

В. В. Загубинога, М. А. Чебанов

ГВУЗ «Национальный горный университет»,
г. Днепро, Украина
e-mail: nmu.ogr@gmail.com

Разработка и обоснование алгоритма годового планирования горных работ на железорудных карьерах

V. V. Zagubinoga, M. O. Chebanov

National Mining University, Dnipro, Ukraine
e-mail: nmu.ogr@gmail.com

Development and substantiation of the algorithm of annual planning of mining operations at iron ore quarries

Цель. Разработка алгоритма годового планирования горных работ на железорудных карьерах при использовании системного подхода.

Методика. Для разработки алгоритма годового планирования были применены основные принципы системных методов: структуризация процесса планирования, использование координатно-привязанных переменных и применение принципа решения плановых задач с позиции теории принятия решения в условиях неопределенности.

Результаты. Разработан алгоритм годового планирования горных работ на железорудных карьерах, реализующий предложенный системный подход.

Научная новизна. Проведена систематизация процесса годового планирования горных работ на железорудном карьере. Обосновано содержание совместного учета технологических условий формальной и неформальной группы в процессе годового планирования горных работ.

Практическая значимость. Возможность использования разработанного алгоритма при годовом планировании горных работ на железорудных карьерах. (Ил. 1. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: горные работы, планирование, системный подход, карьер, алгоритм годового планирования.

Введение. Планирование горных работ является неотъемлемой составляющей обеспечения планомерной и бесперебойной работы горнодобывающих предприятий. На железорудных карьерах этот процесс требует учета дополнительных условий ввиду сложности залегания полезного ископаемого, изменчивого характера распределения полезного компонента в нем, а также недостатка информации и трудностей прогнозирования условий разработки железорудных месторождений [1].

Опыт планирования горных работ на железорудных карьерах [2] свидетельствует, что с использованием геоинформационных систем и стремительным увеличением производительности вычислительных машин, что увеличивает потенциал обработки и использования информации, существует возможность и необходимость усовершенствования методологии планирования горных работ на железорудных карьерах.

Состояние вопроса. Анализ методологии планирования горных работ на железорудных карьерах свидетельствует, что существующие методы в полной мере не удовлетворяют зада-

чам планирования горных работ [3; 4]. Были определены основные условия совершенствования методологии планирования горных работ – разработка системных методов и моделей планирования горных работ. Реализация предложенного системного подхода возможна при выполнении следующих принципов: структуризация процесса планирования, использование координатно-привязанных переменных и применение принципа решения плановых задач с позиции теории принятия решения в условиях неопределенности.

В соответствии с системой планирования [1] процесс планирования горных работ на железорудных карьерах начинается с годового уровня, поэтому в первую очередь рассматривался этот интервал.

Также было обусловлено, что разработка и обоснование алгоритма планирования является первоначальной составной результатов усовершенствования методологии планирования горных работ.

Формулирование целей статьи, постановка задачи. Целью данной статьи является реали-

зация принципов системного подхода при разработке алгоритма годового планирования горных работ на железорудных карьерах.

Постановлены следующие задачи:

- 1) структурировать процесс планирования горных работ на железорудных карьерах;
- 2) обосновать содержание и совместный учет технологических условий в процессе годового планирования горных работ;
- 3) разработать алгоритм годового планирования горных работ на железорудных карьерах.

Представление основного материала исследований с обоснованием полученных научных результатов. Выполнен анализ действий технолога горного производства в процессе годового планирования горных работ на железорудном карьере. На его основе были выделены характерные процедуры процесса планирования горных работ.

1. Выполняется оценка текущего состояния горных работ на планируемый год. Оценивается положение фронта горных работ и вероятность его выхода на плановое положение, определенное пятилетним календарным планом. Как правило, отклонение достаточно большое, и принимается решение о пересмотре и корректировке годового плана горных работ.

2. Выполняется формирование исходных данных для определения положения планового годового объема руды:

- ожидаемое положение фронта горных работ на начало планового периода;
- требуемое положение фронта горных работ на начало и конец планового периода;
- количество выемочно-погрузочного оборудования;
- требуемые объемы по типам руд;
- требуемое соотношение разновидностей по обогатимости для каждого типа руды.

3. Выполняется исследование области, где возможно формирование вариантов планов горных работ.

Технолог оценивает варианты развития горных работ в границах пятилетних объемов в соответствии с основным направлением ведения горных работ. Оценивается отклонение на участках «отставания» и «основном направлении».

В соответствии с изложенными выше технологическими условиями, технолог разрабатывает несколько вариантов планов горных работ. Варианты намечаются таким образом, чтобы показатели технологических условий принимали допустимые значения. Но так как это выполняется «вручную», процедура несет эмпирический характер.

4. Сравниваются разработанные варианты планов горных работ и выполняется поиск наи-

лучшего. Сравнение проводится с учетом предпочтений важности технологических условий, показания которых должны принимать наименьшие значения. При определении наилучшего варианта учитываются следующие условия:

- объемы работ по подготовке горизонтов;
- объемы работ по текущему вскрытию;
- объемы работ по развитию транспортной сети.

Ввиду большого количества информации и эмпирического определения значений технологических условий полученный вариант является условно оптимальным.

5. Полученный вариант рассчитывается в геологическом отделе: объемы руды по типам и соотношение разновидностей по обогатимости для каждого типа руды. В случае если показатели указанных технологических условий принимают недопустимые значения, то вариант плана развития горных работ считают неприемлемым. В этом случае процесс повторяется, начиная с исследования области для формирования вариантов планов (процедура 3).

При этом не учитывается количество технологических условий, которые принимают не удовлетворимые значения, а учет степени отклонения проводится эмпирически и не несет системного характера.

Весь процесс повторяется до нахождения рационального варианта.

На основании анализа действий технолога определен состав технологических условий, которые необходимо учитывать при годовом планировании горных работ на железорудных карьерах. В зависимости от способов учета, технологические условия были разделены на те, которые учитываются численно и имеют формальный характер, и на слабоформализуемые, которые учитываются эмпирически. Далее выделенные группы технологических условий будут условно называться формальными и неформальными.

К группе *формальных технологических условий* относятся:

- необходимый объем руды по типам;
- соотношение разновидностей по обогатимости.

Математическое описание технологических условий формальной группы.

1. Плановый годовой объем для каждого типа руды должен равняться заданному годовому объему для каждого типа руды:

$$Z_{kr} + \Delta Z_{don}^{\max} \geq \sum_{i=1}^N \sum_{r=1}^{R_k} Q_{ikr} \geq Z_{kr} - \Delta Z_{don}^{\min}, \quad k = \overline{1, K} \quad (1)$$

где Z_{kr} – заданный годовой объем руды k -го типа r -й разновидности по обогатимости, т; Q_{ikr} – плановый (набранный) объем руды k -го

типа r -й разновидности по обогатимости, вынимаемый из i -го этапа, т; $\Delta Z_{don}^{max}, \Delta Z_{don}^{min}$ – допустимые отклонение заданного объема руды соответственно в большую и меньшую стороны, т; N – количество этапов; K – количество типов руды; R_k – количество разновидностей по обогатимости k -го типа руды.

2. Долевое участие разновидностей по обогатимости должно находиться в заданных пределах для каждого типа руды:

$$\lambda_{kr} + \Delta\lambda_{don}^{max} \geq \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K Q_{ikr}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R_k} Q_{ikr}} \geq \lambda_{kr} - \Delta\lambda_{don}^{min}, r = \overline{1, R_k} \quad (2)$$

где λ_{kr} – заданное долевое участие r -й разновидности по обогатимости k -го типа руды, %; $\Delta\lambda_{don}^{max}, \Delta\lambda_{don}^{min}$ – допустимые отклонения заданного долевого участия соответственно в большую и меньшую стороны, %.

Технологические условия этой группы учитываются численно с помощью расчетов геологическим отделом, инструментом которого, как правило, служит геоинформационная система. Технолог же учитывает достижение требуемых показателей этих условий ориентировочно эмпирическим путем. Только после установления варианта плана развития горных работ геологический отдел рассчитывает значения этих условий. Как правило, технологу не удается определить такой объем, который бы соответствовал требованиям с допустимым отклонением.

К группе *неформальных технологических условий* относятся:

- объемы работ по подготовке горизонтов;
- объемы работ по текущему раскрытию;
- объемы работ на «основном направлении» и участках «отставания»;
- объемы работ по развитию транспортной сети.

Технологические условия этой группы учитываются технологом эмпирически. Но ввиду квалификации и опыта работы предполагается, что он в состоянии оценить значения этих условий в достаточной мере для принятия технологического решения. При их учете технолог самостоятельно определяет приоритетность условий и согласование их значений в разных вариантах планов развития горных работ. Задача заключается в согласовании значений всех технологических условий таким образом, чтобы каждое находилось в допустимых пределах и в совокупности они принимали оптимальное значение относительно плана горных работ.

Из анализа опыта принятия решения при планировании горных работ на железорудных

карьерях было определено, что учет технологических условий формальной группы, а именно объемы по типам руд и соотношение разновидностей по обогатимости являются наиболее приоритетными. Но, наряду с этим технологические условия неформальной группы, имеют место в процессе планирования горных работ, значения которых влияют на стоимостные показатели ведения горных работ.

Таким образом, исходя из структуры процесса планирования и содержания технологических условий, был разработан алгоритм процесса планирования горных работ на железорудных карьерах рис. 1.

- блок 2 – ЛПР получает исходные данные с верхнего уровня планирования горных работ:

- положение фронта работ на начало планового периода;
- объемы руды по сортам;
- соотношение типов руд по обогатимости;
- количество экскаваторов;
- транспортная развязка и основные направления транспортирования;
- «основное направление» ведения горных работ;
- участки «отставания» горных работ.

- блок 3 – по математической модели определяется множество вариантов планов, где значение как минимум одного критерия выше, чем в сравниваемом варианте (множество Парето). В математической модели используются ограничения по общему объему в карьере и координатам участков отработки. Варианты отличаются количеством горизонтов отработки на каждом рудном участке. Критерии оптимальности в модели формального характера:

- объем руды по типам;
- соотношение разновидностей по обогатимости по каждому типу руды.
- блок 4 – ЛПР проверяет, сформировано ли множество решений. Если множество сформировано, то процедура переходит в блок 5, в обратном случае возвращается в блок 2.

- блок 5 – рассчитываются значения критериев формальной группы для каждого варианта. В качестве критериев использовались следующие технологические условия:

- объем работ по подготовке горизонтов;
- объем работ по текущему вскрытию;
- объем работ на «основном направлении» и участках «отставания»;
- объем работ по развитию транспортной сети.
- блок 6 – ЛПР, на основании своих предпочтений, рассчитывает значения весов всех критериев методом попарного сравнения;
- блок 7 – рассчитывается информация об относительной важности вариантов определенно-

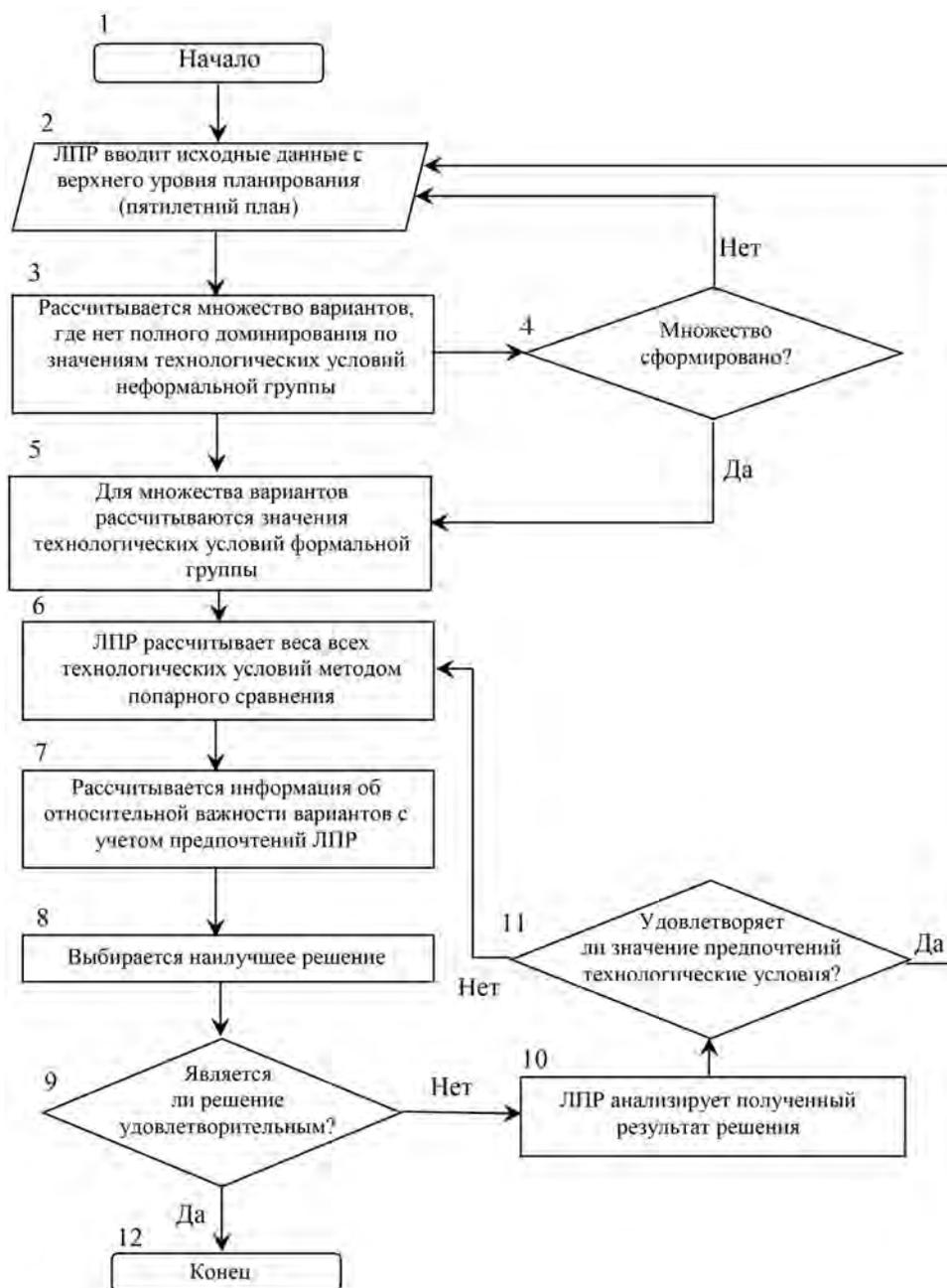


Рис. 1. Алгоритм процесса планирования горных работ на железорудных карьерах

го на предыдущих шагах множества. В работе используется метод ELEKTR, где рассчитывается индекс «согласия» и индекс «несогласия», в которых отражена относительная оценка важности вариантов;

- блок 8 - ранжируются варианты на основании информации, рассчитанной в блоке 7;

- блок 9 - ЛПР определяет, удовлетворяет ли решение задачи. Если решение удовлетворительно, то процесс планирования окончен, в обратном случае переходит в блок 10.

- блок 10 - ЛПР анализирует полученный вариант, а именно содержание и степень отклонения значений технологических условий.

- блок 11 - ЛПР устанавливает, есть ли среди полученного множества рациональные вариан-

ты, если да, то процесс переходит к пересмотру значений весов критериев (блок 6), в обратном случае изменяет исходные данные в блоке 2.

Процесс планирования продолжается до получения удовлетворительного варианта плана развития горных работ.

Технолог имеет возможность вырабатывать и использовать информацию о предпочтении вариантов планов в системной постановке, не зависимо от возможности формализации учитываемых технологических условий.

Отличительной особенностью предложенного алгоритма является то, что осуществляется оценка вариантов решения задачи планирования с более полной информацией о качестве руды. Формирование вариантов решения про-

водится на основании количественной оценки значений технологических условий формальной группы, а информация качественного характера учитывается технологом. Также используется критерий выбора наилучшего решения, где применяется дополнительная информация, которая рассчитывается на основании значений критериев и их относительной важности. Таким образом, предложенный алгоритм реализует процедуру годового планирования горных работ в рамках теории принятия решения [5; 6].

Выводы по результатам выполненных исследований. Описанный алгоритм является реализацией предложенного системного подхода к планированию горных работ на железорудных карьерах [3].

Новизна представленных результатов заключается в следующем:

- проведена систематизация процесса годового планирования горных работ на железорудном карьере;

- учитываются технологические условия формальной и неформальной группы в процессе годового планирования горных работ;

- разработан алгоритм годового планирования горных работ на железорудных карьерах, реализующий предложенный системный подход.

Анализ существующих методов принятия решения и результатов апробации позволит обосновать процедуру выбора наилучшего решения из рассматриваемых вариантов, что является составной частью общего процесса планирования.

Библиографический список / References

1. Лобанов Н. Я. Организация, планирование и управление производством в горной промышленности / Н. Я. Лобанов, Ф. Г. Грачев, С. С. Лихтерман и др. – М.: Недра, 1989. – 515 с.

Lobanov N. Y., Grachev F. G., Lichterman S. S. *Organization, planning and production management in the mining industry*. Moscow, Nedra, 1989, 515 p.

2. Панченко В. В. Разработка типовой методики решения задач планирования горно-транспортных работ в железорудном карьере / В. В. Панченко, И. Л. Гуменик, В. В. Загубинога, В. С. Иванов, А. В. Гонцул // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2011». – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2011. – С. 9-15.

Panchenko V. V., Cast I. L., Zagubinoga V. V., Ivanov V. S., Gonzul A. V. *Development of standard methods for solving planning tasks of mining and transportation works in iron ore quarry*. Materials mineralno Konferenz "Forum girnikiv-2011". Dnipropetrovsk, Reigning greater Navalny bet "Greci National University", 2011, pp. 9-15.

3. Загубинога В. В. Аналіз методології планування гірничих робіт на залізорудних кар'єрах та шляхи її вдосконалення / В. В. Загубинога, В. В. Панченко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 28. – С. 271-275.

Zagubinoga V. V., Panchenko V. V. *Analys metodolog planuvannya grnicza robt on saltorella car RAH the Shlyakhov, vdoskonalennya*. Visnyk Krivorzh technony University. 2011, issue 28, pp. 271-275.

4. Загубинога В. В. Годовое планирование горных работ на железорудных карьерах: структуризация принятия решений / В. В. Загубинога, В. В. Панченко, А. М. Эрперт // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2013». – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2013. – С. 145-151

Zagubinoga V. V., Panchenko V. V., Ebert A. M. *Annual mine planning at the iron ore pits: structuring of decision-making*. Materials mineralno Konferenz "Forum girnikiv-2013". Dnipropetrovsk, Reigning greater Navalny bet "Greci National University", 2013, pp. 145-151

5. Евланов Л. Г. Теория и практика принятия решений / Л. Г. Евланов. – М.: Экономика, 1984. – 176 с.

Evlanov L. G. *Theory and practice of decision-making*. Moscow, Economics, 1984, 176 p.

6. Ларичев О. И. Объективные модели и субъективные решения / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 143 с.

Larichev O. I. *Objective models and subjective decisions*. Moscow, Nauka, 1987, 143 p.

Purpose. Development of an algorithm for the annual planning of mining operations in iron ore quarries using the system approach.

Methodology To develop the algorithm for annual planning, the main principles of system methods were applied: structuring the planning process, using coordinate-bound variables and applying the principle of solving planned tasks from the position of decision theory under uncertainty.

Findings. An algorithm for the annual planning of mining operations in iron ore mines has been developed, which implements the proposed systemic approach

Originality. Systematization of the process of annual planning of mining works for iron ore quarry. Justified by the content of the joint given the technological conditions of formal and informal groups in the process of annual planning of mining operations.

Practical value. The possibility of using the developed algorithm in the annual planning of mining operations in iron ore quarries.

Key words: mining, planning, system approach, quarry, algorithm of annual planning.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком**

Поступила 10.05.2017