

6
А-61

Узучу 33

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АРТЕМА

На правах рукописи

Горный инженер И.Л.Гуменик

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРЕДКАРПАТСКОГО
СЕРОНОСНОГО БАСЕЙНА

Специальность 05.312. Открытая разработка
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

г. Днепропетровск
1971 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АРТЕМА

На правах рукописи

Горный инженер И.Л.Гуменник

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРЕДКАРПАТСКОГО
СЕРОНОСНОГО БАСЕЙНА

Специальность 05.312. Открытая разработка
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

г. Днепропетровск
1971 г.



Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового
Красного Знамени горном институте им. Артема.

Научные руководители:

Доктор технических наук, профессор — Л.Г. НОВОМИЛОВ

Кандидат технических наук, доцент — Г.Д. ПЧЕЛЖИН

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук — Д.И. БЕЛЯКОВ

Кандидат технических наук — Г.Л. СЕРЕДА

Ведущее предприятие — институт "Львовгорхимпроект"

Автореферат разослан " 4 " сентября 1971 г.

Защита диссертации состоится " " сентября 1971 г.
на заседании Ученого Совета горного и шахтостроительного
факультетов Днепропетровского горного института им. Артема.

Просим Вас принять участие в работе Совета или прислать
свой отзыв в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения,
по адресу: г. Днепропетровск, 14, пр. К. Маркса, 19, Ученому Сек-
ретарю.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке
института.

Ученый секретарь Совета,
проф., докт. техн. наук

В.А. БУНЬКО

А Н Н О Т А Ц И Я

В диссертационной работе изложены результаты исследований
по установлению очередности и интенсивности разработки карьер-
ных полей Предкарпатского сероносного бассейна.

Основные положения работы внедрены на Северном, Подорож-
ненском, Центральном карьерах и использованы институтом "Львов-
горхимпроект" при проектировании и перспективном планировании
открытой разработки месторождений бассейна.

Автор защищает:

разработанную методику и экономико-математическую модель
установления очередности и интенсивности отработки карьерных
полей бассейна; рекомендации по выбору схем вскрытия и опреде-
лению рациональных сроков строительства карьеров; результаты
исследований по обоснованию эффективных параметров комбинирован-
ной системы разработки сероносных месторождений.



В решении задач по созданию материально-технической базы коммунистического общества большое значение имеет развитие химической промышленности. Директивами XXIV съезда КПСС по развитию народного хозяйства СССР предусмотрено увеличение выпуска химической продукции в 1,7 раза.

Одним из важнейших видов химического сырья является самородная сера, используемая как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Потребность народного хозяйства в ней будет удовлетворяться, в основном, путем дальнейшего освоения Предкарпатского сероносного бассейна, в котором сосредоточены основные запасы серных руд СССР.

В настоящее время на базе Предкарпатских месторождений работает Роздольский и строится Яворовский горнохимические комбинаты. Обеспечение крупнейших в стране комбинатов сырьем будет осуществляться за счет открытой разработки Роздольского, Яворского, Подорожненского, Немировского и др. месторождений бассейна.

Настоящая диссертационная работа посвящена решению вопросов научного обоснования очередности и интенсивности отработки месторождений Предкарпатского сероносного бассейна, а также совершенствованию технологии открытой разработки месторождений, залегающих в сложных горногеологических условиях.

Диссертационная работа выполнена автором в течение 1963-1970 гг. на кафедре открытых горных работ ДГИ и является частью научно-исследовательских работ, проведенных под руководством профессора, доктора технических наук М.Г.Новожилова и доцента, кандидата технических наук Г.Д.Пчелкина.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

В первой главе диссертации выявлены технологические особенности месторождений Предкарпатского бассейна, сделан обзор горнотехнической литературы и научно-исследовательских работ, обоснована актуальность темы диссертационной работы.

Установлено, что месторождения Предкарпатья характеризуются рядом специфических особенностей залегания, строения и физико-механических свойств горных пород, которые значительно усложняют производство открытых горных работ.

Обзор горнотехнической литературы показал, что научные основы проектирования карьеров, выбора технологических схем открытой разработки и установления производственной мощности предприятий содержатся в работах акад. АН СССР Н.В.Мельникова, член-корр. АН СССР В.В.Ржевского, профессоров Е.Ф.Шешко, П.И.Городецкого, М.Г.Новожилова, Б.П.Юматова, А.И.Арсентьева, В.С.Хохрякова, Б.Н.Тартаковского, Ю.И.Белякова и др. Эти работы послужили основой для проведения исследований по установлению производственной мощности и очередности отработки карьеров. К ним относятся работы, выполненные в ИГД им.А.А.Скочинского, УкрНИИПроекте, Госгорхимпроекте, Московском, Свердловском и Днепропетровском горных институтах, ГИГХСе и др. Определенный вклад в решение этого вопроса внесли ученые и производственники страны: кандидаты технических наук Н.Г.Кяпустин, К.Е.Виницкий, В.П.Аксенов, В.С.Меньшов, А.Т.Шелест, Н.А.Мельник, П.Т.Церенщиков, Э.И.Реентович, А.Э.Розенплентер, Ю.П.Бурков и др.

В диссертации, наряду с выше названными исследованиями, при решении отдельных вопросов учтены работы докт. геол.-минер. наук А.С. Соколова, докт. техн. наук В.И. Аренса, кандидатов технических наук И.А. Иванникова, В.С. Гольда, М.Е. Левзнера, А.Т. Чернявского, инженеров Я.Ф. Уварова, А.Н. Дегтярева, И.М. Левина и др.

Проведенный анализ показал, что в опубликованных работах содержатся, в основном, исследования по установлению производственной мощности отдельно взятого карьера. Работы же, посвященные установлению очередности и интенсивности отработки группы месторождений, выполнены для условий разработки мощных крутопадающих залежей. До настоящего времени в литературе не нашли отражения вопросы установления интенсивности и очередности отработки группы горизонтально залегающих месторождений. Это в равной степени относится и к месторождениям Предкарпатского сероносного бассейна.

Выше изложенное позволило сформулировать основную цель исследований - научное обоснование очередности и интенсивности отработки месторождений Предкарпатского сероносного бассейна.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие основные задачи:

1. Изыскание эффективных схем вскрытия сероносных месторождений и установление рациональных сроков строительства карьеров.

2. Исследование взаимосвязи технологических параметров систем разработки и производственной мощности серных карьеров.

3. Разработка и анализ экономико-математической модели расчета рациональной очередности и интенсивности отработки сероносных месторождений Предкарпатья.

4. Разработка и внедрение организационно-технических рекомендаций по совершенствованию строительства, эксплуатации и очередности отработки карьеров Предкарпатского сероносного бассейна.

Для решения поставленных задач в работе использовались следующие методы исследований: технико-экономического анализа, вариантов, натурных наблюдений и обобщения опыта, аналитический, графический, производственного эксперимента, математического моделирования с использованием линейного программирования и комбинаторных методов.

В процессе исследований наиболее сложные расчеты выполнены на ЭЦМ "Минск-1" и "Минск-22" в вычислительном центре ДТИ.

Во второй главе приведены исследования по обоснованию эффективных схем вскрытия месторождений и установлению рациональных сроков строительства карьеров.

Планирование очередности ввода карьеров в эксплуатацию предусматривает установление рациональных сроков их строительства, которые тесно взаимосвязаны с объемом горнокапитальных работ и схемой вскрытия месторождений. Выбор рациональной схемы вскрытия месторождения в работе производится с использованием метода вариантов по критерию достижения минимума приведенных затрат на строительство и эксплуатацию карьеров.

Величина объемов горнокапитальных работ при строительстве карьера и эффективность работы горнотранспортного оборудования при его эксплуатации в значительной степени зависят от длины фронта работ, определяемой схемой вскрытия месторождения. В этой связи в работе проведены исследования взаимосвязи выше названных факторов, разработан порядок установления рациональной длины фронта работ и эффективных схем вскрытия месторождений бассейна.

Внедрение разработанных рекомендаций при вскрытии Подороженского месторождения позволило уменьшить капитальные вложения на строительство карьера в размере 1,8 млн.руб.

В диссертации разработана методика установления рациональных сроков строительства карьеров. В качестве критерия оценки принят минимум приведенных затрат за период строительства карьера. В связи с тем, что горнокапитальные работы занимают основной удельный вес как во времени строительства карьеров (более 80%), так и в капиталовложениях (около 70%), задача ограничена установлением взаимосвязи между приведенными затратами на производство горнокапитальных работ и временем их выполнения. Задача формализована следующим образом:

Минимизировать функцию

$$K_t = n_1 c_1 + n_2 c_2 + \dots + n_t c_t \quad (39)^*$$

при ограничениях

$$n_1 + n_2 + \dots + n_t = m;$$

$$n_2 - n_1 \geq 0, n_3 - n_2 \geq 0, \dots, n_t - n_{t-1} \geq 0;$$

$$n_i \geq 0,$$

где K_t - приведенные затраты при строительстве карьера за t лет; $n_1, n_2, \dots, n_t$ - количество экскаваторов, задолженных соответственно в 1, 2, ..., t год строительства; $c_1, c_2, \dots, c_t$ - стоимостные коэффициенты $c_1 = (\zeta_3 + 6\zeta_a + c_3 + 6c_a) K_{np}^{t-1}$; $c_2 = (\zeta_3 + 6\zeta_a + c_3 + 6c_a) K_{np}^{t-2}$, ..., $c_t = \zeta_3 + 6\zeta_a + c_3 + 6c_a$; ζ_3, ζ_a - затраты на приобретение одного экскаватора и автосамосвала; c_3, c_a - годовые затраты на содержание экскаватора и автосамосвала; 6 - количество автосамосвалов, необходимых для обеспечения производитель-

* Здесь и дальше нумерация формул приводится по диссертации.

ности одного экскаватора; K_{np} - коэффициент приведения затрат, $K_{np} = \frac{1+E}{K_c}$; E - коэффициент народнохозяйственной эффективности капитальных вложений; K_c - коэффициент ежегодного снижения стоимости строительства; m - количество экскаваторо-лет, необходимое для выполнения объема горнокапитальных работ V при среднегодовой производительности экскаватора $Q_3, m = \frac{V}{Q_3}$.

Из практики известно, что продолжительность строительства серных карьеров составляет 2-6 лет, при этом объем горнокапитальных работ колеблется от 10 до 30 млн.м³. Поэтому минимум функции (39) устанавливается при продолжительности строительства карьеров в интервале от 2 до 6 лет. В процессе решения задачи получены следующие уравнения функции цели:

$$K_2 = -(587n_1 + 902n_2) \rightarrow \min$$

$$K_3 = -(681n_1 + 587n_2 + 902n_3) \rightarrow \min$$

$$K_4 = -(800n_1 + 681n_2 + 587n_3 + 902n_4) \rightarrow \min \quad (42)$$

$$K_5 = -(930n_1 + 800n_2 + 681n_3 + 587n_4 + 902n_5) \rightarrow \min$$

$$K_6 = -(1090n_1 + 930n_2 + 800n_3 + 681n_4 + 587n_5 + 902n_6) \rightarrow \min$$

Особенностью разработанной методики является возможность рационального распределения горностроительного оборудования по годам строительства карьера.

Задача решена симплексным методом по стандартной программе на ЭЦВМ "Минск-I" при изменении величины объемов горнокапитальных работ от 8 до 32 млн.м³.

Обработка результатов решения позволила установить следующую зависимость величины приведенных затрат на строительство серных карьеров (K) бассейна от объема горнокапитальных работ (V) и продолжительности строительства (t):

$$K = (6,4t^2 - 35,3t + 969) V, \text{ тыс.руб.} \quad (43)$$

При этом установлено, что при объеме горнокапитальных ра-

бот до 20 млн.м³ минимальные приведенные затраты имеют место при продолжительности строительства, равной 3 годам. Горностроительное оборудование в этом случае необходимо распределять равномерно по годам строительства. Если объем горнокапитальных работ превышает эту величину, продолжительность строительства равна 4 годам, при этом характерным является наращивание количества оборудования по годам строительства.

На основании предложенной методики в диссертации установлены рациональные сроки строительства карьеров бассейна и разработаны рекомендации по распределению во времени горностроительного оборудования.

В третьей главе приведены исследования по установлению эффективных параметров технологических схем производства вскрышных работ в зависимости от интенсивности отработки сероносных месторождений.

Установлено, что основным направлением повышения эффективности открытого способа разработки сероносных месторождений бассейна является широкое внедрение комбинированной системы разработки с применением на основном уступе мощных экскаваторов-драглайнов, на передовых уступах - техники непрерывного действия.

В работе приведена методика расчета параметров бестранспортной системы разработки. Критерием оптимальности при этом принято обеспечение заданной производственной мощности карьера при максимальном использовании линейных параметров и производительности экскаваторов-драглайнов.

Рациональные параметры бестранспортной системы рассчитываются по стандартной программе XI-I05 на ЭЦВМ "Минск-I", разработан-

ной при непосредственном участии автора. Программа расчета предусматривает определение пространственной схемы расположения вскрышного и отвального экскаваторов, расчет параметров вскрышного уступа, установление объемов экскавации и переэкскавации и общей эффективности рассматриваемой системы разработки.

На основании проведенных исследований в работе установлены рациональные параметры бестранспортной системы разработки (высота вскрышного уступа - H , высота нижнего подступа - H_1 , горизонтальное расстояние от оси отвального экскаватора до верхней бровки первого яруса отвала - Y , коэффициент переэкскавации K_n) в зависимости от производственной мощности (Q) серных карьеров (рис. I). Внедрение разработанных рекомендаций на карьерах Роздольского горнохимического комбината обеспечило ежегодный экономический эффект в размере 48,6 тыс.руб.

В связи с тем, что отработку передовых уступов на карьерах бассейна предусматривается осуществлять с использованием роторных экскаваторов верхнего и нижнего черпания, в главе проведены исследования по установлению эффективных параметров их работы.

Применительно к условиям слабоустойчивых вскрышных пород для определения высоты рабочего уступа предложено выражение

$$H \operatorname{ctg}(52,7H^{-0,4}) = R_q \left[\sin \varphi_0 \sqrt{1 - \left(\frac{H-h-c}{R_q} \right)^2} - \sin \varphi \sqrt{1 - \left(\frac{c}{R_q} \right)^2} \right], \quad (79)$$

где H - высота вскрышного уступа; R_q - максимальный радиус черпания экскаватора; h - высота верхнего слоя; c - высота подвески стрелы; φ_0, φ - максимальный угол поворота стрелы в сторону уступа соответственно по верхнему и нижнему слоям.

Выражение (79) позволяет учитывать взаимосвязь параметров роторного экскаватора с высотой и устойчивым углом откоса вскрыш-

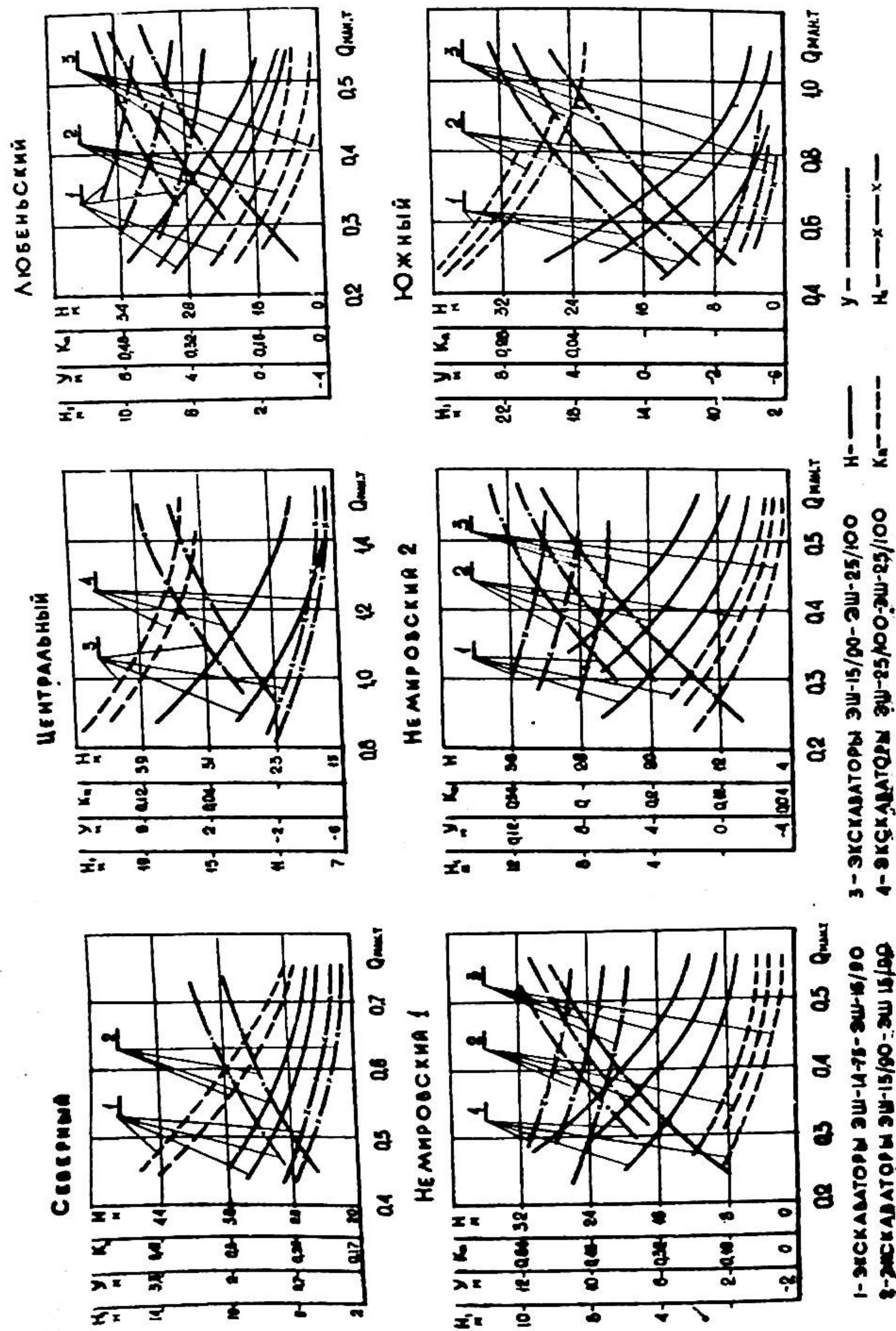


Рис.1 Взаимосвязь параметров бестранспортной системы и производственной мощности карьеров.

- II -

ного уступа.

В работе предложен порядок расчета высоты и количества слоев в уступе, учитывающий конструктивные особенности ротора экскаваторов верхнего и нижнего черпания и необходимость обеспечения устойчивого угла откоса вскрышного уступа.

За основной критерий, определяющий эффективность работы роторного экскаватора, принято достижение его максимальной производительности. Определение условий достижения максимальной производительности экскаватора произведено с использованием метода улучшения условно-оптимальных решений. Сущность метода заключается в том, что процесс поиска разбивается на цепь итераций, в пределах каждой из которых проводится последовательная оптимизация отдельно взятого параметра при фиксированном значении других параметров. Расчеты проводились при переменных значениях ширины заходки, высоты и количества слоев в уступе, толщины стружки. В результате проведенных исследований рекомендованы рациональные параметры вскрышной заходки роторных экскаваторов верхнего и нижнего черпания при работе их в слабоустойчивых вскрышных породах. Разработанные рекомендации внедрены на Центральном карьере Яворовского горнохимического комбината.

Учитывая, что для большинства карьеров бассейна наиболее целесообразно применение комбинированной системы разработки, в диссертации предложена методика установления эффективных её параметров и выбора рационального типа и количества горнотранспортного оборудования в зависимости от производственной мощности карьера. Критерием оценки при этом принято достижение минимума приведенных затрат на разработку вскрышных пород.

Реализация предложенной методики осуществляется по разработанному алгоритму на ЭЦВМ "Минск-1". В табл. I приведены полученные

Таблица 1

КАРЬЕРЫ	ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ КАРЬЕРА Q, м³/сут	ВЫСОТЫ УСТУПОВ, м			ГОРНОТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	ГОДОВЫЕ КАПИТАЛЬНЫЕ ТАЩОМ-ТАЩИ ИЗВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ЗА- ТРАТЫ, %	ГОДОВЫЕ КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ, млн. руб.
		H _б	H _р	H _а			
СЕВЕРНЫЙ РСК	0.4	380	—	60	2B+K+14E	142	383
	0.5	325	—	115	2B+2K+31E	21	452
	0.6	270	170	—	A+B+D+8	221	700
	0.7	260	164	16	2B+D+C+K+3E	251	783
	0.8	233	144	63	A+B+D+B+2K+22E	35	951
ПОДРОЖНИ- СКИ	0.5	258	194	126	A+B+D+B+2K+22E	323	934
	0.6	290	324	04	2B+2D+α+K+8E	393	1136
	0.7	240	378	378	A+B+E+B	494	1658
	0.8	23	388	—	2B+E+B	501	1696
	0.9	217	380	28	2B+E+B+K+15E	562	1759
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИГХК	0.8	390	463	70	2C+D+B+2K+27E	407	1130
	1.0	317	260	46	2C+2D+α+2K+22E	522	1496
	1.2	258	365	—	2C+E+c	534	1638
	1.4	219	405	—	2C+E+B+D	670	2225
	1.6	203	450	18	2C+E+D+3K+39E	812	2364
ЮЖНЫЙ ЯГХК	0.4	330	174	—	2C+D+α	293	1000
	0.6	80	424	—	2B+E+c	477	1572
	0.8	135	369	—	2C+E+c	592	1898
	1.0	70	434	—	2C+E+2D	792	2592
	1.2	474	474	—	2C+2E+α	903	3023
ЛЮБЕНСКИЙ	0.2	290	—	30	2B+K+7E	12	364
	0.3	222	—	98	2B+3K+36E	233	498
	0.4	200	120	—	B+C+D	252	853
	0.5	140	180	—	2B+2D	433	1116
	0.6	160	160	—	B+C+2D	433	1315
ЧЕРНОВСКИЙ	0.6	286	34	34	2B+K+10E	127	371
	0.3	300	—	20	2C+K+12E	198	643
	0.4	212	108	—	2C+D	284	986
	0.5	120	164	16	B+C+2D+K+11E	369	1299
	0.6	147	152	20	2C+2D+2K+24E	522	1478
ЧЕРНОВСКИЙ 2	0.2	250	224	260	2B+D+B+2K+28E	347	867
	0.3	282	300	—	2C+2D+α	428	1269
	0.4	164	397	31	B+C+E+B+K+7E	539	1756
	0.5	154	420	18	2C+E+D+C+K+8E	713	2375
	0.6	70	522	—	2B+2E+α	840	2758

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A — экскаватор ЭШ-14/75; B — экскаватор ЭШ-15/90; C — экскаватор ЭШ-25/100; D — экскаватор ЭРГ-400;
 E — экскаватор SP₃-2400; Q — экскаватор ЭШ-4/40; B — экскаватор ЭШ-5/45; C — экскаватор ЭШ-8/60;
 α — экскаватор ЭШ-10/80; E — автосамосвал БМЗ-540; K — экскаватор ЭРГ-46;

H_б, H_р, H_а — высоты вскрытых уступов разрабатываемых соответственно драглайнами, роторными экскаваторами и мехлопатами.

в результате расчетов рациональные параметры комбинированной системы разработки и необходимое горнотранспортное оборудование при производстве вскрышных работ на действующих и проектируемых карьерах бассейна.

В четвертой главе выполнены исследования по обоснованию производственной мощности и очередности отработки карьеров Предкарпатского сероносного бассейна. Для удовлетворения потребности народного хозяйства в самородной сере необходимо одновременно эксплуатировать группу карьеров одного или нескольких месторождений бассейна. В этой связи возникает задача оптимального планирования открытой разработки группы карьеров. С целью решения поставленной задачи в диссертации разработана экономико-математическая модель эксплуатации бассейна. Оптимальный вариант освоения Предкарпатского сероносного бассейна определится из условия достижения максимальной приведенной прибыли от реализации конечного продукта (сери) за время его эксплуатации. При установленной по годам цене на серу и относительно постоянной доле затрат на переработку руды критерием оптимальности может быть принят минимум приведенных затрат на разработку бассейна за весь срок его эксплуатации. Так как возможные варианты разработки бассейна отличаются разновременностью вложения затрат, приведение последних к одному моменту оценки производится с учетом двух факторов — экономической эффективности государственных средств и технического прогресса.

В общем виде задача установления рационального порядка освоения месторождений бассейна формулируется следующим образом.

Потребность народного хозяйства в однородном продукте характеризуется параметром B, который дискретно изменяется на некоторую оп-

ределенную величину. Продукт производится на q комбинатах. Сырье для его производства добывается на l карьерах. Запасы сырья на каждом карьере составляют соответственно $N_1, N_2, \dots, N_n$. Для каждого i -го карьера определено j возможных значений объемов производства. Известны капитальные затраты на строительство каждого карьера K_i , а также капитальные затраты на приобретение горнотранспортного оборудования A_{ij} и эксплуатационные расходы $Э_{ij}$, соответствующие j -му объему производства. Необходимо определить очередность ввода каждого карьера в эксплуатацию и его производственную мощность, при условии, что общие приведенные затраты на производство продукта за время T достигнут минимума. Таким образом, экономико-математическая модель эксплуатации бассейна имеет вид:

$$Z = \sum_{t=0}^T \left[\sum_{i=1}^m K_i \left(\frac{K_c}{K_e} \right)^t + \sum_{j=1}^n A_{ij} \left(\frac{K_c}{K_e} \right)^t + \sum_{j=1}^n Э_{ij} \left(\frac{K_c}{K_e} \right)^t + \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^l C_{iq} X_{iq} \left(\frac{K_c}{K_e} \right)^t \right] \rightarrow \min, \quad (125)$$

где Z - приведенные затраты за весь период эксплуатации бассейна; T - продолжительность эксплуатации бассейна; m - количество строящихся карьеров в t -ый год эксплуатации бассейна;

t - год эксплуатации бассейна, $t = 0, 1, 2, \dots, T$; K_i - капитальные затраты на строительство i -го карьера в t -ый год эксплуатации бассейна; K_c - коэффициент ежегодного снижения удельных капитальных вложений; K_e - коэффициент приведения,

$K_e = 1 + E$; n - количество эксплуатируемых карьеров в t -ый год разработки бассейна; A_{ij} - капитальные затраты на развитие и поддержание j -ой производственной мощности на i -ом карьере;

$Э_{ij}$ - эксплуатационные расходы на производство вскрышных работ при j -ой производственной мощности i -го карьера;

K_c - коэффициент ежегодного снижения себестоимости вследствие роста производительности общественного труда; l - количество потребителей (перерабатывающих комбинатов) серной руды; C_{iq} - себестоимость транспортирования l т руды от i -го карьера к q -му комбинату; X_{iq} - объем транспортирования серной руды от i -го карьера к q -му комбинату.

Для реализации экономико-математической модели необходимо найти условия, при которых каждое из слагаемых будет иметь оптимальное значение.

Первое слагаемое модели представляет собой приведенные капитальные затраты на строительство карьеров. Они определяются исходя из времени ввода карьеров в эксплуатацию и продолжительности их строительства. Время ввода карьеров в эксплуатацию зависит, в основном, от интенсивности отработки находящихся в эксплуатации месторождений и потребности народного хозяйства в самородной сере. Оптимальные сроки строительства карьеров устанавливаются на основании исследований, приведенных во второй главе диссертационной работы.

Оптимизация второго и третьего слагаемых модели заключается в установлении эффективных параметров систем разработки серных карьеров. Параметры систем разработки в значительной степени зависят от производственной мощности карьера. В этой связи в диссертации на основании разработанной методики, учитывающей горнотехнические и экономические факторы, предложена система ограничений, позволяющая установить допустимые пределы изменения производственной мощности карьеров бассейна:

$$\frac{K(1+E)^{t_c}}{C_0 - C_r(1+\eta_3)^{\frac{(1+E)^{t_c}-1}{E}}} \leq Q \leq \begin{cases} 1. \eta_3 P_9 \\ 2. \frac{\sum P_9 h \gamma_0 K_{из}}{H_s K_y (1+K_n)} \\ 3. (n\Pi - V_a) \gamma \\ 4. \frac{N}{T_m} \end{cases} \quad (I26)$$

где K - капитальные затраты за время существования карьера t_c ; C_0 - оптовая цена на руду; C_r - себестоимость 1 т горной массы; η_3 - эксплуатационный коэффициент вскрыши; η_9 - количество добычных экскаваторов; P_9 - производительность добычного экскаватора; $\sum P_9$ - суммарная производительность вскрышных экскаваторов; h - мощность рудного пласта; γ_0 - объемный вес руды; $K_{из}$ - коэффициент извлечения полезного ископаемого; H_s - высота вскрышного уступа; K_y - коэффициент удлинения вскрышного фронта работ относительно добычного; Π - количество выездных траншей; Π - пропускная способность выездной траншей; V_a - объем вскрышных пород, выдаваемый из карьера автотранспортом; γ - объемный вес вскрышных пород; N - балансовые запасы карьерного поля; T_m - нормативный срок эксплуатации карьера.

Левая часть выражения (I26) определяет экономически целесообразное минимальное значение производственной мощности карьера, правая - максимальное по горным возможностям и сроку окупаемости основного горнотранспортного оборудования, причем из четырех значений правой части неравенства принимается наименьшее. На основании проведенных расчетов в работе установлены допустимые пределы изменения производственной мощности карьеров бассейна.

Оптимизация второго и третьего слагаемых модели осуществ-

лена в установленных пределах значений производственной мощности карьеров в третьей главе диссертационной работы.

Последнее слагаемое модели представляет собой годовые затраты на транспортирование руды от карьеров к перерабатывающим предприятиям (комбинатам). Его оптимизация заключается в установлении рациональных объемов транспортирования серной руды при условии достижения минимума приведенных затрат. Математическая формализация задачи имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^l C_{iq} x_{iq} \rightarrow \min \quad (I30)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{iq} &= B, \quad q = 1, 2, \dots, l; \\ \sum_{q=1}^l x_{iq} &= Q_i; \quad x_{iq} \geq 0. \end{aligned}$$

Решение поставленной задачи с использованием симплекс-метода позволило определить оптимальные объемы перевозки руды между карьерами и перерабатывающими предприятиями.

Проведенные исследования по оптимизации отдельных слагаемых экономико-математической модели (I25) позволили приступить к решению задачи оптимального планирования открытой разработки группы месторождений Предкарпатского сероносного бассейна.

В связи с тем, что установление очередности и интенсивности отработки сероносных месторождений зависит от многих факторов, взаимосвязанных между собой, и потребность народного хозяйства в сере изменяется во времени, поставленная задача является многошаговой. Для решения задачи используется теория комбинаторных методов нелинейного программирования.

Решение задачи в соответствии с изменением потребности

народного хозяйства в сере разбито на этапы. В связи с тем, что решение задач с использованием комбинаторных методов представляет разветвленную систему возможных решений, для выделения главных ветвей используются так называемые первичные соотношения или условия:

$$B_z = \sum Q_{ij}^z,$$

где B_z - потребность народного хозяйства в сере на Z -ом этапе; Q_{ij}^z - производительность i -го карьера на Z -ом этапе.

При этом возможно несколько главных ветвей решений. Для выделения из главных ветвей решений оптимальной используются вторичные условия

$$t_{ij} = \frac{N_i^z}{Q_{ij}} \geq t_z,$$

где t_{ij} - срок существования i -го карьера при Q_{ij} производительности на Z -ом этапе; N_i^z - запасы полезного ископаемого i -го карьера на Z -ом этапе; t_z - продолжительность Z -го этапа.

Последней операцией вычислений является минимизация целевой функции в оптимальной ветви решений.

Решение задачи производится последовательно на каждом этапе. Алгоритм решения задачи приведен в табл.2.

В связи с громоздкостью и сложностью описанного алгоритма и необходимостью учета большого количества взаимосвязей для решения задачи применена ЭВМ. Исходные данные для решения задачи представлены в виде матриц эксплуатационных и капитальных затрат при различных производственных мощностях карьеров бассейна. Реализация алгоритма осуществлена на ЭЦВМ "Минск-22" в вычислительном центре ДГИ.

Таблица 2

Этапы	Условия			Функция цели	Оставшиеся запасы
	первичные	вторичные	ограничивающие		
I	$B_1 = Q_{11} + Q_{12}$	$t_{11} = \frac{N_1}{Q_{11}} > t_1$	$t_{11} - t_1 > 0$ $t_{12} - t_1 > 0$	$\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$	$N_1^I = N_1 - Q_{11} t_1$
II	$B_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23}$	$t_{21} = \frac{N_2}{Q_{21}} > t_2$	$t_{21} - t_2 > 0$ $t_{22} - t_2 > 0$ $t_{23} - t_2 > 0$	$\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $i = 3, 4, 5; j = 1, 2, 3; q = 1, 2$	$N_2^I = N_2 - Q_{21} t_2$
III	$B_3 = Q_{31} + Q_{32} + Q_{33}$	$t_{31} = \frac{N_3}{Q_{31}} > t_3$	а) $t_{31} - t_3 > 0$ $t_{32} - t_3 > 0$ $t_{33} - t_3 > 0$ б) $t_{31} - t_3 > 0$ $t_{32} - t_3 > 0$ $t_{33} - t_3 > 0$	$\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $t = 6, \dots, 8 + t_{ij}; i = 1, 2, 3; q = 1, 2$ $\sum_{i=1}^n [K_i K_i + \sum_{j=1}^n A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $t = 6 + t_{ij}, \dots, 12; i = 2, 3, n; q = 1, 2; n = 4, 5, 6, 7$	$N_3^I = N_3 - Q_{31} t_3$ $N_3^I = N_3 - Q_{32} t_3$ $N_3^I = N_3 - Q_{33} t_3$
	$B_4 = Q_{41} + Q_{42} + Q_{43}$	$t_{41} = \frac{N_4}{Q_{41}} > (t_3 - t_4)$	а) $t_{41} - t_4 > 0$ $t_{42} - t_4 > 0$ $t_{43} - t_4 > 0$ б) $t_{41} - t_4 > 0$ $t_{42} - t_4 > 0$ $t_{43} - t_4 > 0$	$\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $\sum_{i=1}^n [A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $t = 13, \dots, 13 + t_{ij}; i = 3, 2, n; q = 1, 2$ $\sum_{i=1}^n [K_i K_i + \sum_{j=1}^n A_{ij} K_i + \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n C_{iq} X_{iq} K_i] \rightarrow \min$ $t = 13 + t_{ij}, \dots, 24; i = 3, n, n; q = 1, 2$	$N_4^I = N_4 - Q_{41} t_4$ $N_4^I = N_4 - Q_{42} t_4$ $N_4^I = N_4 - Q_{43} t_4$
IV	$B_5 = Q_{51} + Q_{52} + Q_{53}$	$t_{51} = \frac{N_5}{Q_{51}} > (t_4 - t_5)$	$t_{51} - (t_4 - t_5) > 0$ $t_{52} - (t_4 - t_5) > 0$ $t_{53} - (t_4 - t_5) > 0$		$N_5^I = N_5 - Q_{51} t_5$

Карьеры	Э Т А П ы				1971	1974	1977	1981	1984	1988	1992	1995
	I	II	III	IV								
Немировский												035
Любенский								035			106	
Южный (ЯГХК)										083	159	
Центральный (ЯГХК)						142	195	2.12	2.64	2.83	2.83	
Подорожненский						088	088	142	142			
Северный (РГХК)						124	071					

Рис.2. Очередность отработки и производственная мощность (в % относительно общего объема производства серы в бассейне) карьеров Предкарпатского сероносного бассейна.

В результате решения задачи рекомендована рациональная очередность отработки и производственная мощность карьеров Предкарпатского сероносного бассейна (рис.2). При этом установлено, что для удовлетворения потребности народного хозяйства в самородной сере необходимо одновременно эксплуатировать несколько карьеров. Карьеры в эксплуатацию целесообразно включать в следующем порядке: Подорожненский - 1971 г., Центральный - 1974 г., Любенский - 1981 г., Южный - 1988 г., Немировский - 1992 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для успешного освоения Предкарпатского сероносного бассейна - основного поставщика серных руд страны - необходимо решить ряд задач, связанных с установлением очередности строительства карьеров и интенсивности отработки месторождений. С этой целью в диссертационной работе проведены исследования, основные результаты которых заключаются в следующем:

I. Научные результаты работы. Создана методика, определены исходные данные и разработана экономико-математическая модель установления очередности и интенсивности отработки карьерных полей Предкарпатского сероносного бассейна. Для оптимизации составляющих экономико-математической модели разработаны и реализованы методики: установления эффективных схем вскрытия сероносных месторождений и рациональных сроков строительства карьеров; определения эффективных параметров комбинированной системы разработки и выбора рационального типа и количества горнотранспортного оборудования в зависимости от производственной мощности карьеров; установления допустимых пределов изменения производственной мощности карьеров.

II. Практические результаты. I. Установлен рациональный срок строительства серных карьеров бассейна - 3-4 года. Разработаны рекомендации по организации производства горнокапитальных работ на карьерах бассейна.

2. Определены рациональные параметры комбинированной системы разработки в зависимости от производственной мощности серных карьеров. При этом обоснованы рациональный тип и количество горнотранспортного оборудования и разработаны эффективные технологические схемы производства вскрышных работ на строящихся и проектируемых карьерах бассейна.

3. Для рассматриваемого периода эксплуатации бассейна установлен оптимальный план объемов перевозок серной руды между карьерами и горнохимическими комбинатами.

4. Обоснованы очередность ввода в эксплуатацию и производственная мощность карьеров Предкарпатского сероносного бассейна.

III. Реализация результатов исследований. Основные результаты исследований использованы институтом Львовгорхимпроект при проектировании и перспективном планировании открытой разработки месторождений Предкарпатского сероносного бассейна.

На основании проведенных исследований разработана схема вскрытия Подорожненского месторождения серы, внедрение которой позволило уменьшить капитальные затраты при строительстве карьера на 1,8 млн.руб.

Разработанные в диссертации рекомендации по установлению эффективных параметров систем разработки использованы на Северном, Подорожненском и Центральном карьерах бассейна. Внедрение разработанных рекомендаций на Северном карьере Роздольского месторождения обеспечило годовой экономический эффект в размере 48,6 тыс.руб.

Диссертационная работа в целом и отдельные ее разделы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях и совещаниях в Днепропетровском (1967-1970гг.) и Московском (1968г.) горных институтах, на Роздольском и Яворовском горнохимических комбинатах, Государственном институте горнохимического сырья (г.Москва), институте "Львовгорхимпроект" и др.

х х
х

Основные положения диссертации опубликованы в 25 печатных работах. Важнейшие из них:

1. Совершенствование технологии открытой разработки Роздольского серного месторождения. Угольная и горнорудная промышленность, Киев, 1966 (соавторы: М.Г.Новожилов и др.)

2. Исследование условий применения роторных комплексов на карьерах Предкарпатья. Сб. "Сера Предкарпатья", Каменяр, Львов, 1967 (соавторы: Г.Д.Пчелкин, В.И.Прокопенко, Ю.П.Шейко).

3. Анализ факторов, влияющих на вскрытие Подорожненского месторождения. Сб. "Сера Предкарпатья", Львов, Каменяр, 1967.

4. Методика определения рационального порядка отработки месторождений Предкарпатского сероносного бассейна. Химическая промышленность Украины, 1969; (соавторы: М.Г.Новожилов, Г.Д.Пчелкин, Ю.П.Шейко).

5. Исследование организации и планирования открытых горных работ на месторождениях Предкарпатского сероносного бассейна. В сборнике "Технический прогресс - основа повышения эффективности производства", Днепропетровск, (соавтор Г.Д.Пчелкин).

6. Исследование условий рационального сочетания параметров вскрышной заходки роторного экскаватора. Известия вузов. Горный журнал, 1969, № 4 (соавторы: М.Г.Новожилов, Г.Д.Пчелкин, В.И.Прокопенко).

7. Анализ усложненной бестранспортной системы разработки в сложных горногеологических условиях. Сб. "Совершенствование техники и технологии открытой разработки месторождений", М., "Недра", 1969, (соавторы: Г.Д.Пчелкин, В.А.Нападайло, В.И.Прокопенко).

8. Использование ЭЦВМ для определения основных параметров бестранспортной системы разработки в сложных горнотехнических условиях. Сб. "Технический прогресс - основа повышения эффективности производства", Днепропетровск, 1969, (соавторы: Г.Д.Пчелкин, Ю.П.Шейко, С.И.Волжанина).

9. Обоснование основных технологических вопросов по организации и планированию развития горных работ на карьерах по добыче самородной серы. Реферативный сборник ДГИ, 1969, (соавторы: М.Г.Новожилов и др.).

10. Технологическая схема эффективной работы роторных экскаваторов в слабоустойчивых вскрышных породах. Сб. "Разработка месторождений полезных ископаемых", т.49, М., "Недра", 1970, (соавторы: Г.Д.Пчелкин, В.И.Прокопенко, И.А.Иванников).

11. Исследование некоторых вопросов эффективной работы роторных экскаваторов. Сб. "Разработка месторождений полезных ископаемых", т.49, "Недра", 1970, (соавторы: Г.Д.Пчелкин, В.И.Прокопенко, И.А.Иванников).

12. Обоснование эффективных методов планирования открытых разработок и оперативного управления технологическими процессами на карьерах Предкарпатского сероносного бассейна при использовании ЭЦВМ. "Угольная и горнорудная промышленность", Киев, Высшая школа, 1970, (соавторы: М.Г.Новожилов, Г.Д.Пчелкин, Ю.П.Шейко).