

УДК 622.013

**В.В. Агафонов, П.В. Шавров**

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ФОРМ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Приводятся результаты исследований в области анализа методов оптимизации количественных и качественных параметров угольных шахт.*

*Ключевые слова: угольная шахта, методы оптимизации, параметры.*

---

**О**дной из главных задач проектирования угольных шахт является определение их качественных характеристик, соответствующих горно-геологическим условиям месторождения и обеспечивающих вместе с тем наилучшие экономические показатели разработки этого месторождения.

Методология играет исключительно важную роль в выборе оптимальных параметров шахты, на которые оказывает влияние многообразие факторов: горно-геологических, технологических, технико-экономических и др. В области определения основных качественных характеристик шахт горная наука располагает значительным числом научных и инженерных методов.

До недавнего времени основными методами определения качественных параметров шахты были математико-аналитический, графоаналитический, сравнение проектных вариантов, статистический и комбинированный методы. Математико-аналитический метод успешно применяется при оптимизации отдельных параметров шахты, когда в аналитической форме увязываются один-три и реже четыре-пять параметров.

Метод вариантов состоит в том, что по двум или большему числу качественно отличным технологическим вариантам (схем) производят детальные расче-

ты затрат, величина которых зависит от варьируемого параметра. Метод вариантов применяется для решения таких задач, как выбор схемы вскрытия и способа подготовки шахтного поля, системы разработки, средств механизации очистных и подготовительных работ, режима работы шахты, способа проведения выработок, типа поверхностного комплекса и т.д.

Достоинством метода вариантов является возможность учета большого числа факторов и довольно точное решение поставленной задачи. Основными недостатками метода вариантов являются его: значительная трудоемкость и большие затраты времени на перебор вариантов.

В связи со значительным техническим прогрессом в угольной промышленности повысились требования к точности и надежности оптимизации параметров шахты. Применяемые для оптимизации аналитические методы не могли в достаточной мере удовлетворить требованиям к выбору оптимальных параметров шахты.

Объективный выбор параметров шахты связан с необходимостью учета большого числа природных, технологических и технико-экономических факторов. Поэтому современная шахта представляет собой сложную комплексную многовариантную систему.

При такой постановке отыскание оптимальных решений традиционными методами затруднено, а в ряде случаев практически неосуществимо из-за высокой трудоемкости и значительной продолжительности выполнения вычислительных работ. Приходится вводить в анализ ряд условных допущений, например, допущение о постоянстве значений некоторых величин, являющихся переменными, ограничивать число рассматриваемых вариантов и т.д.

На базе уже имевшихся традиционных методов решения задач технико-экономического анализа с применением ЭВМ были созданы методы экономико-математического моделирования для проектирования угольных шахт.

Высокая степень упрощения реальных условий в таких моделях была обусловлена в первую очередь отсутствием надежных технических средств численного анализа и, вытекавшим отсюда стремлением к строгому аналитическому решению. По той же причине синтез оптимальных решений в масштабе шахты в наилучшем случае ограничивался последовательной передачей результатов решения задачи с одного уровня на другой. Например, итоги выбора оптимальной системы разработки принимались как исходные данные при определении способа подготовки шахтного поля, а итоги решения второй задачи учитывались как исходные данные при выборе способа вскрытия или других основных параметров шахты. В некоторых случаях количественный анализ совместного влияния двух, трех независимых переменных на уровень критерия оптимальности выполнялся методом вариантных расчетов или путем комбинации аналитического решения системы из двух-трех алгебраических уравнений с методом итераций. Количественный анализ совместного влияния даже трех-пяти переменных был весьма трудоемким.

В горном деле модели, разработанные в период, предшествовавший появлению ЭВМ, статичны и строго детерминированы. Совершенствование традиционных методов проектирования угольных шахт базируется на достижениях в области вычислительной математики и электронно-вычислительной техники. Электронно-вычислительные машины являются мощными техническими средствами расширения умственной деятельности человека, способными реализовать огромное количество инженерно-технических оптимизационных расчетов и синтезировать их в единую систему взаимосвязанных задач.

На базе уже имевшихся традиционных методов решения задач технико-экономического анализа с привлечением ЭВМ были созданы методы экономико-математического моделирования для проектирования угольных шахт. Методы экономико-математического моделирования позволяют формально описать систему, выявить ее основные соотношения и взаимосвязи.

Развитие методов оптимизации шло, в основном, по пути увеличения размерности моделей и числа учитываемых природных и технических факторов.

На основе принципов динамического программирования А.С. Бурчаков, Б.М. Воробьев, П.В. Авдулов, А.С. Малкин и др. предложили метод поэтапной оптимизации параметров с последующей увязкой промежуточных решений. Процесс отыскания оптимальных параметров становится многошаговым. На каждом шаге определяются условно оптимальные значения параметров с учетом влияния всех последующих этапов оптимизации. После отыскания условно оптимальных параметров на всех этапах процесс оптимизации идет в обратном направлении и тем самым определяются истинно оптимальные параметры рассматриваемой системы.

Многомерность экономико-математических моделей для выбора оптимальных параметров угольных шахт, сложность и высокая трудоемкость при недостаточной достоверности результатов диктуют необходимость упрощения этих моделей и уменьшения их размерности при одновременном повышении качества моделей. В этом направлении заслуживают внимания метод последовательной оптимизации параметров шахт, разработанный в МГИ, метод разбиения сложной системы шахты на подсистемы и построение моделей этих подсистем (ИГД АН Казахской ССР), методика оценки надежности проектных решений (Московский и Днепропетровский горные институты).

В области определения количественных параметров шахт горная наука располагает значительным числом научных и инженерных методов.

К математико-аналитическим методам следует отнести метода оптимизации, основанные на исследовании целевой функции на экстремум с помощью дифференцирования, метод неопределенных множителей Лагранжа.

Метод неопределенных множителей применяется в случаях исследования на экстремум Функции нескольких переменных при наличии дополнительных условий, выраженных равенствами.

Методы поиска экстремальных значений функции с помощью классического анализа имеют ограниченное применение, так как при постановке задачи они требуют, чтобы не было ограничений на аргументы или чтобы эти ограничения были представлены лишь в виде равенства. Сами непрерывные функции, определяемые численными коэффициентами, в практике проектирования разрабатывать сложно.

Графоаналитический метод основан на использовании в ходе решения задачи одновременно и аналитических формул и графиков функций и применяется при условии, когда уравнения слишком сложны для решения аналити-

ческим способом. Этот метод применяется также для решения уравнений, в которых искомые величины заданы в неявной форме.

Статистический метод состоит в том, что целевая функция находится путем надлежащей обработки статистических данных. Обработка собранных статистических данных производится методами математической статистики. Наиболее известными из этих методов являются корреляционный и регрессивный анализы.

Методы корреляционного и регрессивного анализа широкое применение находят при решении ряда теоретических задач оптимального проектирования и, в первую очередь, при проведении экспериментальных исследований, ставящих своей целью практическую проверку полученных теорией рекомендаций и подготовку исходной базы для выдвижения новых гипотез. Метод корреляционного анализа при оптимизации параметров шахт используется также для построения формул расчета отдельных единичных стоимостных параметров и показателей.

Существенным недостатком известных корреляционных моделей является их ориентация на уже достигнутые показатели, статичность, пассивность.

Метод сравнения вариантов применяется для решения таких задач, как выбор производственной мощности шахты, размеров шахтного поля, блоков, панелей, горизонтов и т.д.

В пятидесятые и шестидесятые годы широко внедрилось в практику оптимизации параметров шахт большое число математических методов: методы линейного, нелинейного, динамического, целочисленного программирования, методы сетевого моделирования, методы теории массового обслуживания и др.

Метод линейного программирования является наиболее разработанным разделом математического программирования для решения горно-экономических задач, в которых целевая функ-

ция является линейной функцией многих переменных, а ограничивающие условия задачи системой линейных равенств и неравенств.

Метод линейного программирования нашел применение при оптимизации площадей поперечного сечения горных выработок, при распределении нагрузки на очистные забои в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях шахты, при решении задачи оптимального комплексного проектирования, при решении различного рода транспортных и других задач.

Недостаток методов линейного программирования заключается в ограниченной области их применения, так как формулировка задачи должна быть представлена лишь в виде линейных зависимостей.

Методы нелинейного программирования представляют наибольший интерес при оптимизации параметров шахт. Большинство оптимизационных горно-экономических задач является задачами нелинейного программирования. Эта задача допускает ряд методов, из которых при конкретном проектировании и нашла применение методика Центрогипрошахта, основанная на использовании градиентного метода.

Для оптимизации задач нелинейного программирования могут быть применены методы типа, направленного перебора вариантов, а также градиентные методы и Монте-Карло. Однако задачи нелинейного программирования не имеют общих алгоритмов оптимизации. Наиболее полно разработаны методы решения задач выпуклого и, особенно квадратичного программирования.

Методы динамического программирования широко применяются при решении задач, допускающих разбиение

на этапы. Развитие шахты представляется как последовательная смена состояний, начиная с пуска шахты в эксплуатацию и кончая полной отработкой всех запасов шахтного поля и закрытием шахты. Однако метод динамического программирования не дает общего алгоритма, пригодного для всех задач.

Методами целочисленного программирования решаются задачи, в которых переменные выражаются целыми числами. Бурное развитие кибернетики и электронно-вычислительной техники дало возможность по-новому подойти к решению сложных многовариантных задач оптимальных параметров угольных шахт, отказаться от многих допущений и упрощений, присущих ранее применявшимся методам, составить более полное и точное математическое описание оптимизируемых параметров, резко увеличить количество рассматриваемых решений, применить новейшие методы вычислительной математики, выполнить все расчеты на современных электронно-вычислительных машинах с многократным их повторением и учетом взаимодействия результирующих параметров.

К настоящему времени многими научно-исследовательскими, проектными институтами и отдельными авторами проведено значительное число оптимизационных расчетов параметров шахт на базе экономико-математических. Оптимизацией охватывался широкий круг управляемых количественных параметров шахты, в который входят мощность шахты, длина лавы, число очистных забоев одновременной работе, нагрузка на очистной забой, продвижение очистного забоя, размеры панелей, блоков, их число в одновременной работе и т.д. **ИЛС**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Агафонов В.В.* — доктор технических наук,  
*Шавров П.В.* — аспирант,  
Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru