дукции;

- высокой трудовой дисциплиной, т.е. низкими коэффициентами техники безопасности и собственно трудовой дисциплины.

Применение данной методики позволит создать систему мониторинга меняющихся во времени и по ситуации потребностей и конкурентоспособностей заводов, что способствовать созданию эффективно функционирующей машиностроительной промышленности региона, сориентированной на наиболее полное и своевременное использование своего потенциала в достижении стратегических целей развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логов А.Б., Поварницин В.И., Кочетков В.Н.* Моделирование состояния угольного комплекса Кузбасса на стадии реструктуризаци. - Новосибирск: изд-во СО РАН, 1999 - 102 с.

2. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю.* Математические модели диагностики уникальных объектов -- Новосибирск: изд-во СО РАН, 1999 - 228 с.

3. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Анализ функционального состояния промышленных объектов в фазовом пространстве - ИУУ СО РАН, Кемерово: 2004 - 168 с.

Авторы статьи:

Александр Борисович Логов - докт. техн. наук, проф., зам. дир. по науке Института угля и углехимии СО РАН

Поминова Александра Ивановна - ст. преп. каф, экономики и организации машиностроительной промышленности

УДК 622.33:65

А.С. Кузнецов, О.Б. Кортелев

О ЗАДАЧАХ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА КАРЬЕРАХ

Эффективность механизации горных работ на карьерах определяется организацией производства и сложившейся структурой технологических комплексов. Повышение уровня технического оснащения действующих и строящихся предприятий обеспечивается выбором и сочетанием высокоэффективного для конкретных условий оборудования цикличного и непрерывного действия: экскаваторов, автосамосвалов, конвейеров, других машин и механизмов.

Анализ выполненных и проводимых в настоящее время научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование производственных процессов и систем горных машин, показывает недостаточный учет совместного влияния на их эффективность горно-геологических, технологических, организационных и других факторов. Не получили глубокой научной проработки вопросы определения областей применения известных систем разработки с учетом возможности использования комплексов горного и транспортного оборудования различных классов мощности; определения рациональных пределов увеличения единичной мощности оборудования, установления технологических требований на модернизацию выпускаемого и создание нового оборудования; изыскания технологических схем и режимов горных работ, обеспечивающих максимальную эффективность работы этих комплексов. Одна из причин этого заключается в сложности возникающих задач и отсутствии необходимого математического обеспечения для выполнения многовариантных исследований в подобной постановке.

Для предприятий Кузбасса, где концентрируются значительные объемы производства и большое количество дорогостоящего оборудования, особую актуальность имеет вопрос формирования рациональной структуры технологических комплексов – базы основных производственных фондов карьеров. При этом, во многих случаях главным оказывается экономический фактор.

В данной работе формализуются задачи производственно-транспортного планирования на угольных карьерах. Их можно рассматривать как основу для разработки матобеспечения и автоматизации указанных исследований.

1. **Задача распределения транспортных средств и оптимизации грузопотоков (задача маршрутизации при различных видах транспорта).** Имеется транспортная сеть (возможно гипотетическая) $G=(V,U)$ с множеством вершин V и множеством дуг U, парк транспортного оборудования и пункты погрузки-разгрузки грузов, образующие соответственно список источников S и набор стоков T сети G. Считаются заданными суммарная производительность D_k транспортных

средств k–го типоразмера, $k \in K$; объем отгружаемого груза Q_j в пункте $j \in S$; приемная способность b_j пункта разгрузки $j \in T$; транспортные расходы $c_{uk}(x_{uk})$, зависящие от объемов грузоперевозок x_{uk} , осуществляемых оборудованием k–го типоразмера по дуге u; пропускные способности d_u , $u \in U$.

Требуется определить грузопотоки и типоразмеры используемых транспортных средств, минимизируя затраты на перевозку грузов. Обозначим через U_j^+ , U_j^- дуги, входящие в вершину $j \in V$ и выходящие из нее. Предполагается, что погрузка в пункте $j \in S$ может осуществляться в транспортные средства типоразмеров $k \in K_j$, а пункт разгрузки $j \in T$ приспособлен для типоразмеров $k \in K'_j$. В этих обозначениях математическая постановка задачи принимает вид:

$$\sum_{u \in U} \sum_{k \in K} c_{uk}(x_{uk}) \to \min ; \quad (1)$$

$$\sum_{u \in U_j^+} x_{uk} - \sum_{u \in U_j^-} x_{uk} = 0,$$

$$j \notin S \cup T,\ k \in K; \quad (2)$$

$$\sum_{u \in U_j^-} \sum_{k \in K_j} x_{uk} = Q_j,\ j \in S ; \quad (3)$$

$$\sum_{u \in U_j^+} \sum_{k \in K'_j} x_{uk} \le b_j,\ j \in T; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{u \in U_j^-} x_{uk} \le D_k, k \in K; \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} x_{uk} \le d_u, u \in U; \quad (6)$$

$$x_{uk} \ge 0, u \in U, k \in K. \quad (7)$$

Поясним ограничения. (2) представляет собой условие сохранения потока в вершинах сети, (3) – условие обеспечения заданных объемов грузоперевозок, (4-6) – соответственно, ограничения по приемной способности пунктов разгрузки, производительности оборудования и пропускным способностям коммуникаций. Отметим, что (2) сформулировано для пунктов, где не предусматрена перегрузка угля или породы в другие виды транспорта. Для пунктов перегрузки $j \in V$ указанные условия преобразуются к виду:

$$\sum_{u \in U_j^+} \sum_{k} x_{uk} - \sum_{u \in U_j^-} \sum_{k} x_{uk} = 0.$$

2. Задача производственно-транспортного планирования при длительном периоде стабильной работы предприятия. Предполагается, что продолжительность данного периода не меньше срока службы основного горно-транспортного оборудования, а входные и выходные параметры задачи (горно-геологические условия, дальность транспортирования, сложность трасс, спрос на продукцию, цены и т.д.) с некоторыми допущениями могут быть приняты практически неизменными. Задача рассматривается в статической вариантной постановке для случая, когда могут использоваться усредненные параметры; выбранные транспортно-технологические схемы применяются достаточно долго и заранее достоверно известно, что в течение периода планирования существенного изменения этих схем не предвидится.

Пусть подлежащие разработке запасы полезного ископаемого разбиты на n блоков и для каждого из них определен набор возможных транспортно-технологических схем ведения горных работ. Каждая схема характеризуется максимальной производительностью, капитальными вложениями, расходом материальных ресурсов и эксплуатационными затратами на единицу добываемого полезного ископаемого (с учетом затрат на вскрытие и подготовку запасов к отработке). Задан требуемый годовой объем добычи угля A и начальный запас ресурсов B_k k–го типа (типоразмера), $k \in K$. В этих условиях возникает задача выбора транспортно-технологических схем, парка погрузочно-транспортного оборудования и его размещения в блоках так, чтобы стоимость продукции была минимальной.

Введем обозначения. Пусть a_{ij} – максимальный объем добычи полезного ископаемого в j–м блоке при использовании i–й транспортно-технологической схемы; b_{ij}^k – количество единиц ресурса k–го типа, используемого по i–й схеме в j–м блоке; d_{ij} – среднегодовые капитальные вложения, связанные с применением i–й схемы в j–м блоке; g'_k, t_k – стоимость и срок службы машины k–го типоразмера, $g_k^0 = g'_k / t_k$; c_{ij}, x_{ij} – удельные эксплуатационные расходы и искомый годовой объем добычи полезного ископаемого в j–м блоке при i–й транспортно-технологической схеме, $i \in I$, $j \in J$; y_{ij} =1, если в j–м блоке используется i–я схема, и 0 – в противном случае; z_k – количество ресурса k–го типа, приобретаемого дополнительно.

Математическая постановка задачи представляется в виде:

$$\sum_{k \in K} g_k^0 z_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (d_{ij} y_{ij} + c_{ij} x_{ij}) \to \min \quad (8)$$

при ограничениях:

$$\sum_i \sum_j x_{ij} \ge A; \quad (9)$$

$$x_{ij} \le a_{ij} y_{ij}, i \in I, j \in J; \quad (10)$$

$$\sum_i y_{ij} = 1, j \in J; \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_j b_{ij}^k y_{ij} \le B_k + z_k, k \in K; \quad (12)$$

$$x_{ij} \ge 0, y_{ij}, z_k \text{ – целые}, \quad (13)$$

где (9) – условие обеспечения требуемого объема добычи, (10) – ограничения на производительность комплексов, (11) – условие назначения для каждого блока одной из рассматриваемых схем, а с помощью (12) учитываются используемые технические средства.

3. Динамическая задача формирования технологических комплексов. Предположим, что в итоге предваритель-

ного анализа на основе укрупненных расчетов найден перспективный план развития горных работ на карьере (в группе карьеров, если они объединены в одно предприятие), определяющий последовательности отработки блоков, объемы добычи угля в блоках по подпериодам интервала планирования, сроки выполнения и объемы работ по вскрытию и подготовке запасов к отработке, динамика развития транспортной сети (для каждого подпериода рассчитаны объемы работ, связанных с выемкой, погрузкой и транспортированием горной массы). Кроме этого, для каждого блока намечены допустимые по горно-геологическим условиям и требуемым объемам добычи варианты выемочно-транспортных комплексов и схемы размещения оборудования. После отработки блока предусматривается перераспределение оборудования. Допускается, что связанные с этим расходы пренебрежимо малы. Требуется сформировать парк оборудования так, чтобы минимизировались суммарные затраты на выполнение заданных работ.

Пусть k – номер погрузочно-транспортного комплекса, включающего в себя экскаватор типа i_k и n_{kj} транспортных средств типа j; G_i– стоимость i–го экскаватора; g_j – цена j–й машины; c_{ks}^t – эксплуатационные расходы по k–му комплексу, работающему в s–м блоке в t–м подпериоде (при заданных объемах извлекаемой горной массы и дальности транспортирования); a_{ki} – признак включения i–го экскаватора в k–й комплекс (равен 1, если $i=i_k$, и 0 – в противном случае); $x_{ks}^t = 1$, если в t–м подпериоде в s–м блоке применяется k–й комплекс, (иначе 0); y_j – количество приобретаемых транспортных средств j–го типа; z_j – число используемых экскаваторов i–го типоразмера.

Математическая модель имеет вид:

$$\sum_i G_i z_i + \sum_j g_j y_j +$$

$$+ \sum_k \sum_s \sum_t c_{ks}^t x_{ks}^t \to \min$$

$$\sum_k x_{ks}^t = 1, \forall s,t;$$

$$\sum_k \sum_s a_{ki} x_{ks}^t \le z_i, \forall i,t;$$

$$\sum_k \sum_s n_{kj} x_{ks}^t \le y_j, \forall j,t;$$

$$x_{ks}^t \in \{0,1\},\ y_j, z_i \text{ – целые.}$$

Целевая функция здесь представляет собой затраты, связанные с формированием парка горно-транспортного оборудования и выполнением заданных работ. Ограничения включают условие назначения в каждый блок того или иного комплекса машин, механизмов (на каждый подпериод) и условия, с помощью которых учитывается количество приобретаемых технических средств (если затраты, вызванные перераспределением оборудования между блоками, существенны, то математическая постановка задачи будет иной).

Формирование состава технологических комплексов тесно связано с обоснованием параметров транспортной сети, которые в данном случае определяются на основе ожидаемых грузопотоков, принимаемых типоразмеров транспортных средств и срока службы коммуникаций, то есть после решения представленной задачи. Проработка этих вопросов может осуществляться в другой последовательности или итерационно в зависимости от применяемой методики планирования, имеющегося математического аппарата и информационной базы.

Для решения этих и других подобных задач используются различные модификации метода ветвей и границ [1-3]. Эффективность той или иной схемы, метода, алгоритма определяется на основе вычислительных экспериментов. Постановка и формализация практических задач, предусматриваемые возможности программной системы, функции пользователя и решения по оформлению интерфейса определяются совместно с заинтересованными лицами, осуществляющими организацию разработки сырьевых ресурсов и производственно-транспортное планирование на карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З.* Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования / Модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 264 с.

2. *Дементьев В.Т., Ерзин А.И., Ларин Р.М., Шамардин Ю.В.* Задачи оптимизации иерархических структур. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1996. – 167 с.

3. *Кузнецов А.С.* Моделирование и анализ производственных ситуаций (с примерами приложений в горном деле). – Новосибирск: Наука, 1996. – 132 с.

Авторы статьи:

Кузнецов
Александр Сергеевич
- докт.техн.наук, вед.науч.сотр.
Института горного дела СО РАН

Кортелев
Олег Борисович
- докт.техн.наук, гл.науч.сотр.
Института горного дела СО РАН