

УДК 622:002.2

Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, С.А. Корнеев

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ТИПИЗАЦИЯ ГОРНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ *

Рассмотрено комбинирование технологических процессов различных способов добычи в единой горнотехнической системе, являющееся перспективным направлением в области комплексного освоения недр.

Ключевые слова: геотехнология, рудные месторождения, горнотехнические системы, способ вскрытия, блоки вскрытия и очистной выемки.

Семинар № 18

**D.R. Kaplunov, M.V.Rylnikova,
S.A. Korneev**
**SYSTEMATIZATION AND
TIPIFICATION OF MINING SYSTEMS
OF COMBINED GEOTECHNOLOGY**

It is considered the combination of technological processes of various ways of extraction in the integrated mining system, being a perspective direction in the area of complex bowels development.

Key words: geotechnolgy, ore deposits, mining systems, way of opening, blocks of opening and clearing excavation.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-05-00675-а

Истощение балансовых запасов крупных рудных месторождений в условиях постоянного роста потребления вызывают необходимость нового научно-методического подхода к решению проблем проектирования комплексного освоения и сохранения недр Земли, отвечающего требованиям повышения полноты и комплексности использования сырья. Генетическое многообразие рудных месторождений, условий их залегания,

географического расположения, свойств руд, вмещающих пород и сопутствующих техногенных образований, делают осваиваемые их системы исключительно сложными. Горнотехнические системы – это совокупность горных конструкций и технологических подсистем во взаимодействии с вмещающими их участками недр. Проектирование таких систем, выбор геотехнологических параметров разработки месторождений и соответствующего конструктивного оформления представляет, с учетом неопределенности исходной информации и длительного срока реализации проектных решений, исключительно ответственную по своим последствиям задачу.

Основной тенденцией развития теории проектирования горнотехнических систем в мире является разработка типовых технологических и технических решений в виде отдельных технологических и горнотехнических модулей, которые при соответствующей адаптации к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям месторождений могут быть использованы при составлении

различного рода проектов развития горных работ.

Решение при проектировании вопросов комплексного освоения недр базируется на реализации двух неотъемлемых положений – это безотходное (малоотходное) использование всех вовлекаемых в ходе освоения участка недр георесурсов и извлечение их рациональным сочетанием технологических процессов и оборудования различных способов добычи с утилизацией отходов горно-металлургического производства в закладке выработанного пространства, использовании их при рекультивации территорий, в промышленном и дорожном строительстве, при создании горных объектов нового производственного назначения. Сочетание процессов различных способов добычи при комбинированной геотехнологии является обязательным условием решения вышеперечисленных задач.

Создание горнотехнических систем на базе комбинации традиционного открытого и подземного способов добычи с процессами физико-химической геотехнологии на основе кучного и подземного выщелачивания ценных компонентов из бедных руд и техногенного сырья, в особых геомеханических и гидрологических условиях с процессами гидродобычи, а в отдельных случаях для отработки маломощных рудных тел и жил со специальными геотехнологиями извлечения рудного керна при бурении скважин большого диаметра обеспечивает наиболее полное вовлечение всех природных и техногенных георесурсов в эффективное промышленное использование.

При этом, наряду с эксплуатацией балансовых запасов месторождения физико-техническими способами добычи (открытым, открыто-подземным и подземным), в разработку методом

подземного выщелачивания вовлекаются забалансовые залежи бедных руд сложного вещественного состава, методом кучного выщелачивания – бедные руды, размещенные в отвалах, и техногенные отходы горно-обогатительного и металлургического производства, методом гидродобычи обрабатываются рыхлые, легкоразрушаемые руды, а методом специально-выбуривания – выклинивающиеся, маломощные залежи ценных руд. В качестве активного рабочего агента в процессах выщелачивания используются минерализованные стоки, имеющие зачастую кислую или щелочную среду, что позволяет использовать их модификации с различными добавками в качестве растворителей извлекаемых из руд ценных компонентов. Попутное извлечение содержащихся в минерализованных стоках металлов и других элементов при переработке продуктивных растворов выщелачивания методами гидрометаллургии позволяет, с одной стороны, получить дополнительную товарную продукцию, с другой стороны, способствует очистке остатка промышленных стоков, свободного от технологического процесса, перед сбросом их в окружающую среду.

Основную часть балансовых запасов месторождений предпочтительно извлекать методами физико-технической геотехнологии – открытой, подземной или их сочетанием с последующей переработкой рудной массы на обогатительных фабриках. Повышение полноты выемки запасов природных руд, оставленных за контуром разработки, достигается путем рационального сочетания процессов и оборудования открытых и подземных горных работ, а для вовлечения в эксплуатацию особо сложных участков и освоения труднодоступных запасов – физико-химических и специ-

альных технологий, которые осуществляются с поверхности или из существующих выработок.

Использование выработанного пространства карьера, отработанных камер в виде технологического пространства для реализации процессов физико-химических или специальных технологий, применение для вскрытия запасов ранее пройденных открытых и подземных выработок, а минерализованных промышленных вод – в качестве активного растворителя ценных компонентов позволяет существенно повысить экономическую эффективность и экологичность горных работ, а также за счет этого снизить уровень кондиций на вовлекаемые в разработку природные и техногенные минеральные ресурсы. Обязательным условием комплексного освоения участка недр является также использование отходов в технологии закладки выработанного подземного пространства.

Для этого на основе анализа практики разработки рудных месторождений и перспектив развития геотехнологий в соответствии с требованиями комплексного освоения недр были разработаны и систематизированы типовые горнотехнические системы комплексного освоения рудных месторождений комбинированными геотехнологиями (таблица 1).

Типовые горнотехнические системы комбинированной физико-технологической и физико-химической геотехнологии включают следующие сочетания физико-технических способов добычи: открытый, подземный, открыто-подземный, выбуривание керна скважинной большого диаметра, гидродобыча и физико-химические методы – кучное выщелачивание на поверхности, в карьере и в подземных камерах, а также подземное и скважинное выщелачивание ценных ком-

понентов из рудного массива с возможностью их выдачи в продуктивном растворе для последующей гидрометаллургической переработки или с осаждением на других рудах с целью обогащения на месте залегания для добычи физико-техническими способами и выдачей в потоке рудной массы для пирометаллургического передела.

По количеству ярусов все горнотехнические системы комбинированной геотехнологии разделены на одно-, двух-, трех- и четырехъярусные. Ярус – участок месторождения, в пределах нижней и верхней отметки вскрываемый и подготавливаемый определенным способом: открытым, подземным, открыто-подземным, скважинным, либо их сочетанием. Способ формирования, вскрытия и подготовки технологического пространства в типовых горнотехнических системах приведен во второй графе систематизации.

Трехзначный шифр горнотехнологической системы (ГТС), указанный в третьей графе, обозначает: первое число – количество ярусов; второе число – номер способа формирования единого технологического пространства в данном ярусе типовой горнотехнологической системы; третье число соответствует номеру сочетания геотехнологий в данной типовой ГТС.

Возможные сочетания геотехнологий в одно-, двух-, трех- и четырехъярусных горнотехнологических системах представлены в 4 графе систематизации. В 5 графе указан способ изменения структурного состояния рудного массива. Этот признак является одним из основных для реализации физико-технологической геотехнологии и может иметь место при физико-химической геотехнологии. Структурное изменение состояние массива

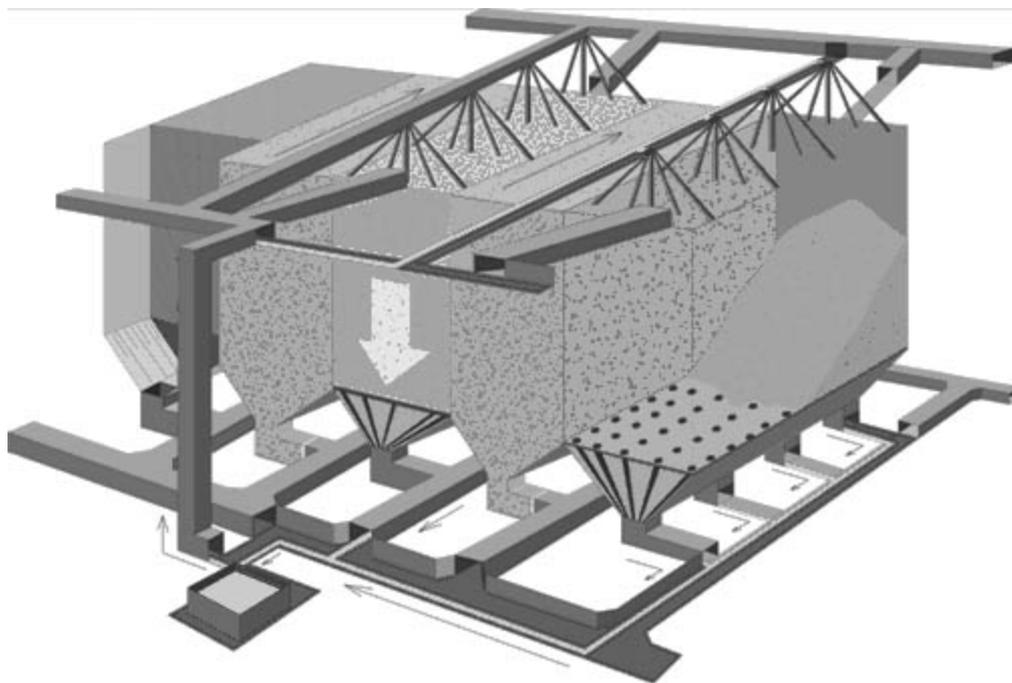


Рис. 1. Одноярусная горнотехническая система с твердеющей закладкой и выщелачиванием техногенного сырья в камерах второй очереди

может приводить к его полному разрушению путем взрыва, гидроразрушения или механического воздействия, а так же к раскрытию трещин путем применения специальных способов взрывания или при использовании поверхностно-активных веществ.

Способ изменения агрегатного состояния массива характерен для физико-химической геотехнологии. Здесь важно отметить, что при гидродобычи, также как и в технологиях выщелачивания и растворения, образуются жидкие потоки, но они представлены пульпой, в которой рудная масса находится во взвешенном состоянии. Таким образом, полезное ископаемое при гидродобыче не меняет фазового состояния, именно поэтому в классификации способов добычи эта геотехнология отнесена к физико-технической.

Состояние технологического пространства, приведенное в 7 графе, с одной стороны, определяет одну из основных характеристик горнотехнической системы – способ управления состоянием горного массива, с другой стороны – условия реализации физико-химических технологий. В последней графе указаны требования, предъявляемые технологической схемой к качеству осваиваемого участка недр.

В общей сложности разработано 35 типовых горнотехнических систем комбинированной геотехнологии.

Одноярусные горнотехнические схемы предполагают возможность развития горных работ в пределах одного яруса – открытого или подземного. При этом реализуются сочетания этих базовых способов добычи с кучным выщелачиванием в карьере,

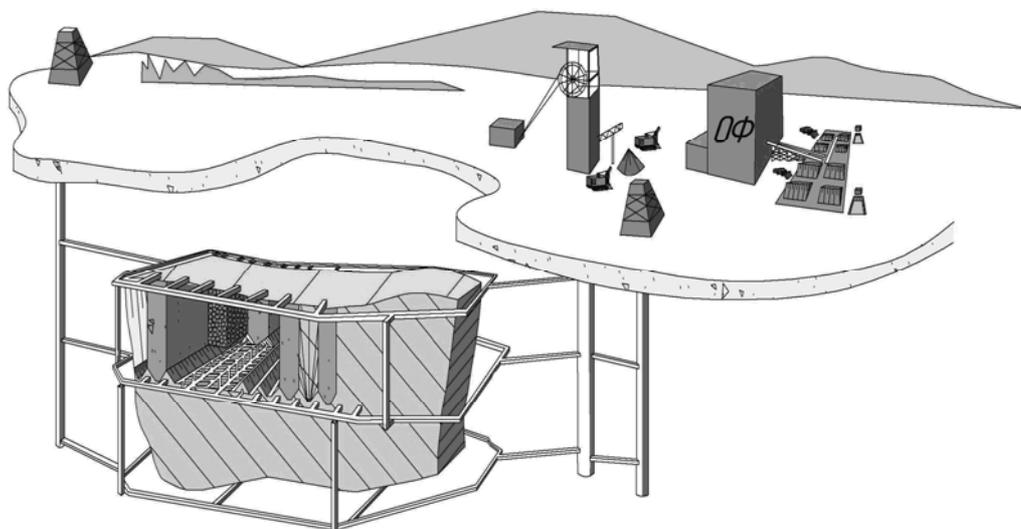


Рис. 2 Одноярусная горнотехническая система с кучным выщелачиванием отходов обогащения на поверхности и в камерах второй очереди

в подземных камерах второй очереди или в зоне обрушения, с подземным выщелачиванием бедных либо мало-мощных прибортовых рудных залежей, со специальной технологией добычи богатых руд выбуриванием скважин большого диаметра либо гидродобычей. Пример одноярусной горнотехнической системы (шифр 1.2.1.) с кучным выщелачиванием техногенного сырья в камерах второй очереди представлен на рис. 1.

Отработка запасов ведется подземным способом с твердеющей закладкой камер первой очереди и днища камер второй очереди. После твердения закладочного массива в них размещается техногенное сырье для кучного выщелачивания ценных компонентов. В твердеющем массиве в днищах камер второй очереди бурятся скважины для сбора продуктивных растворов. Подача растворов в камеру осуществляется через сеть скважин, пройденных из подземных горных выработок вентиляционно-закладочного горизонта. Циркуляция

раствора осуществляется при помощи насоса через вентиляционно-ходовой восстающий.

В представленной на рис. 2 одноярусной горнотехнической системе кеки кучного выщелачивания на поверхности рудника используются для приготовления твердеющего закладочного массива, формируемого в камерах первой очереди. На промплощадке рудника организовывается участок выщелачивания хвостов обогащения, бедных руд или отходов сепарации.

Применение одноярусной горнотехнической системы, представленной на рис. 3, возможно при отработке мощных, вытянутых в плане месторождения с большой площадью основания карьера.

При доработке месторождения в дне карьера формируется штабель из отходов обогащения производства или бедных руд из отвалов. В основании карьера формируются прудки с гидроизоляцией под продуктивные растворы. На борту карьера устанавли-

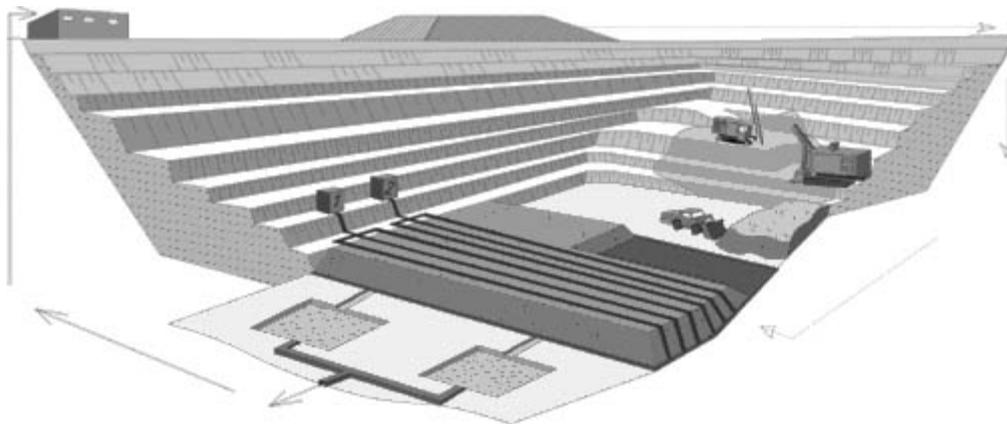


Рис. 3 Одноярусная горнотехническая система с кучным выщелачиванием бедных руд или отходов обогащения в карьере

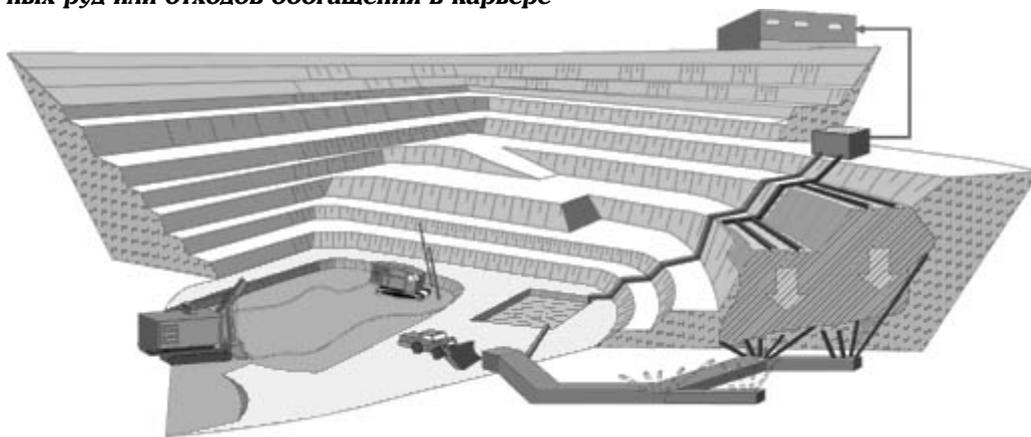


Рис. 4 Одноярусная горнотехническая система с подземным выщелачиванием прибортовых запасов

ливаются емкости для подачи растворов на штабель. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на гидрометаллургический комплекс, находящийся на промплощадке рудника.

При экономической нецелесообразности вести отработку прибортовых запасов открытым или подземным способом возможно применение типовой горнотехнической системы с подземным выщелачиванием запасов за контуром в борту карьера (рис. 4). В основании карьера формируются зумпфы с гидроизоляцией для сбора

продуктивных растворов. Сбор продуктивных растворов осуществляется через сеть скважин пройденных из подземных горных выработок. На борту карьера устанавливаются емкости для подачи растворов в оросительную систему, уложенную на бермах карьера. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на гидрометаллургический комплекс их переработки, находящийся на промплощадке рудника.

Двух, трех и четырехъярусные горнотехнические системы предпола-

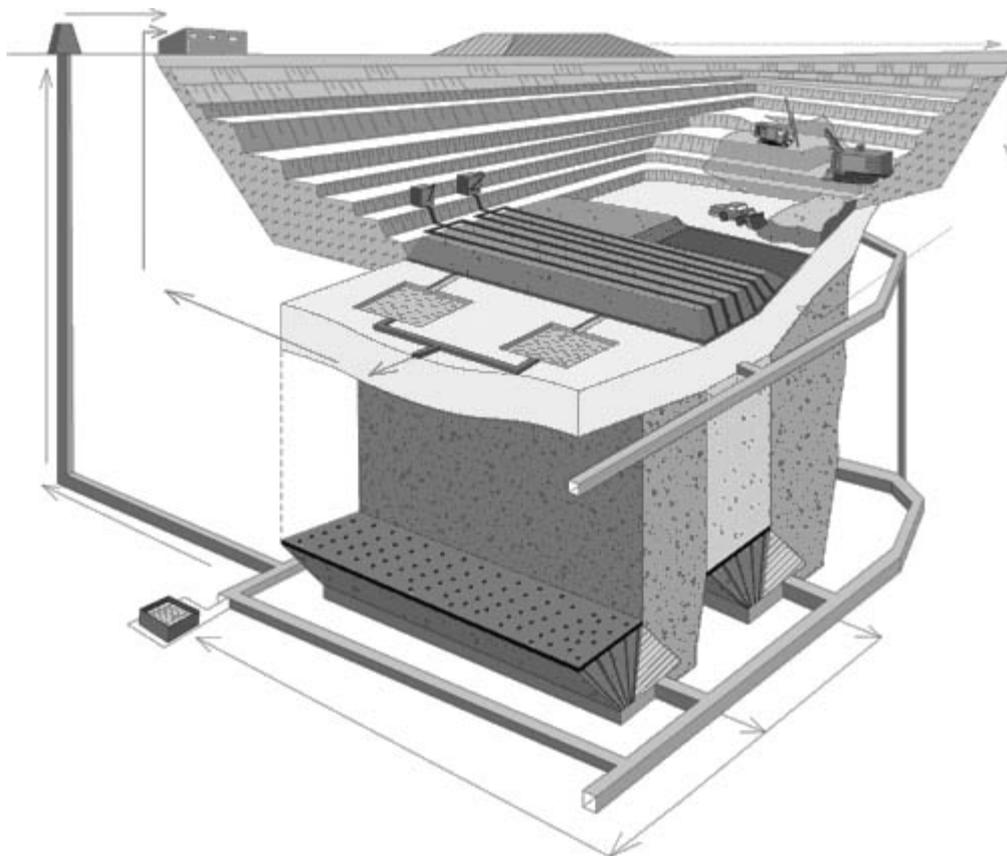


Рис. 5. Двухъярусная открыто-подземная горнотехническая система с кучным выщелачиванием в карьере и в подземных камерах II очереди

гают сочетание открытого, открыто-подземного, подземного и скважинного способа вскрытия и подготовки запасов при сочетании традиционных физико-технических геотехнологий с кучным, подземным и скважинным выщелачиванием, в отдельных случаях с гидродобычей либо специальным выбуриванием керна скважин.

Применение двухъярусной горнотехнической системы (рис. 5) возможно при совмещенной отработке месторождения открытым и подземным способом. При отработке карьера параллельно создается искусственная потолочина подземным способом. При доработке карьера в его основании формируется штабель из отходов

горного производства или перемещение некондиционных руд из отвалов предприятия. В искусственном массиве формируются прудки с гидроизолирующей под продуктивные растворы. На борту карьера устанавливаются емкости для подачи растворов на штабель. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на комплекс переработки находящийся на промплощадке рудника. Направление движения продуктивных растворов выщелачивания указано на рисунке 5 стрелками. Нижележащие запасы отработываются традиционно подземным способом или с применением технологий кучного выщелачивания в камерах второй очереди. По мере их

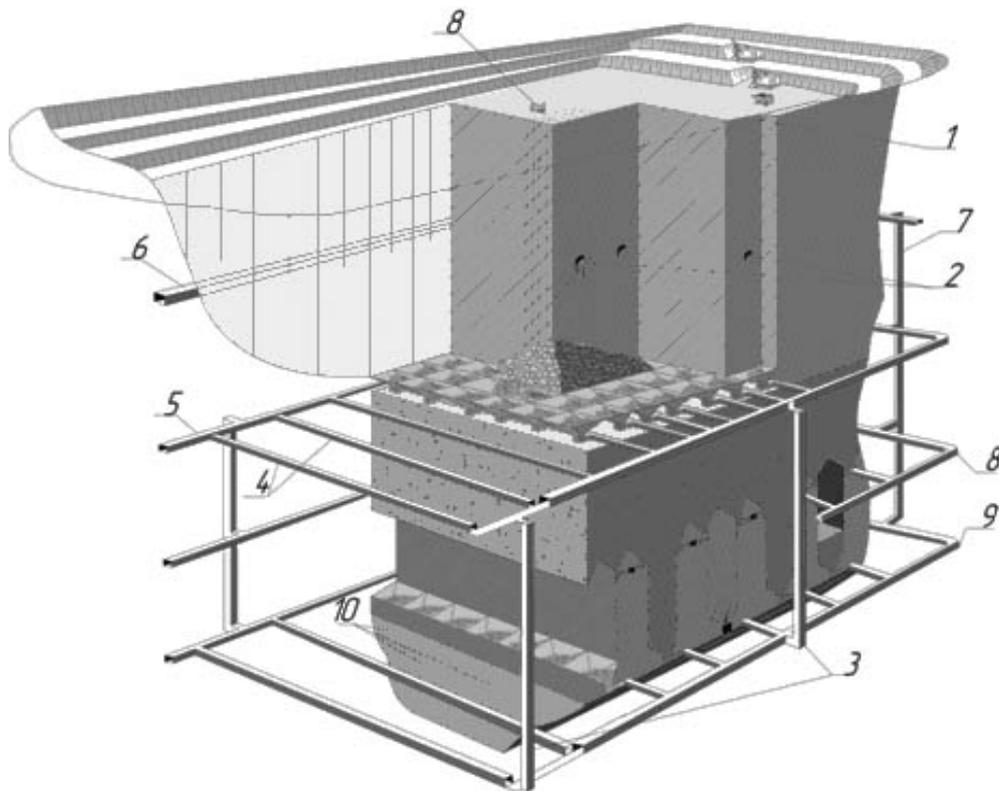


Рис. 6. Четырехъярусная горнотехническая система с последовательной отработкой запасов открытого, открыто-подземного, подземного и скважинного ярусов: 1 – дно карьера, 2 – выработки бурового горизонта в ОПЯ, 3 – рудоспуски, 4 – вентиляционно-закладочный орт, 5 – кольцевой штрек в основании ОПЯ, 6 – подэтажный штрек ОПЯ, 7 – вентиляционно-ходовой восстающий, 8 – кольцевые штреки верхнего и нижнего горизонты шахты

отработки в очистном пространстве остаются отходы выщелачивания, которые выполняют роль закладки. Днище камер оборудуются скважинами для сбора продуктивных растворов. Подача растворов в камеру осуществляется через сеть скважин пройденных из подземных горных выработок вентиляционно-закладочного горизонта.

В представленной на рис. 6 четырехъярусной горнотехнической системе отработка запасов мощного месторождения с большой глубиной распространения ведется карьером, открыто-подземным ярусом, подзем-

ным способом системами разработки с твердеющей закладкой. Доработка выклинивающихся вниз запасов осуществляется с нижнего подземного горизонта с использованием системы откачных и закачных скважин. По закачным скважинам в рудный массив подается растворитель, а по откачным с помощью насосов выдается продуктивный раствор.

Реализация представленных в таблице горнотехнических систем связана с переходом на комплексное проектирование поэтапной отработки месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки

202 Таблица 1
Классификация типовых одноярусных горно-технических систем комбинированной геотехнологии

Кол-во ярусов	Способ образования технологического пространства	Шифр ГТС	Характеристика сочетания геотехнологий	Способ изменения структурного состояния массива руды	Способ изменения агрегатного состояния полезного ископаемого	Состояние Технологического пространства	Требования к качеству сырья
Одноярусные	Открытый	1.1.1.	Открытая разработка –	Буровзрывной или механический способ	Не изменяется	Открытое или заполнение вскрышными породами, бедными рудами или техногенными отходами	Кондиционные руды для открытой добычи
			Кучное выщелачивание	Дробление, грохочение, окомкование	Выщелачивание или растворение		Бедные руды и техногенные отходы
		1.1.2.	Открытая разработка -	Буровзрывной или механический способ	Не изменяется	Открытое	Кондиционные руды для открытой добычи
			Подземное выщелачивание	Взрывание и разрушение, взрывание и сотрясение с раскрытием трещин	Выщелачивание или растворение	Подготовленный для выщелачивания рудный массив	Бедные руды в бортах карьера
		1.1.3.	Открытая разработка	Буровзрывной или механический способ	Не изменяется	Открытое	Кондиционные руды для открытой добычи
			Выбуривание скважин большого диаметра	Механический	Не изменяется	Открытое или заполнение твердеющей закладкой	Выклинивающиеся в бортах залежи богатой руды

	Подземный	1.2.1.	Подземная разработка	Буровзрывной способ или механический	Не изменяется	открытое, заполнение обрушенными породами или закладкой	Кондиционные руды для подземной добычи
			Кучное выщелачивание в камерах второй очереди, на поверхности и в зоне обрушения	грохочение, окомкование	Выщелачивание или растворение	Заполненное техногенными отходами или бедными рудами	Бедные руды в зоне обрушения, техногенное сырье, размещенное в подземные камеры
		1.2.2.	Подземная разработка	Буровзрывной способ или механический	Не изменяется	открытое, заполнение обрушенными породами или твердеющей закладкой	Кондиционные руды для подземной добычи
			Подземное выщелачивание	Взрывание и разрушение, взрывание и сотрясение с раскрытием трещин	Выщелачивание или растворение	Подготовленный для выщелачивания рудный массив	Кондиционные и бедные руды в выклинках
		1.2.3.	Подземная разработка	Буровзрывной способ или механический	Не изменяется	Заполненное обрушенными породами или закладкой	Кондиционные руды для подземной добычи
			Гидродобыча	Гидроразрушение	Не изменяется	Заполненное пульпой	Рыхлые, низкопрочные и неустойчивые руды

запасов, предусматривающей оптимизацию порядка вовлечения отдельных участков месторождения в эксплуатацию соответствующими способами добычи.

Обязательным условием достижения требуемой эффективности и комплексности освоения месторождений руд сложного вещественного состава является установление в базовом проекте на разработку месторождения не столько границ, сколько условий применения комбинированных геотехнологий в их различных сочетаниях. При этом реализуется системный подход к разработке и формированию стратегии освоения месторождения, при котором каждая из проектных и технологических задач рассматривается в проекте как элемент единой горнотехнической схемы предприятия в целом, а эффективность частных проектных решений, например, связанных с освоением отдельных рудных залежей или техногенных образований, оценивается с позиции обеспечения максимальной эффективности всей технологической схемы в рамках единого горноперерабатывающего комплекса.

Для реализации типовых горнотехнических систем (ГТС) комбинированной геотехнологии разрабатывается два горнотехнических блока – вскрытия и очистной выемки.

Типовые горнотехнические системы вскрытия рудных месторождений комбинированным способом включают геотехнологические модули:

- ГТС вскрытия при комбинированной разработке рудных месторождений, понятие, классификация;
- Типовые конструкции ГТС вскрытия и область их применения;
- Типовые схемы движения грузопотоков;

- Типовые сечения вскрываемых выработок;

- Характеристика типовых схем механизации проходческих работ;

- Типовые схемы вентиляции подземных рудников;

- Схемы механизации транспортных и подъемно-транспортных работ;

- Характеристика перегрузочных узлов;

- Типовые схемы концентрационных горизонтов;

- Методика оценки и выбора типовых ГТС вскрытия рудных месторождений комбинированным способом.

Типовые горнотехнические системы очистной выемки рудных месторождений представлены геотехнологическими модулями:

- ГТС комбинированной разработки рудных месторождений и их классификация;

- Типовые конструкции ГТС последовательной открыто-подземной разработки;

- Типовые конструкции ГТС совместной открыто-подземной разработки;

- Типовые конструкции ГТС последовательно-параллельной открыто-подземной разработки;

- Типовые конструкции ГТС на базе сочетаний открытых и подземных работ с выщелачиванием;

- Типовые конструкции ГТС на базе сочетаний открытых и подземных работ с гидродобычей;

- Типовые конструкции ГТС на базе сочетаний открытых и подземных работ с доработкой запасов выбуриванием скважин;

- Способы управления состоянием массива;

- Типовые технологические схемы формирования потоков минерального сырья;

- Направление и порядок отработки запасов этажа, панели, блока;
- Типовые схемы подготовки запасов этажа, панели, блока;
- Типовые схемы проведения нарезных выработок;
- Схемы механизации подготовительно-нарезных работ;
- Типовые сечения подготовительно-нарезных выработок;
- Типовые паспорта буровзрывных работ при проходке горизонтальных, вертикальных и наклонных выработок;
- Схемы проветривания проходческих забоев;
- Типовые виды и параметры крепи подготовительно-нарезных выработок;
- Способы и схемы отбойки камерных запасов;
- Схемы механизации буровых и погрузочно-доставочных работ;
- Схемы проветривания очистных забоев;
- Виды и формы целиков;
- Виды и способы закладочных работ;
- Способы локализации и погашения пустот;

- Методика оценки и выбора типовых горнотехнических систем разработки рудных месторождений комбинированным способом.

Эффективное функционирование горнотехнических систем с типовыми схемами вскрытия, подготовки массива, управления качеством гетерогенных и разнофазовых потоков минерального сырья, разнообразными схемами механизации горных работ возможно при индивидуальном подходе в разработке каждого месторождения, выборе горнотехнической системы на основе анализа горно-геологических и горнотехнических условий месторождения, оптимизационном подборе необходимых технологических параметров регулирования процессов добычи с определением последовательности реализации и возможности совмещения физико-технических и физико-химических геотехнологий в едином очистном пространстве. Комбинирование технологических процессов различных способов добычи в единой горнотехнической системе является перспективным направлением в области комплексного освоения недр. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Каплунов Д.Р. – чл.-корр. РАН,

Рыльникова М.В. – профессор, доктор технических наук, ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru

Корнеев С.А. – МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, mgtu@magtu.ru

