

**ВЛИЯНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ НЕВЯЗКИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ НА
ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОАДАПТАЦИИ ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Еремян Г.А.

Научный руководитель - доцент В.С.Рукавишников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Моделирование используется в сфере разработки нефтяных и газовых месторождений для повышения эффективности выработки запасов углеводородов. До применения модели для прогноза производят ее адаптацию на данные истории, чтобы модель воспроизводила исторически измеренные параметры работы скважин. Неотъемлемой частью автоматизированной адаптации модели являются оптимизационный алгоритм и целевая функция (ЦФ), выражающая отклонение расчетных показателей от фактических и позволяющая оптимизатору находить решения обратной задачи.

Целью данной работы является исследование влияния математического выражения невязки ЦФ на эффективность адаптации модели. Под эффективностью подразумевается одновременная минимизация расхождений расчета от истории и требуемых для этого вычислительных затрат. Методами исследования являются сравнительный анализ и численное моделирование на синтетической цифровой модели нефтяного месторождения.

Основными математическими выражениями для расчета значения ЦФ являются:

1. Среднее линейное отклонение (СЛО);
2. Отклонение по методу наименьших квадратов (МНК);
3. Среднеквадратическое отклонение (СКО).

Выражение СЛО используется в методе наименьших модулей, представляет собой среднее арифметическое модулей всех отклонений расчетного значения от исторического (формула 1).

$$\text{СЛО} = \sum_n \frac{|S_i - O_i|}{n}, \quad (1)$$

где n – число шагов расчета, i – шага расчета, S – расчет, O – история.

СЛО измеряется в тех же величинах, что и сами данные, поэтому интуитивно понятно и интерпретируемо. Абсолютные отклонения являются надежными в том смысле, что они устойчивы к выбросам. Каждому отклонению придается одинаковое значение, прямо пропорциональное абсолютным отклонениям, в отличие от суммы квадратов отклонений. В публикациях по автоадаптации моделей месторождений углеводородов выражение ЦФ в виде СЛО используется редко, обычно при сравнении разных вариантов ЦФ.

Формула МНК является средним арифметическим квадратов отклонений (формула 2).

$$\text{МНК} = \sum_n \frac{(S_i - O_i)^2}{n}, \quad (2)$$

где n – число шагов расчета, i – шага расчета, S – расчет, O – история.

Для несмещенной оценки формула МНК равна ее дисперсии. Как и дисперсия, отклонение в виде МНК измеряется в квадратах единиц оцениваемых величин. Данное выражение часто используется в качестве функции потерь в статистике больше благодаря удобству, чем какому-то явному математическому преимуществу [10]. В работе [7], где сравниваются разные формулировки целевой функции, в ходе численных экспериментов МНК показал более быструю минимизацию, чем СЛО. Недостатком выражения отклонения в виде МНК является сильное взвешивание выбросов вследствие возведения отклонений в квадрат [6].

Выражение СКО представляет собой квадратный корень из среднего арифметического квадрата отклонений (формула 3).

$$\text{СКО} = \sqrt{\sum_n \frac{(S_i - O_i)^2}{n}}, \quad (3)$$

где n – число шагов расчета, i – шага расчета, S – расчет, O – история.

Для несмещенной оценки СКО является квадратным корнем из дисперсии. СКО измеряется в единицах измерения самой величины, для которой рассчитывается. За счет извлечения квадратного корня из квадратов отклонений чрезмерное взвешивание выбросов нивелируется.

Большинство коммерческих программ для моделирования с возможностью автоадаптации имеют в своем арсенале перечисленные способы математического выражения отклонений в ЦФ. Подавляющее большинство работ по автоадаптации успешно используют СКО либо МНК [5, 8, 9, 11]. По причине большей устойчивости к выбросам в сравнении с МНК предпочтение в настоящем исследовании отдается выражению ЦФ в виде СКО.

В используемом программном комплексе имеется варианты задания невязок в виде СЛО и СКО. Для того, чтобы убедиться, что отброшенный вариант СЛО не представляет преимущества в процессе автоадаптации, был проведен ряд вычислительных экспериментов (Рисунок).

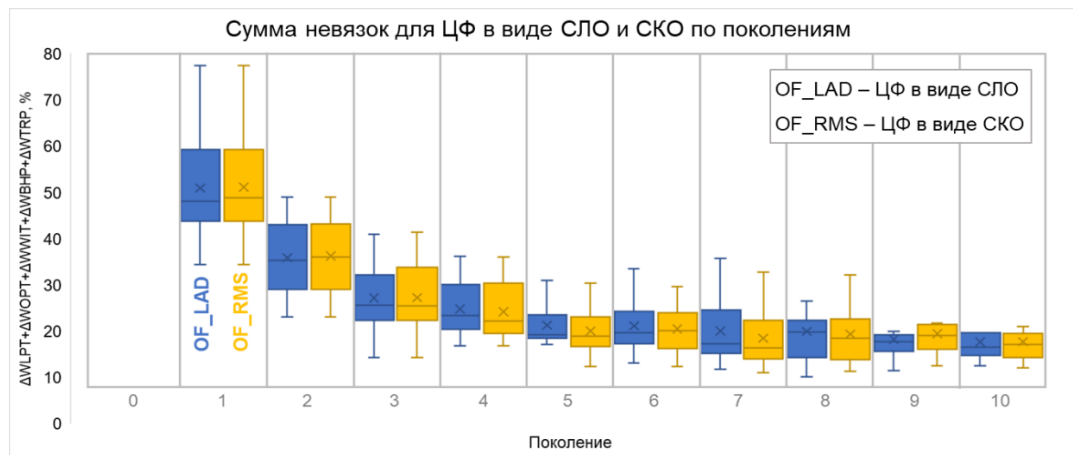


Рис. Результаты оптимизации с целевой функцией в виде среднего линейного и среднеквадратического отклонений

Для каждого из двух вариантов было рассчитано 10 циклов оптимизации для того, чтобы нивелировать фактор случайности. По вертикальной оси суммированы все основные отклонения по критериям качества адаптации. Как видно из рисунка 1, начиная с поколения 4 до 7 СКО дает среднюю невязку на 1-2% меньше. Лучшие модели в поколениях с 4 по 7 дают невязку на 1-5% меньше.

Таким образом, для автоадаптации геолого-гидродинамических моделей рекомендуется использовать математическое выражение невязок ЦФ в виде СКО. Представленные результаты являются частью исследования по разработке методики выбора оптимальной целевой функции для автоадаптации, различные аспекты которой опубликованы в статьях [1-4].

Работа выполнена при поддержке ООО «Газпромнефть-НТЦ».

Литература

1. Еремян Г.А. Влияние способов взвешивания целевой функции на эффективность автоадаптации численной модели месторождения углеводородов // Нефтепромысловое дело. – 2021. – №1. – С. 33 – 40.
2. Еремян Г.А. Методика выбора оптимальной целевой функции для автоадаптации геолого-гидродинамической модели // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2021. – №1. – С. 30 – 38.
3. Еремян Г.А., Рукавишников В.С. Влияние способов нормировки целевой функции на результаты автоадаптации численной модели месторождения углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6. – С. 81 – 86.
4. Еремян Г.А., Рукавишников В.С. Критерии качества автоматизированной адаптации геолого-гидродинамической модели месторождения углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6. – С. 76 – 79.
5. 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.
6. Begashaw G.B., Yohannes Y.B. Review of Outlier Detection and Identifying Using Robust Regression Model // International Journal of Systems Science and Applied Mathematics. – 2020. Vol. 5. – No. 1. pp. 4 – 11.
7. 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.
8. 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.
9. Hutahaean J.J., Demyanov V.V., Christie M.A. On Optimal Selection of Objective Grouping for Multiobjective History Matching // SPE-185957-PA. – 2017.
10. Lehmann E.L., Casella G. Theory of Point Estimation (2nd ed.) / New York: Springer. 1998. 590p.
11. 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.