

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВСКРЫТИЯ ПРИБОРТОВЫХ ЗАПАСОВ

Солиев Бекзод Зокирбоевич

Навоийский государственный горно-технологический университет
доцент кафедры “Горное дело”, к.т.н. PhD

Туйчибоев Захриддин Илхом угли

Навоийский государственный горно-технологический университет
магистр кафедры “Горное дело”
E-mail: olimjonkobilov@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрено математическая модель вскрытия прибортовых запасов карьера Мурунтау современном развитии работ учитывающий технические достоинства и недостатки возможных вариантов.

Ключевые слова: шахты, рудники, карьеры, обогатительные фабрики, вскрытия, прибортовых запасов, математическая модель, новой технологии.

Abstract: The article considers the mathematical model of opening the instrument reserves of the Muruntau quarry in the modern development of work taking into account the technical advantages and disadvantages of possible options.

Keywords: mines, quarries, processing plants, openings, instrument reserves, mathematical model, new technology.

Введение. Современные шахты, рудники, карьеры, обогатительные фабрики представляют сложные, комплексные предприятия оснащенные мощной горной техникой. Процесс планирования и управления технологическими процессами, горными предприятиями и объединениями требует принятия правильных решений. При этом функции управления и планирования все более усложняются из-за роста объемов производства, ухудшения горно-геологических условий, дальнейшего развития техники, повышения требований к максимальному использованию недр и охране окружающей среды [1].

Современное производство отличается не только размерами и сложностью, затрудняющими принятия решения, но и высокой капиталоемкостью, резко повышающей ущерб от ошибок в проектировании и управлении. Такая ситуация

характерна для всей экономики, а также и науки, что создает предпосылки для разработки новой технологии принятия решений, основанной на количественных оценках вариантов, исключая или уменьшая значение субъективных факторов.

Таким образом, для повышения качества планирования и управления горным производством необходимо широкое внедрение математических методов.

Методы и материалы. Математическое моделирование и методы принятия решений на основе моделей составляют существо исследования операций.

На основе исследования операций лежат следующие принципы: воспроизводимость результатов, доступность для проверки всех вычислений и допущений, независимость выводов от личности, репутации или частных интересов [2-4].

Обоснование принимаемых решений с помощью методов исследования операций предполагает изучение и формальное, математическое описание разрешаемой ситуации, поиск параметров операции, обеспечивающих решения, экстремум выбранной системы критериев качества, исследования и оценку полученных результатов [5-9].

Каждый этап решения операционной задачи имеет свою методологическую основу и составляет самостоятельный раздел исследования. Методы формального и количественного описания исследуемой ситуации составляет раздел математического моделирования, методы поиска оптимального решения по сформированной математической модели - математическое программирование, объединяет эти разделы и позволяет оценить полученные результаты теория выбора и принятия решения.

Поэтому применение научных методов исследования позволяет решать возникающие сложные задачи в короткое время и получать на этой основе эффективные результаты.

При проектировании подземных рудников первоочередным и основным вопросом становится вскрытие шахтного поля. Вскрытие месторождения является сложной задачей и при его решении возникает несколько вариантов.

Выбор того или иного варианта вскрытия осуществляется обычным путём технико-экономического сравнения вариантов. По этому методу в начале предполагается сравнение возможных вариантов проектного решения.

Каждое возможное проектное решение анализируют с точки зрения соответствия предъявляемым требованиям вскрытия.

Таким образом, выявляют технические достоинства и недостатки каждого из большого числа возможных вариантов, выбирают наиболее целесообразные для данных конкретных условий. Окончательное решение принимают на основе технико-экономического сравнения.

Метод вариантов универсален и может быть использован при решении многих вопросов. В соответствии с «Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений» в качестве основного критерия оценки вариантов принимают сумму приведенных затрат. Для характеристики особенности вариантов учитывают и другие показатели.

Метод технико-экономического сравнения применяется довольно часто в комбинации с аналитическим, статистическим методом операционных исследований и другими методами [10-12].

Методы операционных исследований могут быть применены для решения самых разнообразных горнотехнических и горно-экономических задач. К числу таких методов математического анализа относятся:

- линейное программирование
- нелинейное программирование
- динамическое программирование
- сетевое программирование и др.

Перечисленные методы применяются для описания эффективного варианта проектного решения, называемого оптимальным. За последние годы эти методы начали использовать для решения задач экономического характера, и они получили название экономико-математических методов. Цель экономической задачи сводится к отысканию оптимального решения, обеспечивающего заданный производственный результат при минимальных затратах или максимальный производственный эффект.

Для решения задачи разрабатывается математико-экономическая модель исследуемого явления, учитывающая основные факторы и закономерности, которая подвергается математическому анализу.

При решении задач следует учитывать сложность конкретной производственной ситуации. Это наилучшим образом обеспечивается экспериментированием в реальных условиях. Однако некоторые задачи решаются в системах, не допускающих экспериментов, так как неудача будет равноценна катастрофе.

Поэтому при исследовании операции широко используют модели задач (прежде всего математические).

Результаты. Математические модели описывают закономерности, присущие изучаемому объекту, с помощью математических моделей.

Процесс принятия решения состоит из двух этапов:

1. выбор показателя эффективности, описание множества допустимых решений и целевых функций;
2. отыскание экстремального значения целевой функции и соответствующего ему решения.

Первый этап заключается в математическом описании условия, в которых протекает операция, цели ее осуществления, а второй – в решении полученной экстремальной математической задачи.

Построение модели задачи и выбор показателя эффективности является наиболее сложной и главной задачей исследования. Модель и показатель эффективности всегда должны выбираться с учетом конкретно поставленной задачи.

Оптимизационные модели включают следующие составные части: управляемые и неуправляемые переменные (параметры), показатель эффективности, целевую функцию и ограничения.

К управляемым переменным относятся величины, значения которых необходимо найти в процессе решения задачи. Их часто называют также оптимизационными величинами.

К неуправляемым переменным относятся величины которых в процессе принятия решения данной задачи остаются постоянными.

Возможные значения управляемых переменных часто ограничены условиями задачи. Наличие ограничений суживает круг решения задачи и делает ее определенной.

Критерий эффективности выбирается в зависимости от цели задачи, ее природы и условий осуществления. С одной стороны, он должен быть достаточно прост, чтобы его легко было вычислить и анализировать, а с другой стороны, должен быть чувствителен (критичен) по отношению к оптимизируемым величинам (управляемым переменным).

Процесс математического моделирования включает следующие этапы:

- уяснение и постановка задачи;
- выбор целевой функции и критерия эффективности;
- сбор исходных материалов, выявление управляемых и неуправляемых переменных;
- построение математической модели операции;
- решение модели, т.е. отыскание оптимума целевой функции;

- логическая и экспериментальная проверка модели и полученного решения.

Для построения модели вскрытия подземного рудника разделим месторождение на горизонты и если существует открытая разработка, отметим контуры карьера. Далее составим специальную матрицу, с учетом всех горизонтов, на которые разделено месторождение. По вертикали располагаем все возможные варианты вскрытия шахтного поля. Имеем n горизонтов, i -тый горизонт имеет запас руды Q_i ($i=1, 2, \dots, n$) и имеем m вариантов вскрытия, j - вариант имеет пропускную способность ствола M_j ($j=1, 2, \dots, m$).

V_1	...	V_i	...	V_m	Запасы	Время отработки	
$C_{11}; C'_{11}; L_{11}; X_{11}$	...	$C_{1j}; C'_{1j}; L_{1j}; X_{1j}$	...	$C_{1m}; C'_{1m}; L_{1m}; X_{1m}$	Q_1	T_1	Гор. 1
$C_{21}; C'_{21}; L_{21}; X_{21}$	...	$C_{2j}; C'_{2j}; L_{2j}; X_{2j}$	...	$C_{2m}; C'_{2m}; L_{2m}; X_{2m}$	Q_2	T_2	Гор. 2
...
$C_{i1}; C'_{i1}; L_{i1}; X_{i1}$	...	$C_{ij}; C'_{ij}; L_{ij}; X_{ij}$	...	$C_{im}; C'_{im}; L_{im}; X_{im}$	Q_i	T_i	Гор. i
...
$C_{n1}; C'_{n1}; L_{n1}; X_{n1}$	...	$C_{nj}; C'_{nj}; L_{nj}; X_{nj}$	...	$C_{nm}; C'_{nm}; L_{nm}; X_{nm}$	Q_n	T_n	Гор. N
$N_1 * M_1$	...	$N_j * M_j$	...	$N_m * M_m$	Q	T	

Рис.1. Математическая модель вскрытия шахтного поля

Затраты на перевозку руды от i -го горизонта по j -му варианту составляют $C_{ij} L_{ij}$.

Затраты на проходку j -го ствола до i -го горизонта составляют $C'_{ij} L_{ij}$.

$$C'_{ij} = c_{ij} * N_j \quad (14)$$

где c_{ij} - себестоимость перевозки 1т. руды на 1 м, у.е./т.м.

L_{ij} - протяженность выработки, м.

c_{ij} - себестоимость проходки 1 п.м. выработки, у.е./п.м.

N_j - количество вскрывающих выработок, шт.

Q_i - запас руды, т.

M_j - пропускная способность ствола, т/год.

Требуется определить объемы грузоперевозок от i -го горизонта по j -му варианту X_{ij} и необходимое количество стволов N_i , при которых достигается минимальная суммарная стоимость. Тогда целевая функция задачи примет вид

$$W = K_j \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C'_{ij} + C_{ij} \cdot X_{ij}) L_{ij} \rightarrow \min$$

K_j - коэффициент, учитывающий горизонтальные выработки

Ограничениями являются:

весь запас руды должен быть извлечен

$$K_j = l_j/l_1$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = Q_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

пропускная способность стволов должна удовлетворять

$$\sum_{u=1}^m X_{ij} / T_i \leq M_j$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

T_i - срок отработки j -го горизонта.

Решение данной математической модели включает два основных этапа: построение опорного решения и построение оптимального решения.

Построение опорного решения

Опорное решение может быть получено следующими методами наименьших стоимостей и двойного предпочтения.

При использовании метода наименьших стоимостей последовательно заполняются клетки, содержащие наименьшие стоимостные показатели. При этом в эти клетки подставляется максимально допустимый объем перевозок, для чего сопоставляются запасы руды и пропускная способность ствола. Процедура повторяется до получения допустимого решения.

При построении опорного решения методом двойного предпочтения поочередно просматриваются все строки и столбцы матрицы. Клетки содержащие минимальные удельные затраты на перевозку в каждой строке и столбце, помечаются. Предпочтительно объемы перевозок проставляются в клетках, отмеченных дважды, т.е. предпочтительных как в строке так и в столбце (отсюда и название). После того как клетки, помеченные дважды, заполнены полностью, объемы проставляются в клетки, отмеченные один раз. Затем с учетом ограничений по Q_i и M_j заполняются остальные клетки.

Построение оптимального решения может быть получено методом потенциалов. Условия оптимальности задачи вытекают из теорем двойственности и заключаются в следующем.

Для того чтобы допустимый план $X = \| X_{ij} \|_{m \times n}$ был оптимальным, необходимо и достаточно, чтобы ему соответствовала система чисел $U_1, U_2, \dots, U_n, V_1, V_2, \dots, V_m$, удовлетворяющая условиям:

$$I. V_j - U_i \leq Z_{ij}, \text{ если } X_{ij} = 0, \quad (19)$$

$$II. V_j - U_i = Z_{ij}, \text{ если } X_{ij} > 0; \quad (20)$$

$$i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m, Z_{ij} = C_{ij} + c_{ij}.$$

Эти условия называются условиями потенциальности оптимального плана задачи, и теорема может формулироваться следующим образом: для оптимального решения задачи необходимо и достаточно, чтобы оно было потенциально.

Алгоритм решения задачи методом потенциалов состоит из двух этапов: предварительного и общего.

Первый (предварительный) этап включает:

1-1 - построение опорного решения;

1-2 - присвоение и расчет системы потенциалов;

1-3 - проверка первоначального плана на оптимальность. Если опорное решение не является оптимальным, то переходят ко второму (общему) этапу, который включает:

II-1 - улучшение плана;

II-2 - исправление системы потенциалов;

II-3 - проверка улучшенного плана на оптимальность.

Общий шаг циклически выполняется до получения оптимального результата.

Рассмотрим подробнее составные части метода потенциалов.

Построение опорного решения (I-1) осуществляется методами северо-западного угла, наименьших стоимостей или двойного предпочтения.

Расчет системы потенциалов (I-2) производится на основании второго условия оптимальности.

Всего необходимо присвоить $(n+m)$ потенциалов, а допустимый невырожденный план включает $(n+m-1)$ вариантов.

Используя занятые клетки для расчета потенциалов, можно составить систему из $(n+m-1)$ уровней с $(n+m)$ переменными. Такая система имеет неограниченное множество решений. Поэтому для построения системы потенциалов надо задаться потенциалом одного горизонта или варианта (т.е. строки или столбца). Обычно полагают $U_1=0$, либо присваивают нулевой потенциал строке с наибольшей стоимостью.

Далее потенциалы всех остальных столбцов и строк вычисляют через занятые клетки, используя второе условие оптимальности.

Проверка плана на оптимальность (шаги I-3 и II-3) проводится для не занятых клеток. Очевидно, что для занятых клеток второе условие оптимальности выполняется, так как оно было использовано для присвоения системы потенциалов. Для всех оставшихся клеток проверяется выполнение первого условия оптимальности (19). Для этого вычисляют невязку $v_{ij} = V_j - U_i -$

z_{ij} . Если $v_{ij} \leq 0$ для всех клеток, то первое условие оптимальности соблюдено. Если имеются положительные превышения, то первое условие оптимальности не соблюдено и план может быть улучшен. Величина v_{ij} показывает, какая экономия на единицу груза может быть достигнута при изменении плана.

Улучшение плана заключается в выборе (II-1) клетки с максимальным превышением и составлении замкнутого контура (цикла), вершинами которого являются клетка с нарушением и клетка с перевозками. Контур может иметь различную конфигурацию, но в нем всегда четное число вершин. Начиная с клетки, имеющей нарушение, вершины контура нумеруются (по часовой стрелке или против). Нечетные вершины составляют положительную полуцепь, а четные - отрицательную. При улучшении плана в вершинах положительной полуцепи (нечетных) объемы перевозок увеличатся, а в вершинах отрицательной полуцепи (четных) уменьшатся. Далее просматривают объемы перевозок в четных клетках и находят минимальный из них $q = \min X_{ij}$. После перераспределяют объемы перевозок внутри контура, для чего к объемам перевозок в нечетных вершинах прибавляют объем q , а из объемов перевозок в четных вершинах вычитают эту величину. В результате этой процедуры получают улучшенный план, в котором общие затраты меньше, чем в предыдущем плане на величину $q v_{ij}$. Новый план является допустимым, так как в каждой строке и столбце замкнутого контура в одной клетке объем увеличился, а в другой уменьшился на одну и ту же величину.

Проверке улучшенного плана на оптимальность (шаг II-3) предшествует исправление системы потенциалов (II-2). Для этого не обязательно строить новую систему потенциалов, можно исправить прежнюю.

Предположим, что второе условие оптимальности нарушено для клетки, в которой ранее не было перевозки, т.е. клетки с максимальным нарушением (первой вершины контура). Следовательно, необходимо исправить потенциал V_j для этой клетки на величину нарушения v_{ij} . Если в данном столбце нет больше клеток (занятых), то можно переходить к проверке первого условия оптимальности. Если же в столбце есть клетки с перевозками, то, исправив потенциал столбца на v_{ij} , нарушим условия оптимальности на величину v_{ij} для остальных занятых клеток столбца. Чтобы исправить потенциалы этих клеток, достаточно соответствующую им величину U_i уменьшить на v_{ij} , т.е. новые потенциалы строк составят $U_i' = U_i - v_{ij}$. Затем посматриваем строки, где потенциалы изменились. Если в этих строках имеются занятые клетки (кроме клеток столбца V_j , у которого уже изменился потенциал), то потенциалы столбцов, соответствующих этим клеткам, исправляются на величину v_{ij} . Далее аналогично просматриваем новые столбцы и т.д.

Литературы

1. Деревяшкин, И. В., Заиров, Ш. Ш., Уринов, Ш. Р., & Солиев, Б. З. (2021). Прогнозная оценка выемки прибортовых запасов руды глубоких карьеров комбинированной геотехнологией.
2. Хакимов Ш.И., Таджиев Ш.Т., Кобилов О.С., & Ашуралиев У.Т. Обоснование количества перегрузочных узлов в рабочих горизонтах шахты при использовании подземного транспорта и погрузочно-доставочных машин. In Ф79 Форум гірників–2019: матеріали міжнар. конф., 26–27 вересня 2019 р., м. Дніпро: Журфонд, 2019–379 с. (p. 291)
3. Хакимов Ш.И., Таджиев Ш.Т., Кобилов О.С., Определение минимальная длина и ширина карьерного поля при разработке горизонтальных пластовых месторождений, № 3, 34-38., 2020.
4. Таджиев Ш.Т., Кобилов О.С., Ермекбаев У.Б., & Ашуралиев У.Т. Исследование особенностей технологии разработки жильных месторождений кызыкумского региона подземным способом с использованием самоходных комплексов. In Ф79 Форум гірників–2019: матеріали міжнар. конф., 26–27 вересня 2019 р., м. Дніпро: Журфонд, 2019–379 с. (p. 32).
7. Хакимов Ш.И., Таджиев Ш.Т., Кобилов О.С., Гиязов О.М. Обоснование высоты этажа при разработке крутопадающих жильных месторождений //Горный вестник Узбекистана №1 (80) 2020 г. – с. 7-9.
8. Хакимов Ш.И., Кобилов О.С., Тошназаров А.Х., Суннатов С., Пулатов Д.Ш. Оценка возможности увеличения высоты этажа при разработке крутопадающих жильных месторождений // Материалы международной научно-технической конференции на тему: «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 2018. – С. 65.
9. Хакимов Ш.И., Кобилов О.С. Повышение эффективности систем подэтажного обрушения в сложных горно-геологических условиях // «Материалы Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – залог прогресса и процветания», посвященной 5-летию основания Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан», Том I: 9-10 июня 2022. – С. 356.

10. Хакимов Ш.И., Кобилов О.С. Новая технологическая решения совершенствования систем разработки с подэтажной отбойкой руды в сложных горно-геологических условиях // Innovations in technology and science education. – Volume 1. – Issue 1. 2022. – С. 130.
11. Таджиев Ш.Т., et al. "Подработка массива горных пород и подготовительных выработок при разработке пластов подземным способом." Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). 2018..
12. Hakimov Shadiboy Ikmatullayevich, Qobilov Olimjon Sirojovich, & Abruyev Samandar Shodmon o'g'li. (2023). Murakkab kon-geologik sharoitdagi tog' jinslar massivi holatini boshqarishda qotuvchi to'lg'azmalarni qo'llash samaradorligini asoslash. Innovative development in educational activities, 2(2), 124–133. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7583985>