

УДК : 622.684

МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН В МАЛЫХ КАРЬЕРАХ

Калдыбаев Н.А.

Ошский технологический университет им. М.М. Адышева

г.Ош, Кыргызстан

В работе сформулированы научные принципы оптимальной организации технологического процесса разработки малых месторождений нерудных полезных ископаемых с применением экономико-математических методов планирования производства.

We formulate the scientific principles of optimal organization of the process of development of small deposits of industrial minerals with economic-mathematical methods of production planning The effective scope of mining machines in a small mineral deposits.

Изучение материалов геологических фондов показывает, что по статистике в среднем на 1 крупное месторождение нерудных строительных материалов (НСМ) приходится от 3 до 10 малых месторождений НСМ. По многим видам НСМ (такие как гравийно-песчаные материалы, песок и глинистое сырье) суммарные запасы малых месторождений, вместе взятые превышают суммарные запасы крупных месторождений. Во многих случаях даже крупные месторождения обрабатываются малыми карьерами (например, месторождение облицовочных известняков-ракушечников «Сары-Таш», расположенный в Узгенском районе Ошской области). Оработка малых месторождений облицовочных и декоративно-облицовочных камней ввиду кратких сроков окупаемости и сравнительного максимума прибыли является привлекательной.

В связи с вышеуказанными обстоятельствами развитие теоретических основ и совершенствование технологии разработки малых месторождений нерудных строительных материалов является актуальной проблемой. Концептуальные научные положения и рекомендации по освоению малых месторождений были изложены в работе [1].

В предыдущих наших исследованиях было установлено [2], что в качестве основного критерия оптимизации процесса разработки малых месторождений целесообразно использовать максимум прибыли или потока наличности от освоения месторождения, приведенный к текущему моменту времени с учетом капитала (NPV). Достоинство экономико-математических методов заключается в том, что они обеспечивают более широкий охват условий и факторов процесса, позволяя достигать более обоснованное значение оптимума, при этом существенно снижается трудоёмкость расчётов при наличии отлаженных программ на ЭВМ.

Рассмотрим задачу оптимального использования горных машин в условиях малого карьера по добыче нерудных строительных материалов. Необходимость решения задач оптимизации использования горных машин в условиях малого карьера объясняется:

– несоответствием технических возможностей наличного парка горных машин и вспомогательного оборудования на плановый

объем добычи, а значит, ограниченностью КПД машиноресурсов;

– широкой взаимозаменяемостью машин и их комплектов, вспомогательного оборудования и ремонтных средств для выполнения горных работ;

Месторождения строительных материалов преимущественно разрабатываются открытым способом, с использованием широкого набора горных машин. Основной горной выработкой при этом является карьер, которого отличают сложные структурные связи технологических элементов, звеньев и объектов, а также динамичность, которая заключается в дискретно-непрерывном изменении технологической системы во времени и пространстве (вскрыша и добычные работы, перемещение пустых пород и полезного ископаемого, планирование и обеспечение устойчивости бортов карьера).

Исходя из малой производительности карьера или других условий, горные машины, имея различные марки и размеры, могут быть взаимозаменяемы в пределах каждого типа. При этом при различных производительностях время и затраты на выполнение работ тоже будут различными.

Так как работы и условия их выполнения различны, то применение каждой машины может быть эффективно при выполнении какой-то одной работы и менее эффективно или совсем невыгодно при выполнении другой.

Таким образом, заранее в начальный момент проектирования использования горных машин могут быть назначены при конкретном наличном парке машин технически возможные способы выполнения каждой работы (группы работ).

Поэтому возникает задача такого распределения видов горных работ по способам выполнения (сочетаниям или комплектам машин) в пределах заданного парка машин, при котором все работы выполнялись бы в течение планового периода с минимальными общими или удельными затратами. То есть должен быть назначен технически и экономически целесообразный способ выполнения искомого объема конкретной работы.

Исходные данные задачи. В течение планового периода на конкретном объекте нужно выполнить определенный набор

механизированных работ. Каждой работе присваивается один из индексов $\mathcal{G} = \overline{1, \mathcal{G}^0}$ и соответствуют особые условия их выполнения. Каждый вид работ \mathcal{G} имеет конкретный объем $Q_{\mathcal{G}}$. Работы должны быть выполнены парком машин, состоящим из $q = \overline{1, q^0}$ типоразмеров.

Количество машин типоразмера q в парке – Mq .

Каждый типоразмер машин q характеризуется возможным фондом времени работы Φq в плановом периоде (маш.-ч) и стоимостью часа использования $C_{и} q$ (сом/ маш.-ч).

В любой задаче оптимального использования ресурсов (в том числе горных машин) имеется множество “ресурсов” (машин), подлежащих распределению, и множество “потребителей” (работ). Под множеством следует понимать совокупность по какому-либо признаку определенных и различных между собой элементов, мыслимую как целое. В рассматриваемой задаче имеем множество видов работ на карьере $\overline{1, \mathcal{G}^0}$ и множество типоразмеров машин $\overline{1, q^0}$. Из элементов множества типоразмеров составляют технически возможные сочетания машин для выполнения работ технологического цикла (например, для карьера облицовочного камня бульдозер Т-130, баровая машина «Виктория» МКБ-6, автокран КС – 5363, автосамосвал КАМАЗ -5511 и т. д.). Эти

сочетания машин дают новое множество $\overline{1, \nu^0}$, каждый элемент которого состоит из $q = \overline{1, q_{\nu}}$ типоразмеров машин. Пересечение этого множества с множеством видов работ дает технически возможные варианты способов выполнения работ. Данную исходную ситуацию удобно представить в виде исходной матрицы (табл.1).

Таким образом, “ресурсами” в задаче является множество $\overline{1, \nu^0}$ сочетаний типоразмеров машин, “потребителями” – множество видов работ на объекте $\overline{1, \mathcal{G}^0}$.

Каждая ячейка матрицы (табл. 1), являющаяся пересечением строки (сочетания машин ν) и столбца (вида \mathcal{G} работ), может заполняться, если выполнение данной работы \mathcal{G} технически возможно данным сочетанием ν машин, или нет, в противном случае – информацией, необходимой для формулирования математической модели.

Прежде всего в заполняемых ячейках (см. табл. 1) фиксируются переменные о

$x_j, j \in \nu, \mathcal{G}; \nu = \overline{1, \nu^0}$, являющиеся искомыми объемами работы \mathcal{G} для способа (сочетания машин) ν на объекте.

Здесь j – текущий индекс переменной. Условие $j \in \nu, \mathcal{G}$ означает принадлежность переменной x_j варианту ν сочетания типоразмеров машин и виду работ \mathcal{G} объекта.

Таблица 1

Матрица исходных данных

Варианты сочетаний машин ν	Виды работ \mathcal{G}				
	1	...	\mathcal{G}	...	\mathcal{G}^0
1		
...
ν		
...
ν^0		
Объемы видов работ	Q_1	...	$Q_{\mathcal{G}}$...	$Q_{\mathcal{G}^0}$

$\nu \mathcal{G}$ ячейка

$t_{1,j}$	C_j
·	
·	
$t_{q,j}$	
·	
·	
$t_{q_{\nu},j}$	x_j

Остальная информация заполняемых ячеек является оценками переменных j х по

параметрам, определяющим условия работы системы и характеризующим результат решения.

Таковыми оценками являются

$$t_{qj} = t_{qj\nu^g}, j \in \nu, g; q \in \nu - \quad (1)$$

оценка переменной j_x по расходу ресурса машины q -го типоразмера в машино-часах в способе $\nu^g(j)$ на выполнение единицы объема g -го вида работ на объекте;

$$C_{qj} = t_{qj} C_{jq}, j \in \nu, g; q \in \nu - \quad (2)$$

оценка переменной j_x по затратам на использование машины q -го типоразмера в способе $\nu^g(j)$ на выполнение единицы объема g -го вида работ на карьере.

Так как затраты на использование машин независимо от их типоразмера выражают в одних и тех же единицах (сомах), оценки $q_j C_j$, принадлежащие разным машинам в способе при одной переменной, можно складывать:

$$C_j = \sum_{q=1}^q C_{qj}, j \in \nu; q \in \nu; j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Число столбцов матрицы (см. табл. 1) равно суммарному количеству g^0 : видов работ на объекте. Число строк равно числу ν^0 сочетаний типоразмеров машин плюс одна. В клетки последней строки, являющиеся пересечениями со столбцами видов работ, заносят объемы работ Q_g . Эту строку используют как контрольную при формулировании математической модели задачи. Таким образом, в матрице (см. табл. 3 1), не считая последней строки, заполненными оказываются клетки в ν -й строке, принадлежащие столбцам – видам работ, на которых технически возможно применение способа с ν -м сочетанием типоразмеров машин.

Модель задачи представляется в виде общей задачи линейного программирования. Индексация переменных j_x в матрице (см. табл. 1) сквозная построчная.

Минимизировать линейную форму

$$L(x) = \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad (4)$$

При условиях

$$\sum_{j \in q} t_{qj} x_j \leq M_q \Phi_q, q = \overline{1, q^0}; \quad (5)$$

$$\sum_{j \in q} x_j = Q_g, g = \overline{1, g^0}; \quad (6)$$

$$0 \leq x_j \leq Q_{\nu^g}, j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Физический смысл модели: линейная форма (4) – затраты на выполнение работ планового периода; система ограничений

- условие (5) – машинопотребность (маш.-ч) q -го типоразмера машин на выполнение работ, распределяемых сочетаниям, содержащим эти машины, не должна превышать их фонда времени в плановом периоде;

- условие (6) – объем каждого вида работ g на объекте должен быть выполнен полностью;

- условие (7) – искомые объемы работ неотрицательны, а величины их сверху могут быть ограничены технико-экономическими возможностями способа выполнения работ. Так, для карьеров облицовочного камня величина объема может быть ограничена крепостью пород или высотой уступа, превышение которых экономически нецелесообразно для данного способа. В ограничениях этого типа Q_{ν^g} – объем g -го вида работ на объекте, который технически возможно и экономически целесообразно выполнять способом ν^g .

В результате решения будет выявлен оптимальный при данной целевой функции вариант распределения видов работ на карьере по способам выполнения в соответствии с наличием машин-исполнителей. При этом машины, формирующие наиболее экономичные способы выполнения работ, будут наиболее загружены и будут определять срок выполнения работ. Этот срок будет равен продолжительности планового периода (если машиноресурсов машин достаточно).

Машины менее экономичных способов будут простаивать в течение планового периода (за исключением времени выполнения распределенных им работ) или могут исключены из парка горных машин. Однако простои недогруженных на объекте машин, если их нельзя использовать в то же время на других объектах, нежелательны, так как при оценке экономической деятельности горнодобывающего предприятия, эксплуатирующей эти машины, простои сопряжены с непроизводительными затратами (4), (5).

Поэтому задача распределения видов механизированных горных работ может быть решена в постановке, преследующей возможную максимально полную загрузку машин, распределенных на объект, при минимизации затрат не только на выполнение работ, но и от возможных простоев машин.

В данной постановке в противовес предыдущей простои машин не планируются, а минимизируются при конкретных условиях на объекте.

Целевая функция должна учитывать и затраты от простоев машин.

В такой постановке математическая модель (3. 4) – (3. 7) должна быть преобразована в следующую:

минимизировать линейную форму

$$L(x) = \sum_{j=1}^{n-q^0-1} C_j x_j + \sum_{q=1}^{q^0} C_{\nu^g} x_q \quad (8) \quad \text{при}$$

условиях

$$\sum_{j \in q} t_{qj} x_j \leq M_q \Phi_q, q = \overline{1, q^0}; \quad (9)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{Q}} x_j = Q_{\mathcal{Q}}, \mathcal{Q} = \overline{1, \mathcal{Q}^0}; \quad (10)$$

$$\frac{1}{M_q} \left(\sum_{j \in \mathcal{Q}} t_{qj} x_j + x_q \right) - x_n = 0, q = \overline{1, q^0}; \quad (11)$$

$$0 \leq x_j \leq Q_{Vq}, j = \overline{1, n - q^0 - 1}; \quad (12)$$

$$x_j \geq 0, j = \overline{n - q^0, n}. \quad (13)$$

Физический смысл модели: *Линейная форма* (8) – общие затраты на выполнение работ планового периода; *система ограничений*.

- условие (9) соответствует условию (5) модели (4) – (7);

- условие (10) соответствует условию (6) модели (4) – (7);

условие (11) – расчет недогрузки машин (продолжительность выполнения работ машиной q на объекте плюс ее простой равны расчетному сроку работ x_n);

- условие (12) соответствует условию (7);

- условие (13) – простои машин и расчетный срок выполнения работ неотрицательны.

В результате реализации данной математической модели недогрузка машин будет минимальной при оптимуме общих затрат.

Фактический срок выполнения работ будет меньше, чем в предыдущей постановке при прочих равных условиях, т. к. используется большой резерв машин, распределенных на объект.

Для решения задач в рассмотренных постановках целесообразно применять стандартные программы симплекс-метода для ЭВМ.

Литература:

1. Кожогулов К.Ч., Калдыбаев Н.А. Проблемы освоения малых месторождений нерудных строительных материалов Кыргызстана. \ Современные проблемы механики сплошных сред\ Вып. двенадцатый. Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии. -Бишкек, 2010. - Стр. 27-33.
2. Калдыбаев Н.А., Караева З.У., Ысманова М. Критерии и методы оптимизации разработки малых месторождений природного камня //Известия ОшГУ. – 2011, №2, -стр. 54-59.
3. Вербицкий Г.М. основы оптимального использования машин в строительстве и горном деле. Учебное пособие. –Хабаровск, 2006.-105 с.