

На правах рукописи



ЛЕВЧЕНКО ЯРОСЛАВ ВИКТОРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ СХЕМ ВСКРЫТИЯ ВЕРХНЕЙ ГРУППЫ РАБОЧИХ
ГОРИЗОНТОВ УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и
строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

Научный руководитель: **Супрун Валерий Иванович,**
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Сафронов Виктор Петрович,**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВПО «Тульский государственный университет»
(ТулГУ), профессор кафедры «Геотехнологии и
строительство подземных сооружений»;

Сытенков Виктор Николаевич,
доктор технических наук, профессор, ФГУП
«Всероссийский научно-исследовательский
институт минерального сырья имени
Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС»),
начальник отдела инновационных технологий
разработки месторождений.

Ведущая организация: **ФГБУН «Институт проблем комплексного
освоения недр Российской академии наук»
(ИПКОН РАН), г. Москва.**

Защита диссертации состоится «12» мая 2016 г. в ____ час. ____ мин. на заседании диссертационного совета Д 212.132.16 на базе НИТУ «МИСиС» по адресу: 119991 Москва, ГСП-1, Ленинский пр., д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического института «МИСиС» и на сайте НИТУ «МИСиС» (www.misis.ru).

Автореферат разослан «____» _____ 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

д-р техн. наук, профессор



Вознесенский Александр Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Российская Федерация является одним из мировых лидеров по запасам угля. Возрастающая потребность в энергоресурсах предопределяет необходимость развития теплоэнергетики. В соответствии с принятой «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» предполагается увеличить долю потребления угля на нужды теплоэнергетики до 34–36 %.

Значительная часть угольных месторождений в основных угольных бассейнах Российской Федерации представлена мульдообразными залежами (брахисинклиналями). На таких месторождениях с определенного этапа их отработки возникает недостаток приемной способности выработанного карьерного пространства для размещения внутренних отвалов. Это предопределяет прогрессивное возрастание работы транспорта и затрат на перемещение вскрышных пород с верхней группы рабочих горизонтов карьеров, что в свою очередь ограничивает область и масштабы применения открытого способа отработки угольных месторождений. В этой связи необходимо изыскание технических решений, позволяющих снизить затраты на транспортирование вскрышных пород.

Одним из таких решений является вскрытие верхней группы горизонтов карьеров капитальными траншеями со стороны рабочих бортов и направлением формируемых грузопотоков вскрышных пород на отвальные массивы, расположенные во внутренних контурах угольных месторождений и внешних прибортовых зонах карьерных полей. Данный вопрос недостаточно исследован и освещен в литературных источниках.

В связи с вышесказанным обоснование схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров, базирующихся на рациональном порядке отработки карьерных полей и выявленных закономерностях формирования выработанного карьерного пространства, является актуальной научной задачей.

Целью работы является обоснование схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров, отрабатывающих месторождения брахисинклинального типа, что обеспечивает снижение затрат на транспортирование вскрышных пород, не размещаемых в выработанном карьерном пространстве.

Идея работы заключается в том, что для сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород в условиях возникновения дефицита

приемной способности выработанного пространства угольных карьеров следует вскрывать верхнюю группу рабочих горизонтов капитальными траншеями со стороны рабочих бортов и направлять формируемые вскрышные грузопотоки на отвальные массивы, создаваемые во внутренних контурах угольных месторождений и внешних прибортовых зонах карьерных полей.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Возникновение недостатка приемной способности выработанного карьерного пространства для размещения вскрышных пород при отработке угольных месторождений с пологим падением пластов наступает при достижении текущих коэффициентов вскрыши выше уровня 2,5–3,5 м³/т. Для горно-геологических условий Кедровско-Крохалевского месторождения объемы вскрышных пород, не размещаемые в выработанном пространстве, определяются степенной функцией $\Delta V = 9,369 \cdot H^{0,2461}$, млн м³ (где H – глубина карьера, м).

2. В условиях недостатка приемной способности выработанного карьерного пространства наибольшими значениями транспортной работы обладают верхние и частично средние рабочие горизонты (уступы) карьеров. Именно для этих уступов, суммарная высота которых составляет 25–35 % от общей текущей высоты рабочей зоны карьера, необходимо планировать совершенствование схем вскрытия рабочих горизонтов с целью сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород.

3. Недостаток приемной способности выработанного карьерного пространства возможно ликвидировать путем создания со стороны рабочих бортов карьеров капитальных траншей глубиной 30–60 м и перемещения по ним объемов вскрышных пород, не размещаемых в выработанном карьерном пространстве, в отвальные массивы, формируемые во внутренних контурах угольных месторождений и внешних прибортовых зонах карьерных полей.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов подтверждаются: корректной постановкой задач исследования; анализом, обобщением теоретических и экспериментальных работ; применением современных методов моделирования развития горных работ; статистическими данными по затратам и транспортной работе при перемещении вскрышных пород различными видами карьерного транспорта; сходимостью результатов моделирования и расчетов с практическими данными; положительными результатами внедрения научных результатов работы и принятых на их основе технических решений в практику

производства открытых горных работ на угольных разрезах «Черниговский» и «Тугнуйский».

Научная новизна работы заключается в следующем:

- определены условия прирезки и изменения схем вскрытия карьерных полей с учетом закономерностей формирования выработанного карьерного пространства и оптимизации параметров режима горных работ;
- установлена впервые зависимость изменения приемной способности выработанного карьерного пространства для размещения вскрышных пород от глубины отработки с учетом морфологии угольных пластов и структурных нарушений горного массива;
- установлены зависимости изменения транспортной работы от высоты рабочих зон карьеров, отрабатывающих угольные месторождения брахисинклинального типа;
- выполнена систематизация отвалов, располагаемых во внутренних контурах и внешних прибортовых зонах карьерных полей угольных месторождений.

Научное значение работы состоит в обосновании схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров, предполагающих перемещение вскрышных пород в отвальные массивы, располагаемые во внутренних контурах угольных месторождений и внешних прибортовых зонах карьерных полей.

Практическое значение работы заключается в разработке методических рекомендаций по определению глубины заложения, конструкции и пунктов примыкания капитальных траншей к участкам рабочих бортов для использования при проектировании схем вскрытия рабочих горизонтов карьеров, отрабатывающих угольные месторождения.

Реализация выводов и рекомендаций. Методические рекомендации по определению глубины заложения, конструкции и пунктов примыкания капитальных траншей к участкам рабочих бортов, а также решения по стабилизации расстояний перемещения вскрышных пород за счет создания отвальных массивов во внутренних контурах угольных месторождений и прибортовых зонах карьерных полей использованы при проектировании разреза «Черниговский» (АО ХК «СДС-Уголь») и внедрены в производство на разрезе «Тугнуйский» (АО «СУЭК»).

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, МГГУ –

НИТУ «МИСиС», 2013–2016 гг.), международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение» (г. Алматы, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2014 г.), технических совещаниях АО «СДС-Уголь» и АО «СУЭК», на научных семинарах кафедры «Геотехнологии освоения недр» (МГГУ – НИТУ «МИСиС», 2013–2016 гг.).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 7 научных статьях 5 из которых опубликовано в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, а также в отдельных разделах монографии «Формирование отвальных массивов при отработке угольных месторождений».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 98 наименований и 4 приложений, содержит 97 рисунков и 9 таблиц.

Автор выражает благодарность коллективам Проектно-экспертного центра Горного института НИТУ «МИСиС» и кафедры «Геотехнологии освоения недр» НИТУ «МИСиС» за рекомендации, высказанные в ходе подготовки диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследованиями вопросов вскрытия карьерных полей занимались многие известные горные инженеры и ученые: Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевский, А.И. Арсентьев, Н.В. Мельников, В.В. Истомина, К.Н. Трубецкой, Г.Г. Саканцев, Ю.И. Анистратов, Б.П. Юматов, М.Г. Новожилов, В.С. Хохряков, П.И. Томаков, В.С. Коваленко, В.И. Супрун, А.С. Ненашев, В.Ф. Колесников, В.Н. Сытенков, В.И. Ческидов, В.П. Сафронов, В.В. Манкевич, Б.Т. Рутковский, Е.П. Плотников и другие ученые.

Анализ научной литературы показывает, что большинство решений по открытой разработке угольных и рудных месторождений основывается на принципе формирования схем вскрытия рабочих горизонтов карьеров со стороны их нерабочих (стационарных) бортов. В горной практике имеются примеры вскрытия рабочих горизонтов карьеров со стороны их рабочих бортов, но широкого распространения данные технические решения не получили.

В диссертационной работе обосновываются условия формирования и возможный масштаб использования схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров при возможности расположения отвальных массивов во внутренних

контурах угольных брахисинклиналей и внешних прибортовых зонах карьерных полей.

В соответствии с поставленной целью сформулированы и решены следующие задачи:

- изучение горно-геологических условий залегания и основных морфологических особенностей угольных брахисинклиналей, представляющих объект производства открытых горных работ;

- систематизация угольных брахисинклиналей по условиям размещения вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве, оценка приемной способности выработанного пространства с учетом градиентов выполаживания угольных пластов;

- определение условий возникновения недостатка объемов выработанного пространства карьера для складирования вскрышных пород;

- исследование закономерностей изменения транспортной работы карьеров, отрабатывающих угольные месторождения брахисинклинального типа, и определение группы горизонтов карьера с максимальной работой транспорта;

- систематизация отвальных массивов, формируемых во внутренних контурах угольных месторождений и во внешних прибортовых зонах карьерных полей;

- рационализация параметров капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов угольных карьеров;

- разработка методических рекомендаций по определению глубины заложения, конструкции и пунктов примыкания капитальных траншей к участкам рабочих бортов.

Особенностью месторождений, представленных брахисинклиналями, является выполаживание пластов с глубиной. Изменение объема вскрываемых запасов угля (ΔQ) при равной скорости подвигания фронта горных работ зависит от двух противодействующих факторов:

- возрастания вскрываемых запасов в связи с выполаживанием пластов (Q_I , первый фактор);

- снижения вскрываемых запасов, обусловленного сокращением фронта горных работ за счет отстройки стационарных бортов в торцах карьера и его погашением в замковой зоне складки (Q_{II} , второй фактор).

Интенсивность выполаживания пластов угольных брахисинклиналей можно выразить через градиент выполаживания, т. е. величину изменения

углов наклона пласта в пределах равновеликих высотных интервалов залегания брахисинклинали:

$$G = \frac{\beta_{n-1}(H_{n-1}) - \beta_n(H_n)}{H_n - H_{n-1}}, \text{ град/м}, \quad (1)$$

где n – номер горизонта;

H_{n-1} – глубина карьера при отработке текущего горизонта, м;

H_n – то же на горизонте, планируемом к отработке, м;

$\beta_{n-1}(H_{n-1})$ – величина угла наклона пласта на текущем горизонте (H_{n-1}), град.;

$\beta_n(H_n)$ – то же на планируемом к отработке горизонте (H_n), град.

Для угольных брахисинклиналей, отличающихся морфологией залежей, изучено изменение градиентов выполаживания пластов (рисунок 1).

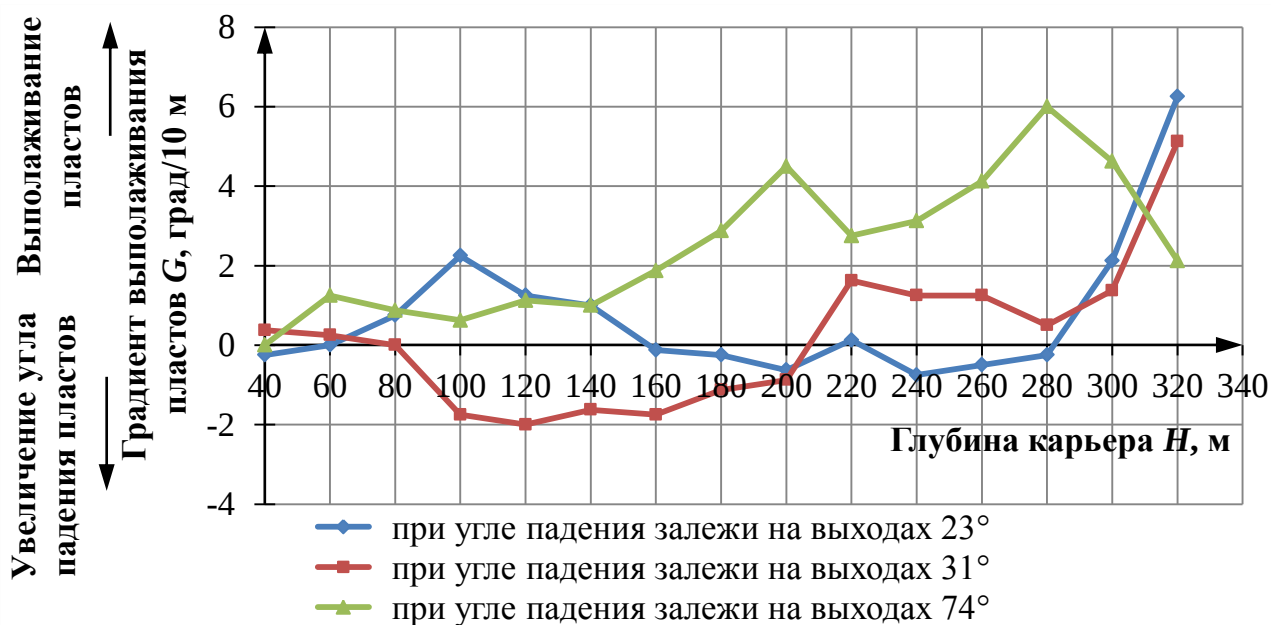


Рисунок 1 – Характерные кривые изменения градиентов выполаживания угольных пластов для брахисинклиналей, отличающихся морфологией залежей

Для выявления основных причин сокращения фронта горных работ (второй фактор) необходимо установить характер изменения углов наклона стационарных бортов в зависимости от глубины производства горных работ. С этой целью выполнена статистическая обработка данных геомеханических расчетов предельных углов наклона стационарных бортов для ряда угольных карьеров (рисунок 2).

Зная основные факторы, влияющие на изменение объемов вскрываемых запасов с увеличением глубины отработки, разность между объемами увеличения и уменьшения вскрываемых запасов возможно определить по следующему выражению:

$$\Delta Q = \frac{v \cdot m \cdot \rho (L_{\phi} - 2 (b \cdot \operatorname{ctg} \theta + Y \cdot \operatorname{ctg} \varphi))}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{v \cdot L_{\phi} \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \text{ Т}, \quad (2)$$

где v – скорость подвигания фронта горных работ, м/год;
 L_{ϕ} – длина добычного фронта на текущем горизонте карьера, м;
 m – нормальная мощность угольных пластов, м;
 ρ – объемная масса угля, т/м³;
 α – угол откоса рабочего борта карьера, град.;
 β_{n-1} – угол наклона пласта на текущем горизонте отработки, град.;
 β_n – угол падения пласта на планируемом горизонте отработки, град.;
 b – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м;
 θ – угол встречи смежных фронтов в замковой зоне брахисинклинали, град.;
 Y – углубление карьера за рассматриваемый этап отработки, м;
 φ – предельный угол наклона борта карьера по условиям устойчивости (стационарный борт), град.

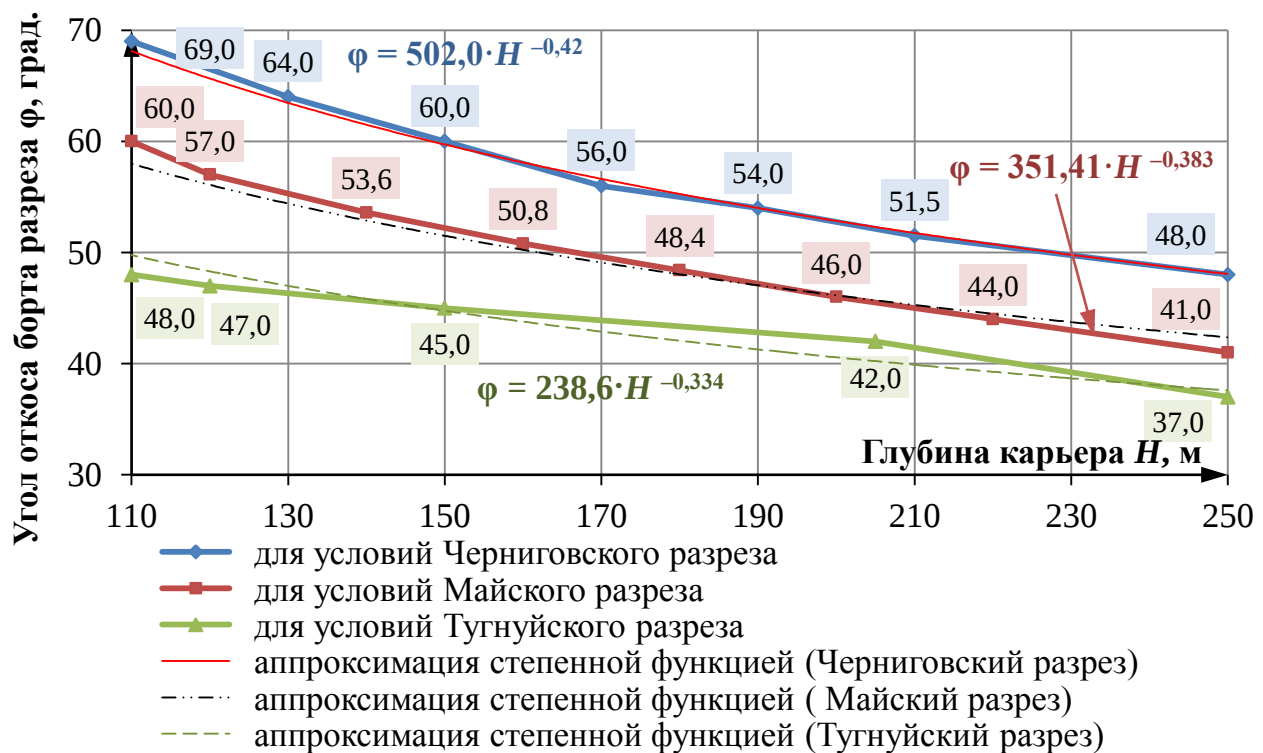


Рисунок 2 – Закономерности изменения предельных углов наклона бортов карьеров с глубиной (по условиям устойчивости)

Кривые, характеризующие закономерности изменения объемов вскрываемых запасов с увеличением глубины отработки, приведены на рисунке 3. На протяжении основного периода отработки угольных брахисинклинали сокращение фронта горных работ оказывает превалирующее влияние на снижение вскрываемых запасов угля. Для поддержания производственной

мощности карьера возникает необходимость изыскания способов компенсации сокращения вскрываемых запасов угля.

Существуют два варианта решения данной проблемы: первый предполагает увеличение скорости подвигания фронта горных работ; второй – предусматривает прирезку к действующему карьеру нового карьерного поля с лучшими горно-геологическими условиями залегания полезного ископаемого. Реализация второго варианта является предпочтительной и широко применяется в практике отработки крупных угольных месторождений.

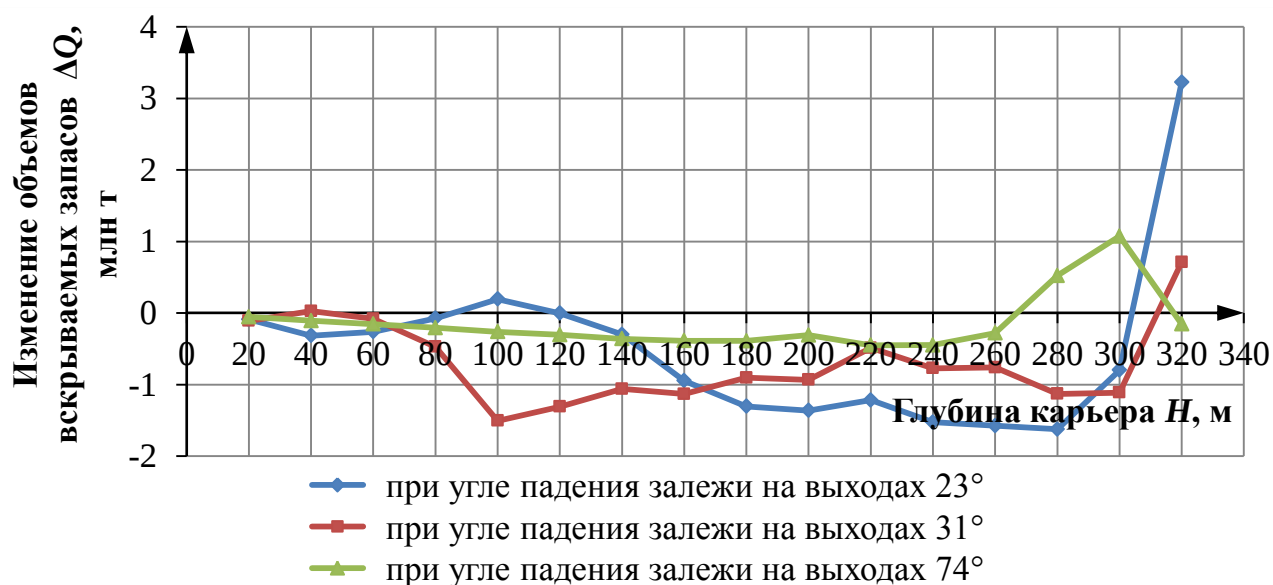


Рисунок 3 – Закономерности изменения объемов вскрываемых запасов с глубиной отработки

Прирезка нового карьерного поля изменяет схему вскрытия рабочих горизонтов и в большинстве случаев приводит к увеличению транспортной работы карьера, т.к. ведет к ликвидации части вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций.

В общем случае целесообразность развития горных работ в контурах замковых зон (по шарниру) брахисинклинали без прирезки нового карьерного поля сохраняется до этапа, пока выполняется условие:

$$\Delta T(\Delta S) + \Delta Y(\Delta S) + P \cdot \Delta Z(\Delta S) + \Delta F(H) + \Delta B(H) \mp \Delta Q(G, L_{\phi}) \geq \Delta K(H) \cdot \Delta V \cdot C_v(H), \quad (3)$$

где ΔT – снижение транспортных издержек за счет укладки вскрышных пород в выработанное пространство карьера, руб.;

ΔS – увеличение объемов выработанного пространства для складирования вскрышных пород в контурах брахисинклинали ($\Delta S = f(H, k_{\pi})$, где H – глубина карьера, м; k_{π} – коэффициент, показывающий долю площади стационарного борта карьера, пригодного для размещения вскрышных пород), м³;

ΔY – снижение ущербов за счет размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера, руб.;

P – плата за отчуждение и использование земельной площади под внешние отвалы, руб.;

ΔZ – среднегодовое снижение площади изымаемых земель под внешнее отвалообразование, м²;

$\Delta F(H)$ – снижение затрат от возможности формирования рациональной геометрической формы карьера, позволяющей минимизировать средний коэффициент вскрыши, руб.;

$\Delta B(H)$ – снижение затрат, связанных с формированием схемы вскрытия карьерных полей, руб.;

$\Delta Q(G, L_{\phi})$ – уменьшение (увеличение) доходности от изменения объемов вскрываемых запасов угля (где G – градиент выполаживания, град/м; L_{ϕ} – длина добычного фронта, м), руб.;

$\Delta K(H)$ – увеличение текущего коэффициента вскрыши на действующем карьере в сравнении с вариантом, предполагающим прирезку нового карьерного поля, м³/т;

ΔV – объем угля, добываемый с прирезаемого участка, т;

$C_{\text{в}}(H)$ – затраты на удаление 1 м³ вскрышных пород на прирезаемом участке, руб/м³.

По условиям заполнения выработанного карьерного пространства угольные брахисинклинали можно разделить на три вида (А, В, С):

– А характерен тем, что текущие объемы выработанного пространства на всех этапах отработки брахисинклинали превышают текущие объемы вскрышных пород;

– В характерен тем, что на начальном этапе отработки месторождения вскрышные породы размещаются в выработанном пространстве, а на некотором промежуточном этапе производства горных работ объем вскрышных пород начинает превышать приемную способность выработанного пространства карьера;

– С характеризуется избытком вскрышных пород над объемами выработанного карьерного пространства, начиная с первых этапов производства горных работ.

В диссертационной работе объектом исследования являются угольные брахисинклинали, относящиеся к виду В.

Масштабы размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьеров, отрабатывающих угольные брахисинклинали, могут быть определены с помощью коэффициента k_{π} , показывающего долю стационарного борта, пригодного для внутреннего отвалообразования:

$$k_{\pi} = \frac{S_o(H) - S_{\pi}(H)}{S_o(H)}, \quad (4)$$

где $S_o(H)$ – общая площадь стационарного борта карьера на определенной глубине разработки H ;

$S_{\pi}(H)$ – часть площади стационарного борта карьера на глубине H , в которой невозможно размещение внутренних отвалов по геомеханическим и техническим соображениям.

С увеличением глубины отработки угольных брахисинклиналей доля выработанного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород, возрастает, что ведет к росту коэффициента k_{π} . Последнее определяется эффектом выполаживания пластов и уменьшением нарушений геологических структур (пликативных и дизъюнктивных) по глубине складки.

Для определения значения k_{π} необходимо выполнить геометризацию углов падения почвы пласта, по которому отстраивается стационарный борт карьера. Данная работа проделана применительно к условиям северной замковой зоны Кедровско-Крохалевского месторождения (рисунок 4).

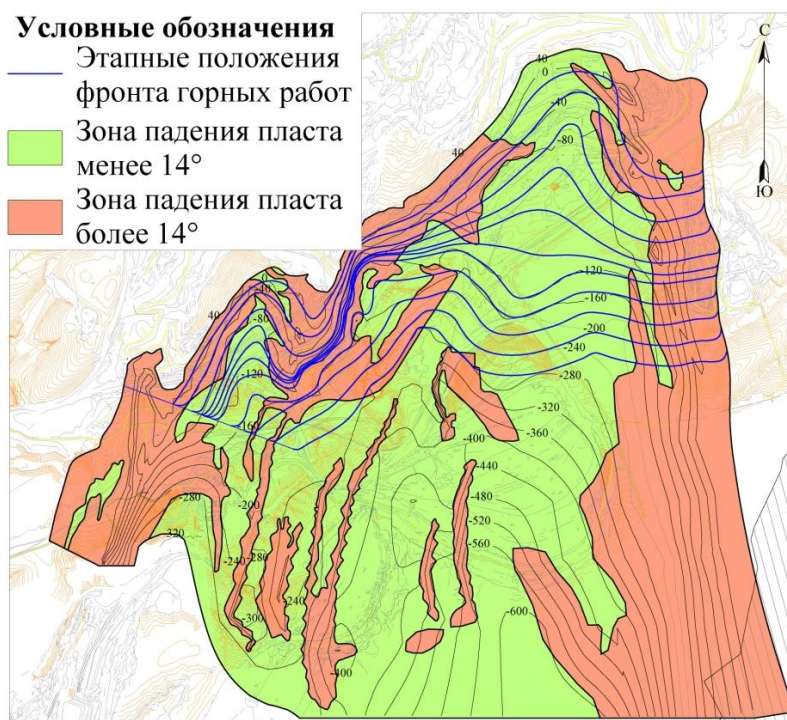


Рисунок 4 – Схема, иллюстрирующая наклон почвы нижнего отрабатываемого пласта с потенциально пригодными участками для размещения внутренних отвалов

На основе геометризации углов падения почвы пласта получена кривая изменения значения k_n для различных гипсометрических уровней залегания пластов (рисунок 5).

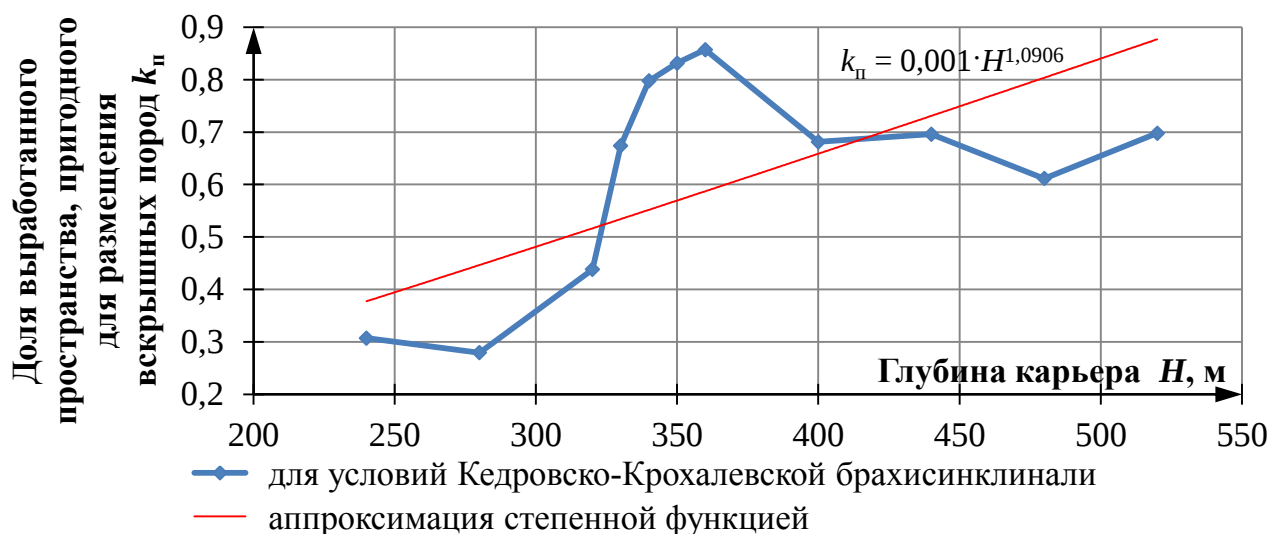


Рисунок 5 – Изменение доли выработанного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород

Начальные этапы эксплуатации значительной части месторождений, представленных угольными брахисинклиналими с пологим падением пластов, характеризуются избытком выработанного пространства для размещения вскрышных пород (зона 1, рисунок 6). С углублением карьеров и ростом объемов производства вскрышных работ возникает недостаток (дефицит) приемной способности выработанного карьерного пространства для размещения в нем вскрышных пород (зона 2, рисунок 6).

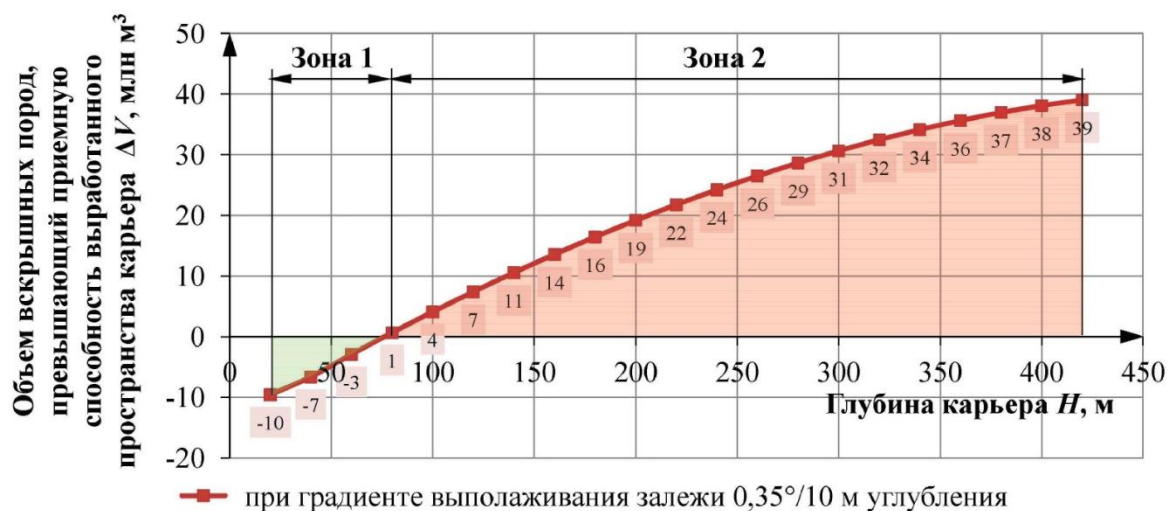


Рисунок 6 – Изменение приемной способности выработанного пространства карьера, отрабатывающего угольную брахисинклиналь с пологим падением пластов: зона 1 – избыток приемной способности выработанного пространства для размещения вскрышных пород; зона 2 – недостаток приемной способности

Величина дисбаланса определяется по выражению:

$$\Delta V = k_p \cdot V_b - k_{\pi} (V_b + V_{\pi.и} / \rho), \text{ м}^3, \quad (5)$$

где V_b – общий объем вскрышных пород, удаляемых из карьера, м^3 ;

$V_{р.в.п}$ – объем вскрышных пород, размещаемых в выработанном пространстве карьера, м^3 ;

$V_{\pi.и}$ – объем выработанного пространства, формируемый за счет отработки полезного ископаемого, при выполнении вскрышных работ в объеме V_b , т;

ρ – объемная масса полезного ископаемого, т/м^3 ;

k_p – коэффициент разрыхления вскрышных пород;

k_{π} – коэффициент, показывающий долю выработанного пространства, пригодного для размещения в нем вскрышных пород.

Для северной замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали получены кривые, иллюстрирующие изменение величины недостатка (дефицита) приемной способности выработанного пространства для размещения вскрышных пород (рисунок 7). Кривая 1 получена при использовании фактических значений k_{π} (рисунок 5), а кривая 2 – при значениях $k_{\pi} = 1$, то есть без ограничений по формированию внутренних отвалов.

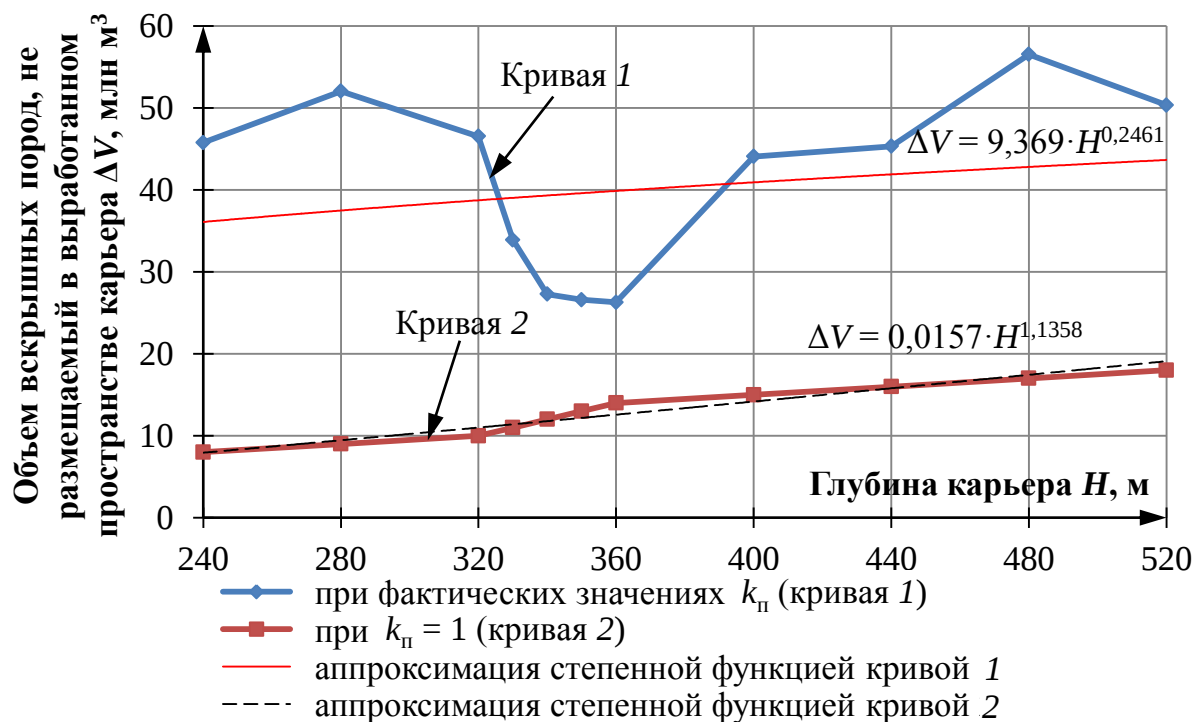


Рисунок 7 – Изменение объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства (северная замковая зона Кедровско-Крохалевской брахисинклинали)

Полученные зависимости подтверждают тенденцию постепенного нарастания фактического дефицита выработанного пространства (кривая 1) и его наличие даже в идеализированных условиях (кривая 2, рисунок 7).

Определение возникновения дефицита приемной способности выработанного пространства карьера возможно посредством следующего условия:

$$K_v > \frac{k_n}{\rho (k_p - k_n)}, \quad (6)$$

где K_v – текущий коэффициент вскрыши, м³/т.

При среднем значении коэффициента остаточного разрыхления 1,25 и изменении объемной массы угля от 1,15 до 1,6 т/м³ недостаток приемной способности выработанного пространства возникает при достижении значений коэффициента вскрыши 2,5–3,5 м³/т.

Наличие дефицита приемной способности выработанного пространства для размещения вскрышных пород предопределяет качественные изменения в порядке формирования внутренних отвалов. Внутренние отвалы начинают развиваться выше уровня рельефа, существовавшего до разработки, и частично в сторону, противоположную основному направлению подвигания рабочего борта карьера.

Минимизация транспортной работы по перемещению вскрышных пород при отработке угольных брахисинклиналей обеспечивается при реализации схемы, согласно которой транспортирование вскрышных пород, начиная с нижних рабочих горизонтов карьера, осуществляется в ближайший ярус (ярусы) отвала (рисунок 8).

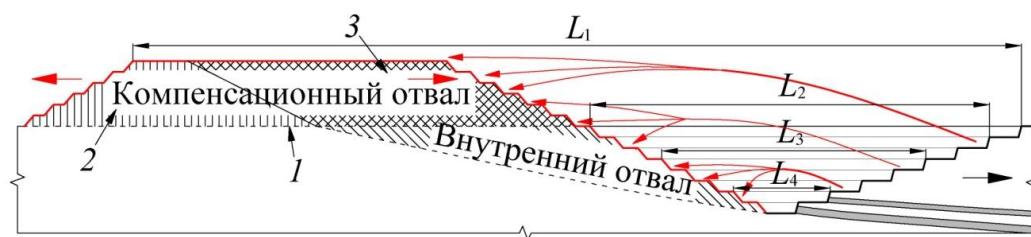


Рисунок 8 – Схема распределения вскрышных пород по отвальным ярусам: 1 – поверхность рельефа до отработки месторождения, служащая границей между внутренним и компенсационным отвалами; 2 – внешняя зона компенсационного отвала; 3 – внутренняя зона компенсационного отвала; L_1 – L_4 – расстояния перемещения вскрышных пород ($L_1 > L_4$)

Отвалы, формируемые с этапа возникновения дисбаланса выработанного пространства карьера, и размещаемые в них объемы вскрышных пород

предлагается называть компенсационными (рисунок 8). Они позволяют регулировать параметры вскрышных грузопотоков и транспортную работу карьера. Компенсационные отвалы в большинстве случаев имеют частично внешнее, частично внутреннее расположение по отношению к предельным контурам карьера, т. е. являются комбинированными.

Вскрышные породы, перемещаемые с группы нижних и частично средних горизонтов, укладываются на нижние и частично средние горизонты выработанного пространства карьера. При заполнении выработанного пространства вскрышные грузопотоки направляются во внешние зоны компенсационного отвала, что предопределяет интенсивное нарастание длины транспортирования (рисунок 8). Данное обстоятельство обуславливает то, что максимальные значения транспортной работы карьера находятся в верхней и частично средней группе горизонтов. Экстремумы транспортной работы в зависимости от текущей глубины горных работ сдвигаются, оставаясь в зоне, составляющей 25–35 % от общей глубины карьера (при отсчете от уровня дневной поверхности, рисунок 9).

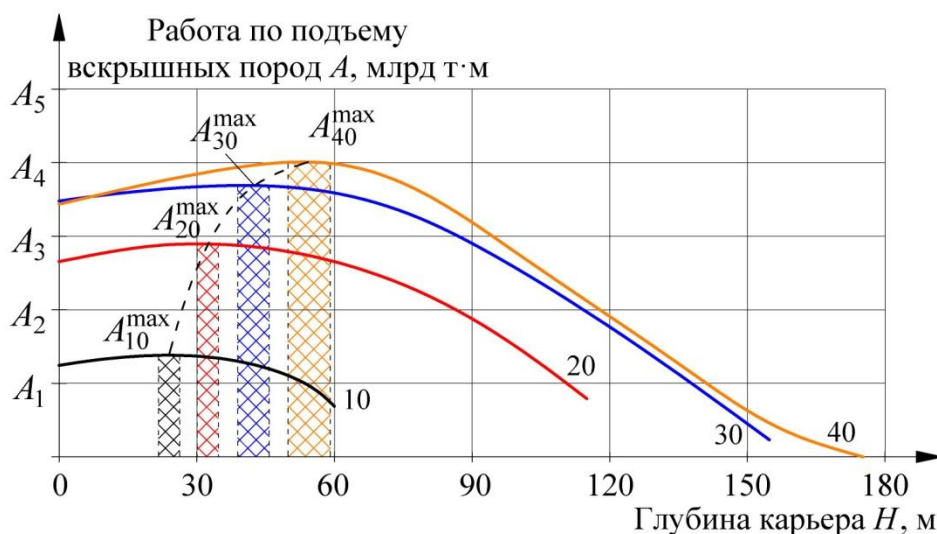


Рисунок 9 – Изменение транспортной работы при отработке месторождения, представленного брахисинклинальной структурой: 10–40 – годы отработки; $A_{10}^{\max}$ – $A_{40}^{\max}$ – максимальные значения работы на 10, 20, 30 и 40-й год работы карьера соответственно ($A_{40}^{\max} > A_{10}^{\max}$)

Вышеописанную тенденцию подтверждает изменение транспортной работы для рабочих горизонтов разреза «Черниговский» (рисунок 10).

Сократить или стабилизировать расстояния перемещения вскрышных пород с группы верхних и средних горизонтов возможно посредством формирования схемы вскрытия со стороны рабочих бортов карьера.

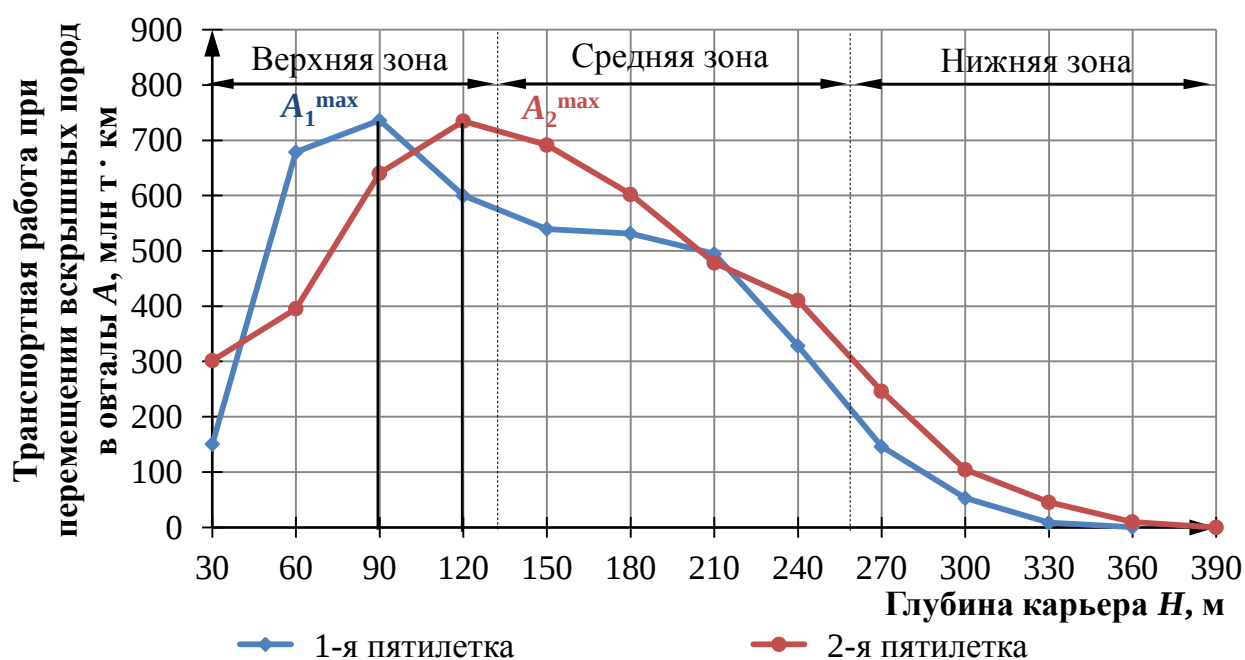


Рисунок 10 – Транспортная работа за перспективный этап работы карьера: $A_1^{\max}$ – $A_2^{\max}$ – горизонты с максимальными значениями транспортной работы в первой и второй пятилетках

Данная схема реализуется посредством строительства капитальных траншей, выходящих своими нижними отметками в зону с наибольшими значениями транспортной работы (рисунок 11).

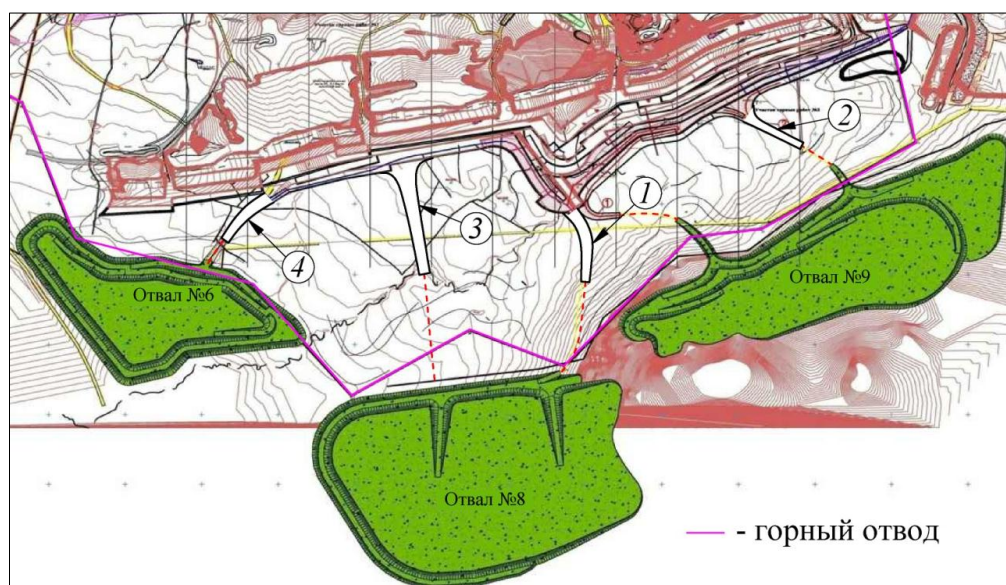


Рисунок 11 – Размещения прибортовых отвалов № 6, № 8 и № 9 со стороны южного борта разреза «Тугнуйский»: 1–4 – капитальные траншеи, создаваемые со стороны рабочего борта карьера (реализованное техническое решение)

Траншеи, располагаемые со стороны рабочих бортов, имеют по отношению к текущим контурам карьеров внешнее заложение. Однако по

отношению к конечному контуру карьеров они имеют внутреннее заложение и поэтапно срабатываются в процессе производства горных работ (рисунок 11).

Создание схем вскрытия со стороны рабочих бортов предполагает использование отвалов, расположенных во внутренних контурах отрабатываемого месторождения или «геометрически» приближенных к ним.

Выполнена систематизация отвальных массивов, формируемых при отработке угольных брахисинклиналей. По условиям формирования они разделяются: на внутренние отвалы, размещаемые в зонах подземной отработки, безугольных участках, зонах, планируемых к отработке в дальней перспективе; на временные отвалы, перемещаемые за предельный контур карьера на определенном этапе производства горных работ; на внешние отвалы, размещаемые во внешних прибортовых контурах карьерных полей.

Использование схем вскрытия горизонтов карьеров со стороны рабочих бортов с направлением части вскрышных грузопотоков на ближайшие отвалы и расширение использования магистральных видов транспорта позволяют сократить эксплуатационные затраты на транспортирование вскрышных пород на 25–30 % (рисунок 12).

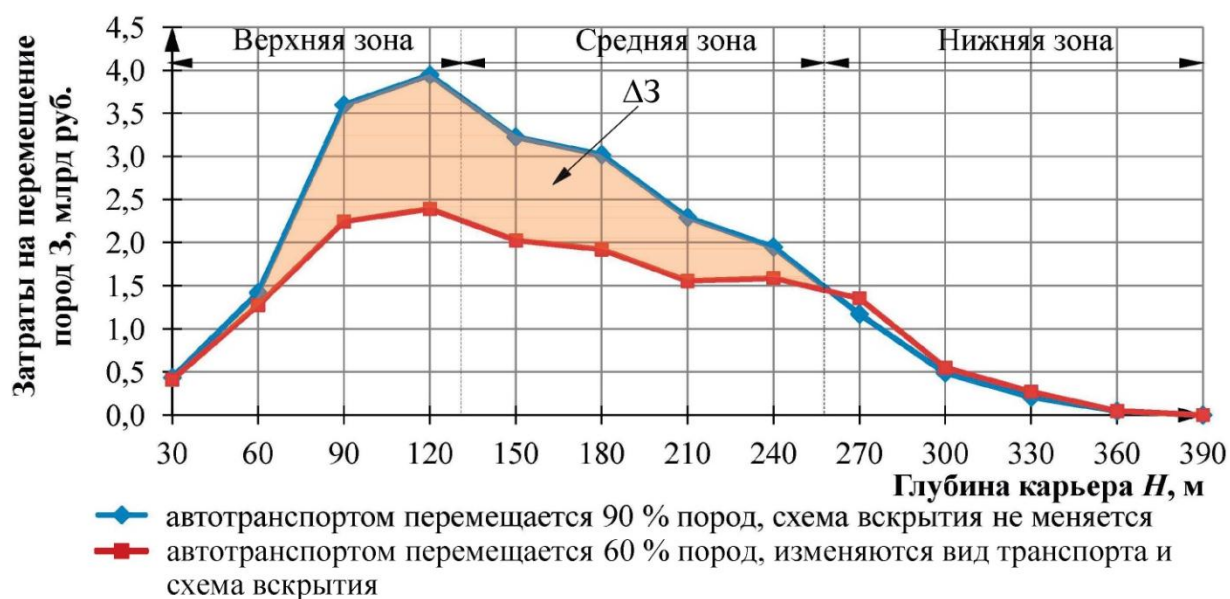


Рисунок 12 – Изменение эксплуатационных затрат при перемещении вскрышных пород: ΔZ – величина снижения эксплуатационных затрат при переходе к использованию схем вскрытия со стороны рабочих бортов и расширению применения магистральных видов транспорта

На рисунке 13 показано положение горных работ, которое характеризует возможность создания вскрышного грузопотока, направляемого на отвал, расположенный во внутреннем контуре разрабатываемого месторождения.

На первом этапе развития горных работ минимальные расстояния транспортирования обеспечиваются при перемещении вскрышных пород в выработанное пространство (компенсационный отвальный массив). Обратная тенденция наблюдается при транспортировании в отвал, расположенный со стороны рабочего борта ($L_I^k < L_I^p$).

При переходе ко второму этапу отработки происходит уменьшение данных расстояний до уровня $L_{II}^k \approx L_{II}^p$, что позволяет снять пиковые нагрузки по перемещению вскрышных пород с группы верхних горизонтов посредством создания самостоятельных вскрышных грузопотоков, направляемых на отвалы, расположенные во внутреннем контуре месторождения.

При формировании схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров зоны примыкания капитальных траншей к рабочим горизонтам необходимо выбирать с учетом интенсивности развития фронта горных работ. Наличие в пределах брахисинклинали локальных складчатых нарушений предопределяет появление зон с минимальными скоростями подвигания рабочего фронта. Эти зоны являются базовыми точками, к которым могут быть «привязаны» пункты примыкания капитальных траншей, сооружаемых со стороны рабочих бортов.

В тех случаях когда на месторождении не существует зон локальных складчатых нарушений с временной консервацией или малой скоростью подвигания фронта горных работ, необходимо принимать иные технологические решения, обеспечивающие нормальные условия эксплуатации магистральных видов транспорта при формировании вскрышных грузопотоков со стороны рабочего борта карьера. Одним из таких решений является использование внешних капитальных траншей с горизонтальными вставками.

Капитальная траншея, закладываемая со стороны рабочего борта карьера, представляет собой вскрывающую выработку, состоящую из двух участков: наклонного 1 и горизонтального 2 (рисунок 14). Горизонтальная часть (вставка) траншеи при подвигании фронта горных работ постепенно погашается, обеспечивая стационарность транспортных коммуникаций, расположенных на уклоне. Длина горизонтальной части, соотнесенная со скоростью подвигания фронта горных работ, обуславливает срок стационарности наклонной части траншеи.

Основными параметрами траншеи являются глубина заложения и длина горизонтальной части. Нижняя отметка заложения траншеи определяется уровнем расположения группы горизонтов с максимальными значениями транспортной работы карьера.

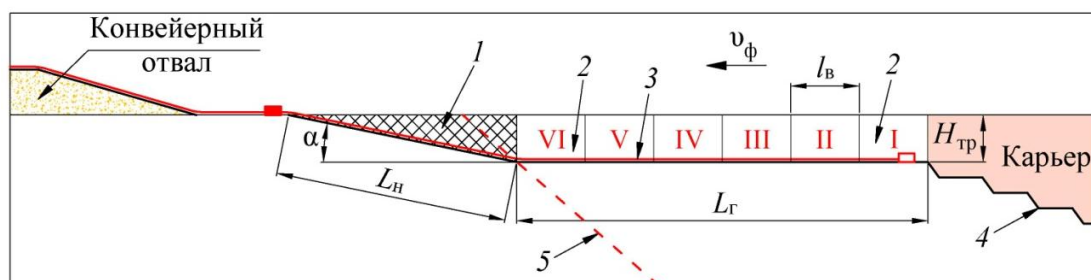


Рисунок 14 – Конструкция внешней траншеи с горизонтальными вставками, закладываемой со стороны рабочего борта карьера, при расположении в ней конвейера: 3 – магистральный конвейер, располагаемый в траншее; 4 – рабочий борт карьера; 5 – конечный контур карьера; $H_{тр}$ – глубина траншеи; l_v – участок погашения горизонтальной вставки; v_{ϕ} – скорость продвижения фронта горных работ; $L_{г}$ – длина горизонтального участка траншеи; $L_{н}$ – длина наклонного участка траншеи; α – угол наклона траншеи; I–VI – этапы погашения горизонтальной вставки траншеи

При определении размеров горизонтальных вставок учитываются годовая скорость продвижения фронта горных работ и расстояние до конечного контура отработки.

Для нахождения рациональной длины горизонтальной вставки необходимо оценить два фактора. С одной стороны, увеличение длины горизонтальной вставки приводит к возрастанию затрат на строительство траншеи, с другой – обеспечивается более длительная стационарность выработки, что улучшает технико-экономические показатели работы транспортной системы.

Рациональная длина горизонтальной вставки определяется по основным экономическим показателям: чистому дисконтированному доходу (NPV) и дисконтированному сроку окупаемости инвестиций (DPP).

Базовый вариант предполагает перемещение вскрышных пород, не размещаемых в выработанном пространстве, автотранспортом через торцы карьера и перемычки в компенсационные отвалы. В предлагаемом варианте используется схема вскрытия со стороны рабочего борта, реализованная посредством капитальной траншеи с горизонтальными вставками и размещением в ней конвейера. В этом случае объем вскрышных пород, превышающий приемную способность выработанного пространства, направляется в отвальные массивы, формируемые во внутреннем контуре месторождения или внешней прибортовой зоне карьерных полей, конвейерным транспортом (комплексом циклично-поточной технологии).

По критериям NPV и DPP определена рациональная длина горизонтальных вставок для различной глубины заложения траншеи (рисунки 15, 16).

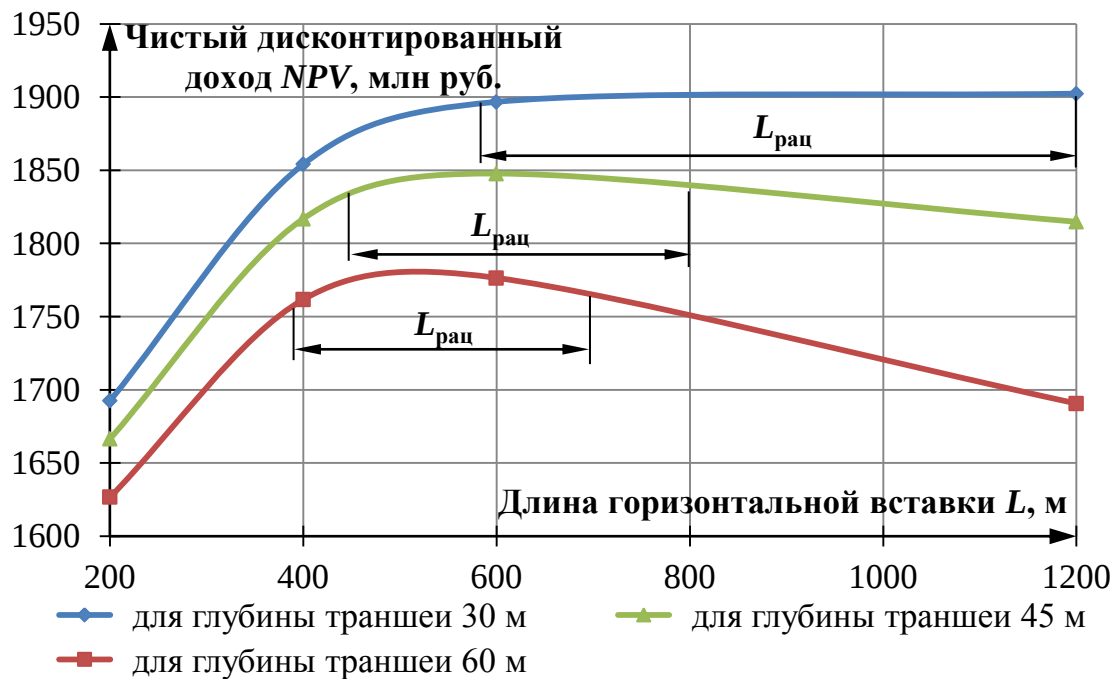


Рисунок 15 – Определение рациональной длины горизонтальной вставки траншеи при различных параметрах вскрывающей выработки (получено на базе анализа чистых дисконтированных денежных потоков)

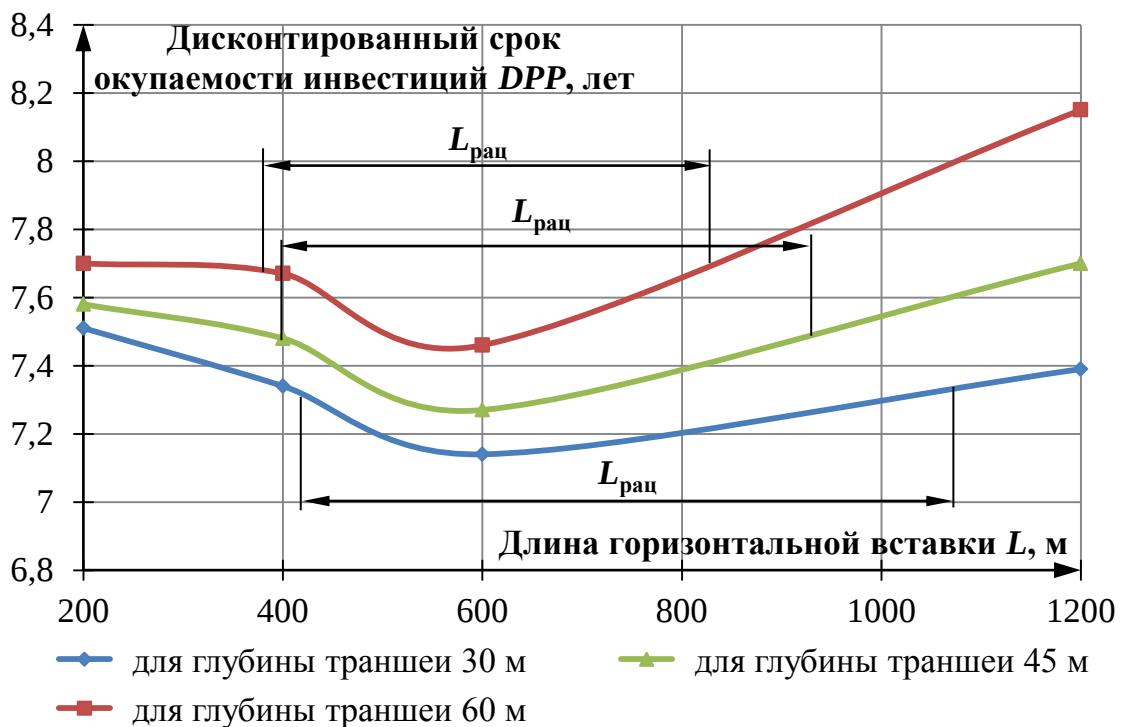


Рисунок 16 – Определение рациональной длины горизонтальной вставки траншеи при различных параметрах вскрывающей выработки (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций)

Установлено, что с увеличением глубины заложения траншеи происходит снижение длины горизонтальной вставки (зона рациональной длины сужается). Осредненные значения длины горизонтальной вставки на базе рассмотренных критериев (*NPV* и *DPP*) для глубины заложения траншеи 30 м составляют 500–1100 м, для глубины траншеи 45 м – 450–850 м, для глубины вскрывающей выработки 60 м – 400–750 м.

Выполненные исследования позволили сформировать методические рекомендации по определению глубины заложения, конструкции, пунктов примыкания капитальных траншей к участкам рабочих бортов, а также технологические решения по стабилизации расстояний перемещения вскрышных пород за счет создания отвальных массивов во внутренних контурах угольных месторождений и прибортовых зонах карьеров, отрабатывающих месторождения, представленные мульдообразными залежами. Применение схем вскрытия карьерных полей со стороны рабочих бортов карьеров позволяет снизить затраты на транспортирование вскрышных пород, не размещаемых в выработанном карьерном пространстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи обоснования схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров, отрабатывающих месторождения, представленные мульдообразными (брахисинклинальными) залежами, что позволяет снизить затраты на транспортирование вскрышных пород и расширить область использования открытого способа производства горных работ.

Основные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Недостаток приемной способности выработанного пространства карьеров, отрабатывающих угольные месторождения, представленные мульдообразными (брахисинклинальными) залежами, является наиболее значимым фактором, определяющим постепенное нарастание транспортной работы карьера и необходимость реконструкции схемы вскрытия рабочих горизонтов карьера.

2. Условие, определяющее возникновение недостатка приемной способности выработанного карьерного пространства, основывается на закономерностях изменения структурных дефектов угольных

брахисинклиналей с глубиной отработки и увеличения значений текущего коэффициента вскрыши.

3. Целесообразность прирезки нового участка к действующему карьеру при отработке угольных месторождений, представленных мульдообразными залежами (брахисинклиналями), должна определяться с учетом долевого использования площади выработанного пространства карьера, пригодного для размещения внутренних отвалов, изменения схемы вскрытия рабочих горизонтов и объемов вскрываемых запасов с глубиной отработки.

4. Объем вскрываемых запасов при отработке угольных брахисинклиналей определяется двумя противоположными факторами: выбытием из отработки добычного фронта (первый фактор) и выполаживанием пластов, приводящим к приращению вскрываемых запасов (второй фактор). Второй фактор превалирует над первым лишь в донной части складки, где градиенты выполаживания пластов достигают максимальных значений и возрастают в 2,5–3 раза, по сравнению со средними и верхними гипсометрическими уровнями брахисинклинали.

5. Отработка верхних и частично средних рабочих горизонтов (уступов), суммарная высота которых составляет 25–35 % от текущей величины рабочей зоны карьера, характеризуется максимальной величиной транспортной работы. Технические решения по формированию схемы вскрытия, направленной на снижение затрат при транспортировании вскрышных пород, в первую очередь должны рассматриваться для вышеуказанных горизонтов.

6. Снижение транспортных затрат на 25–30 % может быть обеспечено посредством схемы вскрытия верхних и средних рабочих горизонтов капитальными траншеями со стороны рабочих бортов карьеров с направлением вскрышных грузопотоков в отвальные массивы, создаваемые во внутренних контурах угольных месторождений и прибортовых зонах карьерных полей.

7. Эффективные условия формирования схемы вскрытия со стороны рабочих бортов достигаются при ее расположении на участках рабочей зоны, имеющих минимальную интенсивность отработки; при отсутствии таких участков обеспечить эксплуатационную стабильность схемы вскрытия возможно за счет использования траншей с горизонтальными вставками.

8. Рациональная глубина заложения траншей со стороны рабочих бортов карьеров, отрабатывающих угольные месторождения, представленные брахисинклинальными структурами, составляет от 30 до 60 м. Рациональная длина горизонтальной вставки траншей с увеличением глубины уменьшается. На

базе рассмотренных критериев (*NPV* и *DPP*) для глубины заложения траншей 30 м длина горизонтальной вставки составляет 500–1100 м, для глубины траншей 45 м – 450–850 м, для глубины 60 м – 400–750 м.

Основные положения диссертации опубликованы

в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Левченко Я.В. Влияние морфологических, геомеханических и технических факторов на изменение вскрываемых запасов угля // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2015. – № 7. – С. 416–422.
2. Левченко Я.В. Закономерности изменения транспортной работы по подъему горной массы по высотным зонам карьеров // Отдельные статьи горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2015. – № 5 (ОБ 18). – 16 с.
3. Радченко С.А., Левченко Я.В. Формирование вскрышных грузопотоков при отработке крупных угольных брахисинклиналей // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013. – № 6. – С. 52–57.
4. Левченко, Я.В. Порядок и принципы отработки крупных угольных брахисинклиналей / Д.П. Мелехов, В.И. Супрун, Д.В. Пастихин, С.А. Радченко, Я.В. Левченко, О.Л. Панченко // Уголь. – 2013. – № 6. – С. 22–26.
5. Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В., Панченко О.Л. Проблемы и перспективы отработки Апсатского каменноугольного месторождения // Уголь. – 2013. – № 2. – С. 8–10.

в других изданиях:

6. Левченко, Я.В. Формирование отвальных массивов при отработке угольных месторождений : монография / В.И. Супрун, В.Б. Артемьев, П.И. Опанасенко, В.В. Гайлиш, Н.А. Денисов, С.А. Радченко, Д.В. Пастихин, И.Б. Строгий. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 240 с. Соавтор главы 1 и параграфов 4.1, 4.3, 4.5.
7. Левченко, Я.В. Проблемы и перспективы циклично-поточной технологии при открытой разработке угольных и рудных месторождений / С.В. Ясюченя, П.И. Опанасенко, А.Б. Исайченков, Л.В. Рыбак, С.В. Бурцев, Р.Р. Минибаев, В.И. Супрун, Д.В. Пастихин, С.А. Радченко, В.В. Перелыгин, Я.В. Левченко // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 3. – С. 52–60.

8. Левченко, Я.В. Обоснование технических параметров и зон использования комплекса циклично-поточной технологии для отработки вскрышных пород разреза «Черниговский» / Л.В. Рыбак, С.В. Бурцев, Р.Р. Минибаев, А.В. Матвеев, В.Ю. Пушкарев, В.А. Зайц, В.И. Супрун, С.А. Радченко, Я.В. Левченко, К.С. Ворошилин // Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение : Сб. тр. Межд. науч.-практ. конф. – Алматы: КазНТУ, 2014. – С. 260–265.