

УДК 622.276:532:519.876

Г.А. Еремян

Томский политехнический университет, Томск

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЫБОРУ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АДАПТАЦИИ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

В данной статье представлен сравнительный анализ существующих подходов к выбору целевой функции для автоматизированной адаптации геолого-гидродинамических моделей месторождений углеводородов. Рассмотрены и проанализированы особенности подходов, их преимущества и недостатки, а также их опыт применения. Сделаны выводы относительно использования предпочтительного подхода.

Ключевые слова: геолого-гидродинамическое моделирование; автоадаптация модели; целевая функция; оптимизационный алгоритм.

G.A. Eremyan

Tomsk Polytechnic University, Tomsk

ANALYSIS OF APPROACHES TO THE OBJECTIVE FUNCTION SELECTION FOR AUTOMATED HISTORY MATCHING

This article is devoted to the comparative study of existing approaches to the objective function selection for automated history matching of hydrocarbon reservoir models. The features of the approaches, their advantages and disadvantages, as well as their application experience are considered and analyzed. Conclusions are drawn regarding the use of the preferred approach.

Keywords: hydrocarbon reservoir simulation; automated history matching; objective function; optimization algorithm.

В настоящее время разработка месторождений углеводородного сырья сопровождается геологическим и фильтрационным моделированием. Созданные модели природных резервуаров позволяют свести воедино комплексные данные о пласте, а также позволяют моделировать различные сценарии по дальнейшей разработке месторождения. Данный инструмент призван минимизировать риски, рационализировать схемы разработки залежей, способствовать максимизации извлечения запасов и прибыли недропользователя. В моделировании месторождения можно выделить 3 этапа: создание геологической модели, построение на ее основе фильтрационной модели, а также итеративный процесс адаптации созданной геолого-гидродинамической модели (ГГДМ).

Роль адаптация заключается в приведении расчетных показателей разработки месторождения в соответствие с наблюдаемыми (историческими). Адаптация модели производится путем варьирования 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. В свою очередь целевая функция включает в себя расхождения расчетных и исторических показателей, таким образом характеризуя точность воспроизведения моделью истории работы скважин месторождения. Роль оптимизационного алгоритма – минимизировать значение целевой функции. Успешность адаптации зависит в том числе от выбора вида целевой функции.

Целью данной работы является сравнительный анализ подходов к выбору целевой функции для автоадаптации, который позволит сделать обоснованный выбор в пользу более предпочтительного подхода. В общем случае, в состав целевой функции входят расхождения по нескольким разным показателям (целям) работы скважин: дебит нефти, дебит воды, забойное давление, пластовое давление и прочие. Подходы к заданию целевой функции условно разделены на две группы, показанные в табл. 1.

Таблица 1 – Существующие подходы к выбору целевой функции

Подход	Однокритериальная оптимизация	Многокритериальная оптимизация
Описание		
Количество ЦФ	Одна	Несколько
Математическое выражение невязки	Наиболее используемы выражения в виде МНК и СКО, единых требований нет	
Настройка влияния целей	За счет весов внутри ЦФ	За счет выбора и группирования ЦФ
Учет погрешности разных типов данных	Возможен посредством нормировки невязок на погрешности измерений	
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Простота, – Гибкость за счет весовых коэффициентов, – Реализован в большинстве программ для ГГДМ 	<ul style="list-style-type: none"> – Гибкость за счет свободы выбора целей и их групп, – Не требуются весовые коэффициенты, – Нахождение Парето-оптимальных решений
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> – Нет единого подхода к выбору компонент, способа нормировки, способов взвешивания 	<ul style="list-style-type: none"> – Нет единого подхода к выбору целей, – Проклятие размерности, – Отсутствует в большинстве программ для ГГДМ

Группа подходов, при которой все компоненты включаются в единую целевую функцию, на выходе давая одно суммарное значение, называется однокритериальной оптимизацией. Настройка влияния компонентов целевой функции производится с помощью весовых коэффициентов. Часто данные

коэффициенты выбираются специалистом на основе доверия к имеющимся измерениям, их достоверности и точности. Характерной чертой однокритериального подхода является простота, так как одно число характеризует качество адаптации для всей модели. Применение весовых коэффициентов обеспечивают гибкость формулировки целевой функции, позволяющей учесть особенности исходных данных истории. Однокритериальный подход является наиболее распространенным среди программ для геолого-гидродинамического моделирования. Недостатком подхода является отсутствие единой методики и набора рекомендаций по выбору компонентов целевой функции, способов взвешивания и нормировки невязок. Примеры применения однокритериального подхода к выбору целевой функции продемонстрированы в работах [1-5].

Вторая группа подходов, при которой создается несколько отдельных целей для оптимизации, называется многокритериальной оптимизацией. В данном подходе производится поиск Парето-оптимальных решений (рис.1).

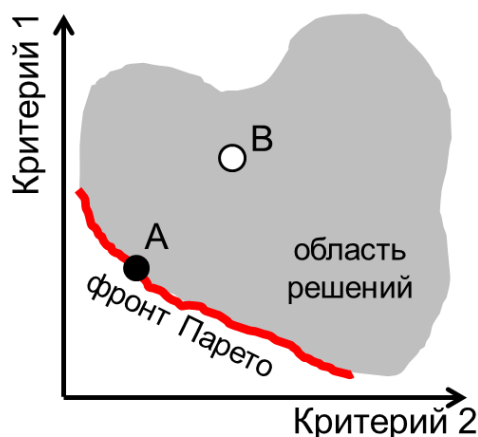


Рисунок 1 – Фронт Парето при многокритериальной оптимизации

Парето-оптимальные решения невозможно улучшить относительно любой из целей, не ухудшив результат, по крайней мере, для одной из других целей [6]. Множество Парето-оптимальных решений называется фронтом Парето.

Основными целями многокритериальной оптимизации являются:

1. Нахождение решений ближайших к фронту Парето,
2. Нахождение максимально разнообразных решений (вдоль фронта).

Важными для качественного прогноза по модели являются как близость к фронту Парето, так и наличие разнообразия решений для характеристики неопределенности полученного прогноза. При задании целевой функции в случае многокритериальной адаптации не требуется присвоения весовых коэффициентов. Гибкость обеспечивается свободой выбора и группирования целей.

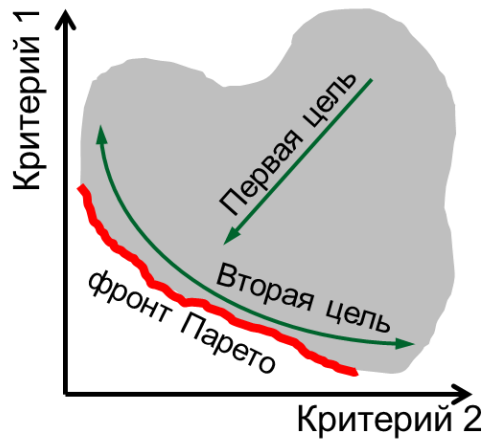


Рисунок 2 – Цели многокритериальной оптимизации

К ограничениям многокритериального подхода в первую очередь относится «проклятие размерности» в случаях, когда целей много. Проклятие размерности – экспоненциальный рост количества данных из-за увеличения размерности пространства. В публикации [7] отмечено, что эффективность исследования фронта Парето резко снижается при увеличении числа целей больше трех. В многомерном пространстве поиск решений имеет тенденцию сводиться к стохастическому перебору параметров, при этом расходуя вычислительные мощности в ущерб сходимости к Парето-оптимальным решениям. Основным способом борьбы с многомерностью являются способы понижения размерности, одним из примеров которой является группирование целей. Однако не существует универсального метода группирования.

Кроме описанных недостатков подхода многокритериальной оптимизации, данный метод не реализован в большинстве современных широко распространенных программ для построения и автоматизированной адаптации моделей месторождений углеводородов.

Подробное описание примеров применения многокритериальной оптимизации дано в работах [8-10].

Таким образом на основе анализа подходов и публикаций по выбору целевой функции для автоадаптации можно сделать вывод, что на данный момент не представлен в той или иной степени единый универсальный способ для выбора целевой функции, который бы обеспечивал гибкость, простоту и практичность с инженерной точки. Среди имеющихся подходов предпочтение отдается однокритериальной оптимизации, которая является более простой и не так подвержена проблеме «проклятия размерности». Гибкость данному подходу обеспечивает возможность задания трех видов весовых коэффициентов: для скважин, компонентов и временных шагов. Подход единой целевой функции реализован в большинстве широко распространенных программ для моделирования месторождений углеводородов, используется в проектных институтах и компаниях-недропользователях.

Выбор оптимальных параметров целевой функции является задачей дальнейших исследований. Предстоит определить рекомендации для выбора компонентного состава целевой функции, способов нормировки и взвешивания.

Работа выполнена при поддержке ООО «Газпромнефть-НТЦ».

Список литературы

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.
2. Bertolini A.C., Schiozer J.D. Influence of the objective function in the history matching process // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011, Volume 78, Issue 1, p.32-41.
3. 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, Sep 2020, Volume 2020, p.1 – 14.
4. Matveev I., Shishaev G., Eremyan G., Konoshonkin D., Demyanov V., Kaygorodov S. Geology realism control in automated history matching // Conference Proceedings, ECMOR XVII, Sep 2020, Volume 2020, p.1 – 9.
5. Rwechungura R.W., Dadashpour M., Kleppe J. Advanced History Matching Techniques Reviewed // SPE-142497-MS. – 2011.
6. Лотов А.В., Поспелова И.И., Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
7. Hutahaean J.J., Demyanov V.V., Christie M.A. On Optimal Selection of Objective Grouping for Multiobjective History Matching // SPE-185957-PA. – 2017.
8. Almeida F.L.R., Davolio A., Schiozer D.J. A New Approach to Perform a Probabilistic and Multi-objective History Matching // SPE-170623-MS. – 2014.
9. Ding Y.D., McKee F., Using partial separability of the objective function for gradient-based optimizations in history matching // SPE-140811-MS. – 2011.
10. Schulze-Riegert R.W., Krosche M., Fahimuddin A., Ghedan S.G. Multiobjective Optimization With Application to Model Validation and Uncertainty // SPE-105313. – 2007.

Сведения об авторах

Еремян Грачик Араикович – инженер-исследователь Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Томского политехнического университета, Томск, email: eremyanga@hw.tpu.ru

About the authors

Eremyan Grachik Araikovich – research engineer, Petroleum Learning Centre of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, eremyanga@hw.tpu.ru