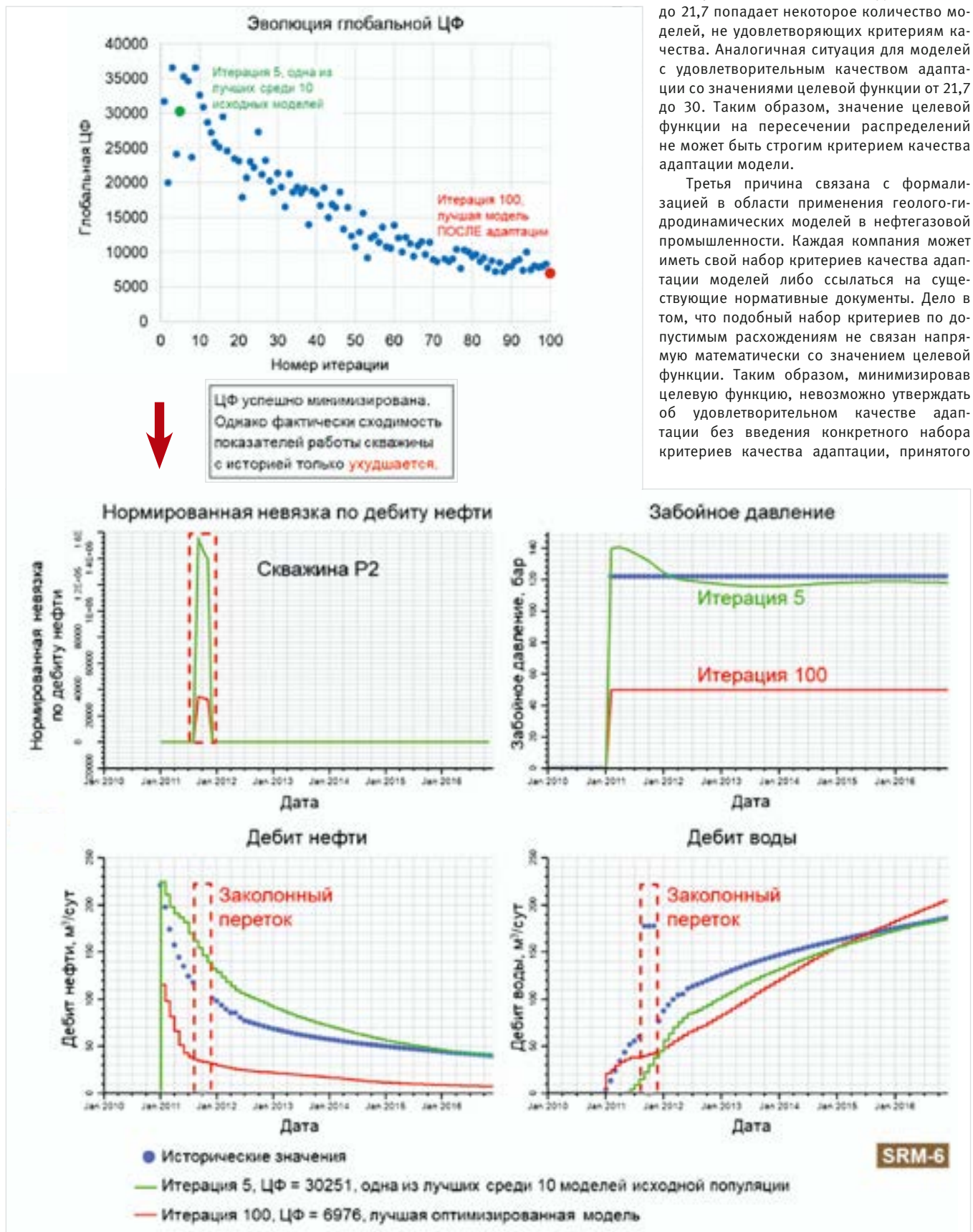


Рис. 3. Пример ухудшения качества адаптации при использовании целевой функции, нормированной на исторические значения
Fig. 3. Example of history matching quality deterioration when using the objective function normalized to the observed values

в компании или государственном органе, принимающем геолого-гидродинамическую модель месторождения.

Итоги

В практике геолого-гидродинамического моделирования месторождений углеводородов критерии качества адаптации представляют собой набор допустимых расхождений показателей работы скважин и разработки месторождения. В основу организации и проведения экспертизы цифровых геологических и фильтрационных моделей в проектных документах на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений положены требования отраслевых регламентов.

Выводы

Результаты множественных вычислительных экспериментов на основе численной модели нефтяной залежи показали, что минимизация целевой функции алгоритмом оптимизации не гарантирует достижения качественной адаптации геолого-гидродинамической модели. Выделение качественно адаптированных моделей должно производиться в соответствии с формальными критериями, принятыми в нефтяной компании.

Представленные результаты являются частью исследования по разработке методики выбора оптимальной целевой функции для автоадаптации. Дальнейшим направлением работ является изучение степени и характера влияния на эффективность целевой функции математического выражения невязок, компонентного состава и способов взвешивания целевой функции.

Литература/References

1. Шишаев Г.Ю., Матвеев И.В., Еремян Г.А., Демьянов В.В., Кайгородов С.В. Геологически обоснованная автоматизированная адаптация гидродинамических моделей на примере реального месторождения // Нефтяное хозяйство. 2020. № 6. С. 58–61. Shishaev G.Y., Matveev I.V., Eremyan G.A., Demyanov V.V., Kaygorodov S.V. Geologically plausible computer-aided

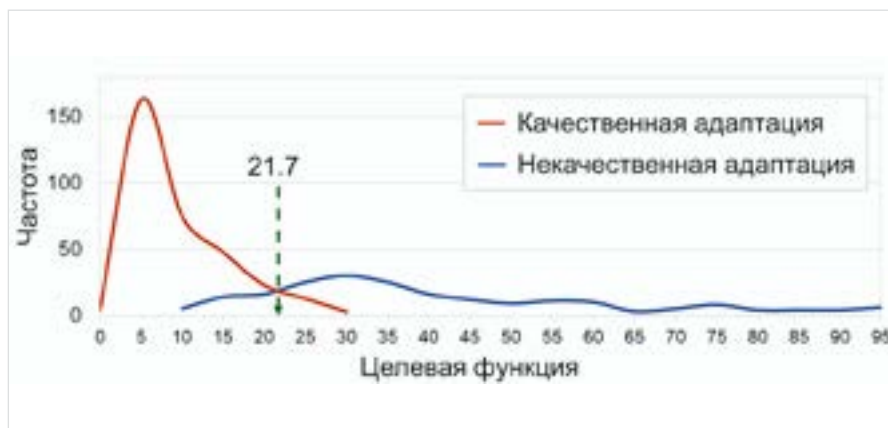


Рис. 4. Распределение значений целевой функции для случаев с удовлетворительным и неудовлетворительным качеством адаптации

Fig. 4. Distribution of objective function values for cases with satisfactory and unsatisfactory history match quality

- history matching on the example of one the oil fields. Oil Industry, 2020, issue 6, P. 58–61. (In Russ).
2. Almeida F.L.R., Formentin N.H., Maschio C., Davolio A., Schiozer J.D. Influence of additional objective functions on uncertainty reduction and history matching. Copenhagen, Denmark, 2018, 11–14 June, SPE Europec featured at 80th EAGE Conference, SPE-190804-MS.
3. Bertolini A.C., Schiozer J.D. Influence of the objective function in the history matching process. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011, Vol. 78, issue 1, P. 32–41. (In English)
4. Carneiro J., Azevedo L., Pereira M. High-dimensional geostatistical history matching. Computational Geosciences, 2018, Vol. 22, issue 1, P. 607–622.
5. Eremyan G., Matveev I., Shishaev G., Rukavishnikov V., Demyanov V. How does the definition of the objective function influence the outcome of history matching? Conference Proceedings, ECMOR XVII, 14–17 September 2020, Vol. 2020, P. 1–14.
6. Ferreira C.J., Davolio A., Schiozer D.J. Use of a probabilistic and multi-objective history matching for uncertainty reduction for the norne benchmark case. France, Paris, 2017, 12–15 June, SPE Europec featured at 79th EAGE Conference. SPE-185837-MS
7. Hutahaeen J.J., Demyanov V., Christie M.A. Impact of Model Parameterisation and Objective Choices on Assisted History Matching and Reservoir Forecasting. 2015. SPE-176389-MS.
8. Ishibuchi H., Tsukamoto N., Nojima Y. Evolutionary many-objective optimization: A short review. Proceedings of 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Hong Kong, June 1–6, 2008, P. 2424–2431.
9. Matveev I., Shishaev G., Eremyan G., Konoshonkin D., Demyanov V.V., Kaygorodov S. Geology realism control in automated history matching. Conference Proceedings, ECMOR XVII, 14–17 September, Vol. 2020, P. 1–9.
10. Matveev I.V., Shishaev G.Y., Eremyan G.A., Demyanov V.V. Geology Driven History Matching, 2019, SPE-196881-MS.

ENGLISH

Results

In the practice of reservoir modeling the history matching quality criteria are set of acceptable discrepancies in well performance and filed development indicators. The organization and examination of digital reservoir models in project documents for the development of oil and gas fields is based on the requirements of industry regulations.

Conclusions

The results of multiple computational experiments based on the synthetic numerical model of an oil reservoir showed that minimizing the objective

function by the optimization algorithm does not guarantee the achievement of a high-quality history matched models. The selection of history matched reservoir models should be carried out in accordance with the formal criteria adopted by the oil company.

The presented results are a part of the research aiming to develop a methodology for optimal objective function formulation for history matching. A further area of work is the research of influence of the other objective function formulation aspects on the efficiency of the objective function for history matching. In particular, it is necessary to study the influence of the mathematical expression of the mismatch, inclusion of components and weighing methods.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Еремян Грачик Араикович, инженер-исследователь, Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Томского политехнического университета, Томск, Россия.
Для контактов: eremyanga@hw.tpu.ru

Рукавишников Валерий Сергеевич, директор, Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Томского политехнического университета, Томск, Россия.

Eremyan Grachik Araikovich, research engineer, Petroleum Learning Centre of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.
Corresponding author: eremyanga@hw.tpu.ru

Rukavishnikov Valeriy Sergeevich, director, Petroleum Learning Centre of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.