

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЙ РАЗРАБОТКИ ГРУППЫ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Соломатин А.Н.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д.40
a.n.solomatin@bk.ru

Аннотация: Рассматриваются математический аппарат, обеспечивающий формирование стратегий разработки группы газовых месторождений на основе совместного использования имитационного моделирования, сеточных методов, дискретной и многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: Группа газовых месторождений, стратегия разработки, дискретная оптимизация, многокритериальная оптимизация.

В рамках концепции регионального программирования [1] в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына ФИЦ «Информатика и управление» РАН были разработаны модели, методы, алгоритмы и программные комплексы для решения задач перспективного планирования газо- и нефтедобывающих регионов, проектирования генеральных схем освоения нефтяных и газовых месторождений.

В частности, в 80-е гг. была разработана Система перспективного планирования добычи газа (СПДГ) [2]. Система многократно использовалась при расчетах долгосрочных планов добычи газа по различным объектам газодобычи: Северо-Тюменской газоносной провинции, группам месторождений Восточной Украины, шельфа Черного моря, Ямбургскому и Оренбургскому месторождениям и т.д. Как дальнейшее развитие системы СПДГ, была разработана Система моделирования и оптимизации добычи газа (СМОД) [3, 4], в которой добавлены возможности решения оптимизационных задач.

В обеих системах реализована имитационная модель группы газовых месторождений [2], которая позволяет определять объемы добычи газа и основные технико-экономические показатели добычи в динамике по месторождениям. Модель работает на основе минимальной входной и управляющей информации, к которой относятся план добычи по группе месторождений и порядок ввода месторождений в эксплуатацию.

Актуальность перспективного планирования и прогнозирования в газовой отрасли связана с необходимостью анализа долгосрочных перспектив добычи газа и экономической эффективности добычи, в первую очередь для принятия стратегических управленческих решений по освоению новых газодобывающих регионов на Востоке и Крайнем Севере страны.

В отличие от централизованного планирования, в условиях рыночной экономики план добычи для группы месторождений нельзя считать заданным, и возникает задача оптимизации стратегий разработки группы месторождений. Задача нахождения наилучшей стратегии разработки для группы месторождений по своей сути является многокритериальной. Важнейшим критерием является накопленная добыча газа (извлекаемые запасы газа); максимизация накопленной добычи – это и удовлетворение растущего спроса на газ, и валютная выручка, и эффективное использование запасов. С другой стороны, чистая стратегия максимизации накопленной добычи является весьма затратной (большие объемы буровых работ) и неэффективной с точки зрения транспорта газа.

Предлагается искать приближенное решение оптимизационной задачи в дискретной постановке с использованием методов дискретной оптимизации, причем искать не только оптимальное решение для критерия максимума накопленной добычи, но и множество близких к нему решений [5]. Для каждого такого решения по результатам моделирования определяются значения дополнительных критериев, что позволяет осуществлять многокритериальный выбор стратегии для реализации.

Имитационный характер модели группы месторождений не позволяет задать целевую функцию и ограничения оптимизационной задачи аналитически. Поэтому непрерывная задача оптимизации накопленной добычи сводится к дискретной за счет введения равномерной сетки с параметрами (m, n) , покрывающей область выхода траекторий плана добычи по группе на уровень постоянной добычи («полку»), где m - количество узлов сетки по оси ОХ (максимальное количество лет выхода добычи на «полку»), а n - количество узлов по оси ОУ (количество уровней добычи). Решение задачи ищется на конечном множестве G допустимых траекторий планов добычи по группе, проходящих через узлы такой сетки. Это - целочисленные векторы планов вида $y = (y_1, y_2, \dots, y_m) \in G$

такие, что $y_j \in \{1, 2, \dots, n\}$, $j = \overline{1, m}$, и $y_j \leq y_{j+1}$, $j = \overline{1, m-1}$ (в силу неубывания планов добычи до выхода на «полку»).

Необходимо найти такое решение $y^* \in G$, что

$$f(y^*) = \max_{y \in G} f(y),$$

а также множество элементов N , близких к оптимальному, такое, что

$$f(y) \geq f(y^*) - R, \quad y \in N \subset G,$$

где f - функционал накопленной добычи по группе, а $R > 0$ - заданная величина.

Данная задача дискретной оптимизации является неполиномиальной с оценкой $O(n^m)$. Оценка может быть существенно улучшена: мощность множества $x_{n,m}$ допустимых решений G для заданной сетки (m, n) с учетом неубывания значений векторов планов может быть оценена [5] с помощью

рекуррентных формул вида $x_{n,m} = x_{n,m-1} + x_{n-1,m}$ или $x_{n,m} = \sum_{k=1}^n x_{k,m-1}$.

Область допустимых решений можно сузить за счет использования таких ограничений, как задаваемые ЛПР верхнее и нижнее ограничения на траектории планов, траектория максимально крутого выхода плана добычи по группе на «полку», сумма «полок» всех месторождений группы, накопленная добыча по группе на начало планового периода. Обеспечивается округление значений этих траекторий до значений в ближайших узлах сетки и автоматическое построение области допустимых решений в зависимости от взаимного расположения данных траекторий.

Для решения оптимизационной задачи используется модифицированный метод ветвей и границ (ММВГ) [1], позволяющий находить не только оптимальное, но близкие к нему по значению функционала накопленной добычи решения из N .

При реализации данного метода формирование векторов планов и разбиение множества решений G на подмножества производится справа налево - от конца временного периода выхода на «полку». Тогда для сетки с параметрами (m, n) в каждом подмножестве разбиения $G_{j,i}$ будут находиться векторы планов, у которых правые части совпадают, а левые - не определены (различаются) вплоть до окончания процесса порождения векторов планов, т.е. для любых $y^1, y^2 \in G_{j,i}$ справедливо $y_t^1 = y_t^2, t \leq j$ и $y_j^1 = y_j^2 = i$.

Определяется оценочная функция добычи $Q_y^*(t)$ и оценочная функция накопленной добычи $f^*(y)$ такие, что для любого плана $y \in G$ и $t \in [0, T]$ выполняются условия $Q_y^*(t) \geq Q_y(t)$, $f^*(y) \geq f(y)$, где $Q_y(t)$ - динамика добычи газа по группе. При этом $Q_y^*(t) = Q_y(t)$ до момента начала падения добычи по группе месторождений для «полки» p и $Q_y^*(t) = p$ на этапе падающей добычи по группе. Очевидно, что для любого вектора плана $y \in G$ справедливо $f^*(y) \geq f(y)$, т.е. $f^*(y)$ является верхней оценкой накопленной добычи газа $f(y)$.

На множестве G вводится отношение порядка (доминирования) \leq и доказывается [5], что оценочная функция $f^*(y)$ монотонна по y , т.е. из $y_1 \geq y_2$, $y_1, y_2 \in G$ следует $f^*(y_1) \geq f^*(y_2)$. Тогда в качестве верхней оценки $g(G_{j,i})$ произвольного подмножества разбиения $G_{j,i}$ используется оценочная функция $f^*(y)$ для доминирующего вектора плана $\bar{y}_{j,i} \in G_{j,i}$ такого, что ему соответствует самая верхняя траектория выхода плана добычи на «полку» среди всех траекторий планов из $G_{j,i}$, то есть $g(G_{j,i}) = f^*(\bar{y}_{j,i})$, где $\bar{y}_{j,i} \geq y$ для $\bar{y}_{j,i} \in G_{j,i}$ и любого $y \in G_{j,i}$.

Наконец, доказывается основное условие применимости метода ветвей и границ - неубывание верхних оценок подмножеств разбиения [5]. Показывается, что функция $g(G_{j,i})$ на самом деле является оценкой (соответствует исходному функционалу $f(y)$ и быстро рассчитывается), является верхней оценкой и не возрастает по мере разбиения G на подмножества.

Приведем особенности применения ММВГ для решения данной задачи оптимизации:

- в качестве первоначального рекордного решения \hat{y} берется ограничение самого крутого выхода на «полку»;
- дерево ММВГ хранится в виде списка, из которого исключаются отбракованные и/или раскрытые вершины;
- для дальнейшего ветвления выбирается множество с максимальной оценкой среди всех новых подмножеств разбиения;
- отсев некоторого множества $G_{j,i}$ производится при выполнении условия $g(G_{j,i}) < f(\hat{y}) - R$, что при $R > 0$ позволяет отбирать (не отсеивать) все решения, близкие к оптимальному;
- работа алгоритма ММВГ оканчивается, когда остается набор одноэлементных подмножеств разбиения, которые нельзя ни отбраковать, ни разбить на подмножества.

Для каждого варианта решений из множества близких работает имитационная модель группы месторождений, чтобы на основании выходных показателей модели рассчитать агрегированные показатели - критерии оценки данного варианта.

Средства многокритериальной оптимизации позволяют найти реальный (рациональный) [1] вариант стратегии развития группы месторождений как наилучший по заданным критериям, таким как объем накопленной добычи газа, величина и длина «полки», капиталовложения, чистая прибыль, цена на газ, NPV и т.д. Анализ и выбор вариантов производится при помощи стандартных методов, таких как нахождение множества Парето, линейная свертка значений критериев, поиск вариантов в окрестности идеальной точки и т.д. Сохраняется последовательность вложенных друг в друга множеств отобранных вариантов, поэтому всегда можно произвести откат к предыдущему уровню процесса и изменить его направление и/или параметры. Окончательный вариант стратегии разработки группы месторождений выбирается ЛПР по неформализованным критериям оценки на основании визуального анализа результатов оптимизации в виде так называемых профилей, где каждому варианту соответствует ломаная, соединяющая значения различных критериев, причем критерии отображаются по оси ОХ, а их значения - по оси ОУ.

Используемый подход совмещает достоинства традиционной и многокритериальной оптимизации, нивелируя их недостатки. Так, в первом случае не для всякой задачи можно найти оптимальное решение за приемлемое время и не учитывается многокритериальность реальных задач. При этом нахождение точного оптимального решения по основному критерию не всегда оправдано, поскольку такое решение обычно неудовлетворительно по остальным критериям оценки решений. Предложенный подход может быть использован при решении достаточно широкого класса нелинейных многокритериальных задач.

Рассмотренный подход, модели и алгоритмы были реализованы в виде программной системы СМОД [3] на языке С# в инструментальной среде Visual Studio для Windows 7.

Литература

1. Хачатуров В.Р. Математические методы регионального программирования. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
2. Маргулов Р.Д., Хачатуров В.Р., Федосеев А.В. Системный анализ в перспективном планировании добычи газа. – М.: Недра, 1992. – 287 с.
3. Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р., Скиба А.К. Моделирование и оптимизация разработки группы газовых месторождений // Экспозиция Нефть Газ. 2017, №1. – С. 56-59.
4. Хачатуров В.Р., Соломатин А.Н., Зотов А.В. и др. Планирование и проектирование освоения нефтегазодобывающих регионов и месторождений: Математические модели, методы, применение / Под ред. В.Р. Хачатурова. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2015. – 304 с.
5. Соломатин А.Н. Некоторые оптимизационные задачи для группы газовых месторождений. – М.: ВЦ РАН, 2009. – 44 с.