

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070700 – «Горное дело»

Эбен Елдос

Тема диссертации: «Инновационные методы расконсервации временно нерабочих бортов глубоких карьеров»

Цель диссертации - разработка методологии проектирования развития рабочих зон вдоль крутых бортов глубоких карьеров, обеспечивающей расконсервацию нерабочих бортов карьера на месторождениях Казахстана.

Идея работы – при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта конструктивный угол наклона последнего может достигать устойчивого его значения, что позволит вести горные работы при минимальных объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) на постоянной основе как на округлых, так и на вытянутых карьерных полях.

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы (НИР) в целом. В соответствии с поставленной задачей определены задачи, которые необходимо решить в данной работе:

1) разработка технологических схем ведения горных работ на крутых бортах карьерных полей округлой и вытянутой формы, способов перехода на нее и технологии расконсервации временно нерабочих участков глубоких и сверхглубоких карьеров;

2) создание методологии расконсервации временно нерабочего борта в глубоких рудных карьерах, включающей обоснование рациональных транспортных схем, 3-D моделирование поэтапных контуров карьера через оптимизацию коэффициента вскрыши и контуров этапов отработки, в особенности на карьерных полях округлой формы;

3) апробация технологии расконсервации временно нерабочего борта ниже границы применения железнодорожного транспорта на действующем крупном железорудном карьере «Качарский» через создание трехмерных моделей крутонаклонных слоев;

4) апробация нового порядка формирования рабочей зоны на рудных и угольных карьерах Казахстана;

Методы исследования. Общей теоретической и методологической основой диссертации является комплексный подход, включающий анализ и обобщение фундаментальных исследований в области проектирования карьеров. В качестве основных методов использовались: геоинформатика и математическое моделирование; анализ работы отечественных и зарубежных глубоких карьеров; динамическое программирование. Методология исследований включала оптимизацию поэтапных объемов вскрышных пород и полезного ископаемого через создание 3D модели открытой разработки крутопадающих месторождений первоначально округлой, затем овальной формы и определение на этой основе оптимальных поэтапных контуров карьера на базе цифровых моделей месторождений с использованием интегрированных горно-геологических информационных комплексов на основе методов нелинейного и динамического программирования, уравнений сплайна первого и второго порядка, а также сравнительного анализа расчетных календарных графиков горных работ с данными действующих проектов эксплуатации реальных объектов Казахстана.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

1. Переход на расконсервацию временно нерабочих бортов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов на глубоких рудных карьерах позволит снизить объемы вскрышного отставания до 25% за счет увеличения вскрываемых запасов и повысить производительность экскаваторно-автомобильных комплексов на 25-30% за счет петлевых схем разворота экскаваторов на широких площадках, что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз.

2. Переход на отработку уступов поперечными панелями на наклонных месторождениях позволит снизить среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши на каждые 100 м глубины понижения горных работ на 27-32%, а на крутопадающих месторождениях, – на 16-19%.

3. Предложенный порядок развития рабочей зоны при открытой разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) и ежемесячного регулирования вскрытых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы не потребуется.

Основные результаты исследования.

1 Разработан алгоритм оптимизации значений текущего коэффициента вскрыши через оптимизацию объемов вскрыши и руды по этапам отработки. Универсальность методики обеспечивает решение задачи нелинейного оптимального управления методом динамического программирования Беллмана. На каждом шаге условной оптимизации доказано выполнение достаточного условия оптимальности в стационарных точках целевой функции. При этом на каждом шаге итераций оптимальные решения задачи не покидают область допустимых значений. В результате получен упрощенный для проектирования динамической модели карьера алгоритм оптимизации графика режима горных работ.

2 Разработана методология проектирования реконструкции карьеров для вытянутых и округлых карьерных полей, включающая способы перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов и формирования фронта работ уступов рабочих зон перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов в период ее проведения и математические 3D модели установления положения поэтапных их контуров в привязке к цифровой модели месторождений через оптимизацию объемов вскрышных пород и полезного ископаемого;

3 Для округлых карьерных полей завершили создание 3D модели поэтапного развития контуров карьера по новым технологиям. Через уравнения сплайнов вывели расчетные формулы оптимального значения радиусов боковых поверхностей контуров этапов отработки в зависимости от конфигурации рудной залежи. В 3D модели поэтапных контуров карьера учитываются конфигурация рудного тела и наклон бортов карьера за счет применения по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна;

4 Для округлых карьерных полей получены 3D модели поэтапного развития контуров карьера по новым технологиям. Объемный контур полезного ископаемого интерполировался эллиптическим гиперboloидом овальной формы. Построенная в работе задача оптимального управления в конце упирается к решению кубического уравнения нелинейной алгебры. В работе доказывается, что кубическое уравнение имеет единственное решение. Данный факт косвенным образом доказывает правильность выбранного способа решения изучаемой задачи;

5 Предлагаемый порядок развития рабочих зон вдоль крутых бортов при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без ВНБ и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих

месторождений округлой (овальной) формы и переходе с одного этапа отработки на другой не потребуется;

6. На основании отстроенных поэтапных контуров крутонаклонных слоев до конца открытой разработки проектных запасов Качарского месторождения выполнен горно-геометрический анализ и получены поэтапные объемы пород рыхлой и скальной вскрыши, общей вскрыши и руды. Наибольший поэтапный коэффициент вскрыши прослеживается на этапах 1 и 2 (8,9 и 8,7 т/т соответственно), что еще раз подчеркивает имеющее место отставания вскрышных работ. Только на этапе 3 появляются условия понизить горные работы с 475 м до 490 м, в связи с чем поэтапный коэффициент вскрыши, по сравнению с этапом 2, резко сокращается (меньше в 2,1 раза). На этапе 9 объемы пород рыхлой вскрыши уменьшаются, а этапе 11 при глубине карьера 625 м уже отсутствуют;

7. При ширине поперечной панели в пределах 60-80 м исследуемой технологии отработки уступов скальной вскрыши и руды наиболее целесообразной является схема подачи автосамосвалов к экскаватору с петлевым разворотом и с одиночной установкой автосамосвала на погрузку. По сравнению с тупиковым разворотом автосамосвалов по используемой технологии отработки уступов продольными панелями переход на их отработку поперечными панелями с петлевым разворотом автосамосвалов на погрузку позволит увеличить производительность экскаваторов на 25-30%, что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз в границах крутонаклонных слоев;

8. Трансформация результатов горно-геометрического анализа при реализации технологии отработки уступов по породам скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях единым карьером позволила получить календарный график производства горных работ. В период 2020-2022 годы в границах этапов 1 и 2 ежегодная производительность Качарского карьера по руде принята равной 15 млн. т. Текущий коэффициент вскрыши в этот период составит 8,9, 8,76 и 8,7 т/т соответственно. Для его уменьшения относительно имеющего место отставания вскрышных работ почти на 25% часть объемов пород рыхлой вскрыши перенесли на этап 3. В этих 25%-ах учтен переход на отработку пород скальной вскрыши поперечными панелями в крутонаклонных слоях.

Научная новизна и важность полученных результатов.

1. Разработанная технология безопасного интенсивного развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяет ликвидировать отставание вскрышных работ в меньшие сроки в отличие от традиционных методов, а также отказаться от формирования временно нерабочих бортов для уменьшения текущих объемов вскрышных работ в глубоких карьерах. При использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов предложенный порядок развития рабочих зон в каждом из прирезаемых технологических этапов отработки обеспечит последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных

работ с созданием на промплощадке обогатительных фабрик необходимого запаса добытой руды при значительно меньшем, по сравнению с известными аналогами ведущих стран мира, объеме текущей вскрыши и также упростит процесс усреднения руды до ее переработки.

2. Разработана 3D модель поэтапного формирования оптимальных контуров карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой формы, на основании которой создана 3D модель для карьеров овальной формы. В 3D модели поэтапных контуров карьера учитываются конфигурация рудного тела и наклон бортов карьера за счет применения по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна. Установление оптимального значения радиуса контуров карьера достигается методом Ньютона, когда через несколько итераций получается желаемая точность.

3. Разработан алгоритм оптимизации положения поэтапных контуров карьера при реализации нового порядка развития рабочих зон, при котором достигается объективная оценка перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов с формированием фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. В одном алгоритме совмещены горно-геометрический анализ и трансформация его результатов в оптимальный реально выполнимый календарный график горных работ. В результате горно-геометрического анализа получают оптимальные значения поэтапных объемов вскрыши и руды. После трансформации поэтапных объемов в календарные устанавливается, какие по годам объемы руды можно извлекать и сколько для этого нужно отработать вскрыши. Тем самым на стадии проектирования можно оценить предлагаемый порядок развития рабочих зон в зависимости от спроса на минеральное сырье и в плотную подойти от созданной динамической модели формирования оптимальных поэтапных контуров карьера к динамической модели развития рабочей зоны вдоль этих поэтапных контуров карьера с учетом траектории перемещения экскаваторов определенной производительности и трассирования вскрывающих выработок.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам. Работа основана на результатах фундаментальных исследований по теме № 751 МОН.ГФ.12.17 «Разработка методологии оптимизации и реализации прорывных технологий на карьерах с наклонным и крутым падением пластов» (2012-2014гг., научный руководитель - докт.техн.наук, профессор Молдабаев С.К.), №1686/ГФ4 «Интенсификация строительства, реконструкции и повышение эффективности эксплуатации карьеров с применением двухуровневой отработки уступов с равной длиной фронта их работ» (2013-2015гг., научный руководитель - докт.техн.наук, профессор Молдабаев С.К.).

По теме диссертации опубликовано 16 публикаций, в которых докторант принял непосредственное участие в качестве автора и соавтора:

1. Молдабаев С.К., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е. Эффективное использование мощных экскаваторно-автомобильных комплексов в глубоких карьерах // Инновации для бизнеса России и Казахстана [Электронный ресурс]: материалы Форума инновационных бизнес-лидеров Российской Федерации и Республики Казахстан. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Федер. ун-та, 2015. – С. 44-
2. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К., Абен Е. Технология горных работ на строительстве карьера первой очереди с минимальным разном бортов //Матер. Межд. науч.-практ. конф. «Форум горняков 2013». – Днепропетровск: НГУ, Украина, 2013. - Т. 1 - С. 103-108.
3. Молдабаев С.К., Абен Е. Технология безопасного интенсивного производства горных работ на крутых бортах глубоких карьеров // Горный журнал Казахстана, 2016. - № 10. – С. 23-35.
4. Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh., Aben Ye., Risbaiuly B. Creating the effective implementation of double subbench mining technology // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – London: Taylor & Francis Group, 2014. – p 351-355.
5. Молдабаев С.К., Абен Е., Дриженко А.Ю., Рысбайулы Б. Интенсификация строительства Ломоносовского карьера при новом порядке формирования рабочей зоны на крутых бортах // Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». - Днепропетровск, 2016. – № 3. – С. 109-115.
6. Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh., Aben Ye., Risbaiuly B. Ways to achieve the optimal schedule of the mining mode of double subbench mining // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – London: Taylor & Francis Group, 2014. – p 327-331.
7. Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh.Zh., Aben Ye., Gumenik I. Equalization of traffic flows of benches in the working area benches with excavator-truck complexes // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. - CRC Press/Balkema, 2014. – pp. 327-332
8. Молдабаев С.К., Абен Е., Бабий Е.В. Оптимизация положения нижней части вскрышной зоны карьера при новом развитии горных работ // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – Днепро: ИГТМ АНУ, 2016. - № 6. – С. 70-78.
9. Молдабаев С.К., Абен Е. Технология безопасного интенсивного производства горных работ на крутых бортах глубоких карьеров // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2016. - № 10. – С. 23-29.
10. Moldabayev S.K., Adamchuk A.A., Toktarov A.A., Aben Ye., Shustov O.O. Approbation of the technology of efficient application of ezcavator-automobile complexes in the deep open mines// НТУ «ДП». - Днепр, 2020. – pp. 30-38.
11. Moldabayev S., Aben Ye. New technologies production Mining on a steep board deep pits// International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – Delhi: Research India Publications, 2016. – No. 16.– pp. – 10458-10464.

12. Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh., Aben Ye., Risbaiuly B. alization of traffic flows of benches in the working area with excavator-truck complexes // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – London: Taylor & Francis Group, 2014. – p 35-39.

13. Молдабаев С.К., Дриженко А.Ю., Анисимов О.А., Шустов А.А., Абен Е. Модернизация перегрузочных устройств при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте в глубоких карьерах // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2016. - № 6. – С. 27-33.

14. Молдабаев С.К., Абен Е., Касымбаев Е.А., Сарыбаев Н.О. Комплектация комплексов циклично-поточной технологии при комбинированном автомобильно-конвейерно-железнодорожном виде транспорта // Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». – М:«Горная книга», 2019. - № 7. - С. 158-173.

15. Молдабаев С.К., Рысбайулы Б., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е. Оптимизация этапов двухподступной отработки крутопадающих залежей поперечными панелями с минимальным разносом бортов // Материалы Международной науч.-практической конференции «Форум горняков 2013». - Днепрпетровск: НГУ, Украина, 2013. - Т. 1. - С. 134-139.

16. Молдабаев С.К., Гуменик И.Л., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е., Салдыбаева Б.К., Оркеева А.Н. Влияние параметров панелей на эффективность реализации двухподступной технологии на крутопадающих месторождениях сложной конфигурации Печатное // Труды Международных Сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии «Казахстан-2050», посвященных 80-летию КазНТУ имени К.И.Сатпаева. Алматы, 2014. - С.424-431.