УДК 622.831

В.П.ЗУБОВ, А.А.АНТОНОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт(технический университет)

КОНЦЕПЦИЯ ОТРАБОТКИ ЯКОВЛЕВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА УЧАСТКАХ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Проанализированы причины длительного строительства Яковлевского рудника, а также факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на выбор технологической схемы отработки железорудной залежи. Сделан вывод о том, что главным критерием приемлемости технологической схемы в специфических условиях участка первоочередной отработки Яковлевской залежи является исключение опасных деформаций толщи покрывающих пород, при достижении их возможно вторичное обводнение рудного массива на стадии ведения очистных работ. Предложены системы разработки, использование которых создает объективные предпосылки для обеспечения длительной конкурентоспособности Яковлевского рудника.

The reasons of long-lived building of the Jakovlevsky ore mine, and also factors most essentially influential in choice of the technological schema of improvement of iron-ore reservoir are parsed. Is drawn a conclusion that a key factor of applicability of the technological schema in a particular lease of prime improvement of reservoir is the exception of dangerous deformations of a massive of coating rocks, at achievement which one probably secondary watering out of a mining massive at a stage of support of clearing operations. The systems of development are proposed, usage constructs which one the objective premises for supply of long-lived competitiveness of the Jakovlevsky ore mine.

Научно-исследовательские и проектные работы, связанные с поиском эффективных и безопасных технологий освоения Яковлевского железорудного месторождения, являющегося сырьевой базой одноименного рудника, ведутся с 1959 г., т.е. около 47 лет. На различных этапах в этой работе принимали участие многие отраслевые научно-исследовательские и проектные институты: ФГУП ВИОГЕМ, ФГУП «Белмеханобрчермет», ВНИМИ, НИГРИ, СПГГИ (ТУ), НИИКМА, НИИАчермет, НИИКМА, Центрогипроруда, СУБР-ПРОЕКТ и другие.

В 1973 г. был утвержден проект строительства Яковлевского рудника мощностью 4,5 млн т сырой руды и 4,34 млн т товарной оглоруды в год. В последующий период первоначальные проектные решения неоднократно пересматривались. В 2003 г. проектным институтом «Центрогипроруда» выполнена очередная корректировка технического проекта Яковлевского рудника с годовой мощностью 3,0 млн т богатой руды.

Причиной неослабевающего интереса к Яковлевскому месторождению является его уникальность по запасам и содержанию железа в руде, которое достигает 68 % и более. Разведанные запасы по категориям $B+C_1+C_2$ составляют около 9600 млрд т.

Основными объективными причинами длительного строительства рудника являются:

- сложные горно-геологические и гидрогеологические условия залегания Яковлевской залежи;
- качественные изменения на рынках железорудного сырья, а также социально-экономические реформы, связанные с переходом российской экономики от плановой к рыночной.

Последние проектные решения по Яковлевскому руднику ориентированы на строительство современного конкуренто-

способного в условиях рыночной экономики предприятия для добычи высококачественного железорудного сырья – концентратов для производств прямого восстановления железа и спецметаллургии.

Наиболее изученным является центральный участок месторождения, на базе которого строится Яковлевский рудник. Рудное тело в пределах данного участка залегает на глубинах 550-680 м. Главными рудообразующими минералами являются мартит и гемотит. Среди руд выделяются следующие главные типы – железно-слюдково-мартитовые и мартито-железно-слюдковые руды («синьки»), составляющие более 60 % общей рудной массы. Руды пористые со слабо выраженными структурными связями. К числу наиболее распространенных руд относятся также мартито-гематитовые руды («краски»), залегающие со стороны висячего бока залежи.

Горизонтальная мощность рудной залежи составляет 280-300 м. На участке первоочередной отработки горизонтальная мощность областей, представленных богатыми железно-слюдково-мартитовыми рудами, достигает 90 м. Углы залегания рудной залежи составляют 60-70°.

К числу природных факторов, оказывающих определяющее влияние на выбор технологической схемы рудника, относятся:

- сложное строение рудного тела, состоящего из различных по физико-механическим свойствам пород – от рыхлых и глиноподобных пластичных до крепких скальных; наличие на участке первоочередной отработки слабых неустойчивых руд (до 55 %) с пределом прочности на одноосное сжатие от 0,3 до 15 МПа;
- нахождение в кровле рудной залежи семи водоносных горизонтов, обладающих большими напорами (более 4 МПа). В настоящее время отсутствуют надежные прогнозы гидравлической взаимосвязи между этими водоносными горизонтами и степени их участия в обводненности рудного тела на различных стадиях развития горных работ. По имеющимся прогнозам притоки воды в рудник в период его эксплуатации могут достигать 4000 $м^3$/ч и более;
- отрицательное влияние повторного обводнения рудного тела на предельные обнажения пород в очистных и подготовительных выработках; при повторном обводнении руды некоторых разновидностей (несцементированные) переходят в плывунное состояние;
- относительно высокая прочность вмещающих пород на одноосное сжатие, что может явиться на стадии ведения очистных работ причиной опасных динамических обрушений значительных областей горного массива при достижении предельных площадей его подработки.

До настоящего времени у специалистов, влияющих на принятие решений, связанных с завершением строительства Яковлевского рудника, отсутствует единое мнение относительно такого принципиально важного вопроса, как выбор системы разработки рудного тела.

Ведется дискуссия о направлении (восходящий или нисходящий порядок) выемки запасов в пределах этажа. По мнению авторов данной статьи, восходящий порядок выемки запасов этажа на участке первоочередной отработки Яковлевской залежи является неприемлемым. К числу основных его недостатков относится периодическое, по мере отработки слоев, деформирование подрабатываемого рудного массива (представленного более чем на 50 % рудами с пределом прочности на одноосное сжатие 1-5 МПа), связанное с неполным заполнением выработанного пространства закладочным материалом, уплотнением закладочного массива и ведением очистных работ в слоях. В таких условиях надежные и экономически целесообразные решения вопросов, связанных с обеспечением устойчивости кровли в заходках и на сопряжениях ортов с заходками, практически трудно осуществимы.

Нахождение в кровле рудной залежи водоносных горизонтов и недопустимость вторичного обводнения рудного массива исключают возможность применения систем разработки с обрушением вмещающих пород и предопределяет необходимость ведения горных работ с полной закладкой выработанного пространства твердеющими

материалами. Это обстоятельство приводит к увеличению издержек производства не менее чем на 30-35 %.

Кроме того, как показывает имеющийся практический опыт, безопасная проходка и технологически удовлетворительное состояние очистных выработок могут быть обеспечены только в предварительно осушенном массиве. В этой связи в настоящее время обязательным является подземное дренирование рудного массива выше гор. –425 м с использованием опережающих скважин, пробуренных из горных выработок.

Низкие прочностные характеристики рудного массива на участке первоочередной отработки, возможность перехода его в плывунное состояние при вторичном обводнении предъявляют повышенные требования к закладочному массиву и крепи выработок, проходимых в пределах рудного тела.

О серьезности проблемы обеспечения технологически удовлетворительного состояния горных выработок и безопасности труда горнорабочих свидетельствуют факты обрушений кровли и боков (рис.1) ортов и штреков, проходимых в нетронутом рудном массиве вне зон влияния других выработок, т.е. поддерживаемых в наиболее благоприятных условиях. Объемы одновременно обрушающихся пород кровли в ортах составляют десятки тонн, высота образующихся при этом полостей достигает 1,8-2,0 м и более. В результате сползания руды в боках выработок их ширина увеличивается в 1,5-2,5 раза.

При проходке вентиляционно-закладочного штрека лежачего бока (гор. –370 м) на его участке длиной около 25 м произошли вывалы общим объемом более 100 м^3 (330 т). В местах вывалов высота штрека в проходке увеличивалась до 6,7-6,8 м при проектной высоте равной 4,6 м, ширина – до 7,27 м при проектном значении 4,5 м.

Отрицательное влияние указанных геологических факторов на экономические показатели и конкурентоспособность рудника реально может быть нейтрализовано только за счет использования технологической схемы, обеспечивающей производительность труда не менее чем на 25-30 % выше уровня соответствующего показателя, достигнутого на лучших предприятиях – аналогах, использующих системы разработки с обрушением вмещающих пород.

Рассматриваемая концепция проектирования технологической схемы отработки запасов Яковлевской залежи основывается на следующих основных положениях:

- главным критерием приемлемости системы разработки рудного тела является исключение опасных деформаций и разрушений толщи пород, расположенной между горными выработками и водоносными горизонтами, при достижении которых возможно вторичное обводнение рудного массива в процессе ведения подготовительных и очистных работ;
- объективные предпосылки для безопасной и эффективной отработки запасов на участках залегания богатых железных руд создаются при выемке этажа в нисходящем порядке в сочетании с полной закладкой выработанного пространства твердеющими материалами;
- по экономическим и геомеханическим факторам целесообразной является отработка рудной залежи по ее простиранию в на-

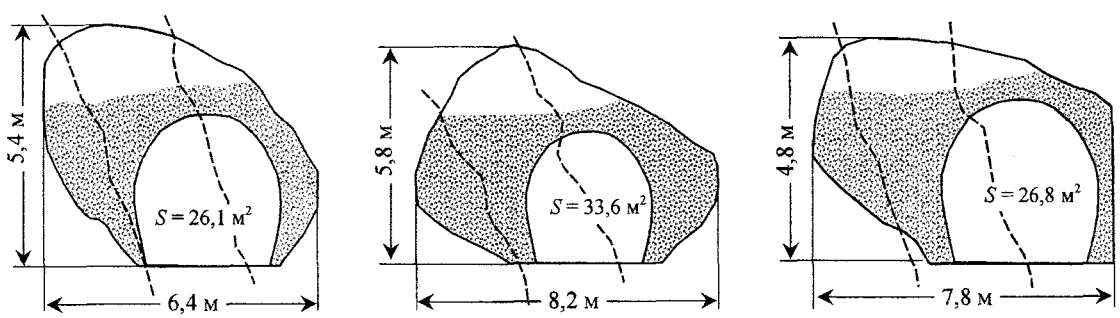


Рис.1. Характер обрушений кровли и боков откаточного орта № 2 при его проходке (гор. –425м)

правлении от одной из границ этажа к другой границе без оставления целиков полезного ископаемого между отдельными блоками (панелями);

• на начальном этапе отработки рудной залежи ширину и высоту очистных выработок следует принимать минимально допустимыми по влияющим факторам с последующей поэтапной корректировкой параметров технологической схемы, до достижения ими оптимальных значений, с учетом дополнительной информации о геологическом строении и особенностях поведения горного массива, получаемой в процессе развития подготовительных и очистных работ;

• применяемая технологическая схема должна быть легко адаптируемой как к изменениям горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ, так и к конъюнктуре рынка: при благоприятной ситуации на рынке позволять существенно увеличивать производственную мощность рудника, при неблагоприятной ситуации на рынке – работать с минимальными экономическими потерями.

При реализации предложенной концепции отработку рудной залежи рекомендуется начинать с участков, прилегающих к лежачему боку и характеризующихся запасами, представленными наиболее богатыми железно-слюдково-мартитовыми рудами.

С учетом вышеизложенного для проектной проработки и реализации рекомендуются следующие системы разработки: комбинированная; слоевая с выемкой полезного ископаемого в пределах слоя заходками.

Комбинированная система разработки рекомендуется в основном для отработки участков с рыхлыми железно-слюдковыми мартитовыми рудами.

Основная идея, реализуемая при использовании данной системы разработки, заключается в использовании фактора «неустойчивые руды», рассматривавшегося ранее как негативный фактор, для достижения высоких технико-экономических показателей очистной выемки, позволяющих нейтрализовать отрицательное влияние на уровень издержек производства закладочных работ и повысить тем самым конкурентоспособность продукции Яковлевского рудника.

Сущность комбинированной системы разработки заключается в следующем. Этаж делят на два подэтажа: верхний с высотой $h_в$ (рис.2) и нижний (основной) высотой h_0.

Верхний подэтаж отрабатывают по простиранию залежи с определенным опережением нижнего подэтажа. Нижний подэтаж отрабатывают с использованием технологических схем с самообрушением руды.

При отработке верхнего подэтажа над основными запасами, расположенными в нижнем подэтаже, из твердеющих смесей создается искусственная кровля (сплошной бетонный массив), назначением которой является:

• исключение прорывов воды из карбонового водоносного горизонта в зоны ведения горных работ при отработке запасов основного подэтажа;

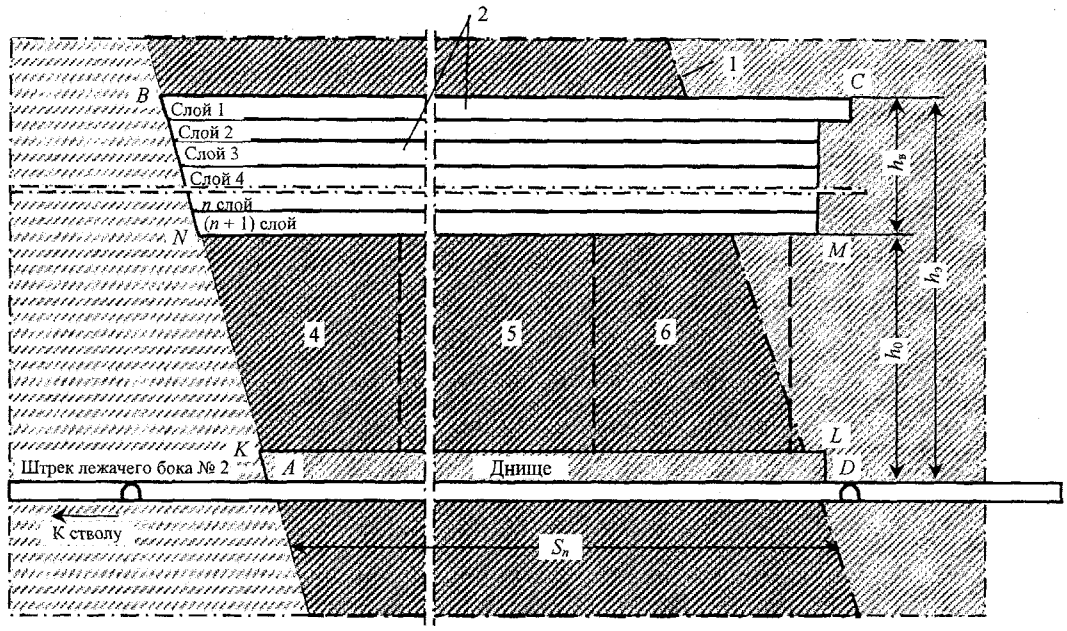
• создание условий для существенного (в несколько раз) снижения издержек производства при отработке запасов основного нижнего подэтажа.

Минимально необходимая толщина искусственной кровли (высота верхнего подэтажа $h_в$) определяется с учетом параметров системы разработки основного подэтажа и принимается больше предельной величины, при превышении которой не происходит ее разрушение в процессе отработки основного подэтажа.

При отработке верхнего подэтажа для проектной проработки рекомендуются два варианта (рис.2, 3).

При использовании первого варианта (см. рис.2) верхний подэтаж делят на слои, отрабатываемые последовательно сверху вниз с выемкой руды в пределах слоев заходками и полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Крепление заходок принимают в зависимости от физико-механических свойств руды и закладочного массива. Заходки в слоях верх-

а



б

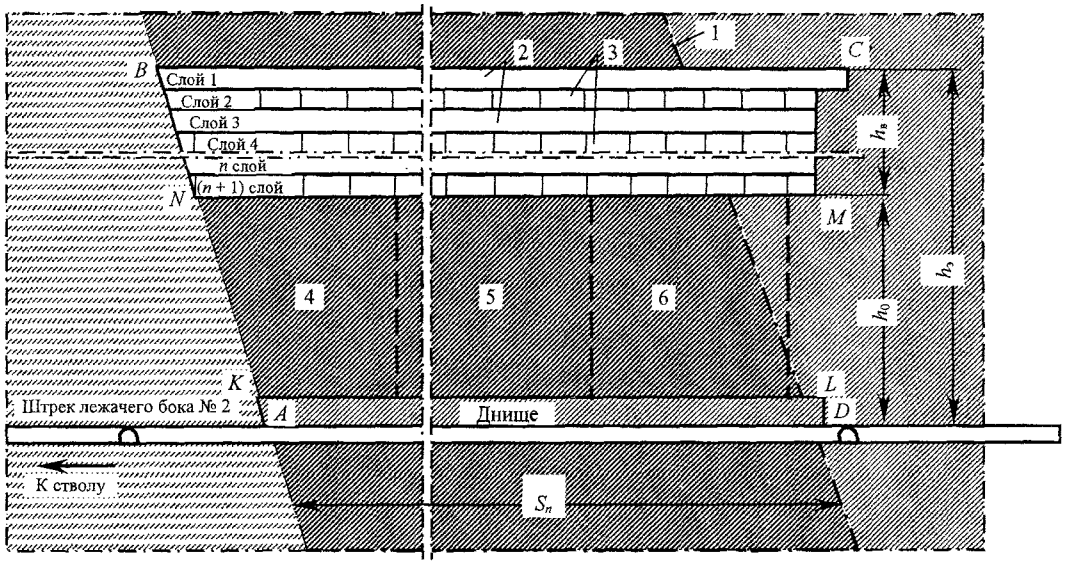


Рис.2. Принципиальная схема комбинированной системы разработки на участке богатых железно-слюдковых мартитовых руд с разделением верхнего подэтажа на горизонтальные (слабонаклонные) слои

1 – граница области рыхлых железно-слюдковых мартитовых руд; 2 – заходки, пройденные вкрест простирания рудного тела; 3 – заходки, пройденные по простиранию рудного тела

него подэтажа могут быть пройдены как вкрест простирания рудного тела (рис.2, *а*), так и комбинированно (рис.2, б). Существенное снижение затрат на крепление заходок и повышение безопасности очистных работ обеспечивается при комбинированной схеме проведения заходок, при которой заходки $(n + 1)$-го слоя располагают под углом β к продольным осям заходок предыдущего n-го слоя, большем определенного угла $\beta_{пр}$. Минимальные затраты на крепление заходок и максимальная безопасность работ обеспечиваются при величине угла $\beta = 90°$ (рис.2).

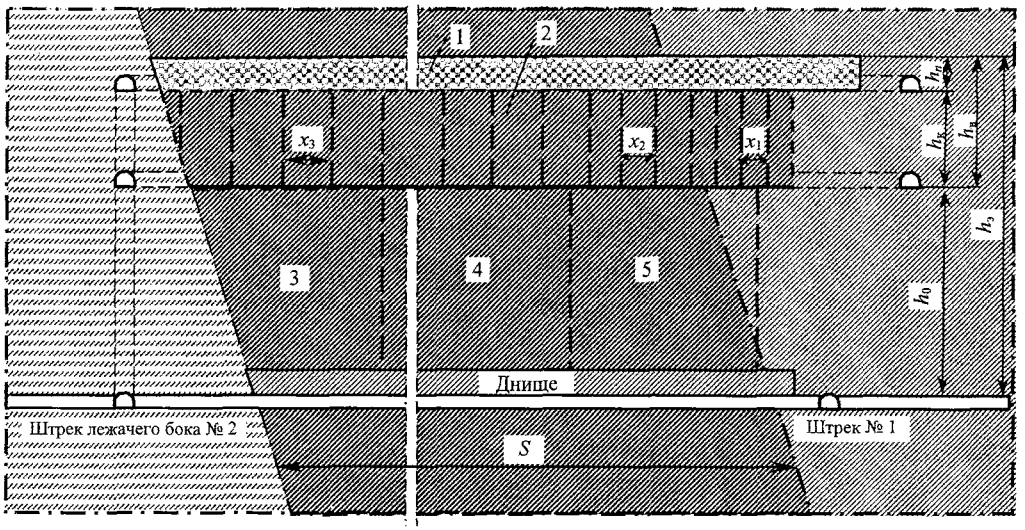


Рис.3. Вариант комбинированной системы разработки на участке богатых железно-слюдковых мартитовых руд с отработкой верхнего подэтажа камерами 2 под защитным железобетонным перекрытием 1; $x_1 - x_3$ – ширина камер, отрабатываемых с принудительным обрушением руды; $h_к$ – высота камер

Во втором варианте вначале в верхнем подэтаже отрабатывается первый горизонтальный (слабонаклонный) слой 1 (рис.3) мощностью $h_п$. Минимальные затраты на крепление заходок и максимальная безопасность работ обеспечиваются при проведении заходок первого слоя вкрест простирания рудного тела.

При отработке первого слоя создается бетонное перекрытие 1 (рис.3), основным требованием к которому является обеспечение безопасности горных работ и создание условий для повышения эффективности отработки запасов расположенной ниже части первого подэтажа.

В части верхнего подэтажа высотой $h_к$ (рис.3), расположенной под защитным перекрытием, могут быть использованы известные варианты систем разработки [1-3] с принудительным обрушением руды в камерах буровзрывными работами и полной закладкой выработанного пространства твердеющими материалами. Целесообразность использования того или иного варианта определяется в результате их технико-экономического сравнения.

Ширина и длина камер определяются из условия исключения опасных деформаций бетонного перекрытия, созданного при отработке слоя 1. Высота камеры $h_к$ принимается меньше предельного значения вертикального обнажения камеры $h_{к.пр}$, при превышении которого не обеспечивается устойчивость боков камер до их полной закладки твердеющими смесями.

Учитывая специфические горно-геологические условия Яковлевской залежи, рекомендуется первую камеру отрабатывать с минимально возможными (по условиям безопасного применения оборудования) размерами, в дальнейшем принимать параметры камер с учетом опыта отработки первой и последующих камер.

При комбинированной системе разработки (рис.2 и 3) нижний подэтаж высотой h_0 разделяется на блоки (4-6 на рис.2, 3-5 на рис.3), которые отрабатывают путем самообрушения руды, осуществляемого в результате подсечки основания блока. Выпуск руды на этажном откаточном горизонте происходит под действием силы тяжести самой руды.

Размеры блоков, очередность их отработки и закладки выработанных пространств, требования к закладочным материалам определяются из следующих условий:

• исключения опасных деформаций в закладочном массиве, созданном при отра-

ботке верхнего подэтажа, которые могут привести к разрушению этого массива;

• обеспечения самообрушения руды в пределах блока;

• исключения неуправляемого разрушения стенок (боков) блока при выпуске руды.

С целью обеспечения безопасности работ, эффективного выпуска самообрушившейся руды и технологически удовлетворительного состояния нарезных выработок откаточного горизонта, проходимых в рудах с невысокими прочностными характеристиками, в нижней части основного подэтажа (рис.2 и 3) между горизонтом подсечки *KL* и откаточным горизонтом *AD* рекомендуется создавать бетонное днище.

В условиях отработки малопрочных руд днище целесообразно выполнять в виде бетонных траншей, проходимых вдоль длинной стороны блока. Выпуск руды может осуществляться через выпускные окна в почве траншейного штрека в рудоспуски, заканчивающиеся люковыми затворами или непосредственно на почву погрузочных ортов, откуда руда погрузочной машиной загружается в транспортные сосуды (самоходные вагоны, автосамосвалы) или транспортируются погрузочно-транспортными машинами ковшового типа.

Использование комбинированной системы разработки на участке богатых железных руд создает объективные предпосылки для:

• достижения максимально возможной в подземных условиях производительности труда;

• резкого снижения издержек производства, что связано с существенным уменьшением объемов горно-подготовительных работ при отработке основного подэтажа и затрат на закладку;

• оперативного реагирования на конъюнктуру рынка;

• обеспечения безопасности труда горнорабочих.

Слоевая система разработки горизонтальными (слабонаклонными) слоями рекомендуется для отработки участков, где невозможно применение рассмотренной комбинированной системы разработки.

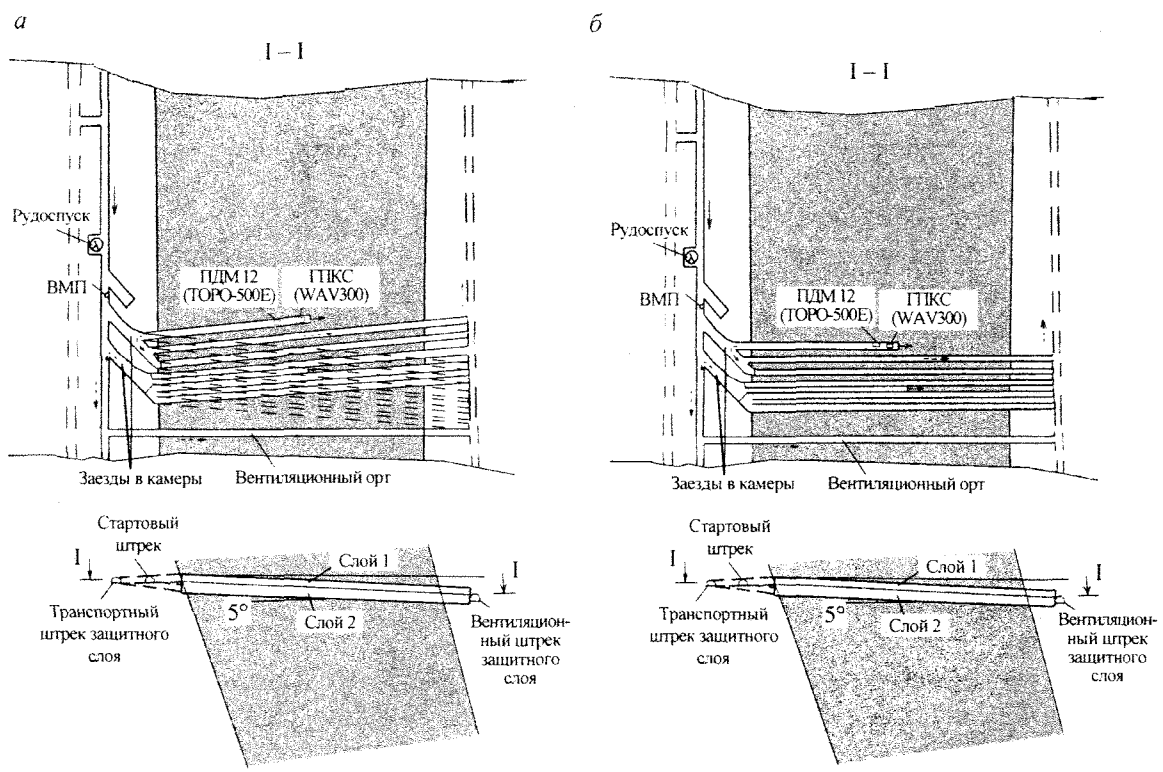


Рис.4. Принципиальные схемы отработки слоев при штрековой подготовке с групповыми заездами: *а* – диагональными наклонными заходками; *б* – параллельными наклонными заходками

При реализации данной системы разработки этаж по всей его высоте делят на слои, последовательно отрабатываемые в нисходящем порядке. В пределах слоев руда отрабатывается заходками с полной закладкой выработанного пространства твердеющими материалами. Для проектной проработки рекомендованы два варианта данной системы разработки:

- с комбинацией штрековой и ортовой подготовки слоев, предусматривающей проведение заходок в каждом последующем слое в направлении перпендикулярном направлению проходки заходок вышерасположенного слоя (верхний подэтаж, рис.2);
- при штрековой подготовке слоев и проведением очистных заходок в соседних слоях под определенным углом друг к другу (рис.4).

Выводы

1. Принимая во внимание уникальные по своей сложности горно-геологические и гидрогеологические условия залегания Яковлевской залежи, предопределяющие необходимость ведения горных работ по фактору «безопасность» с полной закладкой выработанного пространства твердеющими материалами, конкурентоспособность Яковлевского рудника может быть реально обеспечена только при использовании технологий, обеспечивающих снижение издержек производства не менее чем на 30-35 % по сравнению с соответствующим показателем, достигаемым на лучших рудниках – аналогах при системах разработки с обрушением вмещающих пород.

2. Основным критерием приемлемости системы разработки рудного тела в условиях залегания Яковлевской залежи является исключение опасных деформаций и разрушений толщи пород, расположенной между горными выработками и водоносными горизонтами, при достижении которых возможно вторичное обводнение рудного массива в процессе ведения очистных работ.

3. Использование предлагаемой комбинированной системы разработки на участках богатых железных руд позволяет снизить издержки производства до минимально возможных в подземных условиях и создает объективные предпосылки для обеспечения длительной конкурентоспособности Яковлевского рудника. По достигаемым результатам технологии, основанные на использовании данной системы разработки, могут быть отнесены к разряду «прорывных» высокоэффективных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Именитов Е.Р.* Технология, механизация и организация производственных процессов при подземной разработке рудных месторождении. М.: Недра, 1973.

2. *Кадолба Н.Н.* Технические решения по строительству Яковлевского рудника / Н.Н.Кадолба, В.М.Субботин, В.А.Нелаев, А.И.Лябах, С.Н.Журин, А.А.Жидков // Горный журнал. 1996. № 1-2.

3. *Каплунов Р.П.* Подземная разработка рудных и россыпных месторождений / Р.П.Каплунов, И.А.Черемушенцев. М.: Высшая школа, 1966.