УДК 622.271.06
DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.086

Саканцев Георгий Григорьевич
доктор технических наук,
главный научный сотрудник
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: lubk_igd@mail.ru

Переход Татьяна Максимовна
ведущий инженер
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Свещинская Наталья Алексеевна
инженер
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

Аннотация:

Изложены теоретические основы сокращения отходов открытых горных работ при освоении глубокозалегающих рудных месторождений. Установлено, что основными направлениями сокращения отходов являются применение внутреннего отвалообразования, уменьшение объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, комплексное использование запасов недр на основе селективной выемки и размещения разных видов вскрышных пород в карьерном и околокарьерном пространстве. Также установлено, что наиболее целесообразными системами разработки внутренним отвалообразованием при комплексном освоении недр являются системы, основанные на комбинации горизонтальных и наклонных берм безопасности, из которых последние выполняют также функции транспортных площадок, обеспечивающих селективную выемку и размещение горной массы внутри карьера.

Ключевые слова: безотходная технология открытых горных работ, комбинированные горизонтально-крутонаклонные бермы безопасности, непосредственное захоронение в карьере токсичных отходов.

Sakantsev Georgy G.
Doctor of Engineering,
Senior Researcher,
Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: lubk_igd@mail.ru

Perekhod Tatyana M.
Leading Engineer,
Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Sveshchinskaya Nataliya.A.
Engineer,
Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

THEORETICAL BASES OF WASTE-FREE TECHNOLOGIES FOR OPENCAST MINING OF ORE DEPOSITS

Abstract:

The article presents the theoretical basis for reducing the waste mass of open-cut mining in the development of deep-seated ore deposits. It establishes that the main directions of waste reduction are: internal spoil dumping, reducing of the volume of additional separation of the pit sides for accommodation of the opening working, integrated use of subsoil reserves based on their selective extraction, transportation and storage, depending on their toxicity either on the nearing surface or in the quarry itself. We state that the most efficient scheme of internal waste dumping are based on combination of horizontal berms with inclined berms, in which the latter also perform the functions of transport sites, providing selective excavation and disposal of rock mass inside the quarry.

Key words: waste-free technology of open mining, combined horizontally and steeply-inclined safety berms, direct inside quarry burial of toxic wastes

Горнодобывающая промышленность России последних десятилетий характеризуется непрерывным повышением трудоемкости и себестоимости добычи большинства видов минерального сырья. Это вызвано тем, что произошло значительное истощение запасов большинства разведанных месторождений с благоприятными горно-геологиче-

* Статья подготовлена при проведении научных исследований по программе РАН, тема № 0405-2019-003

скими и горнотехническими условиями. Отработаны наиболее благоприятные месторождения и залежи, расположенные в относительной близости от поверхности земли, а также верхние горизонты глубокозалегающих месторождений. Возникла необходимость отработки глубоких горизонтов эксплуатируемых месторождений, а также освоение более бедных месторождений и месторождений, имеющих большую глубину залегания.

Если в период с 50-х до 70-х годов XX столетия вводились в эксплуатацию практически ежегодно горно-обогатительные комбинаты в черной и цветной металлургии, разрезы в угольной промышленности с годовыми объемами добычи руды и угля в десятки млн т и их общие объемы в СССР в целом непрерывно росли, то начиная с середины 80-х годов, по мере углубления горных работ, ухудшения горнотехнических условий и общей экономической ситуации встал вопрос о необходимости коренного пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации карьеров большой глубины и производительности.

Расширение масштабов открытой добычи руд сопровождается не только существенным увеличением глубины карьеров, но и вовлечением в разработку более бедных месторождений с неблагоприятными горно-геологическими условиями, что приводило к росту капитальных вложений, себестоимости добываемой руды и особенно затрат на вскрышные работы [1]. В связи с этим в настоящее время с особой остротой встает вопрос, направленный на разработку инновационных технологий горных работ в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях различных групп перспективных месторождений рудного и нерудного минерального сырья, направленных на сокращение объемов вскрышных работ [2].

Современные отечественные карьеры по добыче большинства видов минерального сырья, особенно руд черных и цветных металлов, характеризуются большой глубиной, относительно небольшой длиной и значительными объемами вскрышных работ. Коэффициент вскрыши на отечественных карьерах в среднем в четыре раза выше по сравнению с карьерами других основных добывающих стран мира. Россия, производя 5,8 % товарной продукции минерального сырья, добывает 27 % мировых объемов горной массы [3].

Только в Уральском регионе, имеющем более чем 300-летний период горнозаводского дела по приближенным подсчетам накоплено свыше 8,5 млрд т техногенно-минеральных отходов, площадь занятых под отвалами земель превышает 2 тыс. км^2 [4]. При этом постоянный рост потребности в добываемом минеральном сырье и связанным с этим увеличением конечной и текущей глубины карьеров ведет к увеличению объемов вскрышных работ, к занятию огромных территорий отвалами, росту загрязнения прилегающих районов и воздушной среды пылегазовыми выбросами, загрязнению рек и водоемов токсичными веществами, нарушению водного режима. Согласно данным [4], в добывающих отраслях открытый способ разработки является в настоящее время наиболее экологически опасным.

По данным Т.Л. Михайловой, А.В. Хохрякова [5], на каждую тысячу тонн мощности предприятия по открытой добыче минерального сырья приходится в среднем 0,1 га изымаемых площадей. Открытый способ разработки является в настоящее время экологически наиболее опасным.

Наряду с ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий осваиваемых месторождений значительно снижается качество полезных ископаемых, что также ведет к снижению экономической эффективности открытых горных работ. Но с другой стороны, открытый способ разработки создает условия для комплексного освоения природных ресурсов, так как при открытой разработке наряду с основными полезными ископаемыми извлекаются породы, которые в результате утилизации могут быть использованы в самых разных отраслях народного хозяйства (строительстве, химической промышленности, медицине, сельском хозяйстве и т. д.) [6, 7].

Основной объем отходов составляют вскрышные породы, заскладированные в отвалы. Так, в медной подотрасли Урала, являющегося крупнейшим горнодобывающим регионом России, ежегодно укладывается в отвалы около 40 млн м^3 вскрышных и вмещающих пород, из них только небольшая часть используется для хозяйственных нужд, главным образом, для ремонта дорог, засыпки обрушений и пустот. В табл. 1 приведены данные, характеризующие объемы извлеченных вскрышных и вмещающих пород на ряде горно-обогатительных комбинатов Урала в 1994 г. [8].

Таблица 1

Объемы извлеченных вскрышных и вмещающих пород на ряде горно-обогатительных комбинатов Урала в 1994 г.

Предприятия	Годовой объем извлеченных из недр пород, тыс. м^3	Использование пород, %			
		всего	в том числе		
			на закладку	на производство стройматериалов	на засыпку карьеров
Красноуральский МК	1000	30,5	0,5	20,7	0,3
Дегтярское РУ	20	80,5	46,6	35,9	-
Кировоградский МК	10	97,4	-	97,4	-
Гайский ГОК	2000	20,8	9,5	11,2	0,07
Башкирский МСК	4000	6,2	-	6,2	-
Бурибаевское РУ	2	8,3	-	-	-
Учалинский ГОК	6100	59,4	-	3,8	55,6

Основные причины накопления горнопромышленных отходов – несоответствия объемов их производства и потребностей потребителей. Кроме того, существенной причиной является несовершенство техники и технологии формирования отвалов и их переработки. Дело в том, что в отвалах, образованных ранее валовым способом, т. е. без селективной их отсыпки, во многих случаях не удается организовать в достаточной степени эффективную их переработку. Это усугубляется еще тем, что далеко не все скальные вскрышные породы пригодны для производства, даже для дорожного строительства.

В целом вопросы комплексного использования недр и отходов горного производства являются общей проблемой с добычей основных полезных ископаемых месторождений, в частности, с их влиянием на окружающую среду, и должны решаться как единое целое. Последнее обусловлено тем, что различные виды горных пород содержат различные вредные компоненты. Их размещение на земной поверхности является вредоносным для окружающей среды, особенно для сельского хозяйства.

Особенно большую опасность для окружающей среды представляют отвалы предприятий по добыче руд цветных металлов, в частности, отвалы, содержащие сульфидные породы [8]. Атмосферные осадки, просачиваясь через отвалы сульфидных пород, увеличивают их кислотность, происходит обогащение железом, медью, никелем, кальцием, сульфидами, все это разносится по окрестным водоемам. Сульфидной минерализацией, в частности, в значительной степени заражены отвалы вскрышных пород медноколчеданных месторождений. Со временем в отвалах развиваются окислительные процессы и происходит естественное выщелачивание сульфидов и других вредных для природы компонентов.

Поэтому чем меньше будет выдаваться отходов на поверхность, тем выше будет эффективность открытых горных работ и тем шире будет их область применения со всеми вытекающими возможностями.

Вследствие того что к настоящему времени месторождения или их участки, наиболее богатые по содержанию полезных компонентов, пригодных для открытой разработки, в основном отработаны, особенно остро встает вопрос применения ресурсосберегающих технологий. В первую очередь, к ним необходимо отнести внутреннее отвалообразование, которое до настоящего времени применяется только в благоприятных горно-геологических условиях на основе простых технологических решений. В частности, в условиях Урала, одного из основных горнодобывающих регионов России, эти возможности в значительной степени исчерпаны [8], необходим переход на более сложные и комплексные технические решения. Но вскрышные породы медноколчеданных месторождений Урала существенно заражены вредными с экологической точки зрения компонентами, поэтому важным условием при этом является также нейтрализация и захоронение, что требует их селективной выемки и раздельного складирования.

Одной из наиболее актуальных проблем разработки глубокозалегающих месторождений ограниченной длины, к каким относится большинство месторождений цветной металлургии, также является проблема дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, которая в значительной степени зависит от величины руководящего уклона. Объемы дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок на глубоких карьерах составляют миллионы и десятки миллионов кубических метров вскрышных пород [8, 12]. Наиболее целесообразный уклон вскрывающих выработок небольшой длины находится в пределах 15 – 25 % [8, 11, 12, 14], что в настоящее время является недостижимым вследствие целого ряда критических условий:

- отсутствия автосамосвалов, способных преодолевать крутые уклоны;
- отсутствия экскаваторов, способных осуществлять проведение таких крутонаклонных вскрывающих выработок.

Решение всех этих проблем, направленных на разработку теоретических основ безотходных технологий, является целью настоящей работы.

Главными задачами, обеспечивающими достижение этой цели, являются:

1. Разработка инновационной технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием при разработке глубокозалегающих месторождений.
2. Изыскание ресурсосберегающих способов вскрытия в условиях внутреннего отвалообразования.
3. Разработка эффективной технологии проведения крутонаклонных вскрывающих выработок.
4. Разработка рациональных способов и средств предотвращения загрязнения окружающей среды при ведении горных работ в условиях токсичных вскрышных работ.

Предварительный анализ показал, что сформулированная цель работы может быть достигнута при условии рассмотрения данной проблемы как единого целого, включая поэтапный подход к формированию карьерного пространства, комбинацию горизонтальных берм безопасности с наклонными, исполнение последними транспортных функций, использование карьерного пространства для захоронения токсичных пород, а также разработку и применение других сопутствующих инновационных решений [15].

Данный подход состоит в том, что карьер по длине делят на две очереди: первую 1 и вторую 2 (рис. 2). Карьер первой очереди отрабатывают до проектной глубины с перемещением вскрышных пород во внешние отвалы. По мере подхода рабочих площадок к предельному контуру его ставят в предельное положение и на одном из его продольных бортов строят внутренний петлевой съезд. Одновременно в карьере второй очереди формируют рабочий борт *4*, на котором предусматривают площадку для размещения на нем временного склада *5* токсичных пород, извлекаемых при отработке карьера первой очереди.

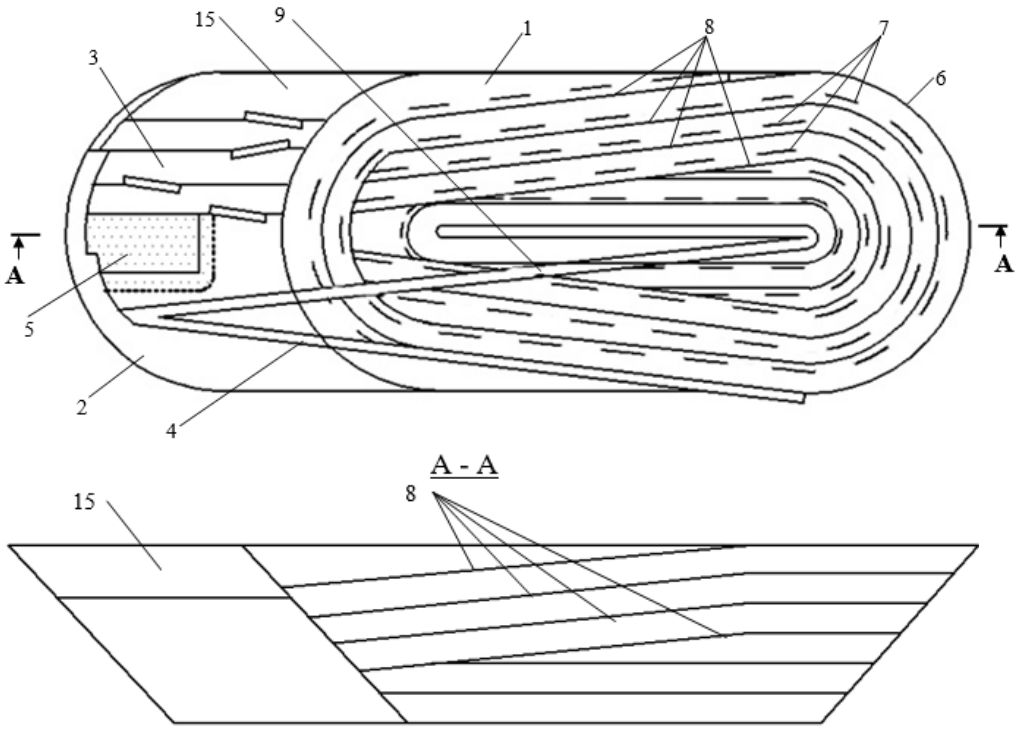

Рис. 2 – Положение горных работ на момент отработки запасов карьера первой и второй очереди

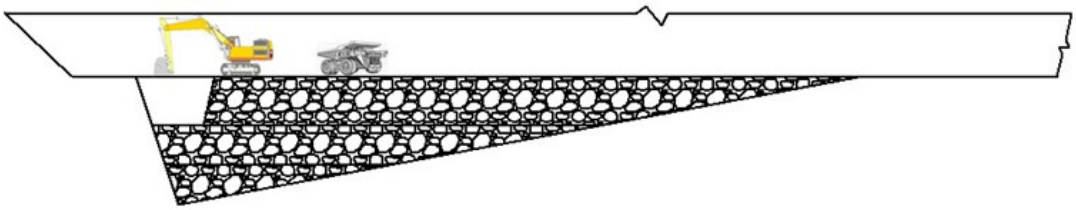

Рис. 2.1 – Проведение крутой траншеи, этап 1

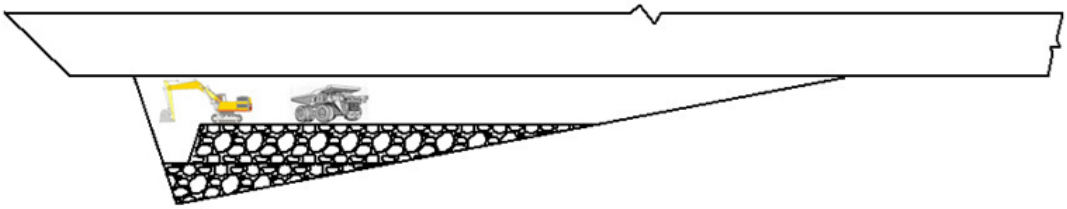

Рис. 2.2 – Проведение крутой траншеи, этап 2

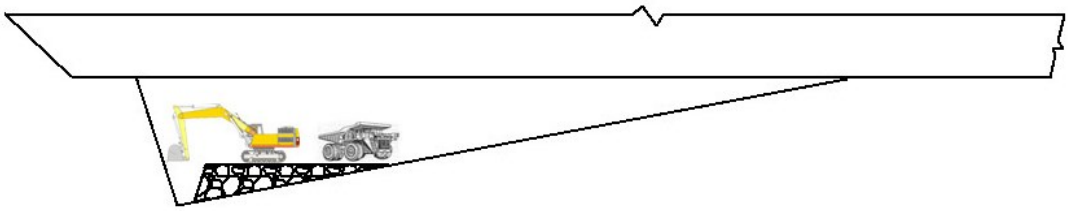

Рис. 2.3 – Проведение крутой траншеи, этап 3

В процессе отработки запасов карьера первой очереди, а затем запасов карьера второй очереди при формировании их предельных бортов применяют комбинированную схему устройства берм безопасности, при которой на торцевых бортах карьеров выполняют горизонтальные бермы *7*, а на продольных бортах наклонные бермы *8* с подъемом

в сторону предельного торцевого борта карьера первой очереди, при этом наклонные бермы *8* выполняют с уклоном, не превышающим допустимый уклон, применяемый при карьерных грузоперевозках, наклонные бермы *8* стыкуют с горизонтальными бермами *7*, горизонтальные и наклонные бермы выполняют шириной, обеспечивающей возможность одностороннего движения технологических транспортных средств [8]. Возможные пересечения наклонных берм *8* с вскрывающей выработкой оборудуют в виде горизонтальных площадок примыкания *9*.

Проведение крутой траншеи [8] начинают с взрывания горной массы в пределах ее границ. Затем осуществляют ее проведение с помощью гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» и автосамосвалов, способных преодолевать крутые уклоны. Проведение траншеи в конечных границах (рис. 2.1) производится путем деления ее на горизонтально-клинообразные слои с высотой в горизонтальной части, равной возможной глубине копания экскаватора. Соответственно, отработка слоев производится экскаваторами при нижнем черпании. При отработке верхнего слоя экскаватор и автосамосвал работают, полностью находясь на горизонтальных площадках. При отработке второго слоя (рис. 2.2) экскаватор работает, находясь на горизонтальной площадке, а автосамосвал осуществляет движение частично, по горизонтальной, частично, по мере подвигания забоя, по наклонной поверхности. При отработке самого нижнего слоя (рис. 2.3) автосамосвал работает почти полностью на наклонной поверхности.

Использование предлагаемого способа [9] позволяет сформировать крутую траншею, вскрывающую горизонт с ограниченной площадью для автосамосвалов, способных преодолевать крутой уклон, например, с шарнирно-сочлененной рамой, с полной выемкой полезного ископаемого в карьере без дополнительного разноса бортов и транспортированием горной массы от проведения траншеи на поверхность.

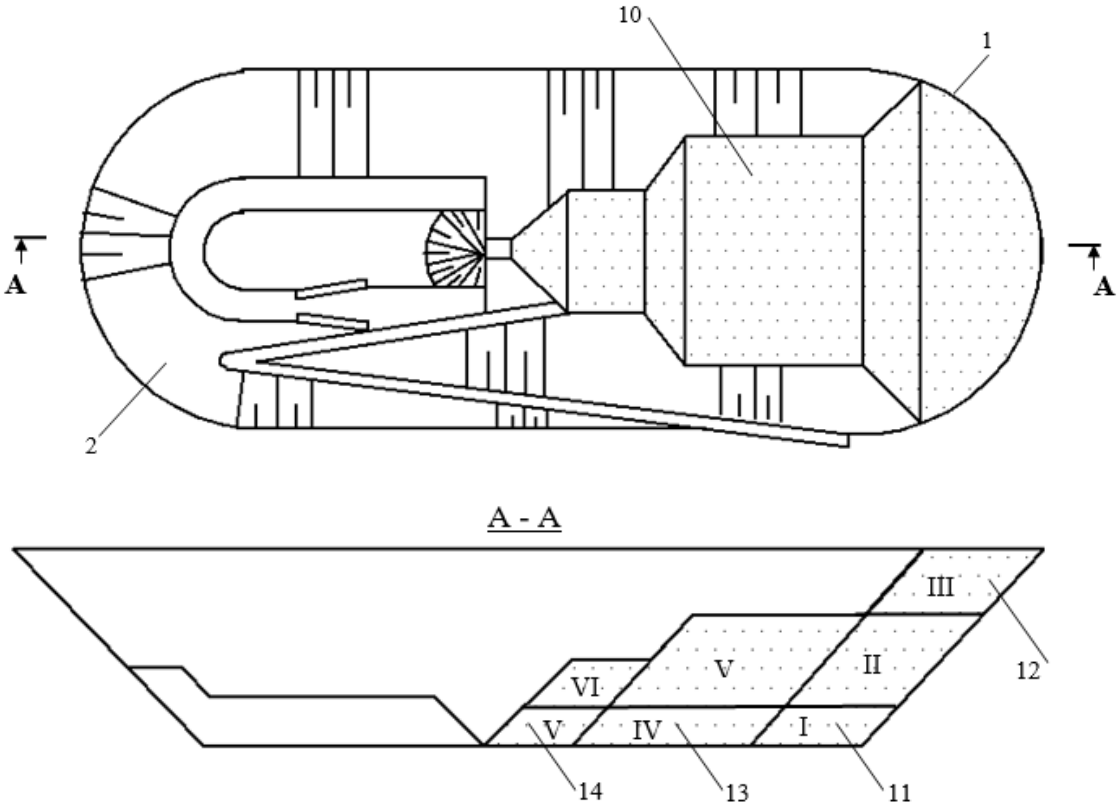

Рис. 3 – Положение горных работ на момент завершающего этапа разработки месторождения и поярусного формирования внутреннего отвала с отражением схемы расположения отдельных ярусов и последовательности их отсыпки

После полной отработки запасов карьера первой очереди начинают отработку второй очереди. Предварительно токсичные вскрышные породы, размещенные во временном отвале *5* на законсервированной рабочей площадке карьера второй очереди, перевозят на дно карьера первой очереди, размещая во внутреннем отвале в отвальном ярусе *I* (рис. 3). При отработке карьера второй очереди его вскрышные породы по наклонным бермам *8* перевозят в выработанное пространство карьера первой очереди. Перевозки осуществляют по кольцевой схеме, при этом наклонные бермы *8* одного продольного борта используют в качестве грузовых, а наклонные бермы другого борта в качестве порожняковых. Из перевозимых вскрышных пород формируют внутренний отвал *10* (рис. 3) при высоте отвальных ярусов *I*, *II*, *III*, *IV*, *V*, *VI,* обеспечивающей их устойчивость. При этом токсичные породы, предназначенные для захоронения, располагают в нижних отвальных ярусах *IV* и *V*, а вскрышные породы, предназначенные для последующей утилизации и использования в качестве товарной продукции в народном хозяйстве, размещают в верхних отвальных ярусах *III*, *V*, *VI*.

А токсичные сернистые породы, перемещенные в выработанное пространство, засыпают смесью щебня и отсева из известняка. При взаимодействии серного ангидрида, содержащегося в токсичной серной породе, начнет происходить его реакция с известняком с образованием сульфида кальция, который будет выпадать в нерастворимый осадок с образованием углекислого газа. После полной доработки карьера в результате ливневых и паводковых вод, выпадения атмосферных осадков в теле отвала происходит нейтрализация кислотности в токсичных породах. Таким образом, к моменту полного затопления карьера и превращения его в сточное озеро вытекающие из него воды будут нейтральными.

Выводы

1. Анализ развития теории и практики горных работ показывает, что основными направлениями сокращения отходов открытой разработки рудных месторождений полезных ископаемых может стать комплексное использование запасов недр, уменьшение объемов дополнительного разноса бортов карьеров для размещения вскрывающих выработок и применение внутреннего отвалообразования с учетом захоронения токсичных вскрышных пород непосредственно в карьерном пространстве.

2. Одним из основных недостатков применения внутреннего отвалообразования при разработке глубокозалегающих месторождений, ограничивающего его применение, является разновысотное расположение одноименных выемочных и отвальных ярусов, что требует комбинированного способа вскрытия рабочих горизонтов на основе совмещения наклонных берм безопасности с транспортными съездами, обеспечивающими многократное сокращение объемов дополнительного разноса бортов при перевозке вскрышных пород верхних горизонтов сверху вниз, с нижних – снизу вверх для их размещения.

3. Максимальный уклон вскрывающих выработок должен приниматься, главным образом, при отработке нижних горизонтов карьеров, имеющих наибольшую кривизну бортов.

4. Дальнейшее совершенствование, расширение области применения и повышения эффективности технологии ведения горных работ с применением внутреннего отвалообразования в значительной степени зависит и остро нуждается в разработке и создании крутонаклонных и одновременно мобильных транспортных средств типа клетевых подъемников и другого подобного оборудования, что совместно с предусматриваемыми выше технологическими решениями способно привести к значительному сокращению отходов горных работ, повышению их эффективности и экологической безопасности окружающих территорий.

Литература

1. Васильев М.В. Влияние возрастающей глубины карьеров на эффективность горного производства / М.В.Васильев // Горный журнал. – 1983. - № 2. – С. 29 - 33.

2. Яковлев В.Л. Об использовании опыта разработки уральских сложно-структурных месторождений открытым способом / В.Л. Яковлев, М.Г.Саканцев, Г.Г.Саканцев // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002. - № 3. – С. 103 - 110.

3. Место России в минерально-сырьевой базе мира: по данным Роскомнедр // Минеральные ресурсы России. – 1995. - № 6. – С. 4 - 5.

4. Коновалов В.Е. Использование земель горнопромышленных территорий Уральского региона / В.Е. Коновалов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VIII Международная научно- техническая конференция г. Екатеринбург, 4 - 5 апреля 2019 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3 - 12 апреля 2019 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н.Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 298 - 301.

5. Михайлова Т.Л. Рациональное землепользование в цветной металлургии / Т.Л. Михайлова, А.В. Хохряков // Изв.вузов. Горный журнал. – 1993. - № 6. – С. 97 - 135.

6. Трубецкой К.Н. Развитие науки, техники и технологии в области комплексного освоения месторождений при открытом способе разработки / К.Н. Трубецкой // Горный журнал. – 2009. - № 11. – С. 4 - 7.

7. Холодняков Г.А. Современные концепции теории проектирования карьеров при разработке комплексных месторождений / Г.А. Холодняков, С.И. Фомин, Е.Б. Гридина // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург. – 2004. - Вып. 2. – С. 150 - 165.

8. Разработка нормы технологического проектирования по рекультивации нарушенных земель в цветной металлургии СССР. Раздел 1.2. Разработка рациональных схем складирования вскрышных пород в отвалы с целью уменьшения затрат на проведение последующей рекультивации / Отчет о НИР. – Свердловск, 1990. – С. 82.

9. Обоснование параметров уклонов вскрывающих выработок при открытой разработке глубокозалегающих месторождений / Г.Г. Саканцев, В.И. Ческидов, И.В. Зырянов, А.Н. Акишев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 1. – С. 87 - 96. DOI 10/15372|FTPR 120180111.

10. Brandon D.B. Developing mathematical models for computer control / D.B. Brandon // ISA Journal. – 1959. - № 7.

11. Обоснование оптимальной глубины перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами при разработке кимберлитовых карьеров / Ю.И. Лель, С.В. Исаков, И.А. Глебов, А.Б. Буднев // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VIII Международная научно-техническая конференция, г. Екатеринбург, 4 - 5 апреля 2019 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3 - 12 апреля 2019 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н.Г.Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. - С. 72 - 79.

12. Методические основы инновационных технологий, обеспечивающих расширение области применения крутых уклонов вскрывающих выработок глубоких карьеров в критических условиях / В.Л. Яковлев, Г.Г. Саканцев, Е.С. Шимкив, Т.М. Переход // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: VIII Международная научно-техническая конференция, г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2019 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3-12 апреля 2019 г.). - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019.

13. Саканцев Г.Г. Внутреннее отвалообразование на глубоких рудных карьерах / Г.Г. Саканцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 225 с.

14. Саканцев Г.Г. Установление технологически возможной области применения ресурсосберегающей технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием / Г.Г. Саканцев, В.И. Ческидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2014. - № 3. – С. 87 - 95.

15. Патент № 2685590 Российская Федерация, С 2921 С41/26. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений округлой формы с внутренним отвалообразованием / Г.Г. Саканцев; заявитель и патентообладатель ИГД УрО РАН; опубл. 22.04.2019, Бюл. № 12.

16. Патент 2534297 Российская Федерация, МПК Е21С 41/26. Способ проведения крутой траншеи / Г.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, Т.М. Зырянова; заявл. 09.04.2013; опубл. 29.09.2014, Бюл. № 33.

17. Патент 2574891 Российская Федерация, МПК Е21С 41/26. Способ проведения крутой траншеи / Г.Г. Саканцев, М.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, В.Л. Яковлев, Т.М. Зырянова; заявл. 17.11.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. №4.