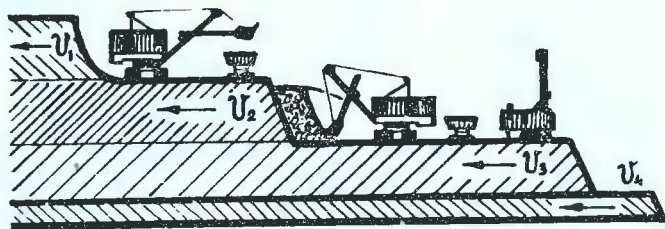


СПП. 241
А 852

А. И. Арсентьев

ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА



Ленинград

1986

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ленинградский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горный институт
им. Г. В. Плеханова

А. И. АРСЕНТЬЕВ

ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА

*Утверждено Ученым советом института
в качестве учебного пособия*



ЛЕНИНГРАД
1986

Арсентьев А.И. ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА.
Учебное пособие. Л., изд. ЛГИ, 1986. 54 с.

В данной книге собраны и упорядочены материалы, могущие служить учебным пособием для студентов, изучающих курсы разработки месторождений открытым и подземным способами. Приведены законы формирования в пространстве и времени рабочей зоны карьеров и шахт. Основное внимание уделено карьерам.

Учебное пособие предназначено для студентов горных специальностей, изучающих курсы разработки месторождений полезных ископаемых, а также для преподавателей горных вузов и факультетов. Оно будет полезно горным инженерам, исследователям, проектировщикам и производственникам.

Ил. 26, табл. 3, библиогр. 28.

Рецензенты: кафедра организации горных работ и промышленного транспорта МГМИ им. Р.И.Носова, канд.техн.наук Ж.В.Бунин (МГРИ им. С. Орджоникидзе).

© Ленинградский горный институт им. Г.В.Плеханова, 1986 г.

ВВЕДЕНИЕ

— Что же, хватит для начала! — остановил ее Шалтай. — Здесь трудных слов достаточно!

Льюис Керролл (1832–1898)



В горной науке, как и во всякой науке, есть свои понятия, правила, принципы и законы. Они выработаны многими поколениями горных инженеров-производственников, проектировщиков, ученых в результате длительного развития горной науки и практики.

Особенно значительный вклад в развитие теоретических основ горной науки внесли такие замечательные русские ученые как М.В.Ломоносов, И.А.Шлаттер, А.И.Узатис, Б.И.Бокий, М.М.Протодяконов, Н.И.Трушков, А.А.Скочинский, И.А.Кузнецов, В.П.Боголюбов, П.И.Городецкий, Н.А.Стариков, Е.Ф.Шешко, П.Э.Зурков, В.Н.Семеновский, Н.В.Мельников, М.И.Агошков и многие другие.

Термин «горная наука» был впервые употреблен в середине XVIII века великим ученым М.В.Ломоносовым. Он же дал исчерпывающее определение этого термина: «Наука, которая учит минералы знать, приискивать и приводить в такое состояние, чтобы они в обществе человеческого были угодны, называется горная наука» [19, с.367].

В процессе развития горная наука видоизменялась, в ее определение вводились новые понятия, ее функции усложнялись, а методы совершенствовались. В 70-е годы XX в. академик Н.В.Мельников считал, что целью горной науки является



Михаил Васильевич Ломоносов
(1711-1765)
Великий русский ученый-энциклопедист. Основной труд по горной науке: „Первые основания металлургии или рудных тел“ (1763)

„... раскрытие закономерностей и научное объяснение явлений и процессов, происходящих при разработке полезных ископаемых, для коренного совершенствования техники и экономики горного производства“ [21, с.212].

Горная наука относится к техническим наукам, которые, по определению Ю.С.Мелешенко, изучают взаимодействие техники с теми природными условиями, в которых она функционирует [20, с.90].

Можно сказать, что на современном этапе горная наука существует как наука о разработке месторождений полезных ископаемых. Она изучает законы взаимодействия техники и

технологии горных работ с горными породами в процессе добычи из недр земли полезных ископаемых.

К сожалению, до настоящего времени в нашей литературе, и особенно в учебниках, не уделялось достаточного внимания формулировке и обоснованию общих теоретических проблем горной науки. Более того, распространяется мнение об отсутствии законов горной науки. Это ведет к тому, что в процессе проектирования, планирования и эксплуатации карьеров и шахт нередко принимаются волевые решения, находящиеся в противоречии с законами науки и ведущие к срыву производства.

По своему происхождению понятия горной науки являются результатом обобщения многовекового опыта горняков, отражают представления о том или ином процессе. Они могут выступать как характеристика физической модели процесса, как способ

понимания (познания) процесса, как характеристика какого-либо вида деятельности [11].

Понятиями, характеризующими физическую сущность процесса, являются, например, буримость, взрываемость, экскавируемость, трещиноватость, кусковатость и т.д. Понятиями, выступающими как средство познания, являются коэффициенты вскрыши, горной массы, устойчивости, крепости пород и т.д. Понятия, отражающие деятельность шахты и карьера – вскрытие, система разработки, вскрышные работы, добычные работы, рабочий борт, нерабочий борт, проходка выработок и т.д.

Рассмотрим общепринятое определение понятий правило, принцип и закон.

П р а в и л о – “предложение, выражающее при определенных условиях разрешение или требование совершить или воздержаться от совершения некоторого поступка...”^x Одно из коренных свойств правил – их субъективность. Правила могут изменяться, время от времени пересматриваться. Иногда в порядке исключения они могут нарушаться. Чем строже и важнее правила, тем выше инстанции, которые могут разрешить их нарушить. Это правила технической эксплуатации карьеров, безопасности, движения транспортных средств, приема в учебные заведения и т.д.

П р и н ц и п [лат. principium – основа, первоначало] – основоположение, руководящая идея, основное правило поведения, действия”.^{xx} Как видим, принцип также субъективен, ему можно следовать, а можно и не следовать. К принципам горной науки относятся, например, различные критерии – минимум коэффициентов вскрыши или горной массы, минимум

^x БСЭ, т.20, с.474.

^{xx} Словарь иностранных слов. М., Изд-во иностр. и национ. словарей, 1949, с.521.

затрат, максимум прибыли; принципы определения границ открытых работ и т.д.

В.И. Ленин писал, что "... понятие закона есть одна из ступеней познания человеком единства и связи, взаимозависимости и цельности мирового процесса " [2, с.135]. И далее: "Закон есть отношение ... сущностей или между сущностями" [2, с.138].

В Большой советской энциклопедии дается следующее определение: **з а к о н** — "необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями. Закон выражает связь между предметами, составными элементами данного предмета, между свойствами вещей, а также между свойствами внутри вещи... Связь может быть необходимой и случайной. Закон — это необходимая связь... В природе законы действуют как стихийная сила. Общественно-исторические законы, будучи равнодействующей сознательных человеческих действий, есть законы самой человеческой деятельности: они создаются и реализуются только людьми. Но действие общественных законов, также как и законов природы, объективно: в основе исторического процесса лежит развитие способа производства"^х.

Ф.Энгельс отмечает, что "вечные законы природы также превращаются все более и более в исторические законы". И далее: "... Вся наша официальная физика, химия и биология исключительно геоцентричны, рассчитаны только для Земли" [1, с.205].

Иными словами, многие законы природы имеют ограниченную область действия. Именно поэтому различают законы всеобщие, общие и частные. Законы горной науки — частные. Они имеют ограниченную область действия, связаны с человеческой деятельностью и функционируют на стыке законов природы и сознательных человеческих действий по извлечению из недр земли полезных ископаемых.

^х ВСОЭ, т. 9, с. 305.

Известно много разновидностей законов науки: динамические, статистические, законы развития, функционирования, законы строения. Законы горной науки это, в основном, законы развития и функционирования горных работ, но существуют и другие разновидности законов.

Открытие законов и способов их практического использования — главная цель всякой науки.

Всякая научная теория и в том числе теория работы карьера и шахты представляет собой систему законов, где закон — последнее завершающее звено в становлении научной идеи. Существенное свойство закона — постоянство отношения между двумя или более переменными, взятыми как количественные характеристики каких-либо свойств реальных объектов или процессов. Закон должен обладать общностью, т.е. охватывать множество объектов. Закон устанавливает связь не между конкретными объектами или процессами, а между их количественными свойствами.

Любой процесс или явление представляет собой сложную систему, зависящую от очень большого и обычно неизвестного заранее количества факторов. Закон содержит всегда ограниченное количество переменных, т.е. фиксирует отношения между основными переменными. Поэтому возможны некоторые изменения в действии закона, вызванные случайными (неучтенными в законе) отклонениями [16, с.144].

Эту особенность законов науки хорошо понимал великий ученый Д.И. Менделеев. Он писал: "Законы Мариотта, Дальтона и Гей-Люссака... не вполне точны, хотя близки к истине" [22, с.413].

Законы горной науки, как и законы других наук объективны, так как являются результатом многовекового развития теории и способа производства в области разработки месторождений полезных ископаемых. Нарушишь, не учтешь закон — не достигнешь поставленной цели. За этим неизбежно последуют срыв плановой добычи, невозможность дальнейшей добычи полез-

ного ископаемого, полное нарушение нормальной и безопасной работы карьера или шахты.

Над разработкой понятий, принципов и законов горной науки работали многие замечательные русские и советские ученые. Но только И.А.Кузнецов в одной из своих книг назвал полученные им закономерности законами [17, с.23]. В последующем этот термин, к великому сожалению, в нашей литературе не употреблялся. В энциклопедическом словаре "Горное дело" и в Горной энциклопедии также нет этого термина. Это вело и ведет к принижению роли горной науки в системе других наук, снижению общетеоретического уровня горных инженеров, способствует падению престижа как горной науки так и горных инженеров.

Работы по выемке горных пород из массива характеризуются двумя особенностями:

- 1) типом и размерами применяемого технологического оборудования;
- 2) условиями, обстановкой, в которых работает это оборудование: характером и конструкцией забоев, продвижением забоев и фронта работ в пространстве и времени, формой и развитием полостей в земной коре, получающихся в процессе разработки.

Первая особенность определяет технологические процессы и способы механизации этих процессов. Они практически реализуют добычу горных пород из недр и их доставку к месту назначения.

При подземном способе разработки эти процессы происходят в следующей последовательности: бурение шпуров и скважин, зарядание, взрывание, доставка (выпуск) руды на откаточные штреки, доставка руды к шахтам, подъем руды в скипах или клетях, размещение руды в рудных складах на поверхности.

При открытом (наземном) способе разработки последовательность процессов следующая: бурение скважин; зарядание скважин; взрывание; погрузка; доставка руды на склад или к

бункеру обогатительной фабрики, а породы в отвал; размещение пород в отвале.

Все эти процессы очень тесно связаны друг с другом и зависят друг от друга. С развитием техники и появлением новых машин и механизмов методы выемки и доставки полезного ископаемого и пустых пород претерпевают изменения. Это наиболее активная часть (особенность) горных работ.

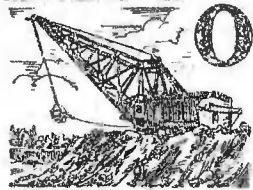
Вторая особенность горных работ связана с понятиями вскрытия и систем разработки, характером и законами формирования карьерного (или шахтного) вырабатываемого пространства, порядком отработки месторождения, направлением перемещения забоев и фронта работ. Параметры вскрытия и систем разработки зависят от применяемого оборудования и в свою очередь влияют на эффективность его работы. Это значительно более консервативная особенность горных работ, она меньше подвержена переменам. С появлением новых машин и механизмов параметры вскрытия и систем разработки обычно только несколько видоизменяются, не теряя своих принципиальных особенностей.

В предлагаемой книге рассмотрены законы, относящиеся к проблеме развития и формирования карьерного и шахтного пространства в процессе производства горных работ. Главное внимание уделено карьерам.

Глава I. ЗАКОН ДИНАМИЧНОСТИ РАБОЧИХ ЗАБОЕВ

Все изменения тел происходят
посредством движения.

М.В.Ломоносов (1711-1765)



Одна из характернейших особенностей разработки месторождений твердых полезных ископаемых – постоянное перемещение в пространстве и во времени рабочих забоев, где производится выемка из массива горных пород; перемещение фронта рабочих уступов, углубление карьера при отработке крутопадающих месторождений; подвигание забоев при проходке подземных выработок; перемещение лавы в угольных шахтах и т.д.

Выражением этой особенности является закон динамичности рабочих забоев:

В ПРОЦЕССЕ ГОРНЫХ РАБОТ РАБОЧИЕ ЗАБОИ, В КОТОРЫХ ПРОИЗВОДИТСЯ ВЫЕМКА ГОРНЫХ ПОРОД, ПЕРЕМЕЩАЮТСЯ В ПРОСТРАНСТВЕ СО СКОРОСТЬЮ v , ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЕМОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Q И ОБРАТНО ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ЗАБОЯ S , т.е.

$$v = Q/S. \quad (I)$$

Этот закон одинаково действует как при открытом (наземном), так и при подземном способах разработки. Зависимость (I) известна очень давно и приводится во многих книгах. В 1843 г. А.И.Уэатис писал, что «скорость прохода шахты зависит, кроме твердости пород, также от размеров ее поперечного сечения и от числа рабочих забоев» [27, с.153]. Б.И.Бокий использовал ее в «Аналитическом курсе горного искусства» (1924). П.И.Городецкий в 1949 г. отмечал, что производительность очистного забоя зависит от размеров забоя и скорости подвига-



Борис Иванович Бокий
(1873-1927)

Профессор Ленинградского горного института. Основположник аналитического метода проектирования угольных шахт. Основной труд: «Аналитический курс горного искусства» (1924, 1926, 1929)

ния [14, с.237]. Н.Ф.Шенко в 1950 г. приводит формулу скорости подвигания экскаваторного забоя и указывает на скорость подвигания фронта работ [28, с.12]. Академик Н.В.Мельников писал, что «горное дело, связанное с неизбежностью проникновения человека с его орудиями труда в толщу земной коры, заставляет встречаться с опасными условиями, порождаемыми подвижностью рабочего места...» [21, с.3].

Мы в 1976 г. показали, что зависимость (I) является выражением одного из законов горной науки [II, 24]. Она отражает необходимое, существенное, устойчивое, повто-

ряющееся отношение между тремя величинами. Закон этот обладает общностью, так как охватывает все горные предприятия – шахты и карьеры.

Различают несколько частных случаев этого закона. Если работает экскаватор (колесный погрузчик, драга), то скорость перемещения забоя

$$v_z = Q_z / h a,$$

где Q_z – производительность экскаватора, м³/месяц; h – высота уступа, м; a – ширина заходки (по массиву), м.

Следует иметь в виду, что процесс работы экскаватора и результат его работы зависят от многих факторов. Принято выражать производительность экскаватора по породам в массиве. Непосредственно из массива экскаватор черпает несколько по-

роды, а скальные сначала дробятся и только затем черпаются из развала. Пересчет на массив ведется по маркшейдерским замерам, а фактическая производительность в скальных породах зависит от степени разрыхления пород взрывом, наличия негабарита, угла поворота экскаватора, высоты забоя и многих других трудно учитываемых факторов. Исследования показали, что величина производительности экскаваторов имеет закон распределения, близкий бета-распределению. Для расчетов принимаются величины либо по нормам (в проекте), либо на основе статистического распределения. Разброс величин также имеют высота уступов и ширина экскаваторных заходов.

Все эти особенности не затрагивают сущности зависимости (1), но они должны учитываться при выборе значений, входящих в формулу величин, и оценке уровня риска принимаемых решений [9, 24].

Горизонтальная скорость перемещения рабочего уступа

$$v = 12 Q_3 N / h L_y \quad (2)$$

или

$$v = 12 Q_3 / h L_B, \quad (3)$$

где N — количество экскаваторов, работающих на рабочем уступе; L_y — длина фронта работ на рабочем уступе, м; L_B — длина экскаваторного блока, м, $L_B = L_y / N$.

Если разработка ведется наклонными слоями с использованием тракторных скреперов или бульдозеров, то

$$v_3 = N_c Q_c / h a_c, \quad (4)$$

где N_c — количество работающих в забое машин; Q_c — производительность тракторного скрепера (бульдозера), м³/месяц; a_c — ширина забоя, м.

Если разработка ведется бульдозерами (тракторными скреперами) горизонтальными тонкими слоями на ограниченных участ-

ках, то вертикальная скорость понижения забоя

$$h_3 = N_c Q_c / a_c b_c,$$

где b_c — длина участка, м.

Время отработки участка

$$T_y = h / h_3.$$

Средняя скорость подвигания фронта уступа в этом случае будет выражаться формулой (4).

Закон динамичности рабочих забоев лежит в основе метода определения ориентировочной производительности рудника, предложенного М.И. Агошковым для случая подземной разработки крутопадающих залежей [3, с.56]:

$$A_p = h_0 S_3, \quad (5)$$

где h_0 — годовое понижение добычных работ, м/год; S_3 — горизонтальная площадь залежи (с учетом потерь и разубоживания), м².

Зависимость (5) позволяет определять производительность карьера по руде при работе с углубкой карьера.

Из рассмотренного закона вытекают следующие следствия:

1. Машины и механизмы, осуществляющие выемку горных пород, должны быть приспособлены к передвижению либо своим ходом, либо при помощи вспомогательных средств.

2. Производительность выемочных машин и механизмов — результат взаимодействия рабочих органов или рабочей среды (например, напорной воды) с горными породами; по мере перемещения машины попадают в различные условия, зависящие от изменения в пространстве физических свойств горных пород. Применяемое оборудование должно успешно работать во всем диапазоне свойств пород. Для правильного конструирования и прогноза его производительности необходимо изучать физические свойства горных пород в пространстве карьерного (шахтного) поля.



Евгений Николаевич Барбот-де-Марини
(1868-1939)

Профессор Ленинградского горного института. Специалист по разработке рудных и россыпных месторождений. Основные труды: „Драгирование россыпных месторождений золота и платины“ (1924, 1935); „Разработка месторождений полезных ископаемых открытыми работами“ (1934)

3. Для интенсификации горных работ желательно увеличивать производительность выемочных машин, что обычно ведет к увеличению их размеров. При подземном способе разработки это создает сложную проблему необходимости увеличения производительности при малых размерах оборудования. Для наземного способа разработки эта проблема не имеет такой остроты, однако на карьерах с большими объемами вскрышных работ увеличение размеров машин ведет к необходимости расширения рабочих площадок, т.е. к увеличению текущего коэффициента вскрыши и себестоимости добываемого полезного ископаемого.

Имеются и другие, менее существенные следствия закона

динамичности рабочих забоев.

Интересно отметить, что по своему смыслу и аналитическому выражению закон динамичности рабочих забоев имеет аналогию с другими законами науки. Так например, известный в физике закон Ома выражается формулой

$$I = U/R,$$

где I — сила электрического тока, А; U — напряжение, В; R — сопротивление, Ом.

По закону Дарси рассчитывают скорость фильтрации воды через горные породы

$$v = K I_{\Gamma},$$

где K — коэффициент фильтрации, м/сутки; I_{Γ} — градиент напора.

Для определения упругих деформаций твердого тела пользуются законом Гука

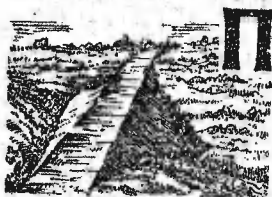
$$\varepsilon = P/ES,$$

где ε — относительная деформация; P — действующая сила, Н; E — коэффициент пропорциональности (модуль Юнга), Н/м²; S — площадь образца, м².

Глава 2. ЗАКОН СООТНОШЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТ ПО ВСКРЫТИЮ, ПОДГОТОВКЕ И ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ

Сущность нашей жизни, то, что важно в ней, заключается в наших поступках. Не в том, что мы думаем, что планируем, не что надеемся и что собираемся сделать, а в том, как наши мысли, добрые или дурные намерения воплощаются в действия.

Рокуэлл Кент (1882-1971)



При разработке месторождений полезных ископаемых как наземным так и подземным способами осуществляются работы по вскрытию, подготовке и очистной выемке. Эти работы находятся в сложной и тесной взаимосвязи в течение всего периода страбстки карьерного (шахтного) поля, в условиях постоянно перемещающихся съездов, рабочих уступов, проходки шахтных стволов, квершлагов, штреков, ортов, нарезных и очистных выработок.

Эти работы подчинены следующему закону горной науки:

ГОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ВСКРЫТИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОЛЖНЫ ПРОИЗВОДИТЬСЯ В ПРОСТРАНСТВЕ С БОЛЬШЕЙ ИЛИ ОДИНАКОВОЙ СКОРОСТЬЮ h_B ПО ОТНОШЕНИЮ К ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫМ И НАРЕЗНЫМ РАБОТАМ, А ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И НАРЕЗНЫЕ РАБОТЫ С БОЛЬШЕЙ ИЛИ ОДИНАКОВОЙ СКОРОСТЬЮ h_{II} ПО ОТНОШЕНИЮ К ОЧИСТНЫМ h_0 . т.е.

$$h_B \geq h_{II} \geq h_0. \quad (6)$$

Другая формулировка:

ИНТЕРВАЛ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ МОМЕНТАМИ ВСКРЫТИЯ СМЕЖНЫХ ЭТАЖЕЙ ШАХТ t_B ДОЛЖЕН БЫТЬ МЕНЬШЕ ИЛИ РАВЕН ИНТЕРВАЛУ ПОДГОТОВКИ ЭТАЖЕЙ t_{II} . А ИНТЕРВАЛ ВРЕМЕНИ ПОДГОТОВКИ ЭТАЖА ДОЛЖЕН БЫТЬ МЕНЬШЕ ИЛИ РАВЕН ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТРАБОТКИ ЭТАЖА t_0 . РАЗДЕЛЕННОГО НА КОЛИЧЕСТВО ЭТАЖЕЙ В ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ k , т.е.

$$t_B \leq t_{II} \leq t_0/k. \quad (7)$$

Помимо выполнения условий (6) и (7) необходимо для надежности работы создать и затем поддерживать резерв вскры-

тых, подготовленных и готовых к выемке запасов. Величина этих резервов обычно регламентируется министерствами или же обосновывается в результате исследований.

Посмотрим, как взаимодействуют работы по вскрытию, подготовке и очистной выемке в шахтном поле (рис. I, а). Вскрытие осуществляется проходкой шахтного ствола OB со скоростью $h_{III} = ctg\alpha_{III}$ и квершлагов. Скорость понижения работ по вскрытию (линия $O'G'$) $h_B = ctg\alpha_B$. Затем идет подготовка этажей - проходка штреков, ортов, нарезных выработок (линия CG) со скоростью $h_{II} = ctg\alpha_{II}$. После этого осуществляются добычные (очистные) работы (линия $C'E'$) со скоростью $h_0 = ctg\alpha_0$.



Николай Ильич Трушков
(1878-1947)

Профессор Ленинградского горного института. Основатель Ленинградской научной школы по подземной разработке рудных месторождений. Основной труд: „Разработка рудных месторождений“ (1924, 1947)

При отработке карьерного поля положение почти аналогичное, но есть некоторые особенности (рис. I, б).

Скорость понижения горных работ - вскрытия горизонтов (линия OB) $h_B = ctg\alpha_B$.

Скорость подготовки рабочих уступов - проходки нарезных траншей (линия $O'B'$) $h'_{II} = ctg\alpha'_{II}$. Рудный фронт, в случае углубки не по рудному телу (см. рис. I), готовится со ско-

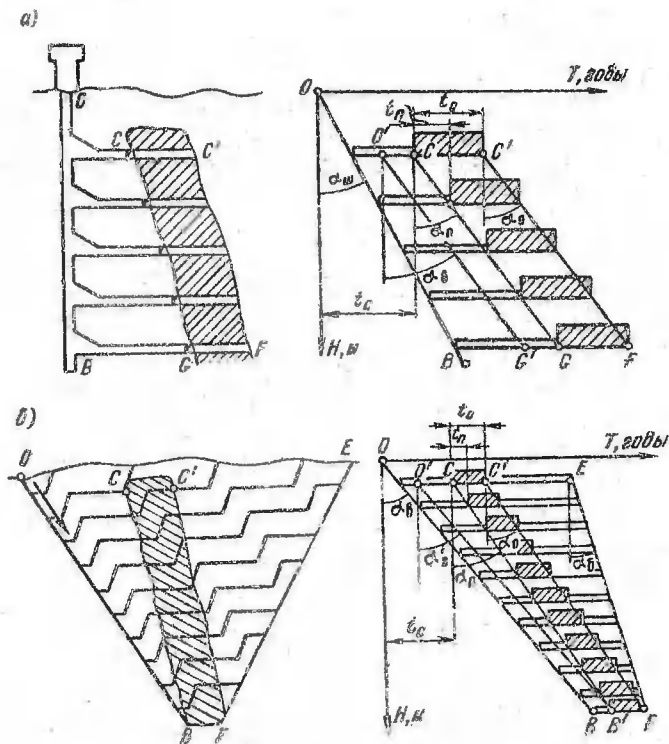


Рис.1. Схемы развития горных работ в шахтном (а) и карьерном (б) полях (приведено в однокроенной работе два этажа и два рудных уступа)

ростью (линия CB') $h_{\Pi} = \sigma \tan \alpha_{\Pi}$. Добычные работы опускаются со скоростью (линия $C'F$) $h_0 = \sigma \tan \alpha_0$.

Здесь за счет углубки по пустым породам создается опережение во времени работ по вскрытию горизонтов по сравнению с началом добычных работ на t_c лет. Поэтому $h_B \leq h_{\Pi}$ и можно говорить только о частичном соблюдении закона, т.е.

$$h_{\Pi} > h_0$$

или в другом виде

$$t_{\Pi} \leq t_0/k.$$

Формирование нерабочего борта показано на графике линией EF . Скорость формирования нерабочего борта $h_E = \sigma \tan \alpha_E$.

В процессе проектирования горных работ при выборе средств механизации для проходки выработок вскрытия, подготовки, нарезки и расчета календарного плана горных работ следует соблюдать закономерности (6) и (7). Не меньшее значение имеет описанный закон и в процессе планирования работ в действующих карьерах и шахтах.

Об этом законе писали многие авторы. Так, в 1922 г. Б.И.Бокий отмечал, что нужно, "... чтобы развитие подготовительных работ соответствовало развитию очистных... Это достигается тогда, когда скорость подготовки участков будет равна скорости очистной выемки..." [13, с.221].

И.А.Кузнецов в 1932 г. упомянул закон «резерва подготовленных запасов и скоростей очистной выемки и подготовки» [17, с.32], а в работе [18, с.7] дал следующую формулировку этого закона: скорость подготовки должна быть равна или больше скорости очистной выемки, т.е.

$$h_{\Pi} \geq h_0 \quad \text{или} \quad t_{\Pi} \leq t_0, \quad (8)$$

где h_{Π} - скорость подготовительных работ, м/год; h_0 - скорость очистной выемки по вертикали, м/год; t_{Π} - время подготовки этажа, необходимое на полное развитие очистных работ в нем; t_0 - время выемки этажа очистными работами, годы.

В общем случае

$$t_0 = \omega t_{\Pi},$$

где ω - коэффициент опережения подготовки.

В 1948 г. М.И.Агашков сформулировал условие сохранения постоянного резерва подготовительных и нарезных запасов в крыле шахтного поля [3, с.42]. В одной из своих книг он писал,

что нужно добиваться создания опережения вскрытия над подготовкой, а подготовки над нарезкой и очистной выемкой [4, с.451].

В 1949 г. П.И.Городецкий отмечал: "... одним из основных условий нормальной деятельности горного предприятия является соответствие общего подвигания работ по очистной выемке и работ по подготовке новых запасов, взамен вырабатываемых..." [14, с.257].

В.Н.Семевокий в 1968 г. писал, что бесперебойная работа рудника требует, чтобы соблюдалось соотношение

$$t_0 = t_{II} + t_p,$$

где t_p - резерв времени.

При разработке крутопадающих залежей скорость годового опускания горных работ должна удовлетворять условию [26, с.110]

$$h_T = h / (t_{II} + t_p),$$

где h - высота этажа, м.

Зависимости (6) и (7) обладают всеми признаками закона и имеют огромное значение для нормальной работы горных предприятий. На основе этого закона планируются во времени и пространстве взаимосвязанные работы по вскрытию, подготовке и очистной выемке. Он регулирует динамичный процесс горных работ, позволяет правильно распределить силы и средства по видам горных работ.

Несоблюдение закона ведет к срыву плана добычи полезного ископаемого, нарушению нормального хода работ, снижению и в дальнейшем прекращению добычи полезного ископаемого. В связи с наличием резерва в течение некоторого времени возможно несоблюдение закона. К сожалению, этим пользуются некоторые руководители. Еще в 1932 г. И.А.Кузнецов писал, что "в особенности важно помнить о существовании этого закона на тех предприятиях, где часто меняется руководящий тех-



Владимир Николаевич Семевский
(1898-1968)
Профессор Ленинградского горного института. Разработал методы расчета крепи горных выработок, усовершенствовал теорию проектирования шахт. Основной труд: "Основы проектирования рудников" (1968)

нический персонал горных или эксплуатационных отделов, где часто можно наблюдать такие явления, что тот или иной инженер, ... "нажимая" на добычу и ее выполнение, совершенно забывает о осуществлении закона подготовленных запасов" [17, с.33].

Попробуем установить, кто является автором указанного закона. Здесь уместно вспомнить высказывание Д.И.Менделеева: "Справедливость требует не тому отдать наибольшую научную славу, кто первый высказал известную истину, а тому, кто умел убедить в ней других, показав ее достоверность и сделал ее применимой в науке" [22, с.411].

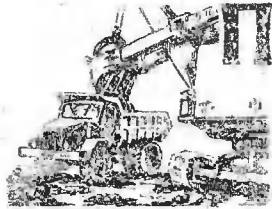
Автором, впервые в 1922 г. сформулировавшим закон, является Б.И.Бокий. В 1932 г. И.А.Кузнецов назвал эту зависимость законом горной науки и дал метод использования закона (8) как для подземных, так и для открытых работ [18]. Видим, справедливее закон (6) и (7) считать законом Кузнецова.

Глава 3. ЗАКОНЫ СООТНОШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ПОНИЖЕНИЯ РАБОТ И СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ РАБОЧИХ УСТУПОВ

— Знаешь, давай договоримся, — сказал Единорог. — Ты будешь верить в меня, а я в тебя! Идет?

— Хорошо — отвечала Алиса.

Льюис Керрол (1832—1898)



при открытой разработке крутонаклонных месторождений горные работы развиваются как в горизонтальном так и в вертикальном направлениях. Осуществляется углубка карьера. В результате идет понижение дна карьера и добычных работ, формирование нерабочих бортов карьера (см. рис. 1, б). Для удобства принято измерять скорости углубки не по истинному направлению углубки

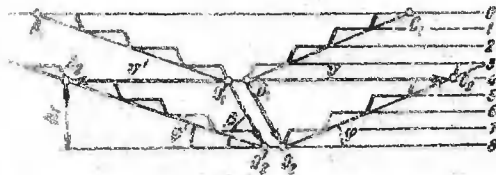


Рис. 2. Схема годового перемещения рабочей зоны карьера

О₁О₂ под углом β , а по вертикальной проекции (рис. 2), т.е.

$$h_T = O_1 O_2 \sin \beta.$$

Взаимосвязь этих работ была установлена нами в 1956 г. [5].

В процессе формирования карьерного пространства с углубкой карьера соблюдая закон соотношения скоростей понижения работ и подвигания рабочих уступов:

вертикальная скорость понижения работ h_i прямо пропорциональна горизонтальной скорости подвигания рабочих уступов v и обратно пропорциональна алгебраической сумме тангенса угла откоса рабочего борта φ и угла β , по которому формируется искомая скорость понижения работ, т.е.

$$h_i \leq \frac{v}{\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta} \quad (9)$$

Формула (9) может быть представлена в виде:

1) в соответствии с формулой (2)

$$h_i \leq NQ / hL_T (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta);$$

2) в соответствии с формулой (3)

$$h_i \leq Q / hL_B (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta),$$

3) так как $\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \beta = \frac{\cos \varphi \sin \beta \pm \cos \beta \sin \varphi}{\sin \varphi \sin \beta}$, то

$$h_i \leq \frac{v \sin \varphi \sin \beta}{\cos \varphi \sin \beta \pm \cos \beta \sin \varphi}$$

или

$$h_i \leq \frac{Q \sin \varphi \sin \beta}{hL_B (\cos \varphi \sin \beta \pm \cos \beta \sin \varphi)};$$

4) так как $\operatorname{ctg} \varphi = (B + h \operatorname{ctg} \alpha) / h$ (здесь B — ширина рабочей площадки, м; α — угол откоса рабочего уступа), то

$$h_i \leq Q / L_B (B + h \operatorname{ctg} \alpha \pm h \operatorname{ctg} \beta)$$

или

$$h_i \leq v / \left(\frac{B}{h} + \operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta \right).$$

Рассмотрим частные случаи зависимости (9).

Закон соотношения скоростей понижения горных работ (дна карьера) и подвигания рабочих уступов [5, 7, 24] формулируется следующим образом:

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ УГЛУБКИ КАРЬЕРА (понижения горных работ) h_T прямо пропорциональна горизонтальной скорости подвигания рабочих уступов v и обратно пропорциональ-

НА АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СУММЕ КОТАНГЕНСОВ УГЛОВ ОТКОСА РАБОЧЕГО БОРТА φ И УГЛА НАПРАВЛЕНИЯ УГЛУБКИ КАРЬЕРА β т.е.

$$h_T \leq v / (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \beta); \quad (I0)$$

$$h'_T \leq v' / (\operatorname{ctg} \varphi' - \operatorname{ctg} \beta). \quad (II)$$

На рис.2 показано, что в начале года дно карьера было в точке O_1 , а в начале следующего года оно переместилось в точку O_2 . Для сохранения рабочих площадок рабочие уступы на отметке O_1 нужно передвинуть вправо до точки L_2 и влево до точки L_1 .

Как указывалось ранее [5, 7], рациональную организацию работ по углубке и скорость углубки карьера можно установить на основе построения и анализа графика $L = f(T)$. Но ориентировочно возможную скорость углубки можно определить по формуле

$$h_T = \frac{12Q_0}{hL_B(\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \beta) + \frac{1}{c}(L_B + L_B + l_{II} + l_0)(b + h \operatorname{ctg} \alpha)}, \quad (I2)$$

где L_B — длина въездной траншеи, м; l_{II} — длина площадки примыкания (или тупика), м; l_0 — допустимое расстояние между экскаваторами (проходящим траншею и расширяющим ее), м; b — ширина дна разрезной траншеи, м; c — коэффициент снижения производительности экскаватора при проходке траншей; φ — угол откоса рабочего борта на двух нижних рабочих уступах.

Рассмотрим расчет по формуле (I2) на примерах:

1. При использовании автомобильного транспорта и экскаваторов ЭКГ-8 примем $Q = 80000 \text{ м}^3/\text{месяц}$; $h = 15 \text{ м}$; $L_B = 350 \text{ м}$; $L_B = 250 \text{ м}$; $l_{II} = 40 \text{ м}$; $l_0 = 50 \text{ м}$; $b = 20 \text{ м}$; $c = 0,8$; $\varphi = 12^\circ$; $\operatorname{ctg} \varphi = 4,71$; $\beta = 35^\circ$; $\operatorname{ctg} \beta = 1,43$; $\alpha = 60^\circ$; $\operatorname{ctg} \alpha = 0,58$. Отсюда $h_T = 13,9 \text{ м/год}$.

2. При использовании железнодорожного транспорта примем $Q = 66700 \text{ м}^3/\text{месяц}$; $L_B = 500 \text{ м}$; $L_B = 375 \text{ м}$; $l_{II} =$



Ирина Архиповна Кузнецова
(1899-1938)

Профессор Московского горного института. Основатель Московской научной школы по разработке рудных месторождений. Разработал методы определения границ карьеров, производительности карьеров и шахт. Впервые ввел понятие закона горной науки. Основной труд: „Основные расчеты при разработке рудных месторождений“ (1932)

$= 100 \text{ м}$; $l_0 = 80 \text{ м}$; $c = 0,7$. Отсюда $h_T = 9,0 \text{ м/год}$.

Из формул (I0) и (II) при заданном значении требуемой скорости углубки h_T можно определить требуемую скорость подвигания всего рабочего борта u_H и средние значения длины экскаваторных блоков L_{BH} . Из ранее приведенных примеров найдем, что при использовании автомобильного транспорта по формуле (I0) $u_H = 16,9 (4,71 + 1,43) = 103,8 \text{ м/год}$; $L_{BH} = 12 \cdot 80000 / (15 \cdot 103,8) = 617 \text{ м}$; $L_{BH} / L_B = 617 / 350 = 1,76$.

При использовании железнодорожного транспорта $u_H = 9,0 (4,71 + 1,43) = 55,3 \text{ м/год}$; $L_{BH} = 12 \cdot 66700 / (15 \cdot 55,3) = 965 \text{ м}$; $L_{BH} / L_B = 965 / 500 = 1,93$.

Получилось, что в процессе углубки карьера длина экскаваторных блоков при расширении разрезной траншеи на нижнем рабочем уступе должна быть значительно меньше (в 1,76-1,93 раза), чем на остальных рабочих уступах.

Упоминание о взаимосвязи скоростей v и h_T есть у Е.Ф.Шенко. В 1950 г. он писал: „... интенсивность открытой разработки месторождений возможно характеризовать тремя взаимно зависимыми показателями — темпами подвигания забоя, фронта работ и ухода работ на глубину“ [28, с.12]. Но сущность этой взаимосвязи у Е.Ф.Шенко не раскрыта.

Закон соотношения скоростей понижения добычных работ и подвигания рабочих уступов [5, 6, 7] формулируется следующим образом:

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОНИЖЕНИЯ ДОБЫЧНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ h_0 ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ РАБОЧИХ УСТУПОВ v И ОБРАТНО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СУММЕ КОТАНГЕНСОВ УГЛОВ ОТКОСА РАБОЧЕГО БОРТА φ И УГЛА ПАДЕНИЯ РУДНОГО ТЕЛА δ , т.е.

$$h_0 = v / (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \delta) \quad (13)$$

или

$$h_0 = h_T (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \beta) / (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \delta), \quad (14)$$

причем $h_0 \geq h_T$, так как $\delta \geq \beta$.

Знак плюс ставится при направлении подвигания уступов со стороны лежащего бока (рис. 3, а), а минус — со стороны висячего бока (рис. 3, б).

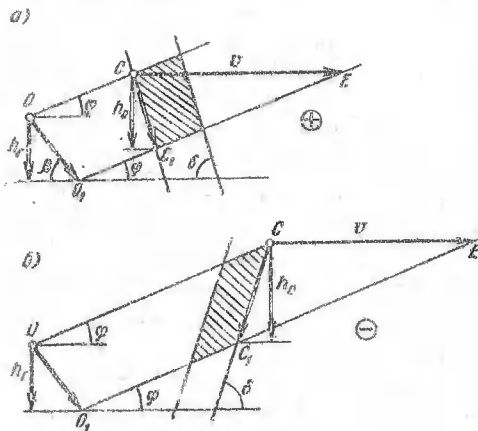


Рис. 3. Соотношение скоростей h_T , h_0 , v в случае углубки карьера в породах лежащего бока (а) и висячего бока (б)

Дно карьера перемещается за год из точки O в точку O_1 , а добычные работы опускаются по линии CC_1 .

Из формулы (14) следует, что скорость понижения добычных работ больше скорости углубки карьера, а в случае углубки по рудному телу они равны. Например,



Евгений Фомич Шешко
(1901–1981)

Профессор Московского горного института. Разработал классификации способов вскрытия и систем открытой разработки, методы вскрытия карьеров. Основные труды: „Основы теории вскрытия карьерных полей“ (1963); „Открытая разработка месторождений полезных ископаемых“ (1949, 1982, 1987)

если $\varphi = 15^\circ$; $\beta = 40^\circ$; $\delta = 70^\circ$, то при углубке по борту в породах лежащего бока $h_0 = 1,20 h_T$, а при углубке по борту в породах висячего бока $h_0 = 1,46 h_T$. Этот факт следует учитывать при проектировании карьеров.

Предположим, что для обеспечения плана необходимо углублять карьер со скоростью $h_T = 10$ м/год. На основе формулы (10) определим ($\varphi = 15^\circ$; $\beta = 40^\circ$), что $v_H = 49,2$ м/год. Чтобы обеспечить такую способность подвигания рабочих уступов необходимо, чтобы при высоте уступов 15 м, длине экскаваторных блоков не более 1000 м $Q \geq 49,2 \cdot 15 \cdot 1000 = 738$ тыс. м³/год = 61,5 тыс. м³/мес.

В последние годы намечалась тенденция увеличения высоты уступов. Ожидается, что повысится интенсивность отработки месторождения. Но для того, чтобы интенсивность хотя бы не снижалась, нужно соблюсти условие

$$\frac{Q_2}{h_2 L_{B_2} (\operatorname{ctg} \varphi_2 + \operatorname{ctg} \beta)} \geq \frac{Q_1}{h_1 L_{B_1} (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \beta)}, \quad (15)$$

где Q_1 и Q_2 — производительность экскаваторов, соответственно при меньшей и большей высоте уступа, м³/год; h_1 и h_2 — высота уступов, м; L_{B_1} и L_{B_2} — длина экскаваторных блоков, м.

Пусть мы решили увеличить высоту уступов с $h_1 = 15$ м до $h_2 = 20$ м. Если $\varphi_1 = 15^\circ$, $\varphi_2 = 18^\circ$, $\beta = 35^\circ$, $L_{B_1} =$

$L_{E2} = 1000$ м. то $Q_2 \geq 1,17 Q_1$, т.е. необходимо увеличить производительность экскаваторов на 17 % или же уменьшить длину экскаваторных блоков на 14 % (при $Q_1 = Q_2$) и увеличить количество экскаваторов.

Многорядное взрывание имеет много преимуществ перед однорядным, но для его осуществления нужно увеличить ширину рабочих площадок, т.е. уменьшить угол откоса рабочего борта. Это отразится на интенсивности работ. Например, если при однорядном взрывании достаточно иметь рабочие площадки 40-50 м ($\varphi_1 = 17^\circ$), то при трехрядном их нужно увеличить до 60-70 м ($\varphi_2 = 12^\circ$). При однорядном взрывании необходимая скорость подвигания уступов для обеспечения скорости углубки 10 м/год $v_1 = 10 (3,27 + 1,43) = 47$ м/год, а при трехрядном $v_2 = 10 (4,71 + 1,43) = 61,4$ м/год, т.е. на 30 % больше. Кроме этого, может увеличиться эксплуатационный коэффициент вскрыши. Эти факты не всегда учитываются при принятии решений по способам производства буровзрывных работ.

Закон соотношения скоростей формирования нерабочего борта и подвигания рабочих уступов [5-7] формулируется следующим образом:

ВЕРТИКАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА h_E ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ РАБОЧИХ УСТУПОВ v И ОБРАТНО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА РАЗНОСТИ КОТАНГЕНСОВ УГЛОВ ОТКОСА РАБОЧЕГО БОРТА φ И УГЛА ОТКОСА НЕРАБОЧЕГО БОРТА γ , т.е.

$$h_E = v / (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma) \quad (16)$$

или

$$h_E = h_{\Gamma} (\operatorname{ctg} \varphi \pm \operatorname{ctg} \gamma) / (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \gamma). \quad (17)$$

Знаки плюс и минус ставятся в соответствии с рис. 4. Дно карьера перемещается за год из точки O в точку O_1 . Борт справа формируется по линии FF_1 , а слева - по линии NN_1 .

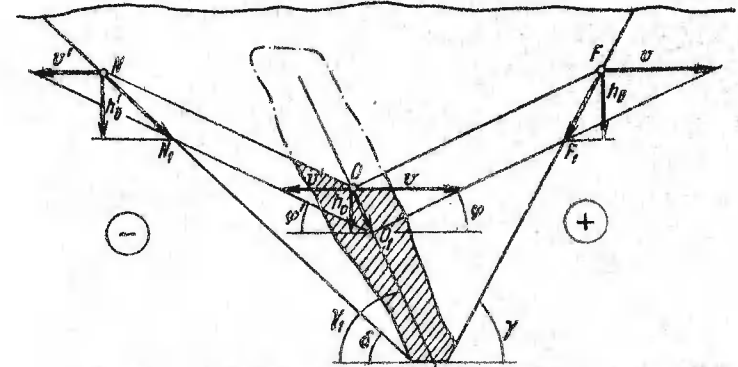


Рис. 4. Взаимосвязь скоростей подвигания рабочих уступов v, v' , понижения добычных работ h_0 , формирования нерабочих бортов карьера h_E, h_{Γ}

В практике проектирования и эксплуатации карьеров большое распространение получила разбивка карьерного поля на этапы и организация временных нерабочих бортов. При этом может быть достигнуто понижение неравномерности вскрышных работ, увеличение конечной глубины карьера [23]. Но не всегда горные работы ведутся грамотно, а эффективность организации временных нерабочих бортов нередко переоценивается.

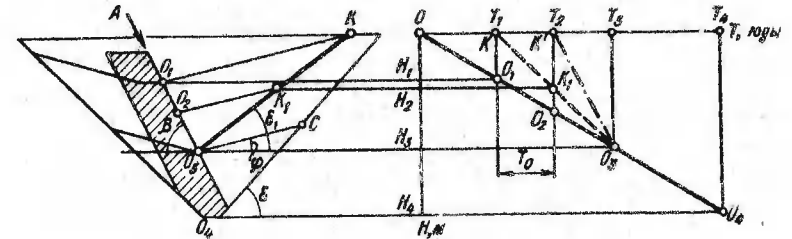


Рис. 5. Схема развития горных работ при наличии временного нерабочего борта KD_3

Пусть для разработки крутопадающей залежи решено разбить работу карьера на два этапа и организовать временный нерабочий борт KO_3 (рис.5). В процессе углубки в направлении $O_1O_2O_3$, начиная с глубины H_1 , формируется временный нерабочий борт. Процесс его формирования показан линией KO_3 на графике $H = f(T)$.

Вертикальная скорость формирования борта определяется по формуле (16). Ориентировочно при $\beta = 50^\circ$, $\delta_1 = 32^\circ$, $\varphi = 15^\circ$, $h_B = 2,15 h_T$.

Через время $T_0 = T_2 - T_1$ (см. рис.5), должен начинаться разнос временного нерабочего борта с таким расчетом, чтобы к моменту опускания дна карьера на глубину H_3 (точка O_3) временный нерабочий борт был ликвидирован и создан рабочий борт O_3C . Этот процесс показан на графике $H = f(T)$ линией $K'O_3$.

Возможная скорость разноса определяется формулой (16). Значит, для создания резерва времени T_0 необходимо добиться превышения скорости разноса над скоростью формирования временного нерабочего борта. Этого можно достичь за счет увеличения производительности экскаваторов, уменьшения длины экскаваторных блоков и сокращения ширины рабочих площадок при разноте временного нерабочего борта. Возможный период останова работ на временном нерабочем борту (см. рис.5)

$$T_0 = H_3(h_{pB} - h_B) / (h_{pB} h_B),$$

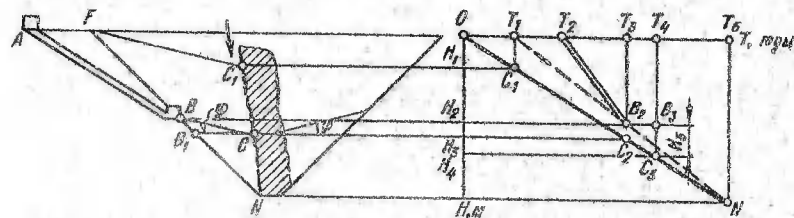
где H_3 - глубина карьера первой очереди, м; h_{pB} - скорость разноса временного нерабочего борта, м/год.

Если, например, $H_3 = 150$ м, $h_T = 15$ м/год, $h_B = 32,3$ м/год, а скорость разноса нам удалось увеличить в 1,5 раза, т.е. довести ее до $h_{pB} = 1,5 \cdot 32,3 = 48,5$ м/год, то борт можно остановить на

$$T_0 = 150(48,5 - 32,3) / (48,5 \cdot 32,3) = 1,55 \text{ года.}$$

Если не выдерживать расчетные сроки разноса временного борта, то это неизбежно приведет к торможению и полной остановке добычных работ.

В последние годы наблюдается переход многих глубоких карьеров на комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт руды. Используются два варианта размещения конвейеров - в наклонных шахтах и на нерабочем борту карьера. При этом часто не учитываются некоторые тонкости этого процесса.



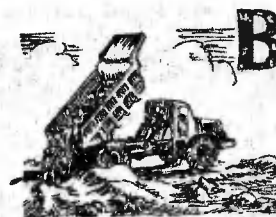
ной линии разность отметок дна и площадки разгрузки автосамосвалов достигнет $H_5 = H_4 - H_2$. В дальнейшем эта разность будет увеличиваться. Так, например, на Оленегороком карьере к моменту пуска конвейера эта разность составила 70-80 м.

Чтобы сократить этот разрыв необходимо в районе выхода конвейера в рабочую зону форсировать горные работы по углубке [23], создав дополнительный участок углубки, и выводить шахту не в точку В, а в точку В₁ или ниже (см. рис.6). Нужно учесть также нарушение и усложнение транспортных коммуникаций на нерабочем борту карьера в период выхода шахты в рабочую зону и монтажа оборудования.

Глава 4. ЗАКОН СОРАЗМЕРНОГО РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА СМЕЖНЫХ РАБОЧИХ УСТУПАХ

Все, что есть в природе, математически точно и определено: хотя мы иногда сомневаемся в этой точности, но наше незнание несколько не умаляет ее: если бы даже весь мир сомневался в том, что дважды два четыре, все-таки дважды два у всех сомневающихся дадут четыре.

М.В.Ломоносов (1711-1765)



В процессе эксплуатации карьера развивается рабочая зона, состоящая из отрабатываемых рабочих уступов. Работы на этих уступах взаимно влияют друг на друга и интенсивность их отработки взаимосвязана [6, 7, 10, 24].

Рассмотрим схему рабочей зоны карьера, состоящей из трех рабочих уступов (рис.7). На каждом уступе экскаваторы работают продольными заходками. Перемещение рабочих уступов показано на графике $L = f(T)$. Перемещение уступа I показано линией $C_1 C'_1$, уступа 2 — линией $C_2 C'_2$, уступа 3 — $C_3 C'_3$. Для нормальной работы оборудования на каждом уступе имеются рабочие площадки, ширина которых не должна быть меньше минимальной расчетной величины, т.е.

$$B_i \geq B_{i \min} + h_{i+1} \operatorname{tg} \gamma_{i+1} = B_{0i},$$

где $B_{i \min}$ — минимальная расчетная ширина рабочей площадки i -го уступа; h_{i+1} — высота $(i+1)$ -го уступа; γ_{i+1} — угол откоса $(i+1)$ -го уступа.

Из графика видно, что средняя скорость перемещения уступа 3 $v_3 = \operatorname{tg} \alpha_3$. Уступ 2 должен перемещаться таким образом, чтобы все время сохранялась рабочая площадка $B_2 \geq B_{02}$. Для этого от линии $C_3 C'_3$ откладывается вправо величина B_{02} .

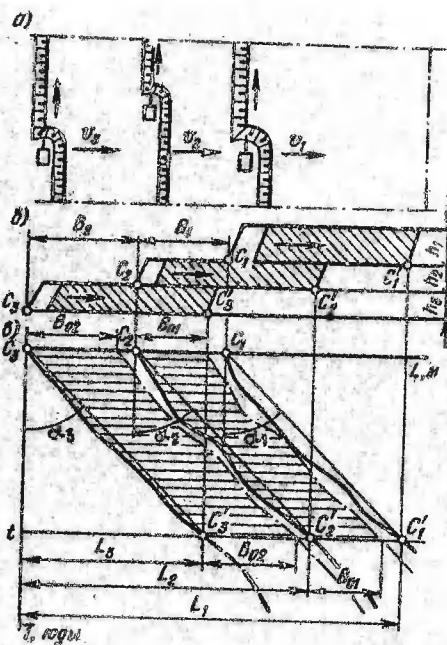


Рис. 7. Схема развития рабочего борта карьера
а - план; б - разрез; в - график $L = f(T)$

Из графика $L = f(T)$ видно, что

$$L_1 - L_2 \geq B_{01}; \quad L_2 - L_3 \geq B_{02}$$

или

$$B_1 + (v_1 - v_2)t \geq B_{01};$$

$$B_2 + (v_2 - v_3)t \geq B_{02}.$$

В общем виде

$$B_i + (v_i - v_{i+1})t \geq B_{0i}$$

(штрихпунктирная линия). Линия движения уступа 2 $C_2C'_2$ не должна заходить в заштрихованную зону. То же делается и для уступа I, перемещение которого показано линией $C_1C'_1$.

Рассмотрим положение рабочих уступов C_3, C_2, C_1 через время t .

Соблюдаются зависимости

$$L_3 = v_3 t;$$

$$L_2 = B_2 + v_2 t;$$

$$L_1 = B_1 + B_2 + v_1 t.$$

или

$$v_i \geq v_{i+1} - \frac{1}{t}(B_i - B_{0i}), \quad (18)$$

где v_i и v_{i+1} - скорости подвигания соответственно i -го и нижележащего ($i+1$)-го рабочих уступов, м/год; B_i - ширина рабочей площадки i -го уступа, м; B_{0i} - расчетная минимальная ширина рабочей площадки i -го уступа, м; t - рассматриваемый период времени, годы.

Уравнение (18) является общим аналитическим выражением закона соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах. Оно было опубликовано нами в 1973 г. [6], а затем в работах [7, 8, 10, 11, 24]. Этот закон формулируется следующим образом:

СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ РАБОЧЕГО УСТУПА v_i ДОЛЖНА БЫТЬ БОЛЬШЕ ИЛИ РАВНА СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ НИЖЕЛЕЖАЩЕГО РАБОЧЕГО УСТУПА v_{i+1} ЗА ВЫЧЕТОМ ЧАСТНОГО ОТ ДЕЛЕНИЯ ИЗЫТКА ШИРИНЫ РАБОЧЕЙ ПЛОЩАДКИ ($B_i - B_{0i}$) НА ЗАДАННЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ t , НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАВЕНСТВА $B_i - B_{0i}$.

Наиболее часто встречаются следующие частные случаи закона:

1. ЕСЛИ ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ ОДИНАКОВАЯ СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ ВСЕХ РАБОЧИХ УСТУПОВ, Т.Е. $v_i = v_{i+1}$, ТО ПОДВИГАНИЕ РАБОЧИХ УСТУПОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРА ДОЛЖНО ПРОИЗВОДИТЬСЯ ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТОБЫ НА ВСЕХ РАБОЧИХ УСТУПАХ СОХРАНЯЛИСЬ РАБОЧИЕ ПЛОЩАДКИ ШИРИНОЙ B_i НЕ МЕНЕЕ РАСЧЕТНОЙ МИНИМАЛЬНОЙ B_{0i} , т.е.

$$B_i \geq B_{0i}. \quad (19)$$

Зависимость (19) положена в основу § 25 Правил [25, с. II].

Если $B_i > B_{0i}$, то время, в течение которого можно снизить скорость подвигания верхнего рабочего уступа или остановить его

$$t \leq (B_i - B_{0i}) / (v_{i+1} - v_i).$$

2. ЕСЛИ НА ВСЕХ РАБОЧИХ УСТУПАХ ПОДДЕРЖИВАЮТСЯ РАБОЧИЕ ПЛОЩАДКИ РАСЧЕТНОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ, Т.Е. $B_i = B_{0i}$, ТО СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ РАБОЧЕГО УСТУПА ДОЛЖНА БЫТЬ БОЛЬШЕ ИЛИ РАВНА СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ НИЖЕЛЕЖАЩЕГО РАБОЧЕГО УСТУПА, Т.Е.

$$v_i \geq v_{i+1}. \quad (20)$$

Это уравнение может служить основой для расчета систем разработки, так как может быть раскрыто в виде

$$Q_i N_i / h_i L_i \geq Q_{i+1} N_{i+1} / h_{i+1} L_{i+1},$$

где Q_i и Q_{i+1} — производительность экскаваторов, работа-



Павел Иванович Городецкий
(1902-1960)

Профессор Ленинградского горного института. Усовершенствовал теорию проектирования рудных шахт, разработал метод определения границ карьеров. Основной труд: "Проектирование горнорудных предприятий" (1949, 1955)

ющих соответственно на i -м и $(i+1)$ -м уступах, $m^3/год$; N_i и N_{i+1} — количество экскаваторов, работающих соответственно на i -м и $(i+1)$ -м уступах; h_i и h_{i+1} — высоты соответственно i -го и $(i+1)$ -го уступов, м; L_i и L_{i+1} — длины фронта работ соответственно на i -м и $(i+1)$ -м уступах, м.

О важности зависимости (20) упоминают некоторые авторы. Так в книге [18] рекомендуется принимать одинаковой скорость перемещения всех рабочих уступов.

В 1934 г. Е.Н. Барбот-де-Марни писал, что каждый верхний уступ своим продвиже-

нием освобождает место для работы на каждом ниже его лежащем [12, с.8].

В 1949 г. П.И. Городецкий отмечал, что в карьерах большой глубины особо существенное значение имеет также взаимная обязанность подвигания работ в смежных уступах [14, с.237].

О принципах ооразмерности горных работ на рабочих уступах писал в 1953 г. П.Э. Зурков, определяя термин система разработки, которая должна обеспечить "ооразмерное развитие вскрышных и добычных работ в карьере" [15, с.386].

Правда, все эти авторы не приводили общей аналитической зависимости перемещения рабочих уступов с рабочими площадками различной ширины (18), а ограничивались ооображениями, выражаемыми формулой (20), являющейся частным случаем общего закона.

Нарушение этого закона ведет к снижению интенсивности горных работ, к уменьшению запасов руды в карьере, уменьшению конечной глубины карьера и к другим неприятным последствиям.

Предположим, что в карьере остановлены и сдвинуты верхние уступы CE' (рис.8). Это значит, что при положении дна карьера в точке N выше точки C начал формироваться нерабочий борт CE .

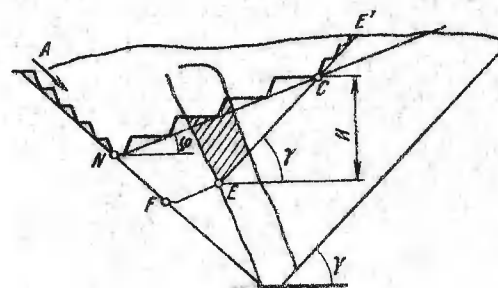


Рис.8. Схема влияния остановки верхних рабочих уступов на развитие горных работ

Ясно, что рабочие уступы при подходе к линии CE превращаются в нерабочие. Когда вновь формируемый нерабочий борт опустится в точку E добычные работы прекратятся. Если затем пытаться разносить формируемый борт $E'E$, то

потребуется снизить интенсивность углубки карьера, т.е. производительность карьера по руде.

Время T_{Π} , когда прекратятся добычные работы в точке E можно определить, получив высоту H из графического анализа карьерного пространства и определив скорость формирования h_E нерабочего борта CE :

$$T_{\Pi} = \frac{H}{h_E} = \frac{H}{v} (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi').$$

Из-за нарушения этого закона на значительном количестве карьеров снизилась производительность по руде, а на некоторых карьерах МДМ пересматриваются конечные границы карьера в сторону их уменьшения.

В процессе разработки крутопадающих рудных тел возникает проблема взаимодействия горных работ по углубке карьера и работ на рабочем борту карьера. Особенно трудно управлять этими работами в глубоких карьерах при наличии многих рабочих уступов и необходимости маневрирования имеющимися экскаваторами.

Предположим, что производительность карьера по руде задана и для ее обеспечения необходимо углублять карьер со скоростью h_r . Тогда необходимо обеспечить:

- 1) осуществление заданной скорости углубки соответствующей организацией горных работ по вскрытию и подготовке новых горизонтов на двух нижних рабочих уступах;
- 2) требуемую скорость углубки отгоном всех уступов рабочего борта карьера в горизонтальном направлении.

В процессе работы карьера ширина рабочих площадок колеблется как во времени так и в пространстве в довольно широких пределах [7, с.122]. В связи с этим форма поверхности откоса рабочего борта меняется. В отдельные периоды она может быть плоской в поперечном сечении, в другие – вогнутой, выпуклой, волнистой.

Колебания формы рабочего борта отражаются на скорости подвигания рабочих уступов и всего борта, а значит, влияют

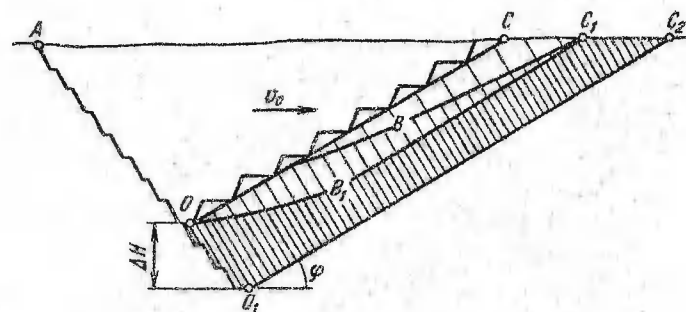


Рис.8. Различные формы поперечного сечения рабочего борта

на скорость углубки карьера. На рис.9 показаны некоторые возможные формы рабочего борта в случае соблюдения условия (19). Средняя скорость горизонтального подвигания борта

$$v_c = 12QN / hL_{\Phi},$$

где N – общее количество экскаваторов на рабочем борту карьера; L_{Φ} – общая длина фронта работ на рабочем борту, м.

По мере углубки карьера будут изменяться ширина рабочих площадок, количество рабочих уступов, длина фронта работ, потребное количество экскаваторов для поддержания темпа углубки.

Если при положении дна карьера в точке O (см. рис.9) рабочий борт имеет расчетные рабочие площадки и максимальный угол откоса (откос OC), то для перехода в положение O_1C_2 нужно вынуть объем пород на площади $OC_1C_2O_1$ (заштрихована на рисунке). Если рабочий борт имеет выпуклую форму OBC_1 , то объем пород будет меньше, при вогнутой форме OB_1C_1 – еще меньше.

Но, с другой стороны, при опускании дна карьера с точки A до точки O наименьший объем горных пород будет вынут при сохранении максимального угла откоса рабочего борта OC , что приведет к снижению объемов вскрышных работ.



Михаил Иванович Агошков
(рожд. 1906)

Академик АН СССР. Разработал
теорию определения производитель-
ности рудников. Основной труд:
„Определение производительности
рудника“ (1948)

Таким образом, изменение формы рабочего борта дает возможность маневрировать оборудованием и объемами работ, в частности, позволяет усреднять коэффициент вскрыши.

Опираясь на законы формирования карьерного пространства, можно установить порядок определения необходимого количества экскаваторов на каждом рабочем уступе и объема работ:

1. Устанавливается необходимая скорость углубки карьера h_T для обеспечения заданной производительности карьера по руде.

2. Определяется нормативная скорость подвигания рабочих уступов при условии поддержания расчетных минималь-

ных рабочих площадок шириной B_{0i}

$$v_H = h_T (ctg \varphi_{max} + ctg \beta). \quad (2I)$$

Если развитие работ двухстороннее, то в противоположном направлении

$$v'_H = h_T (ctg \varphi'_{max} - ctg \beta).$$

3. Снизу вверх определяется требуемая скорость подвигания каждого уступа по формуле (18).

4. По формуле (2) определяется необходимое количество экскаваторов на каждом уступе.

5. Подсчитывается общее минимальное количество экскаваторов на рабочем борту (не считая экскаваторов на углубке карьера, т.е. на самом нижнем рабочем уступе) и общий объем работ.

Рассмотрим пример. Рудный карьер (см. рис.9) на начало года имеет 9 рабочих уступов. $h_T = 15$ м/год; $Q = 960\,000$ м³/год; длина рудной залежи 1,5 км; $B_{0i} = 50$ м; $\beta = 40^\circ$; $ctg \beta = 1,19$; $h = 15$ м; $\varphi = 13^\circ$; $ctg \varphi = 4,33$; $\varphi_{max} = 14,6^\circ$; $ctg \varphi_{max} = 3,84$.

По формуле (2I) нормативная скорость

$$v_H = 15 (3,84 + 1,19) = 75,5 \text{ м/год.}$$

Необходимое количество экскаваторов можно определить разными способами. Рассмотрим два из них:

1) можно сохранить к концу года $\varphi = 13^\circ$ и подвигать все рабочие уступы с одинаковой скоростью $v = 15 (4,33 + 1,19) = 82,8$ м/год;

2) можно к концу года выходить на всех уступах на минимальную ширину рабочих площадок $B_{0i} = 50$ м и максимальный угол откоса $14,6^\circ$.

Результаты расчетов приведены в табл. I. Для сохранения на рабочем борту существующей ситуации (1-й вариант) потребуется на девяти уступах поставить не менее 23 экскаваторов и вынуть в течение года объем пород $23 \cdot 0,96 = 22,08$ млн. м³. Если же выходить на борт с минимальными площадками (2-й вариант), то можно обойтись в течение года 15 экскаваторами и вынуть $15 \cdot 0,96 = 14,4$ млн. м³. Но зато, в следующем году, чтобы обеспечить сохранение минимальных площадок потребуется на девяти рабочих уступах разместить не менее 21 экскаватора, а с учетом 10-го уступа — 22 экскаватора и вынуть объем $22 \cdot 0,96 = 21,12$ млн. м³/год.

Средняя скорость подвигания рабочего борта в первом варианте 82,8 м/год, во втором — 53,07 м/год. Оба варианта предусматривают перевод экскаваторов с уступа на уступ. Для

Таблица 1

Определение требуемых скорости подвигания уступов
и количества экскаваторов

Горизонт	B_i , м	L_i , м	1-й вариант	2-й вариант		
			N_y при $v_i = 82,8$ м/год, $\gamma = 13^\circ$	Первый год		Последующий год N_y при $v_i = 75,5$ м/год
				$\gamma_{max} = 14,6^\circ$		
				v_i , м/год	N_y	
1	60	2300	2,99	22,5	0,81	2,71
2	65	2200	2,86	32,5	1,12	2,60
3	60	2100	2,78	47,5	1,56	2,43
4	60	2000	2,69	57,5	1,80	2,36
5	52	1900	2,47	57,5	1,71	2,24
6	60	1800	2,34	69,5	1,67	2,12
7	66	1700	2,21	69,5	1,85	2,01
8	60	1600	2,08	75,5	1,89	1,89
9	-	1600	1,95	75,5	1,77	1,77
Итого		17100	22,23	53,07	14,18	20,18

компенсации потерь времени, а также для учета колебаний ширины площадок необходимо предусматривать резерв экскаваторов, который можно определить вводом коэффициента 1,05-1,10 или с помощью специальных исследований.

Эту задачу можно решить и другим путем. Пусть на начало года дно карьера находится в точке O , а рабочий борт OC имеет рабочие площадки различной ширины (рис.10). К началу следующего года нужно опустить дно в точку O_1 со скоростью h_T м/год.

Посмотрим, какие минимальные скорости подвигания рабочих уступов следует принимать, чтобы к началу следующего года создать борт O_1C_1 с минимальными рабочими площадками и максимальным углом откоса рабочего борта.

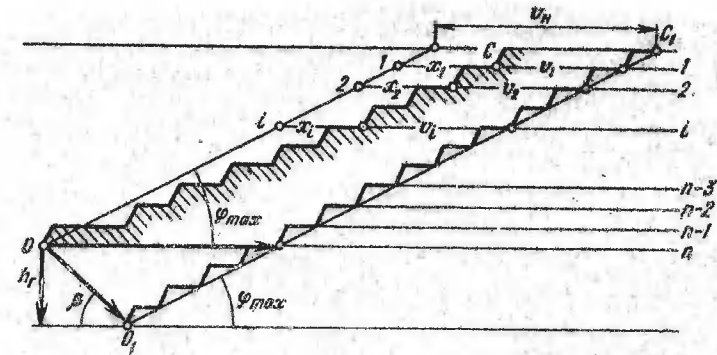


Рис.10. Схема подвигания рабочего борта в процессе углубки карьера со скоростью h_T

Необходимая минимальная скорость подвигания 1, 2, i и n -го рабочих уступов (см. рис.10) соответственно: $v_1 = v_n - x_1$; $v_2 = v_n - x_2$; $v_i = v_n - x_i$ и $v_n = v_n$.

Значит, нужно определить величину x_i :

для n -го уступа $x_n = 0$;

для $(n-1)$ -го уступа $x_{n-1} = B_{n-1} - B_{0(n-1)}$;

для $(n-2)$ -го уступа $x_{n-2} = [B_{n-1} + B_{n-2}] - [B_{0(n-1)} + B_{0(n-2)}]$.

В общем случае для i -го уступа

$$x_i = \sum_{n=1}^i B_i - \sum_{n=1}^i B_{0i}.$$

Если рассматривать не плоскую, а объемную задачу (рис.11), то нужно на плане горных работ карьера измерять площади рабочих площадок уступов S_i (заштрихована на рисунке) и длину фронта работ L_i , а затем определять среднюю ширину площадок

$$B_i = S_i / L_i.$$

Рассмотрим пример. Рабочий борт карьера сложен 12 рабочими уступами высотой $h = 15$ м; $h_T = 12$ м/год; $B_{0i} =$

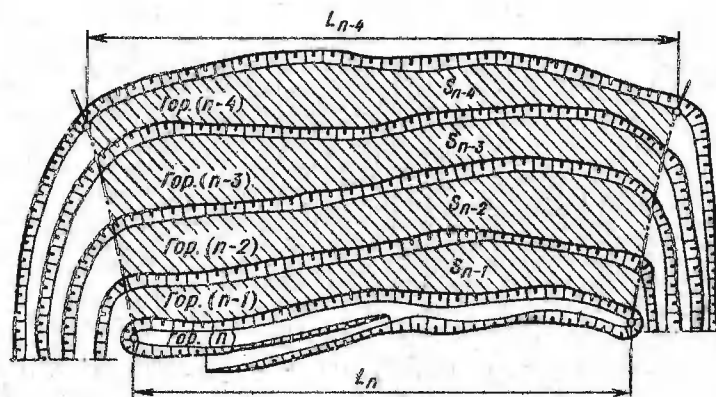


Рис. 11. План рабочего борта карьера

$= 50$ м; $\varphi_{\max} = 14,6^\circ$, $\operatorname{ctg} \varphi_{\max} = 3,84$; $\beta = 36^\circ$; $\operatorname{ctg} \beta = 1,38$; длина фронта работ нижнего уступа $L_n = 1150$ м; $Q = 960000$ м³/год.

Определим

$$v_n = 12 (3,84 + 1,38) = 63 \text{ м/год.}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2. Получилось, что для обеспечения скорости углубки 12 м/год и выхода в конце года на рабочий борт с максимальным углом скоса $14,6^\circ$ минимально необходимо на 12 уступах иметь 9 экскаваторов и обеспечить среднюю скорость подвигания борта 41,3 м/год. Но зато в следующем году нужно обеспечить скорость 63 м/год и поставить на 12 уступах не менее 17 экскаваторов. Кроме того, нужны экскаваторы на работах по вскрытию и подготовке нового горизонта. Полученные результаты позволяют более грамотно принимать окончательное решение по расстановке экскаваторов и необходимому их количеству в процессе работы карьера.

В процессе проектирования карьера и составления календарного плана возникает проблема расстановки экскаваторов и их количества.

Таблица 2

Определение потребного минимального количества экскаваторов

Горизонт	L_i , м	S_{i-1} , м ²	B_i , м	$\sum_{i=1}^n B_i$, м	$\sum_{i=1}^n B_{0i}$, м	x_i , м	v_i , м/год	N_y при v_b , м/год	
								38,9	63
1	1770	106492	50,8	632,2	550	82,2	-19,2	0	1,21
2	1708	104617	61,2	872,6	500	72,6	-9,8	0	1,42
3	1646	115315	70,1	1111,8	450	61,3	1,7	0,04	1,62
4	1585	71800	45,8	1441,2	400	41,2	21,8	0,54	1,58
5	1630	25166	62,6	1890,0	350	45,8	17,1	0,41	1,51
6	1476	20028	54,8	2333,7	300	38,7	29,8	0,86	1,46
7	1420	99088	70,4	2794,4	250	29,4	38,8	0,75	1,40
8	1365	83265	61,0	3099,0	200	9,0	54,0	1,12	1,34
9	1315	65030	49,5	3480,0	150	-2,0	65,0	1,34	1,29
10	1260	60480	48,0	3800,0	100	-1,5	64,5	1,27	1,24
11	1200	60800	50,5	4000,0	50	0,5	62,5	1,17	1,18
12	1150	-	-	-	-	-	63,0	1,13	1,13
Итого	17420	841786	54,1	-	-	-	41,3	6,48	16,35

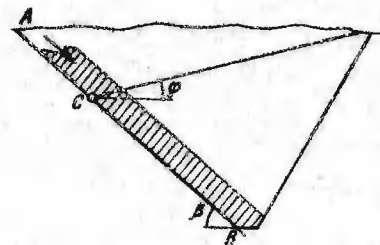


Рис. 12. Схема рудного карьера

Предположим, что в процессе проектирования карьера установлено, что его производительность по руде составляет 3,2 млн. м³/год (10 млн. т/год) и для ее обеспечения необходимо углубляться по борту AB со скоростью $h_r = 15$ м/год (рис. 12). Определен и усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши первого периода $n_1 =$

$= 6,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ по методу, изложенному в [5]. Установлено также, что при работе с рабочими площадками нормальной шириной $B_H = 55 \text{ м}$ максимально возможное количество рабочих вскрышных уступов составит 10 (при положении дна карьера в точке С).

При $B_H = 55 \text{ м}$ ($\varphi_H = 13^\circ$, $\text{ctg } \varphi_H = 4,33$) и направлении углубки $\beta = 42^\circ$ ($\text{ctg } \beta = 1,11$) нормативная скорость продвижения рабочих уступов $v_H = 15 (4,33 + 1,11) = 81,6 \text{ м/год}$.

При производительности вскрышных экскаваторов ЭКГ-8и $960 \text{ тыс.м}^3/\text{год}$ необходимая длина экскаваторных блоков

$$L_B = Q / (v_H h) = 960000 / (81,6 \cdot 15) = 785 \text{ м.}$$

Как известно, производительность карьера по горной массе

$$\begin{aligned} A &= A_p (1 + n_1) = \\ &= 3,2 (1 + 6,6) = \\ &= 24,32 \text{ млн.м}^3/\text{год.} \end{aligned}$$

При производительности добычных экскаваторов ЭКГ-8и $Q_d = 800 \text{ тыс.м}^3/\text{год}$ количество добычных экскаваторов

$$N_d = A_p / 800 = 3200 / 800 = 4.$$

Потребное количество вскрышных экскаваторов

$$N_B = n_1 A_p / 960 = 21120 / 960 = 22.$$

Интересно и важно отметить, что работа с усредненным коэффициентом вскрыши накладывает ограничение на длину фронта вскрышных работ. Так, в данном случае при одностороннем раз-



Павел Эдуардович Зурков
(1903-1968)

Профессор Магнитогорского горно-металлургического института. Специалист по открытой и подземной разработке рудных месторождений. Основной труд: "Разработка рудных месторождений открытым способом" (1953)

витии работ возможная длина вскрышного фронта

$$L_B \leq N_B L_B = 22 \cdot 785 = 17270 \text{ м.}$$

Если она превысит данную величину, то снижается горизонтальная скорость продвижения рабочего борта и не обеспечивается необходимая скорость углубки.

Рассмотрим вариант работы при глубине карьера с максимальным количеством рабочих вскрышных уступов (10). Расчеты потребного количества экскаваторов приведены в табл.3 в зависимости от длины фронта рабочих уступов. Получилось, что в этом варианте общий вскрышной фронт составил 19430 м. В работе необходимо иметь 25 вскрышных экскаваторов.

Таблица 3

Потребное количество экскаваторов на вскрышных уступах
при $v_H = 81,6 \text{ м/год}^x$

Горизонт	1-й вариант		2-й вариант	
	$L_i, \text{ м}$	N_i при $L_B = 785 \text{ м}$	N_i	$L_i, \text{ м}$
1	2310	2,84	-	-
2	2230	2,84	3,12	2230
3	2140	2,73	2,73	2140
4	2050	2,61	2,61	2050
5	1970	2,51	2,51	1970
6	1890	2,41	2,41	1890
7	1810	2,31	2,31	1810
8	1730	2,20	2,20	1730
9	1650	2,10	2,10	1650
10	1570	2,00	2,00	1570
Итого	19430	24,65	22,0	17040

^x На втором горизонте: во втором варианте $v_H = 89,8 \text{ м/год}$.



Николай Васильевич Мельников
(1900-1980)

Академик АН СССР. Крупный ученый и государственный деятель. Основные труды: „Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом“ (1946); „Справочник инженера и техника по открытым горным работам“ (1948, 1961)

необходимо строго руководствоваться положениями закона соотношения скоростей понижения горных работ и подвигания рабочих уступов и закона соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах. Только в этом случае карьер будет работать нормально.

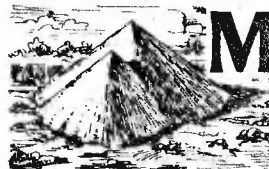
Но при определении и ускорении эксплуатационного коэффициента вскрыши была доказана возможность работы 22 экскаваторов на вскрыше. Значит, нужно ввести эти 22 экскаватора раньше, с таким расчетом, чтобы к рассматриваемому моменту верхний горизонт I был уже отработан и тогда обеспечивается необходимая интенсивность работ (вариант 2 в табл.3). Фронт вскрышных работ составит 17040 м, т.е. меньше возможного (17270 м). При дальнейшей углубке (ниже точки С на рис.12) фронт вскрышных работ начнет сокращаться.

Приведенные примеры показывают, что в процессе составления и реализации календарного плана горных работ

Глава 5. ЦИКЛИЧНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ГОРНЫХ РАБОТ

Но, куда бы она ни шла, где бы ни сворачивала, всякий раз, она хоть убей, выходила снова к дому.

Дэвид Карролл (1832-1898)



Мы живем в мире, который насыщен циклическими, колебательными процессами. К таким процессам относятся годовое движение Земли вокруг Солнца, суточные вращения Земли, приливные явления, сейсмические колебания, жизненные циклы растений и животных, технологические циклы машин, цехов, заводов, периодичность во вскрытии и подготовке этажей шахты и горизонтов карьера и т.д. Наличие циклическости является благом для развития научных и практических знаний. Циклическость – это повторяемость явлений. Она дает возможность многократного их наблюдения, обобщения и предвидения. Если какой-либо процесс не повторяется, то и изучить его невероятно трудно, а часто и невозможно.

Рассмотрим некоторые циклические процессы, имеющие отношение к развитию рабочей зоны карьера.

Основной процесс карьера – выемка горных пород экскаваторами или другими погрузочными машинами. Экскаваторы –

механические лопаты и драглайны – работают циклами. В каждом цикле приносится к месту погрузки один ковш породы. Если погрузка ведется в автосамосвалы, то примерно через равные промежутки вре-

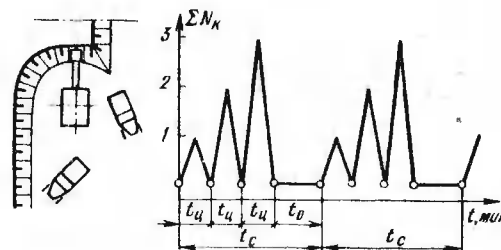


Рис.13. Цикл загрузки автосамосвалов

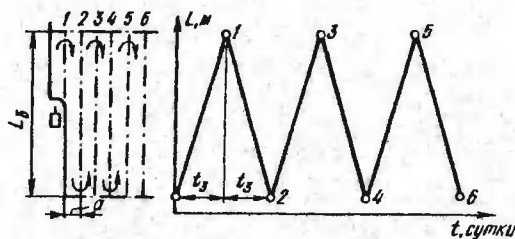


Рис.14. Циклы экскаваторных заходов

мени от экскаватора отправляются к месту назначения груженные автосамосвалы. Продолжительность этого цикла (рис.13)

$$t_c = N_k t_{ц} + t_0,$$

где N_k – количество ковшей породы, загружаемой в автосамосвал; $t_{ц}$ – продолжительность цикла экскаватора; t_0 – время на обмен автосамосвалов.

На рабочем уступе каждому экскаватору обычно отведен определенный фронт работ – экскаваторный блок. Проходя длину блока, экскаватор начинает обрабатывать следующую заходку. Если наблюдать определенный участок рабочего борта, то периодически фронт уступа перескакивает на ширину экскаваторной заходки. Этот период (рис.14)

$$t_3 = L_B / v_3 = L_B h a / Q.$$

Если четного деления на блоки нет, то

$$t_3 = L_y h a / N_y Q.$$

Конечно, продолжительность циклов несколько колеблется от цикла к циклу, но основная закономерность сохраняется.

При отработке крутопадающего месторождения постоянной мощности (см. рис.1,б) продолжительность отработки добычной зоны в уступе

$$t_{дз} = M / v = M h L_B / Q,$$

где M – горизонтальная мощность рудного тела, м.

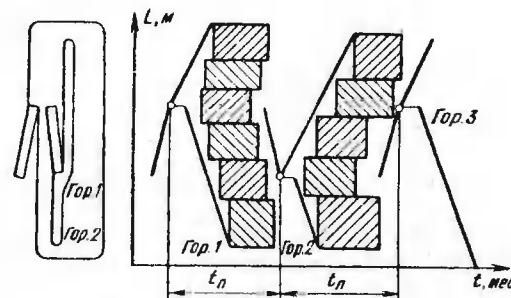


Рис.15. Циклы вскрытия и подготовки горизонтов

периодически вскрывать и подготавливать новые горизонты. Этот процесс тоже циклический. Продолжительность подготовки горизонта можно определить при анализе организации работ на основе графика $L = f(T)$ [5, 6, 8] или на основе формулы (12). Периодичность ввода новых рабочих уступов

$$t_{п} = h / h_{г}.$$

Если задана производительность карьера по руде, а значит, и необходимая скорость понижения добычных работ h_0 , то можно определить требуемую скорость углубки карьера и периодичность вскрытия и подготовки новых горизонтов (рис.15) на основе формулы (14):

$$t_{п} = h (ctg \varphi \pm ctg \rho) / h_0 (ctg \varphi \pm ctg \delta).$$

В процессе эксплуатации карьера необходимо анализировать циклы работы, совершенствовать взаимодействие влияющих на циклы факторов, обеспечивать более высокую эффективность и, в случае необходимости, интенсивность работ.

При подземном способе разработки также функционируют очень многие циклические процессы. Это и циклы проходки горных выработок, подготовки и нарезки блоков, подготовки этажей, вскрытия этажей и т.д.

Периодичность ввода добычных уступов в работу

$$t_{ду} = t_{дз} / K_{ду},$$

где $K_{ду}$ – количество добычных уступов в одновременной работе.

Для возобновления фронта работ необходимо периодически

ЛИТЕРАТУРА

1. Энгельс Ф. Диалектика природы. М., Политиздат, 1982.
2. Ленин В.И. Конспект книги Гегеля „Наука логики“. - Полн. собр. соч., т. 29.
3. Агашков М.И. Определение производительности рудника. М., Металлургиздат, 1948.
4. Агашков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А. Разработка рудных и россыпных месторождений. М., Госгортехиздат, 1962.
5. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. М., Госгортехиздат, 1961.
6. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. Л., изд. ЛПИ, 1973.
7. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М., Недра, 1981.
8. Арсентьев А.И. Некоторые законы горной науки, применяемые при проектировании вскрытия и систем разработки. - В кн.: Проектирование открытой и подземной разработки месторождений. Межвуз. сб. Л., изд. ЛПИ, 1982.
9. Арсентьев А.И. Принятие решений о параметрах карьера. Л., изд. ЛПИ, 1982.
10. Арсентьев А.И. Значение законов горной науки при развитии горных работ в карьере. - В кн.: Проектирование открытой разработки месторождений. Межвуз. сб. Л., изд. ЛПИ, 1984.
11. Арсентьев А.И., Падуков В.А. Беседы о горной науке. Л., Наука, 1981.
12. Барбот-де-Марни Е.Н. Разработка месторождений полезных ископаемых открытыми работами. М.-Л., Горизонтгиздат, 1934.
13. Бокий Б.И. Практический курс горного искусства. Петроград, Госиздат, 1922. Г. 1. Основы горного искусства.
14. Городецкий П.И. Проектирование горно-рудных предприятий. М., Металлургиздат, 1919.
15. Зурков П.Э. Разработка рудных месторождений открытым способом. М., Металлургиздат, 1953.
16. Карлович В.Н. Проблема, гипотеза, закон. Новосибирск, Наука, 1980.
17. Кузнецов И.А. Разработка рудных месторождений. М.-Л., Горизонтгиздат, 1932. Т. 1. Вскрытие месторождений.
18. Кузнецов И.А. Основные расчеты при разработке рудных месторождений. М.-Л., Горгеолгиз, 1932. Часть 1, 2.
19. Ломоносов М.В. Первые основания горной науки. - Полн. собр. соч. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1954. Т. 5.
20. Мелешенко Ю.С. Техника и закономерности ее развития. Л., Лениздат, 1970.
21. Мельников Н.В. Горные инженеры - выдающиеся деятели горной науки и техники. 3-е изд. М., Наука, 1981.
22. Менделеев Д.И. Основы химии. СПб, 1906.
23. Оводенко Б.К., Аршинов С.С. Временные керамические борты в карьерах. Л., Наука, 1977.
24. Определение главных параметров карьера / А.И.Арсентьев, О.В.Шпаянский, Г.П.Константинов, В.Л.Бложе. М., Недра, 1976.
25. Правила технической эксплуатации для предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом. М., Недра, 1964.
26. Семеvский В.Н. Основы проектирования рудняков. М., Недра, 1968.
27. Узатис А.И. Курс горного искусства. СПб, 1843.
28. Шешко Е.Ф. Основы проектирования угольных карьеров. М.-Л., Углетехиздат, 1950.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Закон динамичности рабочих забоев	10
Глава 2. Закон соотношения интенсивности работ по вскрытию, подготовке и очистной выемке	16
Глава 3. Законы соотношения скоростей понижения работ и скорости подвигания рабочих уступов	22
Глава 4. Закон соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах	33
Глава 5. Цикличность процессов горных работ	49
Литература	52

Св. план, 1986, поз. 1065

Александр Иванович Арсентьев

ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА

Редактор Е.А.Васильева

Технический редактор Р.И.Кравцова

Корректор Ю.А.Елагина

Сдано в набор 17.03.86. Подписано к печати 01.07.86. М-28646.
Формат 60 x 84/16. Бумага типографская № 2. Печ.л. 3,37.
Усл.печ.л. 3,2. Уч.-изд.л. 3. Тираж 1000 экз. Изд. № 86.
Заказ 449. Цена 20 коп.

РТП ЛГИ, 199026, Ленинград, 21-я линия, 2.