© Ю.Г. Антипин, 2007

УДК 622.273.2

Ю.Г. Антипин

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕР НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 17

На зарубежных и отечественных рудниках, применяющих технологию камерной выемки с твердеющей закладкой, наибольшее распространение получили следующие геометрические параметры: высота - 60÷80, ширина – 10÷20 и длина 30÷50 метров. Основным направлением повышения эффективности данной технологии является увеличение геометрических параметров камеры в 1,5-2 раза и более. Технология камерной выемки с увеличенными геометрическими параметрами (УГП) имеет не только достоинства, но и существенные недостатки, которые снижают ее эффективность и ограничивают область применения. Поэтому изыскание и разработка эффективной технологии камерной выемки с УГП для отработки запасов уральских медно-колчеданных месторождений является актуальной задачей. Для определения основных направлений совершенствования технологии камерной выемки с твердеющей закладкой необходимо исследовать характер и степень влияния УГП камеры на технико-экономические показатели (ТЭП) ее отработки.

На Гайском подземном руднике существует опыт и есть возможность отрабатывать камеры с УГП, поэтому исследование влияния последних на ТЭП проводилось к условиям выше указанного рудника. В результате увеличения геометрических параметров очистных камер оценивалось изменение следующих технико-экономических показателей их отработки:

- удельного объема и удельных затрат на подготовительно-нарезные работы (ПНР);
- качества дробления руды (выхода негабарита);
- производительности самоходного оборудования на выпуске и доставке руды из камеры;
- потерь и разубоживания руды.

Для установления закономерностей изменения выше перечисленных показателей в зависимости от увеличения ширины ($B_к$), длины ($L_к$) и высоты ($H_к$) очистной камеры были использованы методы исследований, включающие аналитические расчеты, натурные наблюдения, анализ и статистическую обработку данных и экономико-математическое моделирование.

Пределы изменения геометрических параметров очистных камер соответствуют реальным параметрам, наиболее широко применяющимся на отечественных и зарубежных рудниках, и приведены в таблице.

Стоимость ПНР, проводимых по породе и руде, существенно отличается, и отношение их объемов различно в зависимости от того, какой геометрический параметр увеличивается. Поэтому для объективной оценки эффективности технологического процесса проведения

Наименование геометрического параметра	Уровень значений геометрических параметров			Интервал варьирования
	нижний	базовый	верхний	
Ширина	15	20	40	5
Длина	20	40	120	20
Высота	80	80	240	27

ПНР необходимо установить влияние УГП камеры на удельный объем ($\Delta V_{ПНР}$) и удельные затраты ($\Delta C_{ПНР}$) ПНР.

Анализ результатов исследований показал, что максимальное снижение $\Delta V_{ПНР}$ происходит при увеличении $B_к$, а минимальное – при увеличении $H_к$. Так, при увеличении $B_к$ с 20 до 30 м $\Delta V_{ПНР}$ снижается на 29 % для камер I очереди (на 31 % для камер II очереди), при увеличении $L_к$ с 40 до 60 м $\Delta V_{ПНР}$ снижается на 21 % (22 %) и при увеличении $H_к$ с 80 до 160 м $\Delta V_{ПНР}$ снижается всего на 1 % (8 %).

Максимальное снижение $\Delta C_{ПНР}$ достигается при увеличении $L_к$.

При увеличении одновременно двух или трех геометрических пара-метров камеры значения показателей значительно снижаются по сравнению с увеличением одного только геометрического параметра. При одновременном увеличении $B_к$ до 30 м и $L_к$ до 60 м при отработке камер I очереди удельные затраты на ПНР снижаются на 53 % (рис. 1).

Применение технологии камерной выемки с УГП предполагает повышение объема очистной камеры в несколько раз. Это существенно уменьшит количество очистных камер, одновременно находящихся в эксплуатации, а следовательно, сократит фронт работ на выпуске и доставке отбитой руды. Для сохранения на прежнем уровне производственной мощности рудника возникает необходимость значительного увеличения интенсивности выпуска отбитой руды

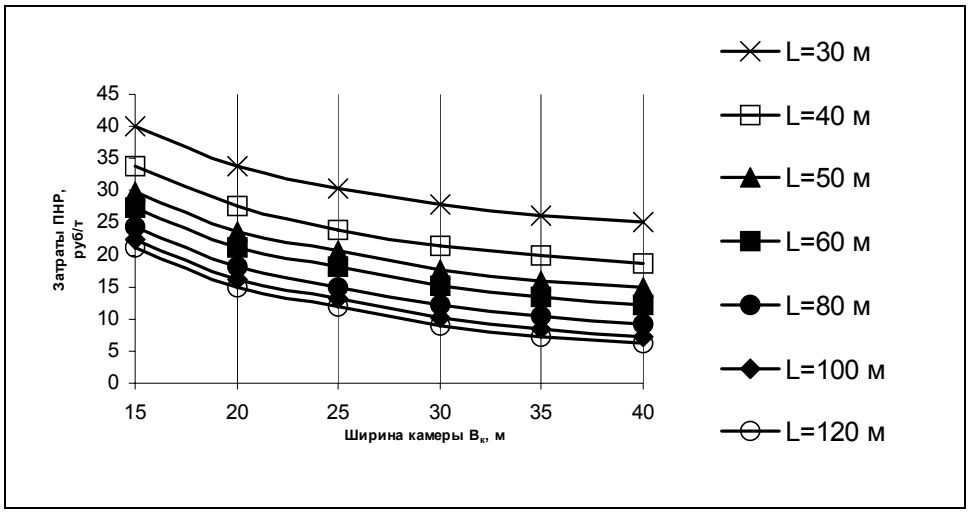

Рис. 1. Зависимость удельных затрат на ПНР от ширины камеры при различной ее длине

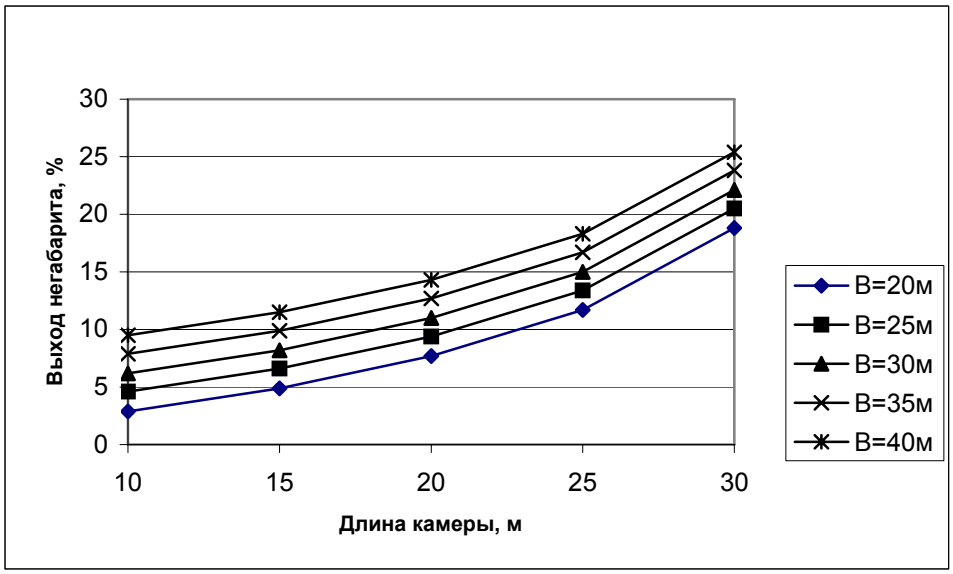

Рис. 2. Зависимость выхода негабарита η от длины камеры при различной ее ширине

из камеры. На интенсивность выпуска отбитой руды из камеры существенно влияют качество дробления руды, длина доставки и состав комплекса самоходного оборудования (СО).

Технология камерной выемки с твердеющей закладкой на Гайском руднике предусматривает веерное расположение взрывных скважин и использование на выпуске и доставке руды самоходного оборудования. При данном способе отбойки выход негабарита составляет около 15% для первичных камер и более 20% для вторичных. Анализ данных отработки камер позволил получить зависимости выхода негабарита от длины камеры при различной ее ширине. При увеличении $L_к$ с 20 до 30 м при $B_к$ = 30 м выход негабарита повысился с 11 до 22% (рис. 2).

Высокий выход негабарита объясняется тем, что с увеличением $B_к$ и $L_к$ соответственно увеличивается глубина взрывных скважин и снижается эффект встречного взрывания. Следовательно, интенсивность выпуска руды из камеры с увеличением $B_к$ и $L_к$ будет снижаться.

На основании проведенных исследований получены зависимости сменной производительности на выпуске и доставке руды от длины доставки ($L_д$), выхода негабарита (η) и состава комплекса СО (рис. 3). Из графика видно, что с уменьшением η с 15 до 5% сменная производительность ПДМ Торо-400 (при $L_д$ = 80 м) увеличивается в 1,43 раза, производительность комплекса СО, состоящего из погрузчика Торо-400 и двух автосамосвалов МоАЗ-7529, (при $L_д$ = 250 м) – в 1,8 раза и производительность комплекса СО, включающего три МоАЗа, (при $L_д$ = 400 м) возрастает в 2 раза.

Таким образом, значительного увеличения производительности труда на выпуске и доставке руды можно добиться за счет резкого снижения выхода негабарита и изменения состава комплекса СО.

Для того, чтобы процесс выпуска и доставки руды из очистной камеры

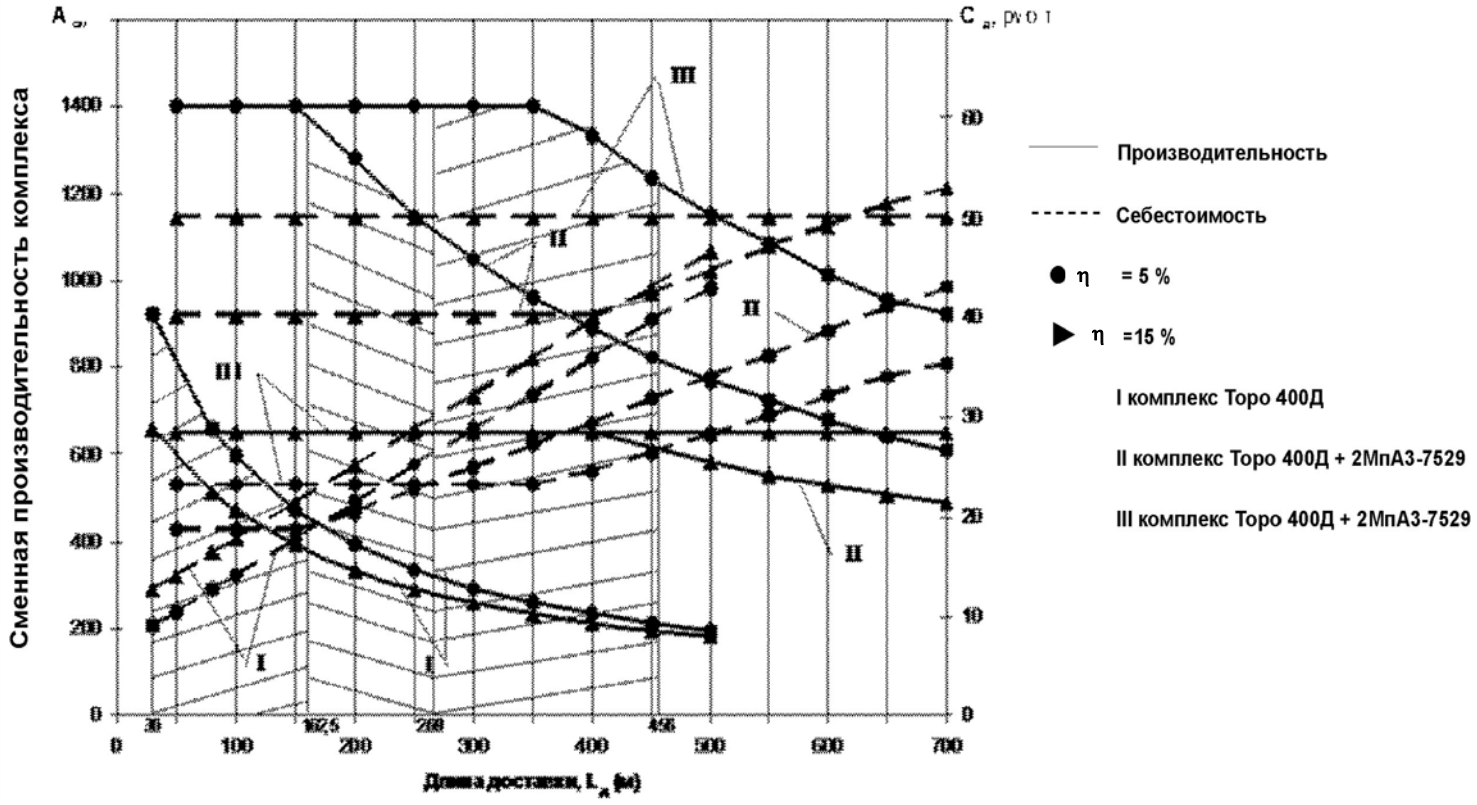

Рис. 3. Зависимость эксплуатационной производительности комплекса СО и себестоимости погрузочно-доставочных работ от длины доставки (Lд), качества дробления (η) и состава комплекса

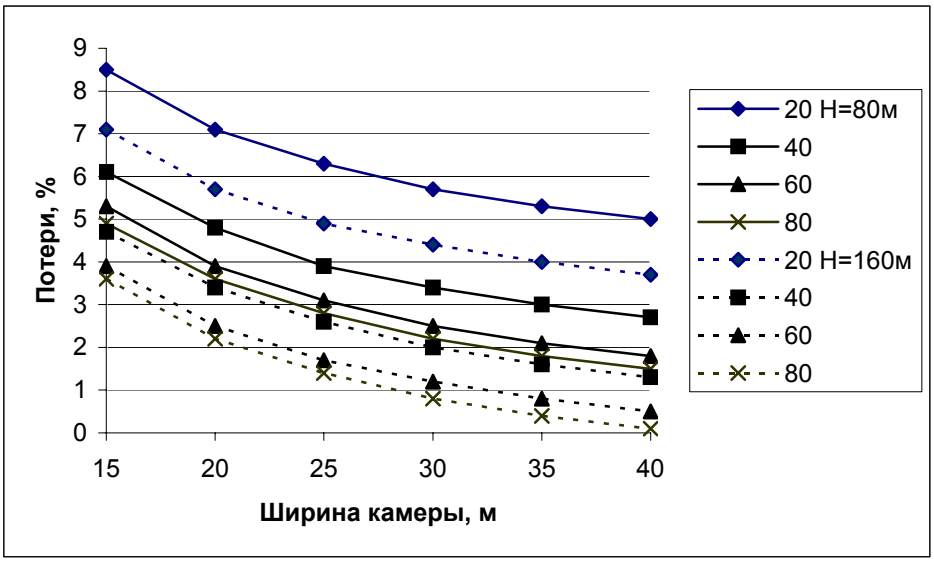

Рис. 4. Зависимость потерь руды от ширины камеры при различной ее длине и высоте

комплексом СО (погрузчик + N автосамосвалов) происходил максимально непрерывно и интенсивно необходимо соблюдать условие:

$$(N-1)t_п \geq t_д + t_р ,$$

где $t_п$, $t_д$ и $t_р$ – соответственно, время погрузки, доставки и разгрузки автосамосвала, мин.

Изменение производительности комплекса СО в очень широких пределах в зависимости от его состава, длины доставки и качества дробления делает затруднительным выбор оптимального состава СО. Поэтому необходимо перейти к стоимостным показателям, а область применения того или иного состава комплекса СО определять по минимуму затрат (рис. 3).

Аналитические расчеты потерь и разубоживания руды при отработке камер с УГП показали следующее. Максимальное снижение потерь руды при выемке первичных и вторичных камер достигается при увеличении $B_к$, а минимальное – при увеличении $L_к$. При увеличении $B_к$ с 15 до 30, $H_к$ с 80 до 160 и $L_к$ с 40 до 80 м происходит снижение потерь руды соответственно на 2,7 %, 1,4 % и 1,2 %.

Снижение потерь руды в основном происходит за счет уменьшения удельного объема руды в гребнях между погрузочными заездами. При однореенном увеличении двух ($B_к$ и $H_к$) или трех ($B_к$, $H_к$ и $L_к$.) геометрических параметров камеры потери пруды снижаются соответственно на 4,1 и 5,3% (рис. 4).

Разубоживание руды при отработке камер происходит в основном за счет обрушения вмещающих пород висячего бока, устойчивость которого зависит от физико-механических свойств пород, угла падения рудного тела ($\alpha_{р.т.}$) и размеров обнажения очистного пространства. Другими источниками снижения качества руды являются обрушение закладки из стенок и кровли камеры при обнажении искусственного массива.

При отработке рудных тел с $\alpha_{р.т}$ = 70-90° величина разубоживания руды с увеличением любого геометрического

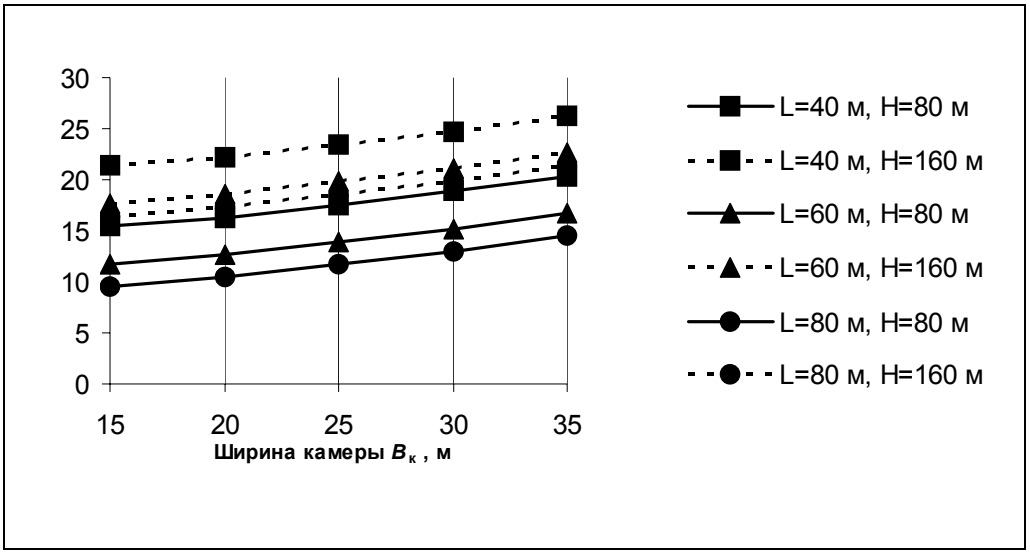

Рис.5. Зависимость разубоживания руды от ширины камеры при различной ее длине и высоте

параметра первичных и вторичных камер снижается. При отработке рудных тел с $\alpha_{р.т}$ = 50-60° величина разубоживания с увеличением $B_к$ или $H_к$ возрастает, а с увеличением $L_к$ разубоживание снижается (рис. 5).

Днище является важнейшим конструктивным элементом при камерной выемке и играет решающую роль в ее безопасности и эффективности. Поэтому сохранение днища в устойчивом состоянии до полного извлечения камерных запасов является приоритетной задачей.

Существующий способ подготовки днища камер на Гайском подземном руднике не всегда обеспечивает устойчивость выработок и целиков, расположенных в днище, особенно при выемке камер II и III очереди. Кроме того, для данного днища характерны высокие значения потерь отбитой руды в гребнях между погрузочными заездами и разубоживание закладочным материалом, заполняющим выработки днища. С увеличением геометрических параметров очистной камеры объем отбиваемой и выпускаемой руды существенно возрастает, а, значит, нагрузка на выработки и целики днища значительно повышается. Оценка устойчивости рудных и искусственных целиков условиях Гайского рудника показала, что для сохранения технологии камерной выемки с твердеющей закладкой на глубинах 910-1600 м ширину целиков, а следовательно, и камер необходимо увеличить с 20 до 30 метров.

Для устранения или уменьшения отрицательного и усиления положительного влияния УГП камеры на ТЭП ее отработки необходимо изыскать новые и надежные технологические схемы очистной выемки камер.

Коротко об авторах

Антипин Ю.Г. – аспирант, ИГД УрО РАН.

© Ю.В. Волков, И.В. Соколов,

УДК 622.273.2

Ю.В. Волков, И.В. Соколов

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГЕОТЕХНИКИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Эффективность подземного способа разработки рудных месторождений в решающей степени зависит от применяемых геотехнологий и геотехники. Интересным представляется вопрос перспектив их развития, в контексте весьма непростых проблем, стоящих перед горняками. Постоянно ухудшающиеся горно-геологические условия, связанные с увеличением глубины разработки месторождений, снижение содержания полезных компонентов в руде неизбежно ведут к росту затрат на добычу и переработку. Компенсация данных затрат возможна только при комплексном повышении производительности труда на всех процессах очистной выемки, снижении ее капитало-, материало- и энергоемкости, интенсификации горного производства.

Перспективы развития подземной геотехнологии связаны в определяющей степени с модернизацией систем разработки, геотехники (технологического оборудования), комплекса взрывных работ. В силу достаточно большой инертности горного производства в целом, считаем, что в ближайшие два десятилетия в рассматриваемой области будут востребованы в качестве авангардных прототипов для внедрения технологии и технические средства, разработанные на рубеже веков специально для крупных горных проектов, таких как *Kiruna Mine* (гор. 1045 м), *Palabora underground* и др.

В мировой практике технический прогресс в первую очередь связан с ориентацией на широкое применение самоходного горного оборудования. Основными предприятиями-разра-ботчиками и поставщиками самоходного бурового, погрузочно-доставоч-ного и транспортного оборудования на мировой рынок являются: «Тамрок» (Финляндия), «Атлас Копко» (Швеция), «Кавасаки» и «Фурукава» (Япония), «Ингерсолл Рэнд» (США). На протяжении последней четверти века на погрузке и доставке руды на передовых зарубежных и отечественных рудниках используются самоходные ковшовые погрузочно-доставоч-ные машины (ПДМ), как с дизельным, так и электрическим приводом. Опыт их использования показал, что для повышения эффективности процесса доставки руды необходимо увеличивать грузоподъемность ПДМ. В настоящее время шведская компания ЛКАБ уже эксплуатирует 25-тонные погрузчики «Торо-2500 Е» с емкостью ковша 10 м^3. Применение ПДМ грузоподъемностью 15 тонн сейчас рядовое явление.

Транспортирование горной массы также осуществляется в основном автосамосвалами грузоподъемностью до 40-50 т. На австралийских рудниках *Stawell* и *Golden Grove* новые автосамосвалы TORO SUPRA грузоподъемностью 80 т применяют для транспортирования руды на поверхность по автоуклону (1/7–1/8).

На шведских рудниках Мальмбергет – 120-тонные самосвалы компании «Сису», Хольмчерн – самосвалы «Кируна Электрик» грузоподъемностью 50 т с приводом от троллейной линии, специально сконструированные для транспортирования по наклонным выработкам (12,5 %).

Широкое использование гидравлических перфораторов является главным направлением совершенствования буровых работ. Техническая производительность гидроперфораторов типа ГЛ или СОР при бурении скважин составляет 30-45 п. м /ч. Так буровой станок «Симба W 469» имеет дистанционное управление, оборудован буровым молотком с гидравлическим приводом, который обеспечивает среднюю производительность 300 м скважин в сутки.

Дальнейшее совершенствование технологии бурения и перемещения руды в пределах блока самоходным оборудованием идет по пути широкого внедрения робототехники. Развитие информационных и коммуникационных технологий, повсеместное внедрение автоматизации и дистанционного управления горными машинами и агрегатами являются приоритетными направлениями совершенствования подземной геотехники.

Наиболее эффективными системами разработки являются: этажно-камерная с открытым очистным пространством, этажно-камерная с закладкой, этажное принудительное обрушение, подэтажное обрушение с торцовым выпуском, самообрушение. С целью повышения эффективности систем разработки увеличивают геометрические параметры блоков. Так на Гайском подземном руднике отработаны камеры высотой 160 м, планируется увеличить их ширину до 30 м. На руднике Кируна высота подэтажа при системе разработки подэтажного обрушения и торцовом выпуске руды увеличена до 27 м, а на шахте Северопесчанская ОАО «Богословское РУ» – до 20 м. Высота этажа при этажном принудительном обрушении и этажно-камерной системе разработки составляет как правило 80 м.

Важным этапом совершенствования схем вскрытия и подготовки рудных месторождений и технологических схем перемещения руды явился переход на отработку месторождений с концентрационными горизонтами, позволяющими сосредоточить шахтный рудопоток на одном горизонте и тем самым снизить объемы транспортных и камерных выработок на промежуточных горизонтах и повысить эффективность работы подземного транспорта. Перспективен перенос дробильных комплексов в шахтное поле или внедрение мобильных дробилок в комплексе с конвейерным транспортом (рудники Гайский, южноафриканский *Palabora*, австралийский *Mount Isa*).

Основными направлениями развития технологии и конструкции систем подземной разработки являются:

- увеличение геометрических параметров выемочной единицы (блока, камеры, очистной заходки) с учетом геомеханических ограничений;
- применение системы разработки с закладкой выработанного пространства малопрочными твердеющими смесями и (или) породой взамен системы с открытым очистным пространством при разработке высокоценных руд;
- применение системы разработки с самообрушением руды при разработке рядовых по ценности руд;
- применение систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород при разработке руд низкой ценности;
- установление рационального соотношения геометрических размеров выемочной единицы, параметров конструктивных элементов системы разра-

ботки, порядка очистной выемки, вида и типоразмера применяемой геотехники путем их совместной оптимизации;

- упрощение конструкции системы разработки в целом и, вследствие этого, уменьшение удельного объема подготовительно-нарезных работ;
- объединение процессов открытых и подземных горных работ при комбинированной разработке месторождений;
- увеличение высоты подэтажа по условию бурения, отказ от промежуточных буровых подэтажей;
- упрощение конструкции днища блока;
- применение плоского или траншейного днищ блоков, отказ от выпускных воронок;
- применение торцового выпуска отбитой руды из специальных выработок или непосредственно с почвы камеры (при дистанционно управляемых ПДМ);
- организация параллельного (а не последовательного) во времени выполнения процессов очистной выемки в пределах выемочной единицы;
- замена переносного технологического оборудования на комплек-сы самоходных машин;
- создание в добычном участке машинного пространства (*machine placement*) для наиболее полного и эффективного использования машины в течение смены;
- повышение количественных и качественных показателей извлечения за счет селективной добычи;
- использование сил горного давления для разрушения рудного массива
- приготовление взрывчатого вещества на месте заряжания скважин.

Таким образом, перспективы развития подземной геотехнологии разработки рудных месторождений, в том числе и на Урале, связаны с необходимостью решения двух ключевых проблем: снижения до конкурентоспособного уровня затрат на добычу и перемещение рудной массы из забоя на поверхность и повышения качественных и количественных показателей извлечения. Актуален вопрос переноса обогатительного производства в подземные выработки, что позволяет уменьшить затраты на подъем рудной массы на поверхность, а породы в виде хвостов обогащения размещать в выработанном пространстве.

Коротко об авторах

Волков Ю.В. – профессор, доктор технических наук,
Соколов И.В. – кандидат технических наук,

ИГД УрО РАН.