УДК 622.272

Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ,
профессор кафедры общей и технической физики
Ю.Л.МИНАЕВ
доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых
Д.Ю.МИНАЕВ
аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВСКРЫТИЯ ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ ТЕЛ

Приведен анализ современных схем вскрытия крутопадающих рудных залежей. Спроектированы возможные схемы вскрытия при отработке рудного тела в комбинированном восходяще-нисходящем порядке ведения работ. Установлены зависимости приведенных затрат от глубины первой ступени вскрытия и угла падения рудного тела при комбинированном порядке отработки месторождения. Сделаны выводы и рекомендации.

In an article made review of modern opening scheme deep ore deposits and designed new one in a case of composite up and down way technologies. Found dependent of adjusted bills to the depth of the first stage and angle on mine deposit.

Для мировой экономики последних лет характерна тенденция снижения цен на цветные и черные металлы, что предъявляет новые требования к конкурентоспособности их производства. При этом все более существенную роль играет уровень затрат на добычу исходного минерального сырья. Для России это обстоятельство усугубляется истощением большинства легкодоступных запасов руд цветных и черных металлов, осложнением горно-геологических условий их разработки, увеличением себестоимости добычи руды и, как привило, снижением качества добываемых руд. Возрастает роль экологических проблем при разработке месторождений полезных ископаемых, в том числе подземным способом. Вместе с тем в России достаточно остро ощущается недостаток сырья для металлургических предприятий, что может быть компенсировано вовлечением в эксплуатацию новых месторождений и разработкой запасов руд на больших глубинах (более 1000 м) подземным способом. Одновременно необходимо снижение себестоимости добычи качественного рудного сырья.

В настоящее время в мировой практике повсеместно принят нисходящий порядок отработки месторождений полезных ископаемых. Для этого проводят вскрытие верхней части месторождения и начинают вести работы с постепенным углублением вскрывающих выработок и понижением горных работ. Общепринято, что выемка этажей по вертикали ведется в нисходящем порядке из-за преимуществ, состоящих в уменьшении капитальных вложений при вскрытии первой ступени и быстрого ввода рудника в эксплуатацию.

В современных условиях при скорости проходки стволов 100 м и более в месяц эти преимущества утратили свое значение. Поэтажное вскрытие, наоборот, вызывает перерасход капитальных вложений на строительство рудника за счет последующей дорогостоящей углубки существующих, проходке

слепых стволов или проведения новых стволов с поверхности. Анализ отечественного и зарубежного опыта проходки и углубки шахтных стволов позволил установить, что в среднем скорость проходки стволов с поверхности в 1,8-4,6 раза выше скорости углубки таких же стволов. Если в 1960-1984 гг. средняя скорость проходки вертикальных стволов шахт Кривбасса выросла с 20 до 70 м/мес., то скорость углубки выросла с 10 до 18 м/мес. Стоимость проходки стволов с поверхности в среднем на 30-40 % дешевле стоимости углубки вертикальных стволов (или проведения слепых стволов). Кроме того, при углубке стволов в условиях действующего рудника необходим ряд организационно-технологических мероприятий (оборудование проходческого подъема, обеспечение вентиляции проходческих работ, устройство предохранительных целиков, совмещение выдачи на поверхность руды и породы по одному стволу и пр.), требующих существенных финансовых затрат и организационных решений [3].

Таким образом, основные преимущества отработки месторождения в нисходящем порядке со ступенчатой схемой вскрытия утратили свое значение и возникла необходимость рассмотреть возможность применения новой нетрадиционной и перспективной геотехнологии, состоящей в выемке этажей по вертикали в восходящем порядке. Сущность восходящей технологии отработки месторождения заключается в проходке вскрывающих выработок сразу на всю глубину распространения рудного тела (или на величину ступени вскрытия), проведении подготовительных и нарезных выработок на нижнем горизонте и начале выемки руды с нижнего горизонта, постепенно поднимаясь вверх по мере отработки запасов этажей. При этом над отрабатываемой камерой находится ненарушенный горными работами рудный массив, а под камерой – отработанные и заложенные камеры [4].

При восходящем порядке отработки месторождения существуют два варианта вскрытия. Первый предполагает проведение основных вскрывающих выработок на всю глубину залегания рудного тела, сооружение концентрационного горизонта и отработку всех запасов месторождения в восходящем порядке, начиная с нижнего горизонта [1].

Второй вариант предусматривает деление рудного тела на две (или более) очереди вскрытия и их последовательную отработку. При этом возникает вопрос о направлении ведения работ в пределах каждой из очередей вскрытия. Первую очередь целесообразно отработать в восходящем порядке с сооружением одного концентрационного горизонта на нижнем этаже, чему не мешают ни геомеханические, ни технологические факторы.

При отработке запасов второй очереди вскрытия возможны два направления ведения работ: восходящий и нисходящий. При восходящем порядке горные работы будут вести на сокращающийся целик (рис.1) между первой и второй ступенями вскрытия, что может осложнить геомеханическую ситуацию и привести к горному удару. Большая глубина ведения работ, наличие тектонических напряжений, практически повсеместно присутствующих на рудных месторождениях, тектонических разломов и трещиноватости еще больше увеличивают вероятность возникновения динамических форм проявления горного давления и их энергии. Это потребует разработки специальных мероприятий по снижению напряжений в горном массиве, применение дорогостоящих систем с твердеющей закладкой выработанного пространства, крепление подготовительных и нарезных выработок, что приведет к увеличению себестоимости добываемой руды и уменьшению производительности труда. При больших глубинах залегания и наличии высоких тектонических напряжений может возникнуть ситуация, когда запредельно большие напряжения в рудном массиве приведут к невозможности осуществления выемки руды между первой и второй ступенями вскрытия.

При нисходящем порядке ведения работ в пределах второй ступени запасы руды будут отработаны системами с последующей закладкой выработанного пространства без оставления рудных целиков. При этом исчезают все описанные проблемы, а рудное тело будет

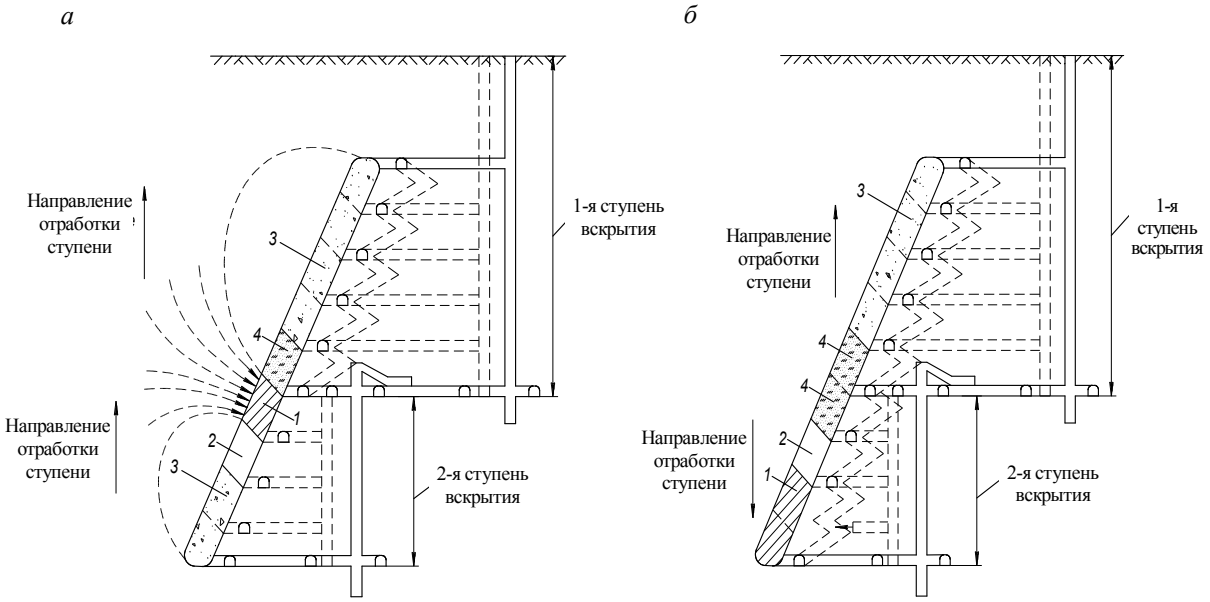


Рис.1. Технология отработки второй ступени вскрытия в восходящем (*а*) и нисходящем (*б*) порядке

1 – рудное дело; 2 – отрабатываемая камера; 3 – сыпучая закладка; 4 – твердеющая закладка

отработано без потерь полезного ископаемого. Таким образом, наилучший вариант – применить восходящий порядок ведения работ для отработки первой ступени вскрытия и нисходящий порядок ведения работ для второй (и последующих) ступени.

Исходя из сказанного, необходимо определить оптимальную высоту первой ступени вскрытия, в пределах которой добычу руды будут вести в восходящем порядке (высота первой ступени вскрытия может быть равна и глубине залегания рудного тела) с учетом того, что работы в пределах второй ступени вскрытия будут вестись в нисходящем порядке, т.е. при комбинированном восходяще-нисходящем порядке отработки месторождения. Для ее определения была составлена экономико-математическая модель (рис.2). Главной управляющей переменной является высота первой ступени вскрытия, второстепенной – угол падения рудного тела. Критерием в модели являются приведенные затраты, рассчитываемые из приведенных капитальных затрат и годовых эксплуатационных расходов. При традиционном нисходящем порядке ведения работ в пределах всего рудного тела при расчете высоты первой ступени вскрытия определяющими являются приведенные капитальные затраты, а годовые эксплуатационные расходы оказывают минимальное влияние. Это происходит из-за того, что входящие в них затраты на поддержание выработок, водоотлив, вентиляцию и добычу руды по системе разработки не зависят от главной управляющей переменной.

Однако при ведении работ в пределах первой ступени вскрытия в восходящем порядке, а в пределах второй – в нисходящем, усредненные годовые эксплуатационные расходы оказывают существенную роль на приведенные затраты. Основное влияние оказывает себестоимость добычи руды по системе разработки при различных направлениях ведения работ, для расчета которой была составлена модель и написана программа на языке программирования Borland Delphi. В модели учтены следующие статьи затрат:

- отбойка руды (бурение и заряжание скважин);
- доставка руды из блока до капитального рудоспуска;
- проведение подготовительных, нарезных и очистных выработок (при отнесении затрат к вскрытию последние принимаются равными нулю);

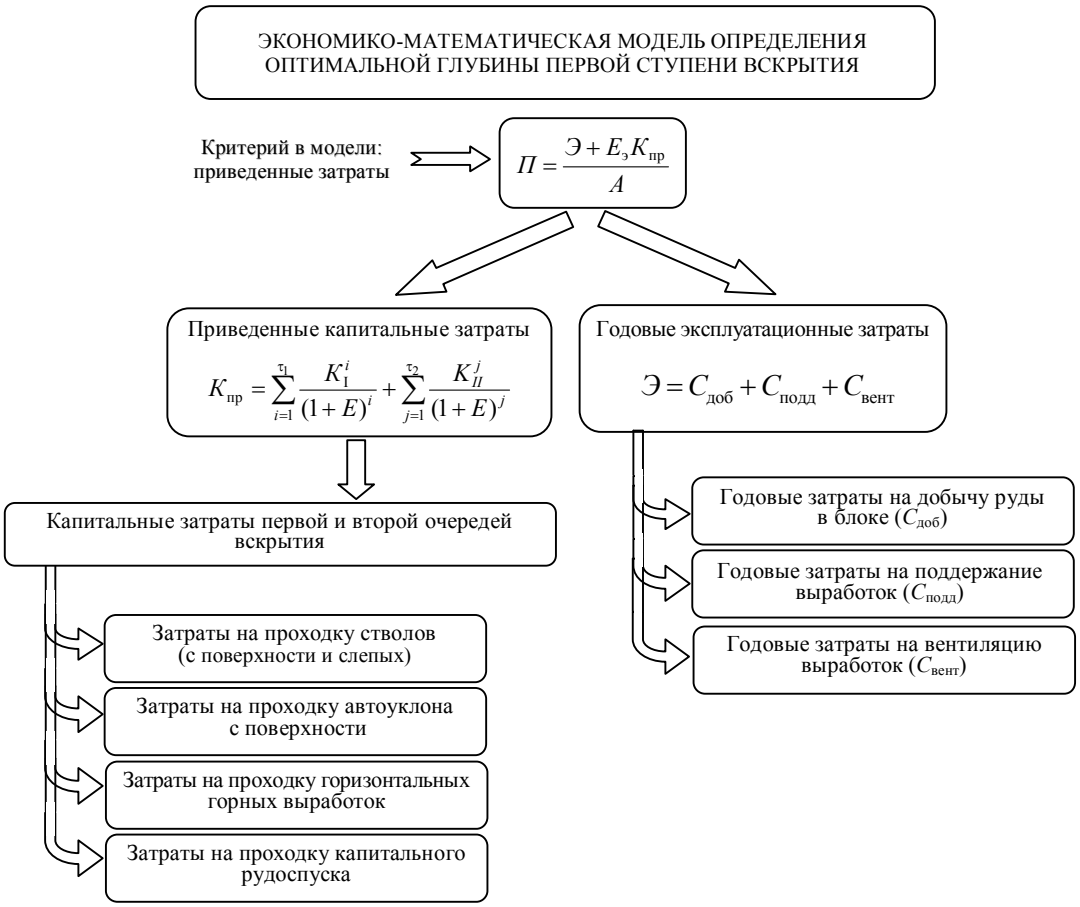


Рис.2. Укрупненный вид экономико-математической модели определения оптимальной глубины первой ступени вскрытия

• заполнение блока комбинированной сыпучей и твердеющей закладкой.

Программа рассчитывает себестоимость добычи руды в заданном диапазоне изменения значений угла падения и мощности рудного тела. Вывод результатов осуществляется в табличном виде и в виде графиков. Для расчета принята многостадийная система разработки со следующими параметрами: длина камер первой очереди 8 м, длина камер второй очереди 40 м, прочность твердеющей закладки камер первой очереди 3 МПа. При восходящем порядке ведения работ камеры второй очереди полностью заполняют сыпучей породной закладкой, а при нисходящем – 1/3 камеры заполняют твердеющей закладкой, а 2/3 – сыпучей породной. Камеры первой очереди в обоих случаях заполняют твердеющей закладкой [2].

В результате расчета разница между затратами на добычу руды по системе разработки при нисходящем и восходящем порядках составила порядка 35 % в пользу последнего. Это происходит в результате сокращения затрат на закладку выработанного пространства, уменьшения объема нарезных выработок и сокращения разубоживания руды при восходящем порядке ведения работ [Там же].

Для учета разных направлений отработки первой и второй ступеней вскрытия в модель расчета оптимальной глубины первой ступени вскрытия введена формула, позволяющая вычислять среднюю по рудному телу себестоимость добычи руды ($C_{доб}$) в зависимости от первой ступени вскрытия:

$$C_{доб} = \frac{C_{восх}(H_I - H_{зал}) + C_{нисх} H_{II}}{(H_I - H_{зал}) + H_{II}},$$

где $C_{восх}$ – затраты на добычу 1 т руды по системе разработки при ведении работ в восходящем порядке, руб./т; $C_{нисх}$ – затраты на добычу 1 т руды по системе разработки при ведении работ в нисходящем порядке, руб./т; H_I – размер первой ступени вскрытия, м; H_{II} – размер второй ступени вскрытия, м; $H_{зал}$ – расстояние от поверхности земли до верхнего контура рудного тела, м.

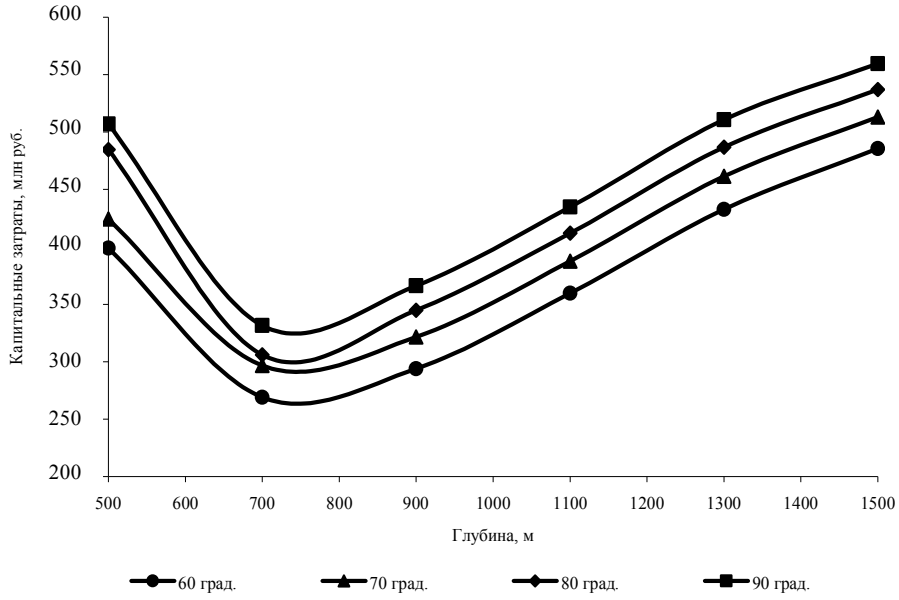
Зависимость приведенных к одному году капитальных затрат от глубины первой ступени вскрытия и угла падения рудного тела (рис.3, *а*) определяет минимальные значения при глубине первой ступени вскрытия 700-800 м. Эти результаты согласуются с ранее полученными данными других исследователей и указывают на корректность составленной модели.

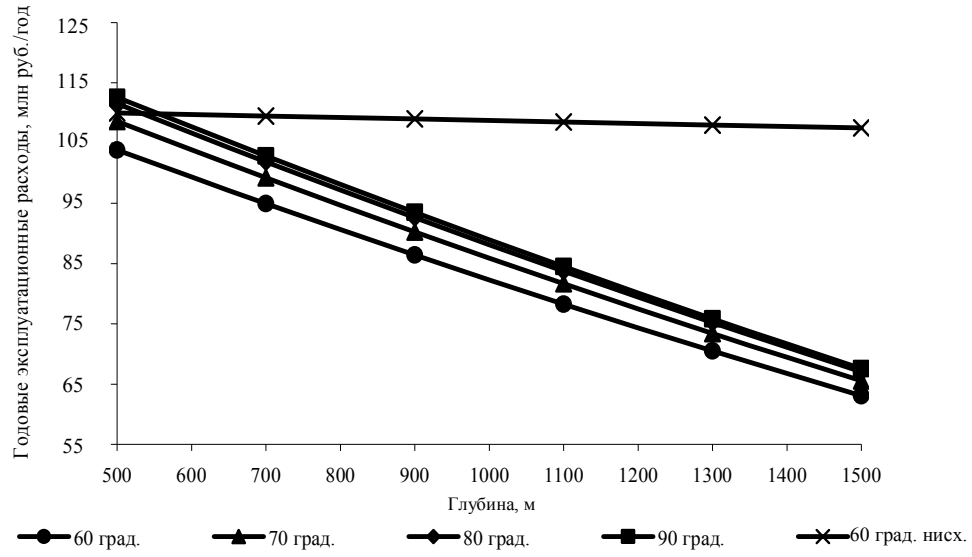
Годовые эксплуатационные расходы с увеличением глубины первой ступени вскрытия при восходяще-нисходящем порядке ведения работ (рис.3, *б*) монотонно убывают. Такой вид графика объясняется тем, что при увеличении глубины первой ступени вскрытия увеличивается объем рудного тела, отрабатываемого в восходящем порядке более дешевой (по сравнению с нисходящей) системой разработки. Следовательно, если глубина первой ступени вскрытия равна глубине распространения рудного тела, то все запасы руды будут отработаны в восходящем порядке и эксплуатационные расходы на добычу руды минимальны.

Для сравнения на графике (рис.3, *б*) приведена та же зависимость, но при нисходящем порядке отработки и первой, и второй ступеней вскрытия при угле падения рудного тела 60 град. Она практически не изменяется с увеличением глубины первой ступени вскрытия и лежит выше кривых при восходяще-нисходящем порядке ведения работ. Таким образом, эксплуатационные расходы на добычу руды при восходяще-нисходящем порядке ведения работ ниже, чем при нисходящем порядке на всем диапазоне изменения глубины первой ступени вскрытия. Согласно графикам рис.3, *б*, *в* можно сделать вывод, что при нисходящем порядке ведения работ определяющими являются капитальные затраты, а эксплуатационные расходы на приведенные затраты практически не оказывают влияния.

Зависимости приведенных затрат от глубины первой ступени вскрытия при различных углах падения рудного тела (рис.3, *в*) однозначно не устанавливают оптимального значения, однако можно сделать вывод, что глубина первой ступени должна быть не менее 700-800 м. При большей глубине первой ступени вскрытия приведенные затраты практически не меняются. Это свидетельствует о том, что вопрос о рациональной глубине первой ступени вскрытия должен решаться на основании анализа других факторов: организационно-технических (выбор годовой производственной мощности предприятия, организация проведения слепых стволов второй очереди вскрытия на действующем концентрационном горизонте в условиях действующего рудника), финансовых (наличие средств для вскрытия месторождения сразу на всю глубину, процент банковских кредитов), экологических (размещение в отработанных камерах отходов производства) и др.

Для сравнения на графике рис.3, *в* приведена зависимость приведенных затрат от глубины первой ступени вскрытия при нисходящем порядке отработки и первой, и второй ступени вскрытия для угла падения рудного тела 60 град. Видно, что при всех глубинах эта кривая лежит выше, чем аналогичная при восходяще-нисходящем порядке отработки месторождения. Следовательно, комбинированный порядок ведения работ имеет преимущество перед нисходящим по критерию «приведенные затраты». Из графика (рис.3, *в*) можно рассчитать разницу между восходящим и нисходящим порядками ведения работ в пределах всего месторождения (эти значения соответствуют глубине первой ступени вскрытия 1500 м при угле падения рудного тела 60 град.). Видно, что приведенные затраты при восходящем порядке ведения работ составляют 203 руб./т, в то время как при нисходящем порядке 285 руб./т, т.е. разница 82 руб./т, или 40 % в пользу восходящего порядка ведения работ.





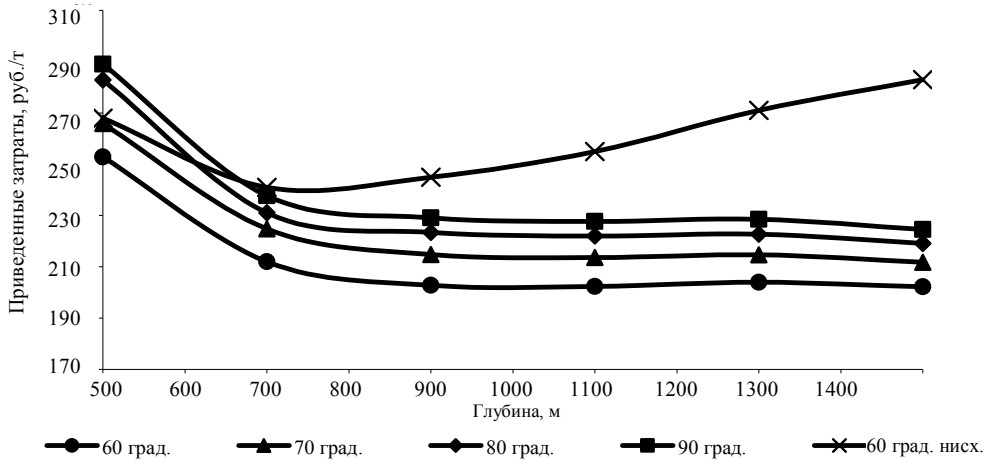


Рис.3. Зависимость приведенных капитальных (*а*), годовых эксплуатационных (*б*) и приведенных (*в*) затрат от глубины первой ступени вскрытия и угла падения рудного тела

В заключение хотелось бы отметить, что авторы придерживаются позиции вскрытия месторождения сразу на всю глубину и ведении работ в восходящем порядке в пределах всего месторождения. Это позволит избежать организационно-технических трудностей при проведении слепых стволов, изменении технологии добычи руды при переходе к отработке второй ступени, снизит разубоживание руды закладочным материалом при отработке второй ступени, позволит разместить в отработанных камерах большой объем отходов горного производства и соответственно снизить плату за их размещение на поверхности, варьировать высоту этажа и подэтажа при изменении горно-геологических условий, размещать в отработанных камерах подземные комплексы по переработке минерального сырья и др. Кроме того, мировой опыт разработки крутопадающих рудных месторождений показывает, что стволы стараются проходить на возможно большую глубину, сокращая количество ступеней вскрытия. При этом глубина стволов определяется возможностями подъемного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронюк А.С.* Рациональные схемы и параметры вскрытия рудных месторождений. М.: Недра, 1993.

2. *Минаев Д.Ю.* Расчет параметров искусственных целиков при восходящем порядке отработки месторождения / Д.Ю.Минаев, Э.И.Богуславский // Записки Горного института. СПб, 2004. Т.156.

3. Подземная геотехнология разработки с восходящей выемкой / Ю.В.Волков, А.А.Смирнов, И.В.Соколов, В.Д.Камаев // Изв. вузов. Горный журнал. 2003. № 3.

4. *Hill F.G., Mudd J.B.* Deep Level Mining In South Africa Gold Mines. The 5th International Mining Congress, 1967.