

УДК 622.271; 622.68/.69

Применение методов линейного программирования в задачах управления процессами открытых горных работ

Мальцев М.С., студент гр. ГОс-221, IV курс, Доровских А.С., студент гр. ГОс-221, IV курс, Соломенников З.А., студент гр. ГОс-221, IV курс
Научные руководители: Марков С.О., к.т.н., доцент, Тюленев М.А., к.т.н., зав. кафедрой открытых горных работ
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

В задачах управления открытыми горными работами методы линейного программирования применяются для оптимизации долгосрочного планирования горных работ, позволяя определить наиболее экономичный план перевозок горной массы.

Эти методы используются для построения оптимальных режимов работы карьерного транспорта, решая задачу минимизации грузооборота и парка машин за счет эффективного распределения потоков горной массы от экскаваторных забоев к пунктам складирования или переработки. В сфере оперативного управления они дают возможность решать задачи календарного планирования, обеспечивая поточность производства и равномерность загрузки оборудования при изменяющихся горно-геологических условиях. С помощью симплекс-метода и транспортных задач осуществляется поиск наилучшего соотношения объемов вскрыши и производительности оборудования. Применение линейного программирования способствует снижению эксплуатационных затрат, повышению эффективности использования горнотранспортного комплекса и соблюдению нормативных сроков отработки месторождения [1, 2].

При ведении открытых горных работ перемещение горной массы не всегда осуществляется напрямую из места погрузки (забоя экскаватора) к месту конечного складирования (штабель угля или отвал вскрышной породы). В отдельных случаях груз доставляется поэтапно: сначала к месту перевалки (например, в бункер), а затем (например, конвейером) к конечной точке. При этом часть груза минуя пункты перевалки может быть доставлена непосредственно в конечный пункт разгрузки.

При этом промежуточные пункты движения груза могут иметь ограниченную пропускную способность. Она может быть и меньше, и больше производительности экскаваторов. Решить такую задачу целесообразно симплексным М-методом, решение которого сводится к следующему.

Пусть на горном участке имеется три экскаватора (1, 2, 3), откуда порода автосамосвалами перевозится либо сразу в отвалы (8), либо на два перевалочных пункта (4, 7) (рисунок 1). От пунктов 4 и 7 конвейерным транспортом порода перемещается в те же отвалы, что и автотранспортом.

Основной задачей оптимизации работы участка является минимизация целевой функции, которая представляет собой суммарную стоимость доставки породы в отвалы автотранспортом и через перевалочные пункты – конвейерным транспортом [3].

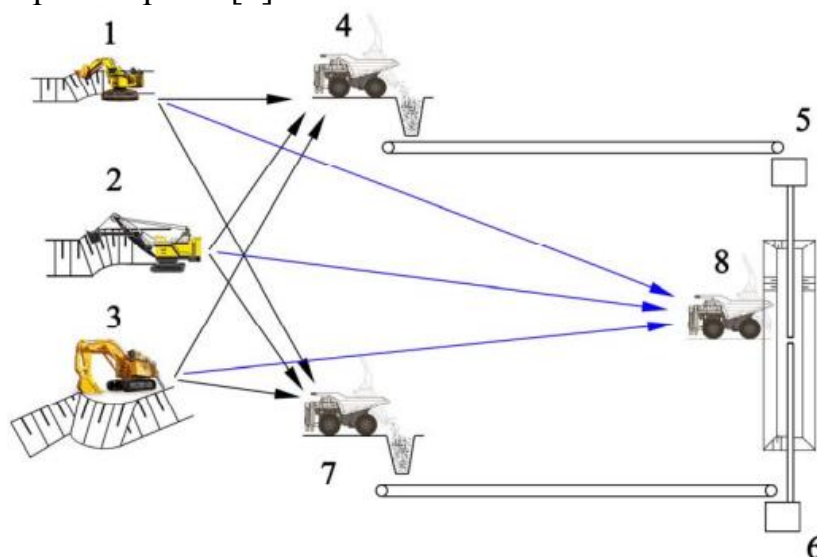


Рис. 1 – Схема транспортирования вскрышных пород

Стоимость перевозки 1 м³ вскрышных пород конвейерным и автомобильным транспортом (в рублях), производительность экскаваторов и конвейеров, пропускная способность последних, а также стоимость транспортирования 1 м³ вскрышной породы различными способами приведены на рисунке 2.

Поскольку между конвейерами №5 и №6 не существует обмена породой, оценки стоимость перевозок между ними принимаем на несколько порядков превышающему остальные стоимости перевозок. Объемы породы, указанные в строке с «фиктивным» забоем, соответствуют недоиспользованию в течение смены приемной способности отвалов.

Целевая функция $F(x)$ является суммарными затратами на транспортирование горной массы в сутки.

Рассмотрим пример для конкретных горнотехнических условий, приведенных на рисунке 1, и соответствующим им значениям, приведенным на рисунке 2.

	План перевозок, куб.м/сутки					
	Пункты назначения					
Пункты отправления	Перевалочный пункт №4	Перевалочный пункт №7	Отвал №5	Отвал №6		Производительность, куб.м/сутки
Забой №1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3764,4
Забой №2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1591,3
Забой №3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4868,1
Перевалочный пункт №4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5332,5
Перевалочный пункт №7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6999,9
Фиктивный забой	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3128,6
	0,0	0,0	0,0	0,0		
Приемная способность, куб.м/сутки	5332,5	6999,9	6269,1	7083,3		
	Стоимость перевозок, руб./куб.м				F(x)	
	Пункты назначения				0	
Пункты отправления	Перевалочный пункт №4	Перевалочный пункт №7	Отвал №5	Отвал №6		
Забой №1	8	9	15	27		
Забой №2	7	9	16	22		
Забой №3	6	2	30	26		
Перевалочный пункт №4	0	10000000	9	10000000		
Перевалочный пункт №7	10000000	0	10000000	8		
Фиктивный забой	0	0	0	0		

Рисунок 2 – Исходные данные.

При установке двух конвейеров предполагалось, что при их совместной работе будет достигнут максимальный грузопоток горной массы. Однако выяснилось, что первый конвейер в рассматриваемых условиях не работает – объемы его перевозок на отвалы равны нулю (рисунок 3). Было принято решение исключить его из транспортной схемы, установив его плановую производительность равной нулю (рисунок 4).

	План перевозок, куб.м/сутки					
	Пункты назначения					
Пункты отправления	Перевалочный пункт №4	Перевалочный пункт №7	Отвал №5	Отвал №6		Производительность, куб.м/сутки
Забой №1	0,0	0,0	3764,4	0,0	3764,4	3764,4
Забой №2	0,0	0,0	1591,3	0,0	1591,3	1591,3
Забой №3	0,0	4868,1	0,0	0,0	4868,1	4868,1
Перевалочный пункт №4	5332,5	0,0	0,0	0,0	5332,5	5332,5
Перевалочный пункт №7	0,0	2131,8	0,0	4868,1	6999,9	6999,9
Фиктивный забой	0,0	0,0	913,4	2215,2	3128,6	3128,6
	5332,5	6999,9	6269,1	7083,3		
Приемная способность, куб.м/сутки	5332,5	6999,9	6269,1	7083,3		
	Стоимость перевозок, руб./куб.м				F(x)	
	Пункты назначения				130607,8	

Рисунок 3 – Первая итерация

	План перевозок, куб.м/сутки					
	Пункты назначения					Производительность куб.м/сутки
Пункты отправления	Перевалочный пункт №4	Перевалочный пункт №7	Отвал №5	Отвал №6		
Забой №1	0,0	0,0	3764,4	0,0	3764,4	3764,4
Забой №2	0,0	0,0	1591,3	0,0	1591,3	1591,3
Забой №3	0,0	4868,1	0,0	0,0	4868,1	4868,1
Перевалочный пункт №4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Перевалочный пункт №7	0,0	2131,8	0,0	4868,1	6999,9	6999,9
Фиктивный забой	0,0	0,0	913,4	2215,2	3128,6	3128,6
	0,0	6999,9	6269,1	7083,3		
Приемная способность, куб.м/сутки	0,0	6999,9	6269,1	7083,3		
	Стоимость перевозок, руб./куб.м				F(x)	
	Пункты назначения				130607,8	

Рисунок 4 – Исключение конвейера №1 и соответствующего ему перевалочного пункта №4 из расчетов

Второму конвейеру мы задали предельно большие значения предполагаемого объема перевозок для того, чтобы выявить его максимальную производительность (рисунок 5).

	План перевозок, куб.м/сутки					Производительность куб.м/сутки
	Пункты назначения					
Пункты отправления	Перевалочный пункт №4	Перевалочный пункт №7	Отвал №5	Отвал №6		
Забой №1	0,0	0,0	3764,4	0,0	3764,4	3764,4
Забой №2	0,0	0,0	1591,3	0,0	1591,3	1591,3
Забой №3	0,0	4868,1	0,0	0,0	4868,1	4868,1
Перевалочный пункт №4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Перевалочный пункт №7	0,0	75131,9	0,0	4868,1	80000,0	80000,0
Фиктивный забой	0,0	0,0	913,4	2215,2	3128,6	3128,6
	0,0	80000,0	6269,1	7083,3		
Приемная способность, куб.м/сутки	0,0	80000,0	6269,1	7083,3		
	Стоимость перевозок, руб./куб.м				F(x)	
	Пункты назначения				130607,8	

Рисунок 5 – Максимальная производительность конвейера №2

Видно, что его производительность не изменилась по сравнению с той, которая была в базовом варианте на рисунке 4, оставшись на уровне 4868,1 м³/сут., что составляет его предельную производительность в данных горнотехнических условиях.

После этого мы задавали значения производительности конвейера Q (от 500 до 6500 м³/сут.) и находили соответствующую им сумму затрат C на транспортирование. Результаты представлены в виде графика на рисунке 6.

Пунктирная линия на графике показывает максимальную производительность конвейера (4868,1 м³/сут.), после которой величина затрат на транспортирование горной массы становится постоянной (130607,8 руб.).

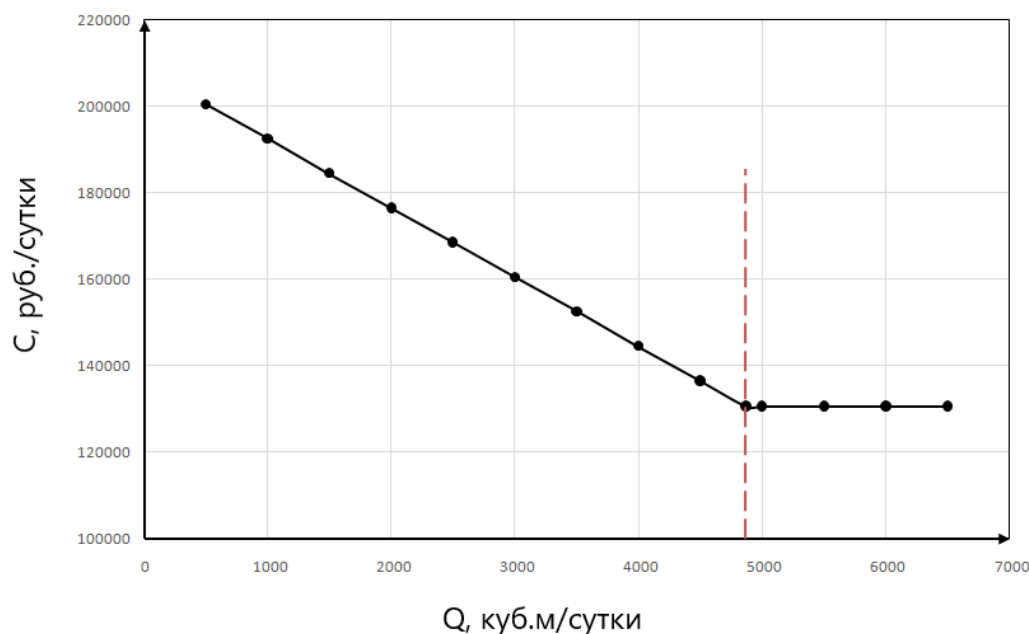


Рис.6 – Зависимость суточных затрат на транспортирование горной массы C , руб./сут., от производительности конвейера Q , м³/сут.

В ходе решения смоделированной задачи в данных горнотехнических условиях мы нашли максимальную производительность конвейера Q_{max} для обеспечения перевозок горной массы в полном объеме при минимальных затратах $F(x) = C_{min}$.

На рисунке 6 справа от пунктирной линии график переходит в горизонтальную прямую, что показывает нерациональность дальнейшего повышения производительности конвейера, т.к. после достижения ее максимального значения затраты на транспортирование достигают минимума и остаются неизменными.

Выводы

Решение задачи организации перевозки горной массы привело к нахождению рациональной мощности конвейера (и соответствующего ему перегрузочного пункта), что позволит в будущем спланировать соответствующие капитальные затраты при формировании комплекса оборудования горного предприятия.

Список литературы:

1. Резниченко, С. С. Математические методы и моделирование в горной промышленности : учеб. пособие / С. С. Резниченко, А. А. Ашихмин. – М. : Изд-во Московского горного ун-та, 2001. – 404 с.

2. Математическое моделирование открытых разработок: методические указания к изучению дисциплины «Математическое моделирование открытых разработок» и выполнению курсовой работы для студентов специальности 130403.65 «Открытые горные работы» очной и заочной форм обучения / сост. Г. М. Вербицкий. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 54 с.

3. Вербицкий, Г. М. Основы оптимального использования машин в строительстве и горном деле : учеб. пособие / Г. М. Вербицкий. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – 108 с.