

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫМ РЕСУРСОМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАЗАРОВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Еременко Е.В.¹, Федоров А.В.², Морин А.С.¹, Бобров С.А.¹, Игнатова О.С.¹, Еременко А.Е.¹

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск;

²АО «СУЭК-Красноярск», Красноярск

Ключевые слова: техногенный ресурс, избыточное выработанное пространство, угольный разрез, порядок разработки, грузопотоки вскрыши, эффективное управление.

Аннотация. При открытой разработке Назаровского бурогоугольного месторождения формируется избыточное выработанное пространство, вследствие специфических горно-геологических условий. Представлено к рассмотрению современное определение термина «избыточное выработанное пространство». Исследуются горнотехнические условия его формирования. Анализируется гипотеза его использования при разработке пластов слабонаклонного залегания и обосновывается предположение о границах распространения в условиях разреза «Назаровский». Установлена зависимость объема избыточного выработанного пространства от глубины распределения вдоль фронта работ и вкрест простирания пласта. Эффективное управление данным техногенным ресурсом позволяет проектировать грузопотоки вскрыши на Ачинском и Чулымском участках с минимальным расстоянием транспортирования. Установлено, что влияние глубины расположения и распределения избыточного выработанного пространства вдоль фронта работ подчиняется полиномиальной зависимости, а частота его проявления соответствует кривой нормального распределения. Существует возможность с высокой точностью прогнозировать параметры данного техногенного ресурса карьера для дальнейшего эффективного управления. Предложен порядок отработки месторождения на разрезе «Назаровский», с учётом рассматриваемого техногенного ресурса на основе выявленных закономерностей его распределения в рабочей зоне. Результаты исследования могут использоваться специалистами проектных организаций и сотрудникам технических отделов горнодобывающих предприятий.

EFFECTIVE MANAGEMENT OF MAN-MADE RESOURCES IN THE DEVELOPMENT OF THE NAZAROVSKOYE BROWN COAL DEPOSIT

Eremenko E.V.¹, Fedorov A.V.², Morin A.S.¹, Bobrov S.A.¹, Ignatova O.S.¹, Eremenko A.E.¹

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk;

²JSC SUEK-Krasnoyarsk, Krasnoyarsk

Keywords: man-made resource, surplus mined-out space, open-pit coal mine, order of development, freight traffic stripping, effective management.

Abstract. During open-pit mining at the Nazarovsky brown coal deposit, surplus mined-out space forms due to specific mining and geological conditions. A modern definition of the term «surplus mined-out space» is presented for consideration. The mining and technical conditions under which it forms are investigated. A hypothesis for its use in developing gently inclined seams is analyzed, and an assumption regarding its distribution limits in the Nazarovsky open-pit mine is substantiated. The dependence of the volume of surplus mined-out space on the depth of its distribution along the working front and across the strike of the seam is established. Effective management of this man-made resource enables the design of overburden cargo flows at the Achinsky and Chulymsky sites with minimal haulage distances. It is established that the influence of the depth of the surplus mined-out space and its distribution along the working front obeys a polynomial relationship, and its frequency corresponds to a normal distribution curve. It is possible to accurately predict the parameters of this man-made resource in the open pit mine for future effective management. A proposed development plan for the Nazarovsky open-pit mine takes into account the technogenic resource under consideration, based on the identified patterns of its distribution within the working area. Specialists in design organizations and technical departments of mining companies can use the study's results.

Введение

В последние годы и настоящее время – 2022-2025 гг. в Сибирском Федеральном Округе значительно возросло потребление электроэнергии в связи с возросшим потреблением промышленных предприятий и организацией Центров Обработки Данных (ЦОД), работа которых требует бесперебойного электропитания в значительных количествах.

По данным Министерства науки и высшего образования РФ, в Национальном рейтинге научно-технологического развития субъектов по итогам 2024г. Красноярский край занимает 24 место [1].

Так как генерирующие мощности в СФО это, в основном (более 60%), угольные ТЭЦ и ГРЭС, резко возросло потребление угля. Например, на предприятиях АО «СУЭК-Красноярск» – разрезах «Бородинский», «Берёзовский» и «Назаровский», которые являются основными поставщиками топлива на станции угольной генерации СФО, суммарная добыча и отгрузка угля составила в 2020-2021 годах по 25 млн. тонн в год, а в 2024 году – 36 млн. тонн, а в 2025 – 37,5 млн. тонн, то есть выросла почти на 50%.

В сложившихся условиях крайне важными становятся вопросы организации высокопроизводительной и эффективной работы угледобывающих предприятий. И, соответственно, возникает потребность в научных исследованиях и разработках повышающих эффективность производства горных работ, в том числе исследования, связанные с закономерностями образования и использования избыточного выработанного пространства (ИВП) [2].

Повышение энергетической безопасности страны связано с интенсивным освоением угольных месторождений Сибири и Дальнего Востока. Проектирование угольных горнодобывающих предприятий требует тщательной проработки предлагаемых решений, базирующихся на фундаментальных научных исследованиях.

Важное место в горнодобывающей отрасли Красноярского края занимает Канско-Ачинский бассейн (КАБ), в нем сосредоточено свыше 30% разведанных запасов углей. [2]

ИВП является характерной особенностью связанной с отработкой буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна (КАБ), которые отличаются следующими общими характеристиками:

- обширные площади распространения (от 80 до 2500 км²);
- наличие мощного угольного пласта (до 60 м) горизонтального или слабонаклонного (до 3÷8°) залегания;
- небольшая мощность вскрыши на выходах пласта под наносы (12÷16 м) при текущем коэффициенте вскрыши менее 1-3 м³/т [3].

Материалы и методы исследования

Начиная с конца 80-х годов прошлого столетия и по настоящее время, научными сотрудниками кафедры "Открытые горные работы" Института цветных металлов и специалистами разреза «Березовский» выполнены исследования по повышению эффективности горных работ на горнодобывающих предприятиях Красноярского края. В ходе проведения проектных и научно-исследовательских работ выявлен техногенный ресурс – избыточное выработанное пространство (ИВП) [4-7].

Для выполнения настоящего исследования использована проектная документация разработки Назаровского буроугольного месторождения на 01.09.2025г. Принципиальная схема расположения техногенного ресурса по ПК11 в границах разреза «Назаровский» представлена на рисунке 1.

Под избыточным выработанным пространством при разработке пласта слабонаклонного залегания следует понимать часть внутреннего выработанного пространства, которая не используется для размещения вскрыши на внутренних отвалах. ИВП в плане ограничено:

- нижняя граница проходит по почве пласта и по поверхности сформированных отвалов;
- верхняя граница представлена результирующим проектным уровнем восстанавливаемой дневной поверхности;
- на флангах и по восстанью – предельным контуром карьера;
- по падению – возможным положением откоса отвального яруса, максимально приближенного к рабочей зоне.

В России расположено большое количество залежей полезных ископаемых при разработке которых формируется данный техногенный ресурс. Одним из них является южное крыло Назаровского буроугольного месторождения.

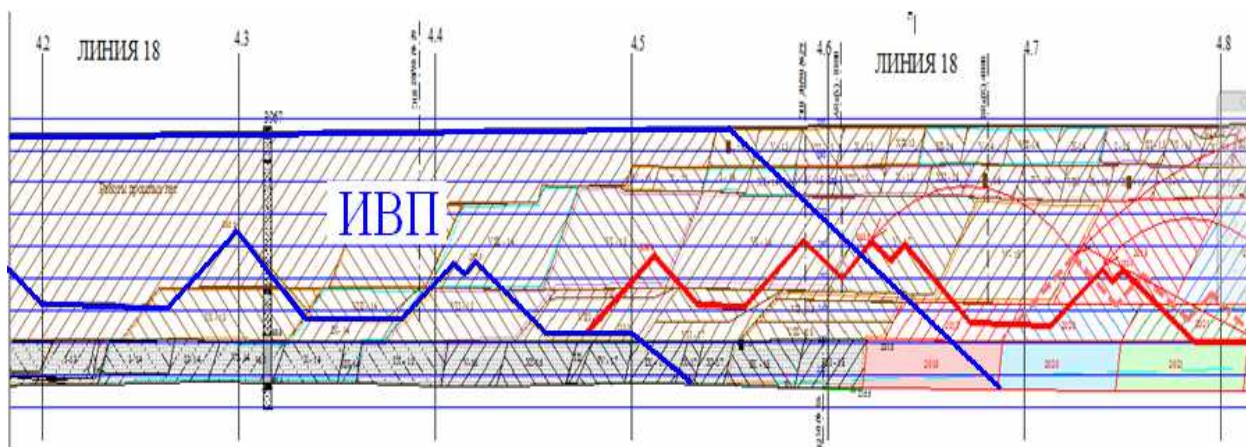


Рис. 1. Принципиальная схема расположения техногенного ресурса по ПК11 в границах разреза «Назаровский»

Площадь распространения составляет 220 км², угол падения изменяется от 2° до 5°, запасы угля в пределах лицензионного участка, подлежащего отработке, достигают 1872 млн. т., мощность пласта 12÷15 м, глубина залегания 2÷50 м [8].

Методологическую основу исследования составили анализ основных технико-экономических показателей за 12 лет, изучение научных публикаций и обобщение практического опыта специалистов АО «СУЭК-Красноярск».

В настоящее время, горные работы осуществляют на Ачинском и Чулымском участках Назаровского месторождения. Применяется комбинированная система разработки вскрыши – транспортная железнодорожная на верхних уступах и транспортно-отвальная с бестранспортной на нижних уступах. Следует отметить, что на Чулымском участке не ведётся отработка угольного пласта, а его незаполненное выработанное пространство используется для размещения отвалов железнодорожной вскрыши. Объем вскрышных пород, перемещаемых во внутренние отвалы с использованием железнодорожного транспорта, в среднем составляет около 3,5 млн. м³ в год.

Результаты

В результате проведенных исследований были установлены следующие закономерности распределения ИВП вдоль фронта горных работ, представленные на рисунках 2, 3.

Максимальный объем техногенного ресурса выявлен на ПК 18-21 Ачинского участка – 12804 тыс. м³, минимальный объем на ПК12-15 и составляет 798 тыс. м³. Формирование рассматриваемого параметра на данном участке фронта горных работ наиболее точно описывает полиномиальная зависимость третьего порядка. Величина коэффициента корреляции 0,97 подтверждает достоверность установленной закономерности распределения.

В пределах Чулымского участка на ПК9-12 объем ИВП составил 3062 тыс. м³, с понижением до 2649 тыс. м³ на ПК12-15. Максимальный объем ИВП формируется между ПК18 и ПК21, он составляет 4706 тыс. м³, с последующим снижением на ПК21-24 до 3031 тыс. м³. Начиная с ПК27 и по ПК36, данный параметр постепенно увеличивается до 5 млн. м³.

Наиболее точно описывает формирование объема ИВП на Чулымском участке полиномиальная зависимость 6-го порядка с коэффициентом корреляции 0,95.

Выявленные закономерности подтверждаются исследованием глубиной распространения ИВП по фронту горных работ. Максимальная глубина распространения ИВП Ачинского участка выявлена между ПК18 и ПК21, минимальная на ПК27-30. Диапазон изменения составил от 74 м до 33 м. Полиномиальная зависимость 5-го порядка описывает формирование данного показателя с коэффициентом корреляции близким к единице.

На Чулымском участке выявлены несколько всплесков изменения глубины распространения ИВП: от ПК9 до ПК12 – 22 м, от ПК18 до ПК21 – 25 м, от ПК27 до ПК30 – 28 м, с последующим увеличением на ПК36 – 30 м. Минимальная глубина распространения

ИВП: от ПК12 до ПК15 – 18 м, от 24 до ПК27 – 19,6 м, Полиномиальная зависимость 6-го порядка описывает изменение данного параметра ИВП менее точно. Коэффициент корреляции составляет 0,86 – что доказывает высокую связь рассматриваемых показателей.

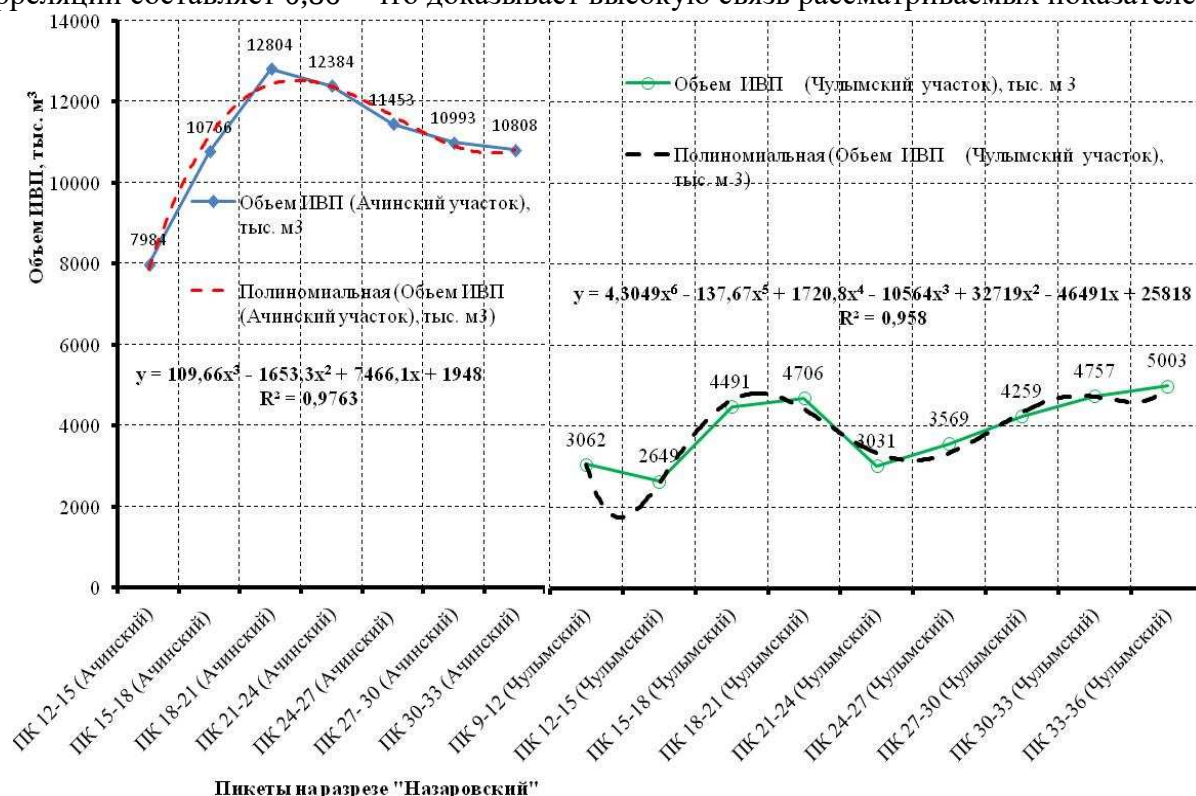


Рис. 2. Закономерности формирования объема техногенного ресурса вдоль фронта работ

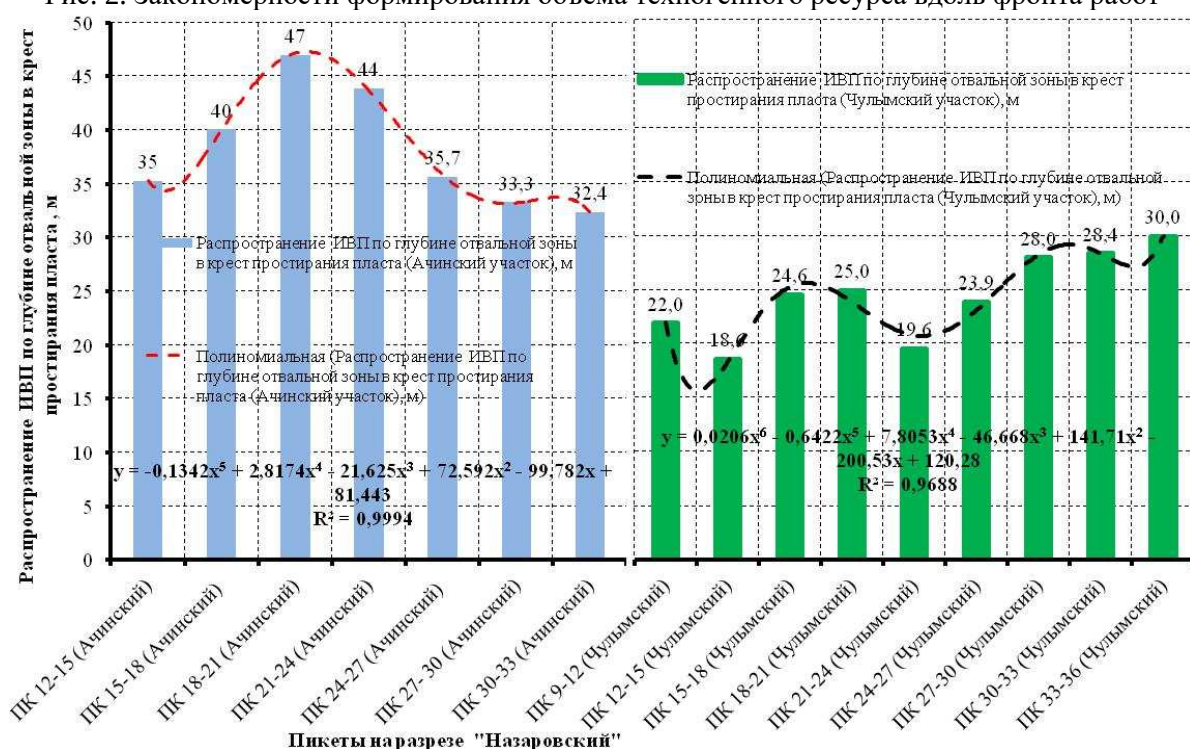


Рис. 3. Закономерности распространения техногенного ресурса по глубине отвальной зоны

Определение зоны распространения ИВП вкrest простирания на Чулымском участке выполнено с шагом 100 м. Объем рассматриваемого техногенного ресурса снижается с 11,3 млн. м³ до 1,2 млн. м³. На расстоянии 600 м от начала подвигания фронта работ, промышленное значение объема ИВП нивелируется, так как объем транспортируемой вскрыши во внутренние отвалы Чулымского участка выше на 600%.

Наиболее точно описывает рассмотренное изменение логарифмическая зависимость, представленная на рисунке 4. Точность установленной математической зависимости подтверждается высоким коэффициентом корреляции равным 0,95.

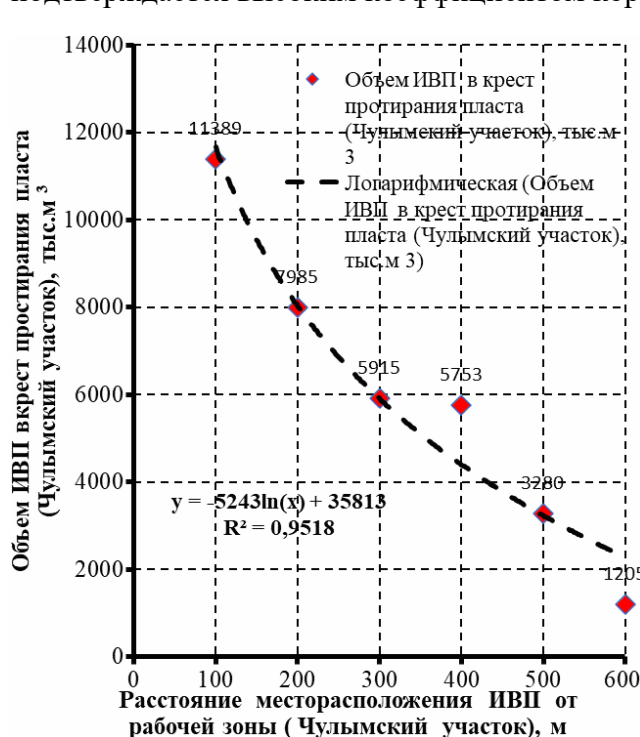


Рис. 4. Закономерности формирования объема ИВП вкrest протирания пласта

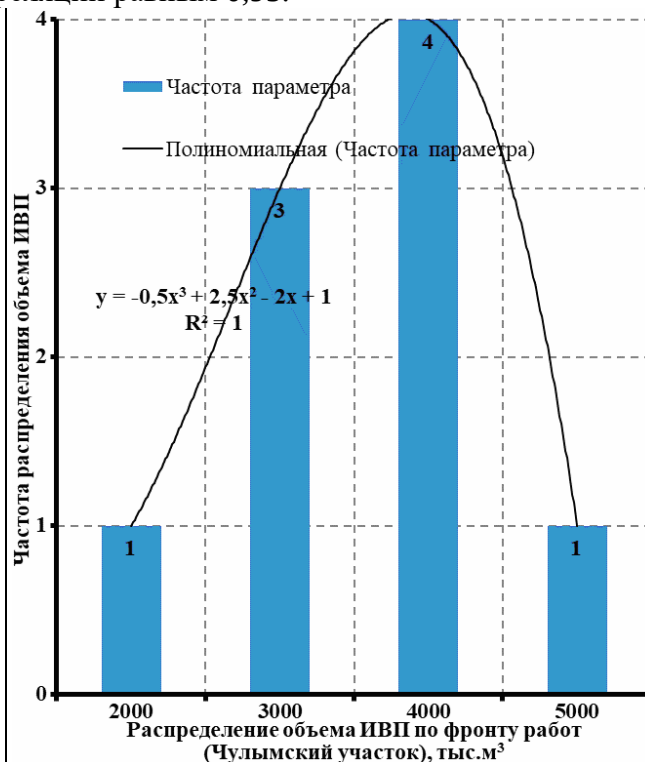


Рис. 5. Нормальный закон распределения избыточного выработанного пространства в границах разреза «Назаровский» на Чулымском участке

Формирование отвалов до результирующего уровня дневной поверхности затруднено в связи с отсутствием достаточного объема вскрышных пород. Для снижения риска заболачиваемости части внутренних отвалов на Чулымском участке целесообразно рассмотреть влияние горных работ на уровень грунтовых воды и уточнить зону распространения и параметры депрессионной воронки.

В настоящее время ИВП на данном участке превышает 35 млн. м³. С учетом годового плана вскрышных работ в 6,2 млн. м³ возможно заполнение ИВП в течение ближайших 5-6 лет с транспортировкой вскрыши по минимальному плечу откатки.

Величина распределения объема ИВП вдоль фронта работ, например, для условий Чулымского участка изменяется от 2,6 млн. м³ до 5 млн. м³. Максимальная частота объема ИВП в пределах 4 млн. м³ составляет четыре единицы, минимальная частота в пределах 2 млн. м³ и 5 млн. м³ составляет всего по единице. Графическая интерпретация распределения частот представлена на рисунке 5.

Частота проявления ИВП соответствует кривой нормального распределения, что предоставляет возможность с вероятностью 95% прогнозировать параметры данного техногенного ресурса карьера и обоснованно использовать в перспективном календарном планировании горных работ. Взаимоувязку годовых планов выполнения вскрышных работ целесообразно проводить с объемом ИВП и его параметрами распространения на отвалах соответствующего участка.

Практические результаты

Следует отметить, что в начале 2000-х, в связи с падением объёмов реализации угля, добычные, а затем и вскрышные работы на Чулымском участке Назаровского месторождения были остановлены. В 2006 году инженерами предприятия было принято решение по

использованию сформированного на Чулымском участке выработанного пространства, частично заполненного отвалами бестранспортной вскрыши, для размещения отвалов опережающей железнодорожной вскрыши Ачинского участка. Данное решение следует оценивать, как практический факт использования ИВП. За период 2006-2025 годы в выработанное пространство Чулымского участка было размещено более 55 млн. м³ пород вскрыши, а экономический эффект от сокращения расстояния транспортировки, в среднем на 3,5 км, составил около 800 млн. руб., что подтверждает практическую ценность предлагаемых исследований для дальнейшего продолжения, внедрения и использования.

Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что выявленный техногенный ресурс имеет высокий потенциал для управления открытыми горными работами и решения вопросов повышения их эффективности на всех горнодобывающих предприятиях АО «СУЭК-Красноярск» [9].

При дальнейшем развитии фронта горных работ по падению пласта, возможно, формировать грузопотоки вскрыши с учетом установленных закономерностей распространения избыточного выработанного пространства в границах разреза «Назаровский». Транспортировка вскрыши с Ачинского участка возможна по короткому плечу откатки в ИВП Чулымского участка.

Рассмотрены два варианта порядка разработки Назаровского месторождения (рис. 6). Вариант №1 предусматривает следующее: при производстве вскрышных работ на Ачинском участке заполнять ИВП Чулымского. С дальнейшим традиционным развитием горных работ.

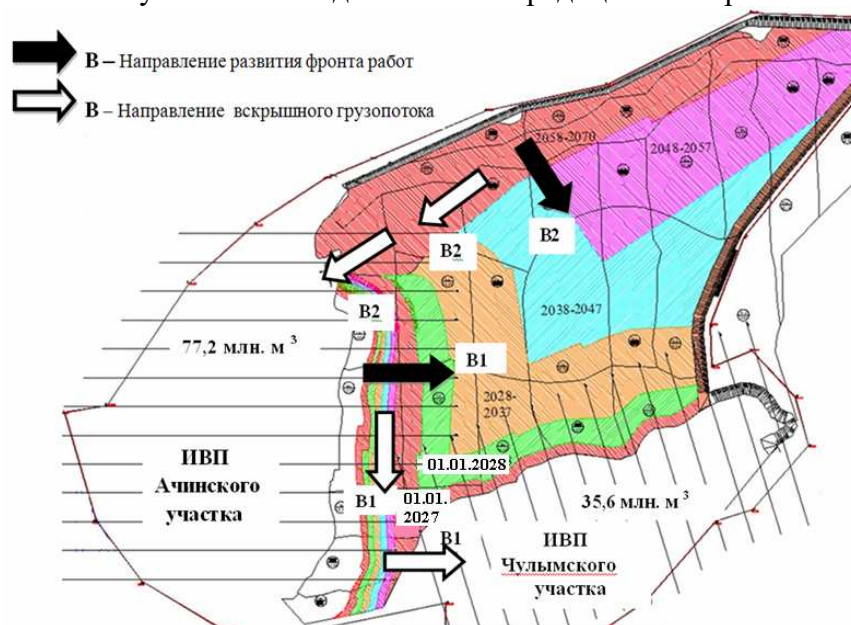


Рис. 6. Варианты распределения грузопотоков вскрыши на разрезе «Назаровский»

Работы по варианту №2 целесообразно сосредоточить на левом фланге Ачинского участка и фронт горных работ развернуть вкрест простирания пласта. Это позволит создать доступ транспорта к ИВП Ачинского участка, которое по выполненным расчетам равно 77,2 млн. м³. Целесообразно рассмотреть перемещение вскрыши автотранспортом с учетом предлагаемого разворота фронта горных работ на основе установленных закономерностей формирования ИВП. Применение автотранспорта позволит построить перемычки из отрабатываемых пород, для создания грузотранспортной связи между блоками с максимально возможным преодолеваемым уклоном.

Разработана математическая модель в программной среде MS Excel. Применена методика расчета динамической проектной задачи, с использованием общепринятых экономических критериев [10-13]. Чистый дисконтированный доход, в ценах 2025 года, составил: по варианту №1 – 1699 млн. руб., по варианту №2 – 2352 млн. руб.

Заключение

Учитывая выше изложенное, можно заключить, что данное исследование подчеркивает важность выявления и определения параметров избыточного выработанного пространства при разработке месторождений полезных ископаемых слабонаклонного залегания.

Уточнение зоны распределения вдоль фронта горных работ позволяет сопоставить объем планируемой вскрыши с возможностью ее размещения в ИВП смежного блока.

Обоснование порядка разработки обширного месторождения с изменением направления развития фронта горных работ позволит формировать транспортные грузопотоки вскрыши через фланги смежных участков по минимальному плечу откатки.

Интеграция выявленного техногенного ресурса в разработку проектной документации и на стадии перспективного планирования позволит снизить экологические и экономические издержки, а так же адаптироваться к нестабильному спросу на современном этапе развития горного производства.

Список литературы

1. Национальный рейтинг научно-технологического развития субъектов Российской Федерации по итогам 2024г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minobrnauki.gov.ru/upload/2025/12/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0%20%D0%B7%D0%B0%202024%20%D0%B3..pdf>
2. Еременко Е.В. Обоснование порядка разработки обширных мощных месторождений слабонаклонного залегания: Дисс. ...канд. техн. наук. – Красноярск, 2002. – 168 с.
3. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И. Формирование отвальных массивов при отработке угольных месторождений. – М.: Изд-во "Горное дело", 2014. – 232 с.
4. Патент №2394157 РФ. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых / А.В. Федоров, В.П. Шорохов, В.Е. Кисляков, С.А. Бобров. – Заявка №2009120010 от 26.05.2009; опубл. 10.07.2010, Бюл. №19.
5. Еременко Е.В., Косолапов А.И. К вопросу управления техногенным ресурсом карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №S45-1. – С. 249-259.
6. Федоров А.В. Обоснование технологий и комплексов оборудования для модернизируемых мощных бурогольных разрезов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Красноярск: СФУ, 2013. – 19 с.
7. Пташник Ю.П. Обоснование технологии разработки месторождений для использования выработанных пространств известняковых карьеров в строительстве: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. – Красноярск: СФУ, 2016. – 21 с.
8. Топливо-энергетический комплекс России из космоса. Угольные разрезы, тепловые станции, промышленная экология / Под ред. И.В. Зенькова. – Красноярск. СФУ, 2019. – 616 с.
9. Константинов А.В., Федоров А.В., Буйницкий А.И. Особенности организации работы автомобильного вскрышного комплекса в условиях поточной технологии добычи угля на примере разреза Березовский // Горная промышленность. – 2025. – №3. – С. 96-101.
10. Качурин Н.М., Курехин Е.В. Оценка эффективности сплошной-углубочной системы разработки сложноструктурных угольных месторождений с землесбережением // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – №2. – С. 210-221.
11. Селюков А.В., Герасимов А.В. Обоснование области применения автосамосвалов различной грузоподъемности при блоковом способе отработки карьерного поля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – №2. – С. 57-67.
12. Экономическая оценка инвестиций в горной промышленности / Под. ред. Я.В. Моссаковского. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 203 с.
13. Справочное руководство по оценке затрат в горной промышленности: перевод с английского. – М.: Эксмо, 2020. – 656 с.

References

1. National ranking of scientific and technological development of the constituent entities of the Russian Federation based on the results of 2024 [Electronic resource]. – Access mode <https://www.minobrnauki.gov.ru/upload/2025/12/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0%20%D0%B7%D0%B0%202024%20%D0%B3..pdf>
2. Eremenko E.V. Justification of the procedure for developing vast, powerful, gently inclined deposits: Diss. ... cand. of tech. sc. – Krasnoyarsk, 2002. – 168 p.
3. Suprun V.I., Artemyev V.B., Opanasenko P.I. Formation of waste massifs during the development of coal deposits. – M.: Publ. house "Mining", 2014. – 232 p.

4. Patent No. 2394157 RU. Method of open-pit mining of mineral deposits / A.V. Fedorov, V.P. Shorokhov, V.E. Kislyakov, S.A. Bobrov. – Appl. No. 2009120010 from 26.05.2009; publ. 10.07.2010, Bul. No. 19.
5. Eremenko E.V., Kosolapov A.I. On the issue of quarry technogenic resource management // Mining information and analytical bulletin. 2015, no. S45-1, pp. 249-259.
6. Fedorov A.V. Justification of technologies and equipment complexes for modernized powerful brown coal mines: Abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – Krasnoyarsk: SFU, 2013. –19 p.
7. Ptashnik Yu.P. Justification of the technology of deposit development for the use of mined-out spaces of limestone quarries in construction: Abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – Krasnoyarsk: SFU, 2016. – 21 p.
8. Russia's Fuel and Energy Complex from Space. Coal Mines, Thermal Power Plants, Industrial Ecology / Edited by. I.V. Zenkov. – Krasnoyarsk: SFU, 2019. – 616 p.
9. Konstantinov A.V., Fedorov A.V., Buinitsky A.I. Features of the organization of work of an automobile stripping complex in the conditions of continuous coal mining technology on the example of the Berezovsky open pit // Russian Mining Industry. 2025, no. 3, pp.96-101.
10. Kachurin N.M., Kuryokhin E.V. Evaluation of the efficiency of continuous-deepening system of development of complex-structure coal deposits with land conservation // Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. 2023, no. 2, pp. 210-221.
11. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Justification of the scope of application of dump trucks of various carrying capacities in the block method of quarry field development // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024, no. 2, pp. 57-67.
12. Economic assessment of investments in the mining industry / Edited by Ya.V. Mossakovsky. – M.: Publ. house of Moscow State Mining University, 2004. – 203 p.
13. Handbook of Cost Estimation in Mining: translated from English. – M.: Eksmo, 2020. – 656 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Еременко Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Открытые горные работы»	Eremenko Evgeny Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of open-pit mining
Федоров Андрей Витальевич – доктор технических наук, заместитель генерального директора по науке	Fedorov Andrey Vitalievich – doctor of technical sciences, deputy general director for science
Морин Андрей Степанович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы»	Morin Andrey Stepanovich – doctor of technical sciences, associate professor, head of the Department of mining machines and complexes
Бобров Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, инженер	Bobrov Sergey Anatolyevich – candidate of technical sciences, engineer
Игнатова Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы»	Ignatova Olga Sergeevna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining machines and complexes
Еременко Александр Евгеньевич – студент	Eremenko Aleksandr Evgenievich – student
EVEremenko@sfu-kras.ru	

Получена 29.01.2026