

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

На правах рукописи



ЛЕВЧЕНКО ЯРОСЛАВ ВИКТОРОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМ ВСКРЫТИЯ ВЕРХНЕЙ ГРУППЫ РАБОЧИХ ГОРИЗОНТОВ  
УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ

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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук  
Супрун Валерий Иванович

Москва 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                               | 4  |
| 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....                                                                                       | 8  |
| 1.1. Особенности геологического строения угольных брахисинклиналей .....                                                                     | 8  |
| 1.2. Типизация угольных брахисинклиналей по морфологическим и структурным факторам .....                                                     | 13 |
| 1.3. Обзор ранее выполненных работ по порядку отработки и вскрытию карьерных полей угольных месторождений .....                              | 26 |
| 1.4. Условия размещения вскрышных пород в выработанном пространстве угольных брахисинклиналей.....                                           | 29 |
| 1.5. Цель и задачи исследования .....                                                                                                        | 35 |
| 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ<br>ВЫРАБОТАННОГО КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА .....                                                  | 36 |
| 2.1. Закономерности изменения градиентов выполаживания пластов на угольных брахисинклиналях.....                                             | 36 |
| 2.2. Факторы, определяющие параметры стационарных и рабочих бортов .....                                                                     | 43 |
| 2.3. Влияние морфологических и геомеханических факторов на изменение вскрываемых запасов угля .....                                          | 46 |
| 2.4. Основные условия, определяющие порядок отработки угольных брахисинклиналей.....                                                         | 55 |
| 2.5. Факторы, определяющие баланс извлекаемых вскрышных пород и объемов выработанного карьерного пространства для их размещения .....        | 61 |
| Выводы по главе 2 .....                                                                                                                      | 72 |
| 3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ ВСКРЫТИЯ<br>КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ.....                                                                   | 74 |
| 3.1. Закономерности изменения работы по подъему горной массы по высотным зонам карьеров .....                                                | 74 |
| 3.2. Исследование изменений транспортной работы по перемещению вскрышных пород на различных этапах отработки угольных брахисинклиналей ..... | 80 |
| 3.3. Изменение зон использования различных видов транспорта по высоте рабочей зоны карьера .....                                             | 85 |

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4. Опыт создания отвалов во внутренних контурах крупных угольных месторождений.....                                                              | 89  |
| Выводы по главе 3 .....                                                                                                                            | 102 |
| 4. ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМ ВСКРЫТИЯ СО СТОРОНЫ РАБОЧИХ БОРТОВ<br>КАРЬЕРОВ .....                                                                          | 103 |
| 4.1. Основные условия формирования схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров .....                                                          | 103 |
| 4.2. Обоснование мест заложения вскрывающих выработок со стороны рабочих бортов карьеров.....                                                      | 108 |
| 4.3. Конструкция и условия эксплуатации внешних капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов .....                                 | 109 |
| 4.4. Оптимизация параметров капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров.....                                             | 112 |
| 4.5. Области использования траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов, и насыпных транспортных перемычек .....                               | 119 |
| 4.6. Определение количества траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров .....                                                        | 123 |
| Выводы по главе 4 .....                                                                                                                            | 128 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                                                                    | 129 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                                                             | 131 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ .....                                                                                                                                   | 141 |
| Приложение А. Исходные данные для определения изменения объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства ..... | 142 |
| Приложение Б. Перспективы использования конвейерного транспорта для отработки крупных угольных месторождений .....                                 | 144 |
| Приложение В. Справки об использовании результатов диссертационного исследования .....                                                             | 149 |
| Приложение Г. Результаты расчетов по определению рациональной длины горизонтальной вставки траншеи .....                                           | 151 |

## ВВЕДЕНИЕ

**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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup> (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.

## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Особенности геологического строения угольных брахисинклиналей

В настоящее время известно приблизительно 2900 угольных бассейнов и самостоятельных угольных месторождений. Бассейнами с запасами более 500 млрд т являются: Тунгусский, Ленский, Канско-Ачинский, Кузнецкий, Таймырский, Алта-Амазона и Аппалачский [16, 31]. Первые 5 бассейнов находятся на территории Российской Федерации.

Разведанные запасы угля в России составляют 200 млрд т, а прогнозные ресурсы свыше 4,4 трлн. т, что существенно превышает запасы других энергоносителей [6]. Преобладающую долю ресурсов составляет энергетический уголь – 89 % и 11 % – коксующийся уголь. Основная часть угольных месторождений располагается в Сибири (64 %) и на Дальнем Востоке (30 %) [92].

Значительная часть крупных угольных месторождений представлена короткими складками – брахисинклиналями или близкими к ним геологическими структурами [14]. Классификация угольных месторождений по величине (объемам) запасов приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация месторождений угля по величине запасов [46]

| Уголь          | Ед. изм. | Крупные    | Средние  | Мелкие    |
|----------------|----------|------------|----------|-----------|
| коксующийся    | млн т    | более 300  | 300–50   | менее 50  |
| энергетический | млн т    | более 500  | 500–50   | менее 50  |
| бурый          | млн т    | более 1000 | 1000–100 | менее 100 |

План Кедровско-Крохалевского угольного месторождения, представленного крупной брахисинклинальной складкой, показан на рисунке 1.1, а на рисунке 1.2 приведены разрезы по VIII и IX(XXVIII) разведочным линиям [13].

Брахисинклинальные складки характеризуются формой, асимметричностью (отношение длинной стороны складки к короткой), эксцентриситетом, т. е. смещением наиболее глубокой донной части относительно центра залежи, углами падения пластов, размерами в плане, глубиной, угленасыщенностью. Большинство брахисинклиналей имеют асимметричную (вытянутую) форму.

Более крупные складки, имеющие синклинальную структуру и достигающие размеров в поперечнике сотни километров, выделяют в особый тип – синеклизы. Это

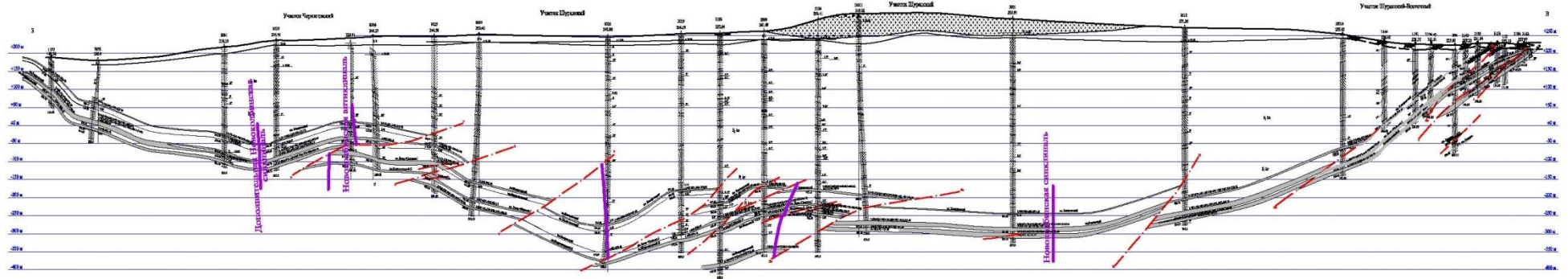
крупные прогибы в земной коре в пределах платформы (Ирша-Бородинская, Березовская, Московская и др.).



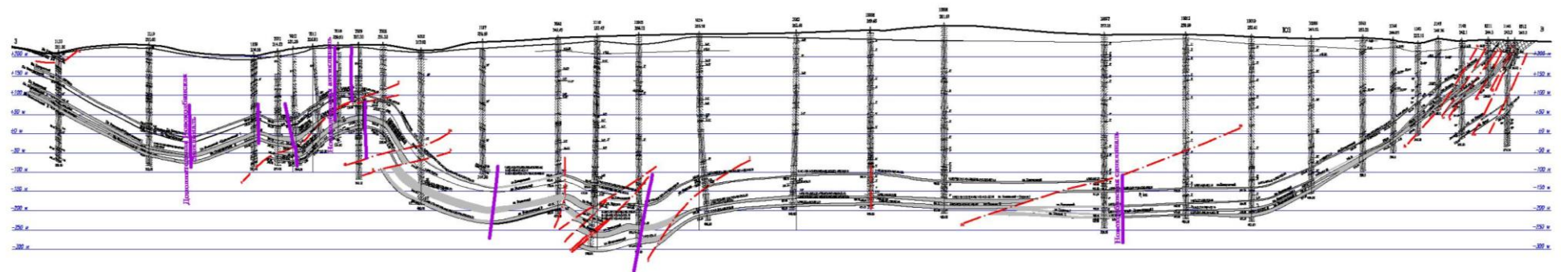
Рисунок 1.1 – План Кедровско-Крохалевского угольного месторождения, представленного крупной брахисинклинальной складкой

Важнейшими геологическими факторами, влияющими на условия разработки брахисинклиналей, являются морфология угольных пластов, выдержанность их мощности и строения, тектоника. Угольные пласты в пределах основной складки могут быть подвержены пликативным и дизъюнктивным тектоническим нарушениям (см. рисунок 1.2). Мощные пласты угля часто представляют собой сложно построенные угольно-аргиллитовые тела невыдержанного строения [38].

Главными морфологическими факторами, влияющими на порядок отработки карьерных полей, являются: форма, размеры, углы падения, мощность, выдержанность залежей, их пространственное расположение, мощность покрывающих пород, тектоническая нарушенность.



а



— пликативные тектонические нарушения  
 - - - дизъюнктивные тектонические нарушения

б

Рисунок 1.2 – Сечения по VIII (а) и IX(XXVIII) (б) разведочным линиям Кедровско-Крохалевского угольного месторождения

Известные классификации систем разработки месторождений (Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевского, Н.В. Мельникова, А.И. Арсентьева, В.С. Хохрякова) базируются на морфологических признаках залежей полезных ископаемых [4, 34, 53].

Залежи месторождений, представленные брахисинклинальными структурами, сочетают в себе несколько различных морфологических элементов. При прирезке смежных карьерных полей в направлениях  $P$  и  $F$  отработка ведется по продольно-поперечной системе разработки (по классификации В.В. Ржевского, рисунок 1.3). Если развитие фронта горных работ происходит без прирезки к действующему карьеру новых карьерных полей, то система разработки будет углубочная до зоны  $A$ , а далее сплошная.

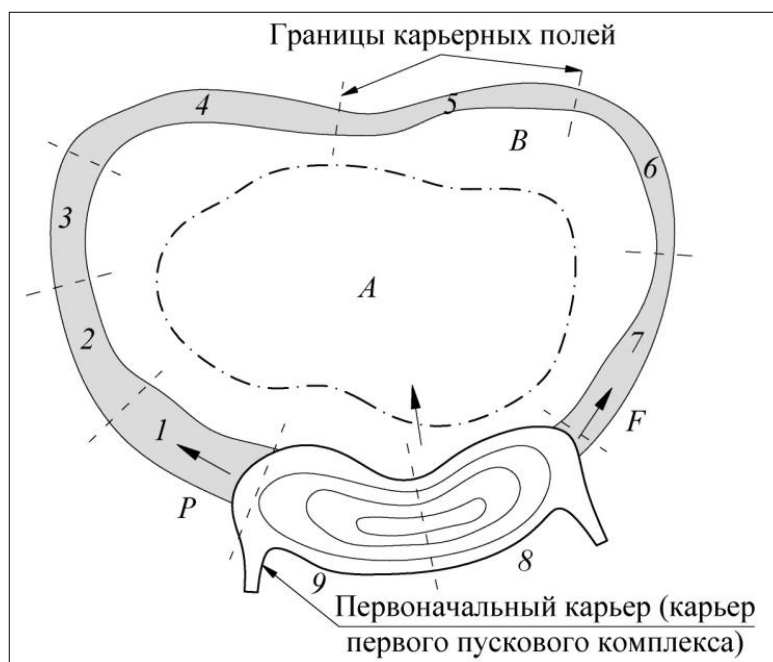


Рисунок 1.3 – Схема, поясняющая проблемы оценки системы разработки для месторождений, представленных брахисинклиналями: 1–9 – карьерные поля;  $A$  – зона с углом падения пластов менее  $2^\circ$ ;  $B$  – зона падения пластов более  $2^\circ$ ;  $P$ ,  $F$  – направления развития фронта горных работ с прирезкой карьерных полей 1 и 7 соответственно

В случаях осложнения структуры угольных месторождений локальными антиклинально-синклинальными складками (рисунок 1.4), на фоне общей углубочной системы разработки при переходе от антиклинальной к синклинальной зоне складок, система разработки будет сплошной (рисунок 1.5). Следуя стандартным принципам классификации, в одной зоне карьера реализуется углубочная, а в другой – сплошная система разработки.

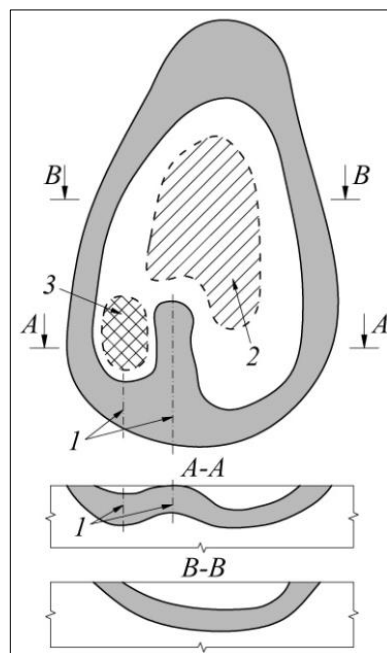


Рисунок 1.4 – Схема, поясняющая наличие локальных пликативных нарушений в пределах крупной угольной брахисинклинали: 1 – оси синклинали и антиклинали; 2 – основная зона брахисинклинали с горизонтальным и слабонаклонным залеганием пластов; 3 – локальная зона с горизонтальным и слабонаклонным залеганием пластов

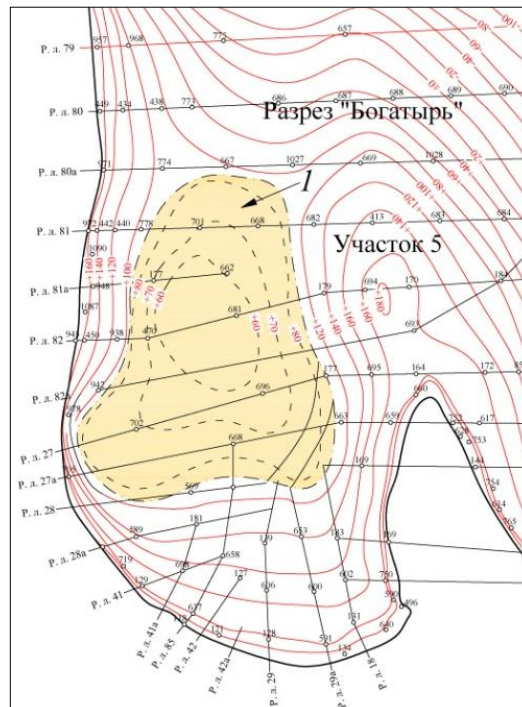


Рисунок 1.5 – Схема, характеризующая наличие локальной зоны горизонтального и слабонаклонного залегания пластов (Экибастузский угольный бассейн, Казахстан): 1 – местоположение локальной зоны с горизонтальным и слабонаклонным залеганием пластов [12]



Кроме морфологических, важными факторами, влияющими на порядок отработки угольных брахисинклиналей, являются геологические факторы, среди которых в первую очередь необходимо отметить наличие безугольных зон и изменение качества углей с увеличением глубины залегания угольных пластов. Подобная закономерность зонального расположения углей различной степени углефикации в зависимости от глубины их погружения, известна для многих бассейнов (Кузнецкий, Вестфальский, и др.). Эта связь степени углефикации с глубиной была сформулирована Хильтом и получила название правила Хильта (зональный метаморфизм) [14].

Безугольные зоны представляют собой наиболее крупные элементы неоднородности угольных месторождений. Размеры их могут изменяться в очень широких пределах. На рисунке 1.6 показан контур безугольной зоны в пределах угольного пласта № 18 Олонь-Шибирского месторождения.

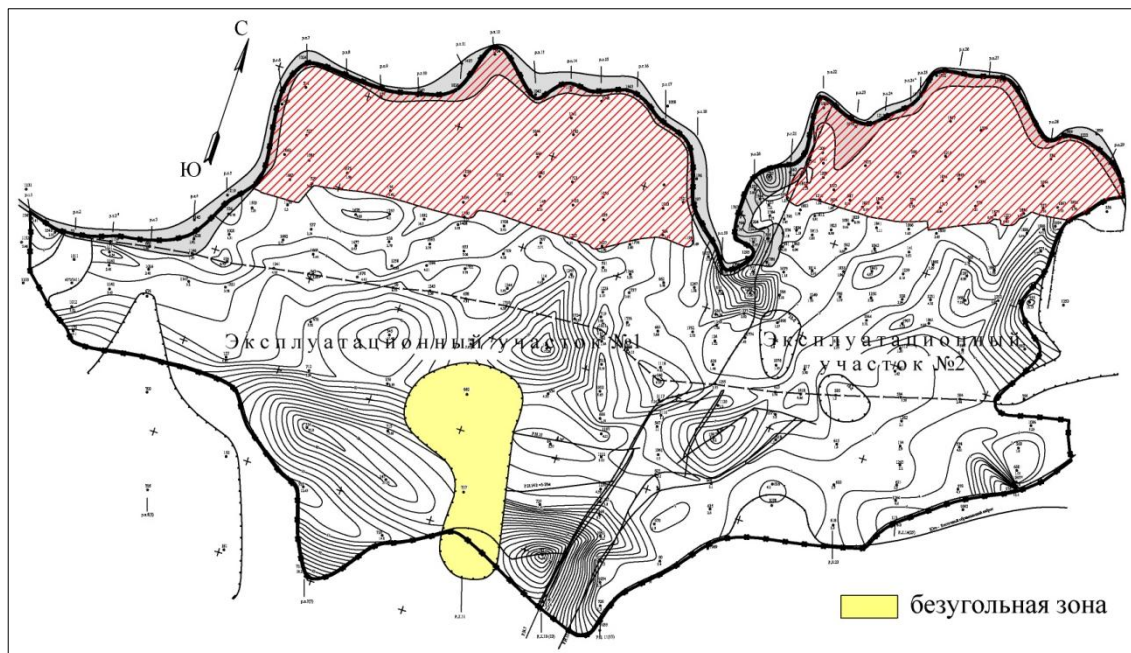


Рисунок 1.6 – Контур безугольной зоны по пласту 18 в западной части Олонь-Шибирского месторождения [19]

## 1.2. Типизация угольных брахисинклиналей по морфологическим и структурным факторам

Характер и интенсивность колебательных движений земной коры (погружений и поднятий) являются первопричиной углеобразования. Выделяют два основных типа угленосных отложений: геосинклинальный и тип континентальных платформ, а также промежуточный – переходный тип [9].

Геосинклинальный тип угленосных отложений характеризуется согласным залеганием угольных пластов с подстилающими породами, что связано с долгим и постепенным опусканием геосинклиналей. Процесс угленакопления происходил без существенных перерывов и отличался постоянством, в результате чего залежи угля имеют пластообразную форму и значительную выдержанность, но отличаются малой мощностью.

В результате процессов складкообразования на угольных месторождениях геосинклинального типа пласты часто имеют сложную микротектонику (кливаж). Особенное влияние на конечную морфологию углей оказывают тектонические процессы, проявляющиеся в пережатии пластов, пликативных и дизъюнктивных нарушениях, перемещении угольной массы в места меньшего деформационного напряжения (расщепление). К геосинклинальному типу угленосных отложений относятся Донецкий, Партизанский, Рурский (Германия), Аппалачский (США), Шаньсийский (Китай) и др. бассейны.

Континентальный тип угленосных отложений отличается несогласным залеганием угольных пластов с подстилающими породами, что связано с геоантиклинальным поднятием и временным опусканием суши, сопровождающимся длительным размывом (эрозией). Ввиду того, что мощность осадконакопления незначительна, угленосные отложения метаморфизму практически не подвергаются, вследствие этого угленосная толща представлена преимущественно бурыми углями. В отличие от геосинклинального типа, тектоника континентальных угленосных отложений более простая, отложения представлены преимущественно пологими складками. К континентальному типу угленосных отложений относятся Подмосковский, Иркутский, Тунгусский, Канско-Ачинский, Южно-Якутский, Рейнский и др. бассейны.

Промежуточный тип от геосинклинального к континентальному сочетает в себе вышесказанные признаки. Вследствие этого в промежуточных зонах имеется большое разнообразие типов угленакопления. К переходному типу можно отнести Печорский, Кузнецкий, Таймырский, Ленский, Карагандинский, Экибастузский и др. угольные бассейны.

Общее понимание иерархического деления геологических структур угленакопления дает рисунок 1.7.

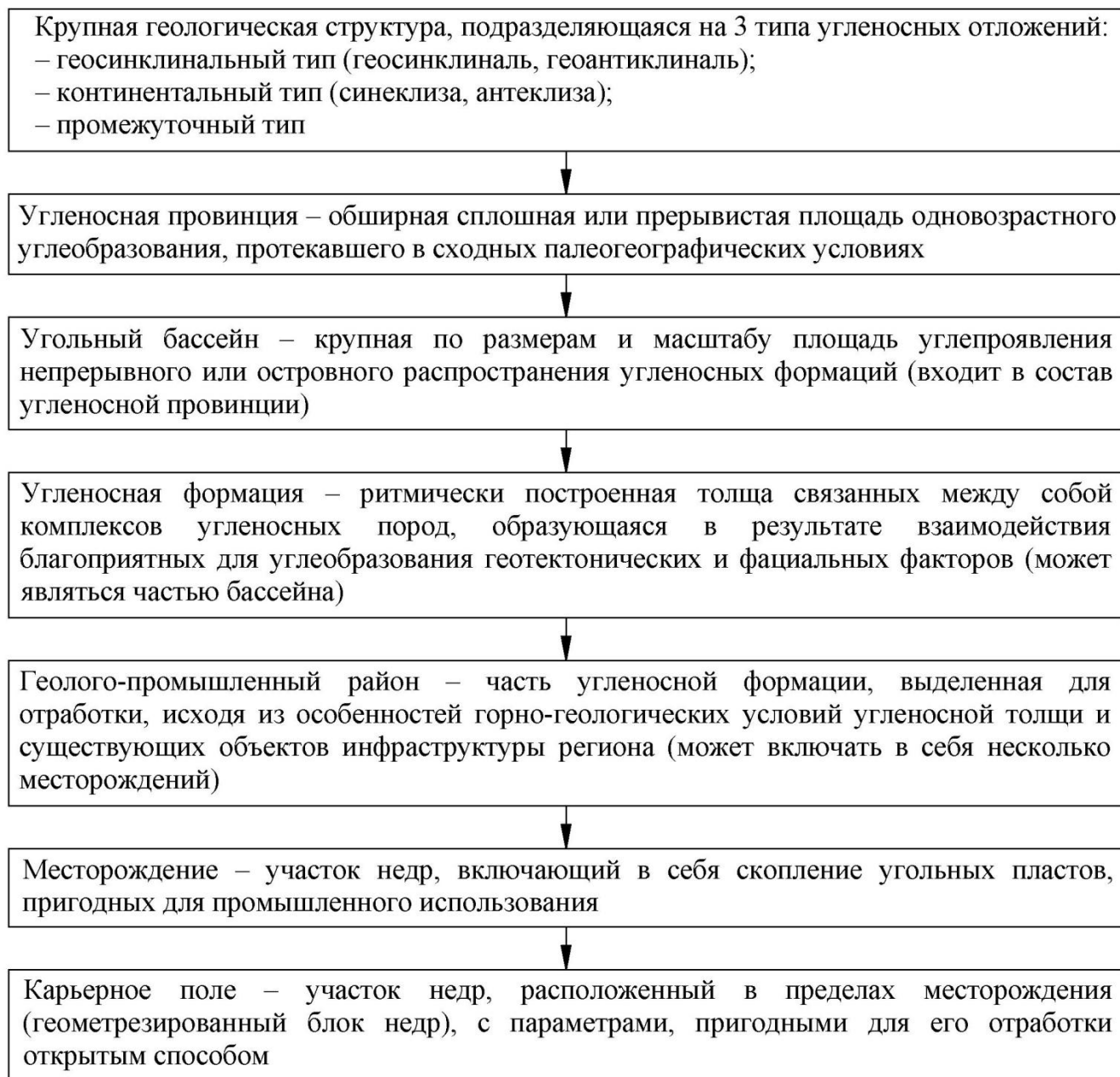


Рисунок 1.7 – Иерархическое деление геологических структур при формировании понятий «месторождение» и «карьерное поле»

Брахисинклинальные структуры приурочены в основном к бассейнам, формируемым посредством континентального и промежуточного типов угленосных отложений (таблица 1.2) [26, 38].

Месторождения континентальных платформ являются основной базой для угледобычи открытым способом (60 % запасов угля), но в отличие от месторождений, сформировавшихся на базе геосинклинальных и промежуточных типов угленосных отложений, обладают меньшей степенью углефикации, что выражается в их марочном составе.

Таблица 1.2 – Приуроченность основных угольных бассейнов и районов Российской Федерации к типам угленосных отложений

| Тип угленосных отложений | Угольный бассейн, районы              | Месторождения, представленные брахисинклиналями | Геологическая структура и морфология                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Геосинклинальный         | Донецкий                              | –                                               | Приурочен к краевым прогибам, мощность пластов увеличивается в наиболее погруженных частях прогиба, преобладают пласты малой мощности, сильное изменение степени углефикации на различных участках бассейна                        |
|                          | Партизанский                          | –                                               | Складчатые области представлены синклиналями, разобщенными антиклинальными складками с крутым падением крыльев. Угольные пласты сложного строения, невыдержанные                                                                   |
|                          | Раздольненский                        | Липовецкое                                      | Приурочен к Ханкайскому срединному массиву, широко развиты магматические образования. Угольные пласты преимущественно сложного строения, невыдержанные                                                                             |
|                          |                                       | Ильичевское                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Константиновское                                |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Алексеевское-Никольское                         |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          | Месторождения восточного склона Урала | –                                               | Приурочены к центральной части геосинклинали, складчатым областям                                                                                                                                                                  |
| Континентальный          | Канско-Ачинский                       | Назаровское                                     | Унаследованные мульды в пределах Сибирской и Урало-Сибирской платформ, внутренние прогибы, крупные пологие синклинальные структуры                                                                                                 |
|                          |                                       | Березовское                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Гляденское                                      |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Бородинское                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Переяславское                                   |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Итатское                                        |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Барандатское                                    |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Урюпское                                        |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          |                                       | Абанское                                        |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          | Южно-Якутский                         | Нерюнгринское                                   | Алданская антеклиза, складчатые области тихоокеанского типа                                                                                                                                                                        |
|                          |                                       | Эльгинское                                      |                                                                                                                                                                                                                                    |
|                          | Тунгусский                            | –                                               | Норильская мульда, Тунгусская синеклиза, западная часть Ангарской синеклизы. Характеризуется значительными различиями угленосности, строения угольной толщи, качества углей, условиями залегания для каждого структурного элемента |

| Тип угленосных отложений            | Угольный бассейн, районы    | Месторождения, представленные брахисинклиналями | Геологическая структура и морфология                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Иркутский                   | –                                               | Присаянский внутриплатформенный прогиб, ограниченный горными сооружениями смежных складчатых областей                                                                                                               |
|                                     | Тугнуйский район            | Олонь-Шибирское                                 | Расположен в крупной депрессии между двумя хребтами Цаган-Дабан и Забанский. Приурочен к тихоокеанскому типу отложений. Угленосность неравномерно возрастает с запада на восток                                     |
|                                     |                             | Эландинское                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Тарбагатайское                                  |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Татауровское                                    |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     | Чикойский район             | Красночикийское                                 | Расположен в Чикойской впадине, сильно развиты крупноамплитудные разрывные нарушения                                                                                                                                |
|                                     |                             | Зашуланское                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Шимбиликское                                    |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Харанорское                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     | Южно-Аргунский район        | Кутинское                                       | Приурочен к Южно-Аргунской впадине, характеризуется простым строением пластов, дизъюнктивные нарушения развиты слабо                                                                                                |
|                                     |                             | Приозерное                                      |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Пограничное                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     | Бикино-Уссурийский          | Бикинское                                       | Приурочен к тектоническим впадинам, расположенным в центральной и северной частях Приморского края. Угольные пласты преимущественно сложного строения                                                               |
|                                     | Беренговский                | Бухта Угольная                                  | Приурочен к Корякско-Камчатской области складчатости. Сложное строение пластов                                                                                                                                      |
|                                     | Онеменский угленосный район | Анадырское                                      | Приурочен к Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу и Корякско-Камчатской области складчатости. Пласты сложного строения, относительно выдержанная мощность                                                         |
|                                     | Амуро-Зейский               | Ерковецкое                                      | Приурочен к Амуро-Зейской впадине. Пласты имеют относительно простое строение                                                                                                                                       |
|                                     | Охотский                    | Ланковское                                      | Приурочен к Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу. Пласты преимущественно сложного строения                                                                                                                       |
| Промежуточный (эпигеосинклинальный) | Кузнецкий                   | Кедровско-Крохалевское                          | Унаследованные внутренние прогибы на складчатом основании. Выражается зональность строения в уменьшении угольной толщи, метаморфизма углей, упрощении тектоники от геосинклинального борта прогиба к платформенному |
|                                     |                             | Талдинское                                      |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Глушинское                                      |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Успенское                                       |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Байдаевское                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Соколовское                                     |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Есаульское                                      |                                                                                                                                                                                                                     |
|                                     |                             | Ерунаковское                                    |                                                                                                                                                                                                                     |

| Тип угленосных отложений | Угольный бассейн, районы | Месторождения, представленные брахисинклиналями | Геологическая структура и морфология                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | Минусинский              | Черногорское                                    | Наложенные впадины на складчатом основании, внутренние прогибы. Характеризуется относительной выдержанностью мощности и качества углей, многопластовостью. Мощные пласты, как правило, обладают сложным строением                              |
|                          |                          | Изыхское                                        |                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          |                          | Бейское                                         |                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          |                          | Аскизское                                       |                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          |                          | Кутень-Булукское                                |                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          | Таймырский               | Тарейское                                       | Притаймырский и Присяянский краевые прогибы. Выражается зональность (более резкая, чем в Кузнецком бассейне) строения в уменьшении угольной толщи, метаморфизма углей, упрощении тектоники от геосинклинального борта прогиба к платформенному |
|                          |                          | Верхнекрестьянское                              |                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          | Ленский                  | Белогорское                                     | Вилуйская синеклиза, Алданская синеклиза, Приверхоянский краевой прогиб, Анабаро-Оленекский антиклинорий, восточная часть Притаймырского прогиба. Характеризуется различным строением угольной толщи, залегания и качества углей               |
|                          | Печорский                | Воркутское                                      | Располагается в приполярной и полярной частях Предуральского краевого прогиба. Пласты относительно простого строения                                                                                                                           |
|                          | Зырянский                | Харангское                                      | Объединяет разобщенные угленосные площади. Включает в себя крупные пологие брахисинклинали с осложнением крыльев дизъюнктивными нарушениями. Относительно простое строение пластов                                                             |
|                          | Сахалинский              | Тихменевское                                    | Угольные месторождения приурочены к молодым геологическим структурам. Пласты сложного строения                                                                                                                                                 |
|                          |                          | Вахрушевское                                    |                                                                                                                                                                                                                                                |

Для угольных брахисинклиналей, расположенных в посторогенных впадинах, характерно относительно выдержанное строение одного крыла залежи и постепенное расщепление пластов от центральной части к противоположному крылу (Канско-Ачинский бассейн – Барандатское месторождение; Майкубенский бассейн – Шоптыкольское месторождение, рисунок 1.8).

Морфология угольных пластов находится в зависимости от сложившихся фациальных условий их образования.

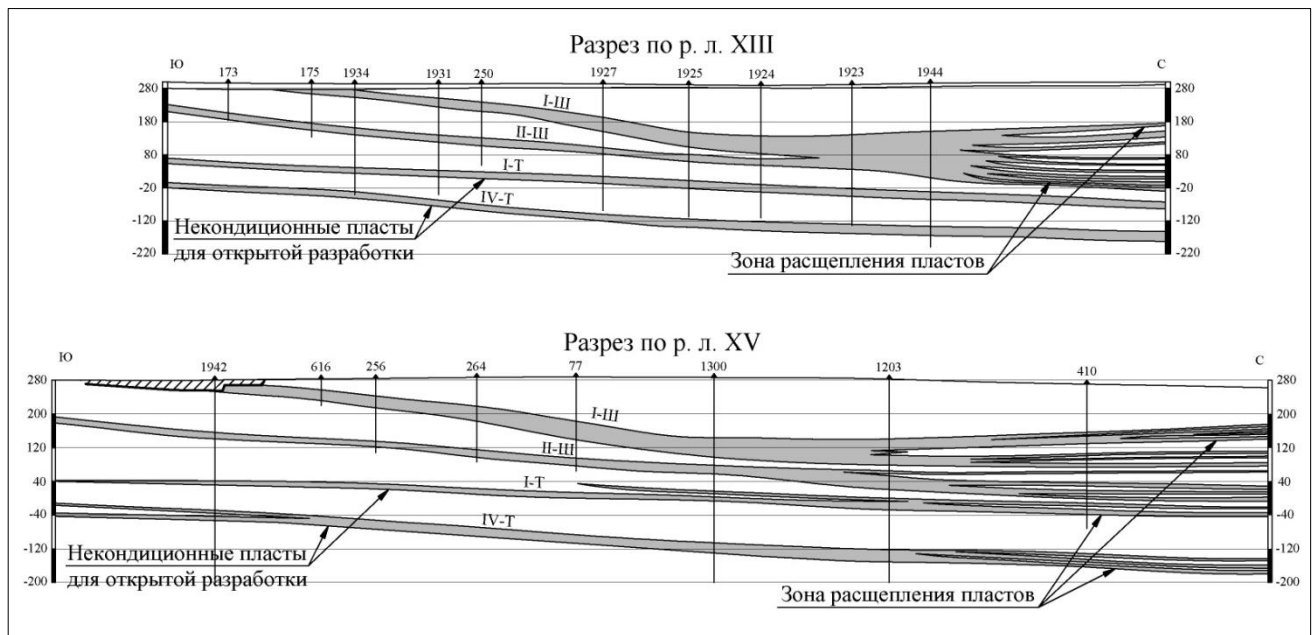


Рисунок 1.8 – Расщепление угольных пластов на Шоптыкольском месторождении: I-III, II-III – кондиционные угольные пласты для отработки открытым способом (балансовые запасы); I-T, IV-T – некондиционные угольные пласты (забалансовые запасы) [47]

Наличие множества угольных пластов на геологическом разрезе показывает этапы осадконакопления, на которых происходило угленакопление, а на этапах где оно прекращалось, угольные пласты разделяются вмещающими породами (рисунок 1.9).

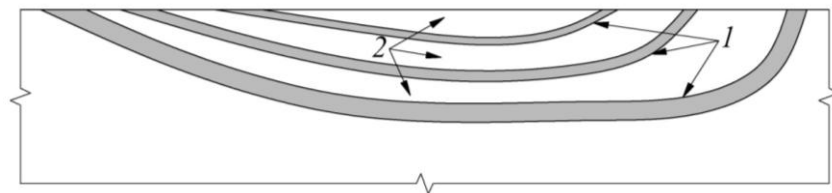


Рисунок 1.9 – Сечение брахисинклинали, характеризующее морфологию залежей: 1 – этапы угленакопления; 2 – этапы прекращения процессов угленакопления (вмещающие породы)

Интенсивность и доленое участие всех из приведенных процессов в определенном месте формирует, индивидуальное строение и структуру залежи. Наиболее перспективные месторождения Российской Федерации, представленные брахисинклиналями, приведены в таблице 1.3 [7, 84].

Таблица 1.3 – Основные угольные месторождения, представленные брахисинклинальными складками, на территории Российской Федерации с краткой морфологической характеристикой

| Месторождения, представленные брахисинклиналями                           | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м      | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                               | Форма складки (строение месторождения)                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Канско-Ачинский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b> |                                         |                          |                                         |                                                                                                                                  |                                                         |
| Итатское                                                                  | 3–30                                    | 9,2–80                   | (650)                                   | Выдержанные, осложнены дополнительной складчатостью                                                                              | Асимметричная                                           |
| Барандатское                                                              | 2–5                                     | до 93                    | 24×15                                   | На востоке пласты имеют простое строение, к западу расщепляются, частично выгорели                                               | Симметричная                                            |
| Урюпское                                                                  | 2–4 (Ю),<br>40–70 (С-В)                 | 4–70                     | 8×11                                    | Простое строение, частично выгорели в западной части месторождения                                                               | Асимметричная, вытянутая в меридиональном направлении   |
| Назаровское                                                               | 2–5 (Ю),<br>до 50 (С)                   | 2,6–20                   | (220)                                   | Выдержанные, простое пологое залегание                                                                                           | Асимметричная, месторождение представлено 2-мя мульдами |
| Березовское                                                               | 2–10 (Ю-В),<br>40–70 (С-З)              | 15–70                    | 85×25 (2000)                            | Простое пологое залегание, в восточном направлении расщепляются на несколько пачек с постепенным снижением мощности              | Асимметричная, вытянутая в широтном направлении         |
| Гляденское                                                                | 3–4 (Ю),<br>до 10 (С)                   | до 6                     | Диаметр 20 км                           | Невыдержанные, сложного строения                                                                                                 | Симметричная, округлая                                  |
| Бородинское                                                               | до 3 (С-В),<br>6–12 (Ю-З)               | 3,2–51                   | (127)                                   | Пологое залегание, без тектонических нарушений                                                                                   | Асимметричная, вытянутая в С-З направлении              |
| Переяславское                                                             | 1–3                                     | 2–11                     | 9×16 (152)                              | В основном простое строение, на западе мощность снижается и усложняется строение                                                 | Асимметричная, овальная                                 |
| Абанское                                                                  | 1                                       | 3–25                     | (2000)                                  | Простое строение, мощность уменьшается от центра к крыльям складки                                                               | Симметричная, округлая                                  |
| <b>Южно-Якутский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b>   |                                         |                          |                                         |                                                                                                                                  |                                                         |
| Нерюнгринское                                                             | до 30                                   | до 80<br>средняя<br>26,5 | 6×3,9 (16)                              | Сложное строение, в южной части месторождения происходит расслоение пластов, осложнены крупноамплитудными разрывными нарушениями | Асимметричная, вытянутая по направлению С-З – Ю-В       |
| Эльгинское                                                                | 2–5 (С),<br>8–10 (Ю)                    | 1–16,85                  | (236)                                   | Сложное строение, юго-восточная часть месторождения осложнена крупноамплитудным надвигом, имеются мелкоамплитудные нарушения     | Асимметричная, вытянутая в С-З направлении              |



| Месторождения, представленные брахисинклиналями                               | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                                                                                                              | Форма складки (строение месторождения)                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Тугнуйский угленосный район (континентальный тип угленосных отложений)</b> |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |
| Олонь-Шибирское                                                               | 2–20                                    | 2–61,5              | (41)                                    | Присутствуют пласты простого и сложного строения, выдержанные и невыдержанные, сильно осложнены множеством разрывных нарушений, взбросами, амплитуда смещения которых от 5 до 100 м                             | Асимметричная                                                                       |
| Эландинское                                                                   | 3–20 (Ю),<br>32–75 (С)                  | 2–15,1              | 3,2×2,1                                 | Строение простое, изменяется на сложное без наблюдаемой закономерности, пласты выклиниваются в северо-восточном направлениях, имеются трещины, заполненные льдом                                                | Асимметричная                                                                       |
| Тарбагатайское                                                                | 5–40                                    | 0,6–10,2            | 21×9 (150)                              | Простое строение в северной части с ухудшением до сложного в северо-восточном направлении, осложнено крупными дизъюнктивными нарушениями, надвигом с амплитудой 550 м, сбросом с амплитудой 450 м               | Две мульдообразных залежи: Кулевская и Тигнино-Зугмарская, разделенные антиклиналью |
| Татауровское                                                                  | 3–6 (В),<br>7–8 (З)                     | 1,5–19,8            | 14×5,4 (50,2)                           | Простое строение и залегание с увеличением мощности в центральной части, юго-восточная часть месторождения осложнена антиклинальным перегибом                                                                   | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении                                          |
| <b>Чикойский угленосный район (континентальный тип угленосных отложений)</b>  |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |
| Красночикойское                                                               | 3–70                                    | 0,1–23              | 36×13 (280)                             | Относительно равнозначное количество пластов сложного и простого строения, которые осложнены антиклинальным перегибом, в западной и северо-западной части имеются разломы с амплитудами смещения от 10 до 100 м | Асимметричная, субширотного простирания                                             |
| Зашуланское                                                                   | 5–12 (Ю),<br>до 20 (С)                  | 0,1–16,9            | (100)                                   | Относительно равнозначное количество пластов сложного и простого строения, разломы с амплитудой до 180 м делят месторождение на 3 участка                                                                       | Асимметричная                                                                       |
| Шимбиликское                                                                  | 5–10                                    | 0,1–5,6             | 26×10 (140)                             | Относительно равнозначное количество пластов сложного и простого строения, смещение пород в центральной части месторождения разломом с амплитудой от 150 до 200 м                                               | Симметричная, С-В простирания                                                       |
| Харанорское                                                                   | до 9                                    | 0,1–49,1            | 22×8                                    | Простое строение, пласты невыдержанные, частично подвержены расщеплению, сильно развиты разрывные нарушения, сбросы с амплитудой смещения 100–280 м                                                             | Включает в себя мульды: Снежная, Отдельная, Кукульбейская, Путевая и др.            |

| Месторождения, представленные брахисинклиналями                                   | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                                                                                                     | Форма складки (строение месторождения)                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Южно-Аргунский угленосный район (континентальный тип угленосных отложений)</b> |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Кутинское                                                                         | 2–35                                    | 0,5–19,4            | 7×2,5                                   | Простое строение, небольшое количество мелкоамплитудных разрывных нарушений                                                                                                                            | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении              |
| Приозерное                                                                        | до 18                                   | 0,7–14,9            | 11,3×6 (38)                             | Простое строение, дизъюнктивные нарушения не обнаружены                                                                                                                                                | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении              |
| Пограничное                                                                       | 1–6                                     | 0,1–11              | 17,8×7,1 (77,5)                         | Простое строение, дизъюнктивные нарушения не обнаружены                                                                                                                                                | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении              |
| <b>Онеменский угленосный район (континентальный тип угленосных отложений)</b>     |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Анадырское                                                                        | 10–30                                   | 1–6,15              | 60×10 (500)                             | Сложное строение, относительно выдержанная мощность, пласты осложнены серией разрывных нарушений, разломами, размывами, денудационными процессами                                                      | Асимметричная                                           |
| <b>Беренговский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b>            |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Бухта Угольная                                                                    | 6–40                                    | до 4                | (209)                                   | Развиты разрывные нарушения, юго-западное крыло осложнено крупным надвигом с амплитудой 1000 м, мощная зона дробления, множество мелко амплитудных нарушений, строение пластов преимущественно сложное | Асимметричная, вытянутая в С-З направлении              |
| <b>Охотский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b>                |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Ланковское                                                                        | 5–10                                    | 0,7–35,8            | (55)                                    | Осложнена сбросами с амплитудами от 10 до 100 м, основной пласт расщепляется в юго-восточном направлении                                                                                               | Включает в себя 2 брахисинклинали: «Северная» и «Южная» |
| <b>Бикино-Уссурийский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b>      |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Бикинское                                                                         | 5–50                                    | 1,5–34,5            | (600)                                   | Преимущественно сложное строение, небольшие пликативные нарушения, разрывные нарушения с амплитудами от 18 до 300 м                                                                                    | Асимметричная                                           |
| <b>Амуро-Зейский бассейн (континентальный тип угленосных отложений)</b>           |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Ерковецкое                                                                        | 3–35                                    | 0,5–9,1             | (250)                                   | Простое строение, пласты относительно выдержанные, на флангах происходит расщепление, на выходах имеются зоны размытия                                                                                 | Асимметричная                                           |
| <b>Таймырский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</b>                |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Верхнекрестьянское                                                                | 20–65                                   | 0,5–4,9             | –                                       | Сложное строение, имеется перемятие угля, влияние магматизма в виде межпластовых интрузий                                                                                                              | Асимметричная                                           |

| Месторождения, представленные брахисинклиналями                   | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                                                  | Форма складки (строение месторождения)          |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Тарейское                                                         | 10–15                                   | до 10               | –                                       | –                                                                                                                                                   | Асимметричная, вытянутая в широтном направлении |
| <i>Кузнецкий бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</i> |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                     |                                                 |
| Кедровско-Крохалевское                                            | 5–80                                    | 0,8–14              | 18×7 (70)                               | Относительно выдержанные, осложнены пликативными нарушениями (синклинали и антиклинали) и дизъюнктивными нарушениями взбросового характера          | Асимметричная                                   |
| Глушинское                                                        | 20–80                                   | 0,8–6               | 12×5                                    | Преимущественно сложного строения, осложнены пликативными нарушениями в восточной части и дизъюнктивными нарушениями (взбросо-надвигами) в западной | Асимметричная                                   |
| Талдинское                                                        | 5–55                                    | общая до 55,5       | (78)                                    | Преимущественно сложное строение, часть пластов расщепляется на самостоятельные залежи, разрывные нарушения незначительны                           | Асимметричная                                   |
| Ерунаковское                                                      | 5–10                                    | общая до 72,8       | –                                       | Строение меняется от простого к сложному, развито слияние и расщепление пластов, незначительно осложнены пликативными и дизъюнктивными нарушениями  | Округлая                                        |
| Успенское                                                         | 20–30 (В),<br>70–90 (З)                 | –                   | (47)                                    | Пласты сложного строения, характерно их расщепление, осложнены пликативными и разрывными нарушениями                                                | Асимметричная                                   |
| Соколовское                                                       | 5–10 (С-В)<br>60–80 (Ю-З)               | 1,1–14,8            | (22,7)                                  | Пласты относительно выдержанные, преимущественно сложного строения. Дизъюнктивные нарушения развиты на крутопадающих участках месторождения         | Асимметричная                                   |
| Байдаевское                                                       | 15–20 (В),<br>до 80 (З)                 | до 4,2              | –                                       | Сложное строение, в северо-восточном направлении пласты расщепляются и выклиниваются, восточное крыло осложнено взбросом с амплитудой 300 м         | Асимметричная, вытянутая в С и С-В направлениях |
| Есаульское                                                        | 10–15 (С),<br>до 55 (Ю)                 | 0,4–3,8             | (90)                                    | Сложное строение, мелкоамплитудные тектонические нарушения                                                                                          | Асимметричная, вытянутая в С и С-В направлениях |

| Месторождения, представленные брахисинклиналями                     | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                                                                                                              | Форма складки (строение месторождения)                   |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Минусинский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</b> |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |
| Черногорское                                                        | 2–6                                     | 1–9,6               | (250)                                   | Сложное строение, присутствуют как выдержанные, так и невыдержанные, дизъюнктивные нарушения с амплитудой смещения 3,5 м                                                                                        | Округлая, вытянутая в С-В направлении                    |
| Изыхское                                                            | 15–17                                   | 1–10,1              | (415)                                   | Пласты малой и средней мощности простого строения, мощные пласты сложного строения. Флексурный перегиб в южной части месторождения, выявлен взброс с амплитудой 50 м и мелкоамплитудные дизъюнктивные нарушения | Симметричная, округлая, вытянутая в С-З направлении      |
| Бейское                                                             | 5–60                                    | 0,6–11,9            | 36×15                                   | Простое строение северного крыла, западное крыло осложнено дизъюнктивными нарушениями, имеются зоны дробления пластов, на южном крыле присутствуют надвиги и сбросы с амплитудой 30 м                           | Асимметричная, вытянутая с С-З на Ю-В                    |
| Аскизское                                                           | 10–15 (С),<br>50–80 (Ю)                 | 0,6–6,25            | (30)                                    | Северное крыло простого строения, южное крыло осложнено дизъюнктивными тектоническими нарушениями, сбросами с амплитудой от 12 до 25 м, мелкими взбросы, пережимами пластов, складчатыми нарушениями            | Асимметричная, широтно-вытянутая                         |
| Кутень-Булуksкое                                                    | 10–15                                   | 0,8–2,3             | 22×24                                   | Северное крыло осложнено асимметричными складками, имеется надвиг, мощность пластов увеличивается с северо-запада на юго-восток                                                                                 | Округлая                                                 |
| <b>Печорский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</b>   |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |
| Воркутское                                                          | 4–55                                    | 0,9–3,9             | (280)                                   | Простое строение, осложнены пликативными и дизъюнктивными нарушениями с амплитудами смещения более 50 м                                                                                                         | Асимметричная, С-В простирается                          |
| <b>Ленский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</b>     |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |
| Белогорское                                                         | 10–45                                   | 0,5–2,5             | (200)                                   | Строение простое, при увеличении мощности – сложное, имеются крупноамплитудные разрывные нарушения                                                                                                              | Брахисинклиналь сундучного типа                          |
| <b>Зырянский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</b>   |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |
| Харангское                                                          | 10–20 (Ю-З),<br>55–70 (С-В)             | 1,5–16              | –                                       | Простое строение, распространены сбросы и взбросы с амплитудами от 5 до 150 м                                                                                                                                   | Асимметричная, вытянутая в субмеридиональном направлении |

| Месторождения, представленные брахисинклиналями                                  | Углы наклона крыльев (положение), град. | Мощность пластов, м | Размеры, км (площадь, км <sup>2</sup> ) | Морфология пластов                                                                                                                                                                             | Форма складки (строение месторождения)     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b><i>Сахалинский бассейн (промежуточный тип угленосных отложений)</i></b>       |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                |                                            |
| Тихменевское                                                                     | 15–30 (В),<br>50–65 (З)                 | до 13               | 9×5 (38)                                | Преобладают невыдержанные пласты сложного строения, крылья осложнены складчатостью, многочисленными разрывными и пликативными нарушениями, магматические породы прорывают угленосные отложения | Асимметричная                              |
| Вахрушевское                                                                     | 10–30 (В),<br>20–70 (З)                 | 0,7–7,4             | (20)                                    | Верхние пласты относительно выдержанные, нижние невыдержанные, осложнены вторичной складчатостью и разрывными нарушениями с амплитудами от 3 до 25 м, имеются проявления процессов магматизма  | Асимметричная                              |
| <b><i>Раздольненский бассейн (геосинклинальный тип угленосных отложений)</i></b> |                                         |                     |                                         |                                                                                                                                                                                                |                                            |
| Липовецкое                                                                       | 10–45                                   | 1,1–3,1             | 12×6 (200)                              | Сложное строение, осложнены синклинальными, антиклинальными складками и разрывными нарушениями с амплитудой до 200 м, отощение пластов в связи с процессами магматизма                         | Асимметричная, субширотное простирание     |
| Ильичевское                                                                      | 5–10 (С-З),<br>до 45 (Ю-В)              | 1,1–5,7             | 25×10 (200)                             | Пласты относительно выдержанные, сложного строения, дизъюнктивные нарушения, проявляющиеся системой крупных сбросов, магматические породы прорывают угленосные отложения                       | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении |
| Константиновское                                                                 | 4–12                                    | 0,7–2,7             | (83)                                    | Нарушения сбросового характера меридионального простирания с амплитудами смещения от 70 до 500 м                                                                                               | Асимметричная, вытянутая в С-В направлении |
| Алексее-Никольское                                                               | 8–25                                    | до 7,9              | (120)                                   | Разрывные нарушения, мелкая складчатость                                                                                                                                                       | Асимметричная                              |

### **1.3. Обзор ранее выполненных работ по порядку отработки и вскрытию карьерных полей угольных месторождений**

Исследованиями вопросов порядка отработки и вскрытия карьерных полей для открытой разработки занимались многие известные горные инженеры и ученые: Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевский, А.И. Арсентьев, Н.В. Мельников, В.В. Истомин, 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.

Е.Ф. Шешко принадлежит одно из ведущих мест в методическом обосновании вопросов вскрытия карьерных полей [89]. Им выполнены классификации способов вскрытия и систем разработки карьерных полей. Под вскрытием карьерного поля, в определении, данном Е.Ф. Шешко, понимается «... установление грузотранспортной связи между горизонтами его разработки и техническими сооружениями на поверхности и в карьере». Систематизация траншей выполнена им по следующим признакам: расположению относительно контуров карьера, числу обслуживаемых уступов, назначению и стационарности [89, 90, 91, 94]. Дальнейшее развитие научные идеи Е.Ф. Шешко получили в трудах Н.В. Мельникова и В.В. Ржевского.

Н.В. Мельников в работах [35, 42] отмечает, что вскрытие карьерного поля включает комплекс работ по проведению капитальных выработок, созданию системы сооружений и транспортных коммуникаций. Схемы вскрытия карьерного поля характеризуются типом применяемых капитальных выработок. По данным Н.В. Мельникова, решения по принятию схемы вскрытия карьерных полей должны приниматься с учетом взаимосвязей с системами разработки.

В.В. Ржевский дополнил классификацию способов вскрытия карьерных полей, выполненную Е.Ф. Шешко, новыми признаками и ввел в нее использование подземных вскрывающих выработок [53].

А.И. Арсентьев под схемами вскрытия рабочих горизонтов карьера понимает: «проведение горных выработок и устройство сооружений для обеспечения транспортных связей в карьере» [4]. Он классифицирует способы вскрытия карьерных полей по наличию, типу и взаимному расположению вскрывающих выработок и

сооружений. Способ вскрытия должен реализовывать наиболее эффективное направление развития горных работ [5].

М.Г. Новожилов классифицировал способы вскрытия по следующим основным признакам: «наличие, положение, количество и назначение вскрывающих горных выработок как транспортных коммуникаций». Классификация систем открытой разработки выполнена им с учетом применяемого способа перемещения вскрышных пород в отвальные массивы, способа производства вскрышных работ и вида используемого горнотранспортного оборудования [41].

В работах В.И. Супруна и В.В. Манкевича [64, 65, 66] порядок отработки месторождений рассматривается в контексте оптимизации порядка развития горных работ, формирования выработанного пространства и отвальных массивов.

В.Ф. Колесниковым сделано обобщение ранее рассмотренных классификаций способов, схем вскрытия карьерных полей и выделены основные классификационные признаки вскрытия: наличие, вид, наклон вскрывающих выработок; месторасположение вскрывающих выработок; количество вскрываемых горизонтов; стационарность выработок; назначение выработок; движение транспорта на уступе; форма трассы выработок; количество вскрывающих выработок [22, 23, 24].

Ряд работ в области схем вскрытия и порядка отработки карьерных полей посвящен этапной отработке месторождений, подразумевающей строительство карьеров первой очереди и последующего их расширения на стадии второй и третьей очередей. Впервые целесообразность такого способа отработки была обоснована в 1945 г. А.Н. Шилиным.

Дальнейшее развитие этапная отработка нашла в работах В.В. Ржевского, А.И. Арсентьева, В.С. Хохрякова, Б.П. Юматова, П.И. Томакова, А.С. Ненашева, В.С. Коваленко, Б.Т. Рутковского, В.И. Ческидова, Е.И. Васильева, Е.П. Плотникова, С.Н. Григорьева и др. ученых [10, 15, 20, 40, 44, 85, 87, 93].

В работах П.И. Томакова, В.С. Коваленко, А.С. Ненашева, В.Н. Сытенкова, В.П. Сафронова, Б.Т. Рутковского решаются задачи раннего вовлечения в производственный процесс выработанного пространства карьера, исследуются взаимосвязи между системой разработки и вскрытием рабочих горизонтов карьеров [21, 57, 60, 61, 75, 77, 78, 79, 88].

Многими специалистами в области горного дела «вскрытие» рассматривается как процесс, заключающийся в строительстве вскрывающих выработок и транспортных

коммуникаций, целью которого является подготовка рабочих горизонтов к эксплуатации.

Вскрытие как процесс и схема вскрытия, формируемая в ходе данного процесса (как синтез данного процесса), должны обеспечить рациональный порядок развития рабочей зоны карьера для реализации проектной мощности по полезному ископаемому. Задача вскрытия рабочих горизонтов карьера имеет подчиненное значение по отношению к порядку развития горных работ и формированию карьерных грузопотоков.

Объемы вскрышных пород должны быть вывезены с рабочих горизонтов карьера в отвалы по определенным направлениям. Инструментом формирования карьерных грузопотоков является схема вскрытия рабочих горизонтов и транспортная схема [2, 3].

В ходе эксплуатации месторождений вскрытие рабочих горизонтов продолжается вплоть до момента достижения карьером своей конечной глубины и завершения горных работ. Таким образом, вскрытие карьерных полей можно рассматривать как динамично развивающуюся в пространстве и времени систему, претерпевающую многократные и весьма значительные изменения за период своего формирования.

Для характеристики процесса изменения схем вскрытия В.В. Ржевский и В.В. Истомин дают понятие системы вскрытия: «порядок и последовательность создания и изменения (развития) схем вскрытия за период существования карьера, обеспечивающих вскрытие рабочих горизонтов до его конечной глубины» [54]. Впоследствии данное понятие было развито К.Н. Трубецким и В.В. Хрониным [82].

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых, представленных горизонтальными залежами, начальная схема вскрытия с небольшими изменениями используется до окончания отработки карьерного поля. Отработка угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами, характеризуется кратно большей изменчивостью схем вскрытия карьерных полей.

Анализ научной литературы свидетельствует, что большинство решений по открытой разработке угольных и рудных месторождений основываются 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 эти технические решения не получили. Данное обстоятельство свидетельствует, что создание схем вскрытия со стороны рабочих бортов является малоизученным вопросом.



#### 1.4. Условия размещения вскрышных пород в выработанном пространстве угольных брахисинклиналей

На месторождениях, имеющих горизонтальное и пологое падение залежей, вскрышные породы могут быть размещены в контурах выработанного пространства карьера (рисунок 1.10 *а*). При отработке наклонных и крутопадающих залежей полезных ископаемых (рисунок 1.10 *б, в*) нет возможности разместить вскрышные породы в выработанном пространстве. В этом случае формируются внешние отвальные массивы, которые располагаются, как правило, со стороны стационарного борта при одnobортовой системе разработки (рисунок 1.10 *б*) или со стороны рабочих бортов при двухбортовой системе разработки (рисунок 1.10 *в*).

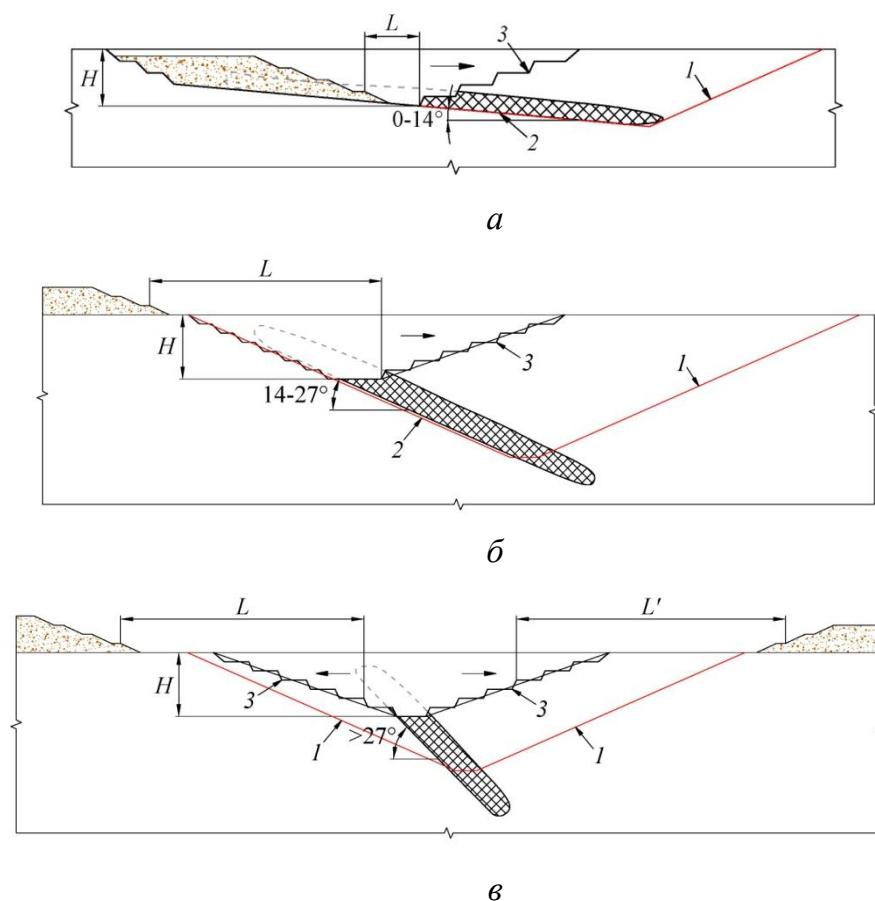


Рисунок 1.10 – Основные морфологические элементы залежей, имеющие принципиальное влияние на формирование стационарных бортов карьера и размещение вскрышных пород: *а*) при пологом падении залежи, первый морфологический элемент; *б*) наклонном падении, второй морфологический элемент; *в*) крутом падении, третий морфологический элемент: 1 – предельный контур карьера; 2 – стационарный борт; 3 – рабочий борт; *H* – глубина карьера; *L, L'* – расстояния перемещения вскрышных пород; стрелками обозначены направления развития горных работ

Угольные месторождения, представленные брахисинклиналими, с позиции их отработки занимают особое положение, так как содержат в себе признаки, характерные для нескольких типов геологических структур. На различных этапах отработки брахисинклиналей падение залежи может меняться от крутого (до  $70\text{--}90^\circ$  на выходах) до практически горизонтального ( $0\text{--}5^\circ$ ) в глубинной (шарнирной) части брахисинклинали (рисунок 1.11). С изменением угла падения (выполаживанием) угольных пластов меняется структура и направления вскрышных грузопотоков карьера. Вышесказанные обстоятельства требуют особого подхода к отработке брахисинклиналей [50].

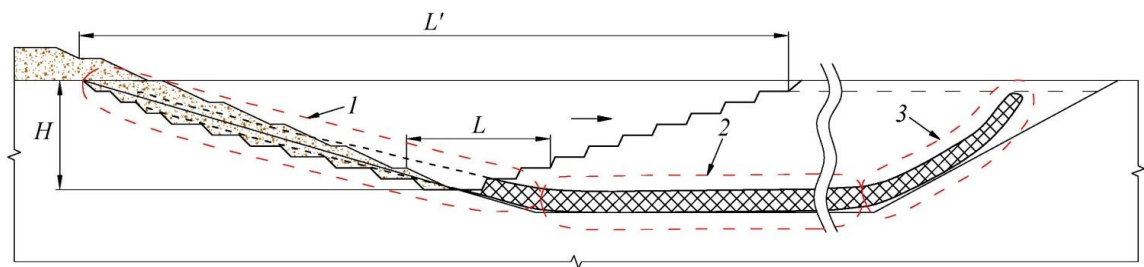


Рисунок 1.11 – Сечение карьера, отрабатывающего брахисинклиналь: 1 – наклонная часть залежи; 2 – пологопадающий (горизонтальный) участок залежи; 3 – крутопадающий участок залежи;  $H$  – глубина карьера;  $L, L'$  – расстояния перемещения вскрышных пород; стрелкой обозначено направление развития горных работ

Вышеуказанные обстоятельства формируют схематичную модель отработки угольных брахисинклиналей и размещения вскрышных пород в их выработанном пространстве. По соотношению баланса объемов вскрышных пород и выработанного карьерного пространства брахисинклинали можно разделить на три вида (рисунок 1.12).

Вид А отличается тем, что текущие объемы выработанного пространства на всех этапах отработки брахисинклинали превышают текущие объемы вскрышных пород. Такие условия возможны при отработке мощных угольных пластов, когда текущие коэффициенты вскрыши не превышают значений  $2,5\text{--}3,0 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Вид 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.

Вид С характеризуется избытком вскрышных пород над объемами выработанного карьерного пространства, начиная с первых этапов горных работ. Данное обстоятельство характерно для карьеров с высокими текущими коэффициентами вскрыши ( $10\text{--}15 \text{ м}^3/\text{т}$ ).

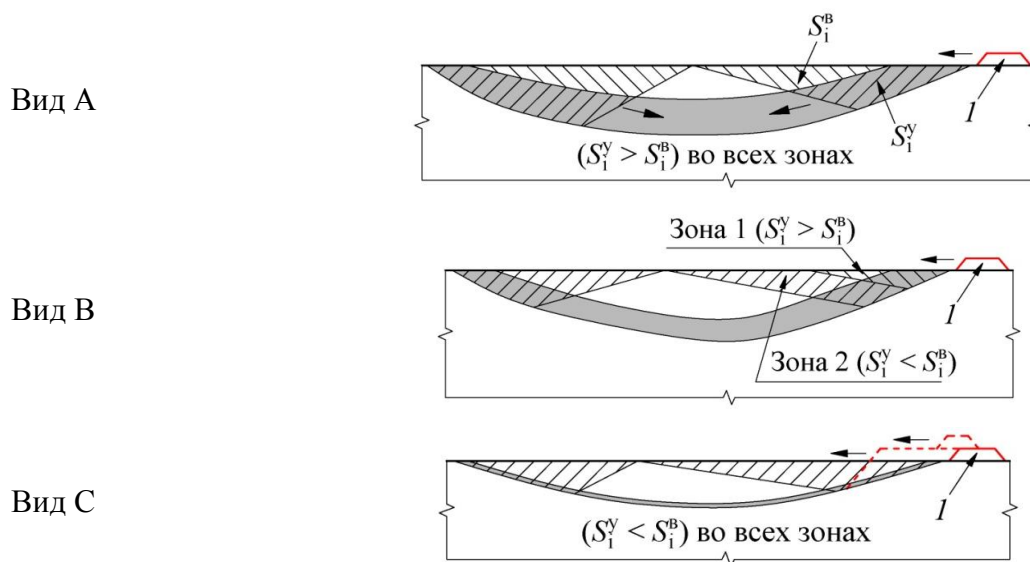


Рисунок 1.12 – Систематизация видов брахисинклиналей в зависимости от условий заполнения выработанного пространства, формируемого при отработке пластов различной мощности:  $I$  – внешний отвал;  $S_i^y$  – площадь (объем) угольных пластов в контурах этапа отработки месторождения;  $S_i^B$  – площадь (объем) вскрышных пород в контурах этапа отработки месторождения

Большинству угольных месторождений континентального и промежуточного (эпигеосинклинального) типов присуще наличие крутого или наклонного падения пластов по одному из крыльев брахисинклинали, составляющее до 20–50 % от общей протяженности выходов пластов под наносы, а также наличие от 2–3 до 12–15 локальных пликативных (антиклинально-синклинальных) нарушений.

Например: на Аскизском месторождении (Минусинский бассейн) северное крыло имеет падение 10–15°, а южное – 50–80°; на Олонь-Шибирском месторождении (Кузнецкий бассейн) северное крыло брахисинклинали (Центральный участок) имеет пологое падение (2–4°), а южное крыло имеет падение до 20° с разрывными нарушениями в юго-восточной части (угол падения пластов 60–80°); на Кедровско-Крохалевском месторождении (Кузнецкий бассейн) морфология пластов осложнена антиклинальными и синклинальными нарушениями с изменением угла падения пластов на крыльях от 5° до 80°; на Назаровском месторождении (Канско-Ачинский бассейн) южное крыло имеет пологое падение – 2–5°, а северное – до 50°; на Урюпском месторождении (Канско-Ачинский бассейн) южное крыло имеет падение – 2–4°, а северо-восточное – 40–70°; на Есаульском месторождении (Кузнецкий бассейн) северное крыло имеет падение до 15°, а южное до 55°; на Байдаевском месторождении

восточное крыло погружается под углом до  $20^\circ$ , а западное до  $80^\circ$ ; на Ильичевском месторождении (Раздольненский бассейн) северо-западное крыло имеет падение  $5\text{--}10^\circ$ , а юго-восточное – до  $45^\circ$  и т. д. Систематизация брахисинклиналей по морфологическим признакам с учетом данных особенностей приведена в таблице 1.4.

К первому типу можно отнести брахисинклинали, имеющие углы наклона пластов в крыльях  $\alpha_k$  менее некоторого критического угла  $\alpha_{кр}$ , позволяющего размещать вскрышные породы в их выработанном пространстве (таблица 1.4, зона 1). Величина угла  $\alpha_{кр}$  обычно лежит в диапазоне  $8\text{--}14^\circ$  [64, 67]. Этот тип брахисинклиналей самый благоприятный для размещения внутренних отвалов. При пластах большой мощности весь объем вскрышных пород размещается в контурах месторождения.

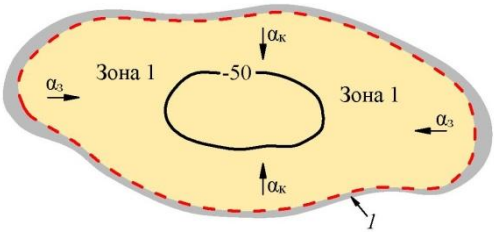
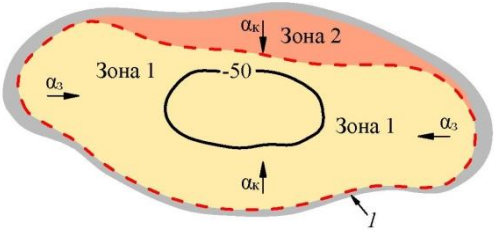
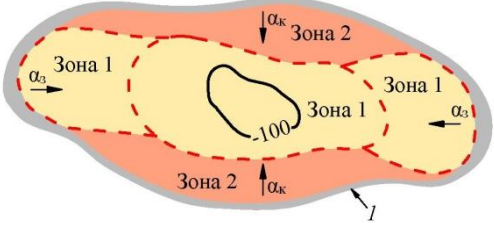
Брахисинклинали второго типа по сравнению с вышерассмотренным типом имеют отличие в том, что не все выработанное пространство может быть пригодным для внутреннего отвалообразования, вследствие локальных тектонических нарушений, в которых углы падения пластов превышают  $\alpha_{кр}$ .

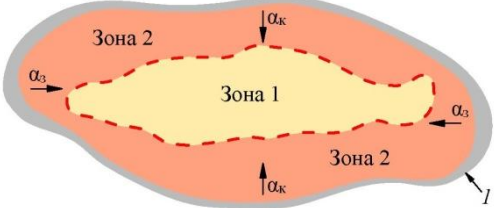
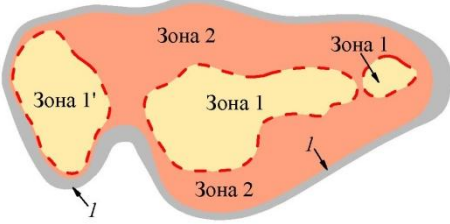
Особенностью брахисинклиналей третьего типа является то, что зона 1 с углом падения менее  $\alpha_{кр}$  совпадает с предельным контуром 1 только в замках складки. В пределах крыльев зона 1 располагается на средних гипсометрических уровнях. Между зоной 1 и предельным контуром карьера располагается зона 2, в которой невозможно размещение вскрышных пород (угол наклона пластов в зоне 2 больше  $\alpha_{кр}$ ). На месторождениях данного типа на начальных этапах отработки имеется возможность разместить весь объем вскрышных пород в выработанном пространстве карьера, дальнейшее развитие горных работ сопровождается недостатком приемной способности выработанного пространства для размещения вскрышных пород.

Четвертый тип брахисинклиналей характеризуется тем, что зона 2 не совпадает с контуром выхода нижнего кондиционного пласта даже в замковых частях. Данная зона расположена на нижних гипсометрических уровнях складки. Приступить к внутреннему отвалообразованию возможно лишь при достижении глубинной части месторождения.

Разновидностью четвертого типа брахисинклинали может быть подтип IV<sub>A</sub>, отличающийся наличием локальных связанных тектонических нарушений (антиклиналей, синклиналей), в пределах которых углы падения пластов могут быть менее  $\alpha_{кр}$  (зона 1'). Отработка карьерных полей в зонах названных дислокаций обеспечивает ускоренный переход к формированию внутренних отвалов.

Таблица 1.4 – Типизация угольных брахисинклиналей по морфологическим признакам, определяющим уровень возможности размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера

| Типы брахисинклиналей в зависимости от углов падения пластов (свит пластов) $\alpha$ , град.       | Систематизационные признаки                                                                                                                                                                                                           | Соотношение объемов выработанного пространства $V_{\Pi}$ и вскрышных пород $V_{\text{в}}$                             | Примеры месторождений                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Тип I</p>      | <p>Зона 1 с углом падения нижнего пласта менее <math>\alpha_{\text{кр}}</math> совпадает с контуром выхода пластов под наносы 1. Предельный контур открытых горных работ совпадает с контуром почвы нижнего пласта</p>                | <p><math>V_{\Pi} = (0,8-1) V_{\text{в}}</math><br/>в некоторых случаях<br/><math>V_{\Pi} \geq V_{\text{в}}</math></p> | <p>Некоторые месторождения, приуроченные к бассейнам континентального типа угленосных отложений. Барандатское, Бородинское, Переяславское, Абанское и другие месторождения</p>                     |
| <p>Тип II</p>    | <p>Зона 1 с углом падения нижнего пласта менее <math>\alpha_{\text{кр}}</math> совпадает с контуром выхода пластов под наносы 1 на пологих крыльях и не совпадает на наклонных или крутопадающих крыльях (или локальных участках)</p> | <p><math>V_{\Pi} = (0,6-0,8) V_{\text{в}}</math></p>                                                                  | <p>Месторождения, расположенные в бассейнах различных типов угленосных отложений. Урюпское, Назаровское, Ильичевское и другие месторождения</p>                                                    |
| <p>Тип III</p>  | <p>Зона 1 совпадает с предельным контуром в замковых частях брахисинклинали. Зона 1 на крыльях лежит на средних и нижних гипсометрических уровнях</p>                                                                                 | <p><math>V_{\Pi} = (0,4-0,6) V_{\text{в}}</math></p>                                                                  | <p>Характерно для месторождений геосинклинального и промежуточного типов угленосных отложений. Кедровско-Крохалевское, Талдинское, Соколовское, Тарбагатайское, Бейское и другие месторождения</p> |

| Типы брахисинклиналей в зависимости от углов падения пластов (свит пластов) $\alpha$ , град.                    | Систематизационные признаки                                                                                                                                                                                   | Соотношение объемов выработанного пространства $V_{\pi}$ и вскрышных пород $V_v$ | Примеры месторождений                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Тип IV</p>                  | <p>Зона 1 не совпадает с выходами пласта в замковых частях и на крыльях она имеет локальное распространение в пределах нижних гипсометрических уровней. В зоне 2 складирование вскрышных пород невозможно</p> | $V_{\pi} = (0,1-0,4) V_v$                                                        | <p>Месторождения, приуроченные к геосинклинальному и промежуточному типам угленосных отложений. Верхнекрестьянское, Байдаевское, Тихменевское и другие месторождения</p>                                                                      |
| <p>Подтип IV<sub>A</sub></p>  | <p>Подтип IV<sub>A</sub> аналогичен IV типу, но имеет локальные тектонические нарушения с углами падения пластов менее <math>\alpha_{кр}</math> (зона 1')</p>                                                 | $V_{\pi} = (0,1-0,5) V_v$                                                        | <p>Месторождения, приуроченные к геосинклинальному и промежуточному типам угленосных отложений, осложненные дополнительными локальными пликтивными нарушениями. Экибастузское, Вахрушевское, Глушинское, Успенское и другие месторождения</p> |

Дальнейшие исследования в рамках данной диссертационной работы будут проводиться для угольных месторождений, приуроченных к брахисинклиналям, относящихся по балансу объемов выработанного пространства и вскрышных пород к виду В (см. рисунок 1.12), а по морфологическим признакам – ко II и III типам (см. таблицу 1.4).

### **1.5. Цель и задачи исследования**

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.

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.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫРАБОТАННОГО КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

### 2.1. Закономерности изменения градиентов выполаживания пластов на угольных брахисинклиналях

Под выполаживанием понимается постепенное уменьшение углов наклона пластов полезного ископаемого с глубиной отработки. Данное обстоятельство является важнейшей особенностью брахисинклиналей и оказывает влияние на объем вскрываемых запасов, приемную способность выработанного пространства, формирование схемы вскрытия, производственную мощность карьера, скорость подвигания фронта горных работ и др.

Интенсивность изменения углов падения пластов на различных гипсометрических уровнях брахисинклинали можно характеризовать через величину градиента выполаживания. Под данным понятием понимается разность углов наклона пласта между заданным интервалом гипсометрических уровней месторождения:

$$G = \frac{\beta_{n-1}(H_{n-1}) - \beta_n(H_n)}{H_n - H_{n-1}}, \text{ град/м}, \quad (2.1)$$

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.

В случае возрастания углов наклона пластов выполаживания не происходит (градиент выполаживания принимает отрицательные значения).

При наличии локальных пликативных нарушений (синклиналей и антиклиналей) общая тенденция выполаживания складки с глубиной залегания (крыла брахисинклинали) меняется. Выполаживаемая зона, отрабатываемая по падению, может многократно изменять значения градиентов выполаживания (с положительных на отрицательные). При достижении шарниров локальных складчатых нарушений дальнейшее погружение пластов вглубь массива с последующим выполаживанием осуществляется вдоль осей данных шарниров.

Разрывные нарушения вносят коррективы в значения градиента выполаживания, иногда приводя к значительному уменьшению (увеличению) значений последнего.



Для северной замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали (разрез «Черниговский») по ряду геологических сечений, приуроченных к различным инженерно-геологическим зонам месторождения (Черниговский и Новоколбинский участки), были определены градиенты выполаживания пластов с глубиной по интервалам углубления 10 м.

Осредненное сечение (по линиям № 270, № 280, № 290, № 300) для Черниговского участка приведено на рисунке 2.1. По полученным результатам были построены графики, отражающие изменение градиентов выполаживания пластов и углов наклона залежей с глубиной (рисунок 2.2).

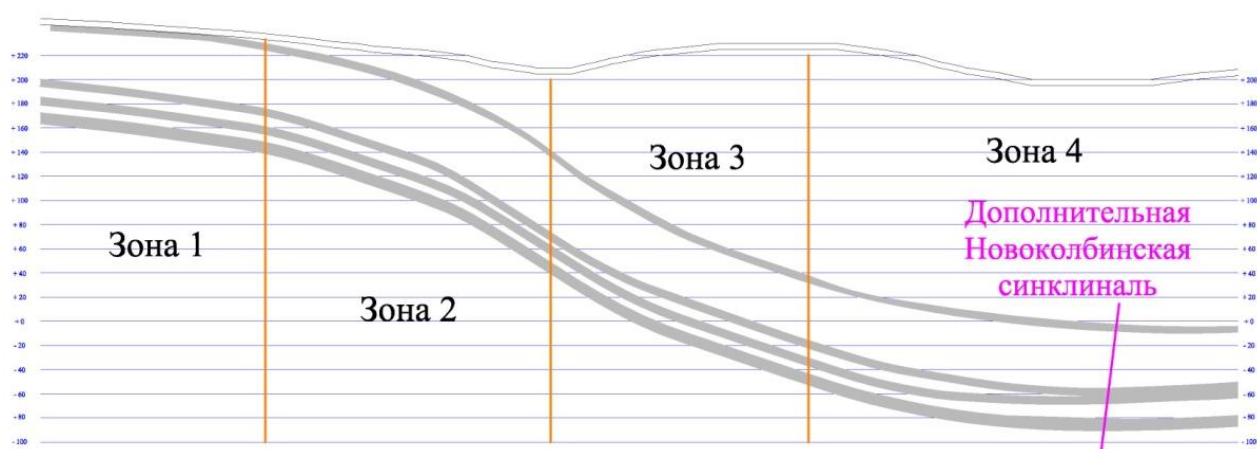


Рисунок 2.1 – Осредненное сечение северо-западной части замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали на Черниговском участке: зона 1–4 – инженерно-геологические зоны участка, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

Зона 1 Черниговского поля характеризуется градиентами выполаживания близкими к нулю, пласты полезного ископаемого имеют пологое падение. При переходе во вторую зону происходит увеличение углов наклона пластов до наклонного падения и резкое уменьшения градиентов выполаживания (они принимают отрицательные значения). В зоне 3 градиенты выполаживания постепенно возрастают (принимают положительные значения) ввиду выполаживания пластов. Четвертая зона отличается максимальными значениями градиентов выполаживания, пласты выполаживаются вплоть до горизонтального залегания.



Рисунок 2.2 – Изменение градиентов выполаживания пластов по характерным сечениям северо-западной части замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали: зона 1–4 – инженерно-геологические зоны участка, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

Рассмотрен Новоколбинский участок Кедровско-Крохалевского месторождения (рисунок 2.3), отличающийся по характеру инженерно-геологических зон от предыдущего с выборкой четырех характерных сечений (№ 540, № 560, № 580, № 600).

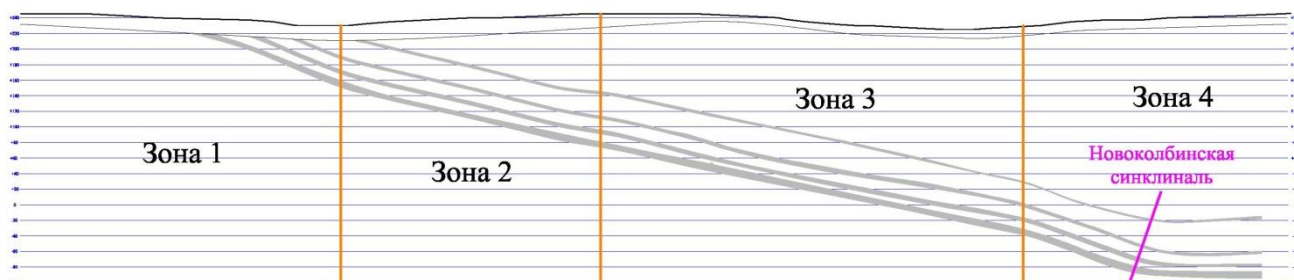


Рисунок 2.3 – Осредненное сечение северной части замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали на Новоколбинском участке: зона 1–4 – инженерно-геологические зоны участка, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

В зоне 1 изменение градиентов выполаживания минимально, пласты имеют наклонное падение в диапазоне  $22\text{--}23^\circ$  (рисунок 2.4). С углублением горных работ и переходом в зону 2 наблюдается значительное выполаживание пластов. Зона 3 характеризуется изменением динамики выполаживания пластов с положительных на отрицательные значения, угол наклона пластов при этом возрастает. Градиенты выполаживания пластов в зоне 4 принимают максимальные значения, пласты очень интенсивно выполаживаются до горизонтального залегания.

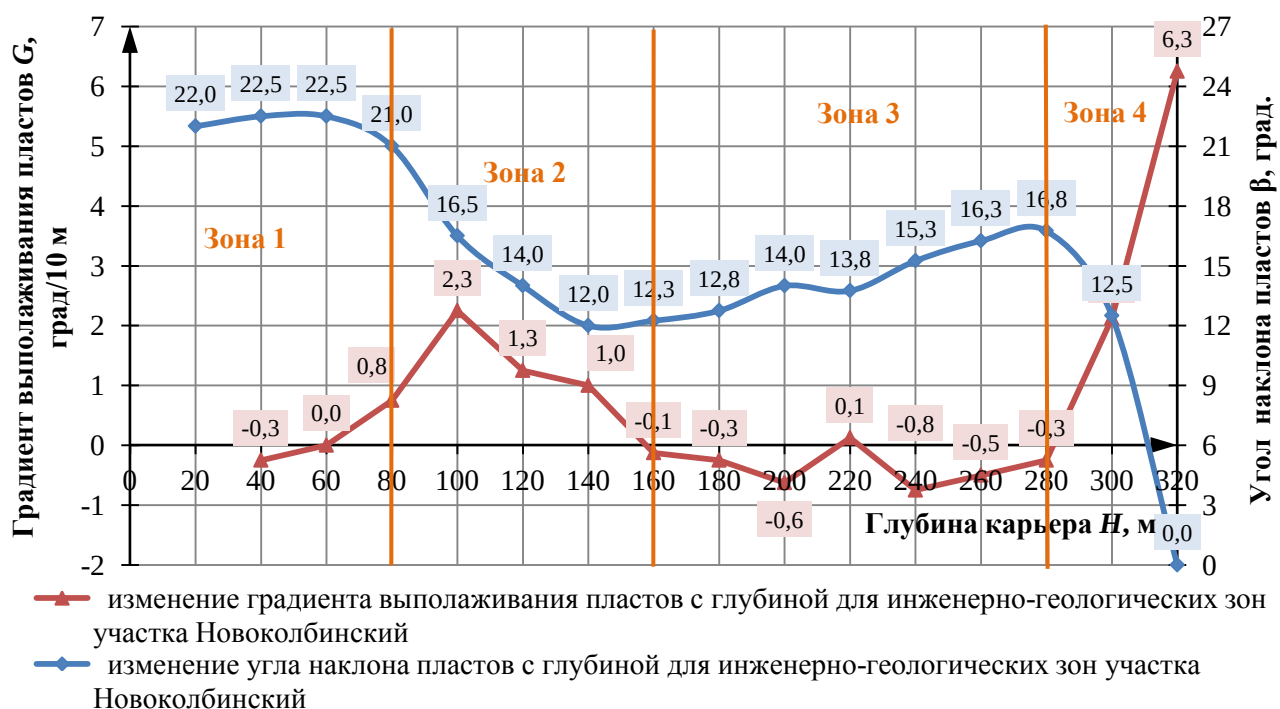


Рисунок 2.4 – Изменение градиентов выполаживания пластов по характерным сечениям северной части замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали на Новоколбинском участке: зона 1–4 – инженерно-геологические зоны участка, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

Определены градиенты выполаживания пластов для замковых зон брахисинклинальной складки и крыльев Соколовского месторождения (Кузнецкий бассейн, разрез «Майский»). Особенностью месторождения является значительное влияние на морфологию пластов полезного ископаемого Евтинской антиклинали, приводящее к отсутствию угольных пластов в шарнирной части складки и разделению их сплошности.

Замковые части брахисинклинали были рассмотрены по осевой разведочной линии 1 (осевая р.л. 2 сохраняет ту же тенденцию, но глубина залегания пластов под

влиянием Евтинской антиклинали значительно меньше). Характерное сечение показано на рисунке 2.5, а графики с градиентами выполаживания и изменением углов наклона пластов приведены на рисунке 2.6.

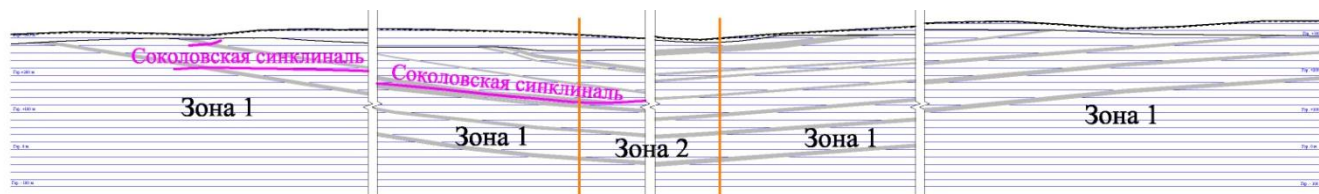


Рисунок 2.5 – Осредненное сечение по осевой разведочной линии 1 в замковых частях Соколовской брахисинклинали: зона 1, 2 – инженерно-геологические зоны участка, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

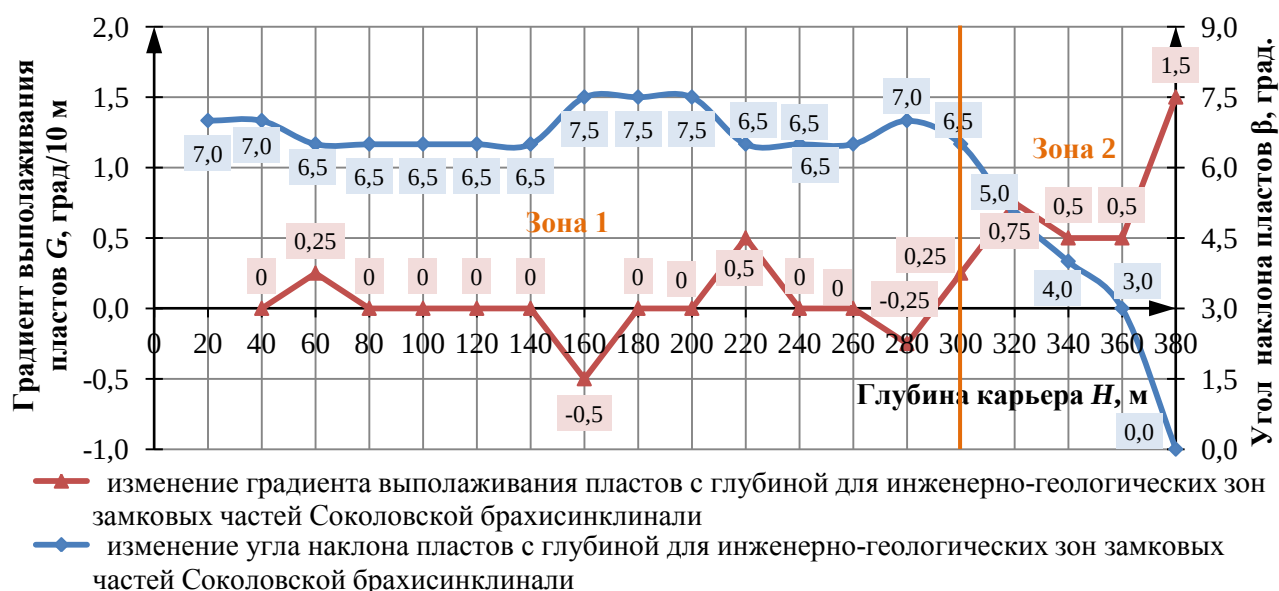


Рисунок 2.6 – Изменение градиентов выполаживания пластов по характерной разведочной линии Соколовской брахисинклинали в замковых частях: зона 1, 2 – инженерно-геологические зоны, выделенные по характеру изменения градиентов выполаживания

На всей глубине складки прослеживается пологое падение, благоприятное для внутреннего отвалообразования (зона 1). В донной части складки происходит выполаживание пластов до горизонтального залегания, и наблюдается максимальный градиент выполаживания (зона 2).

Изменения градиентов выполаживания пластов на крыльях Соколовской брахисинклинали по характерным разведочным линиям (211, 212, 214, 215 р.л.) приведены на рисунках 2.7, 2.8.

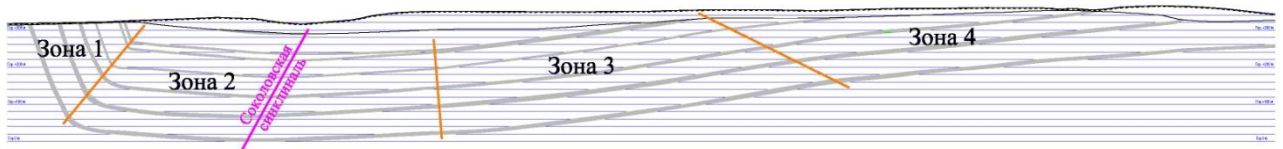
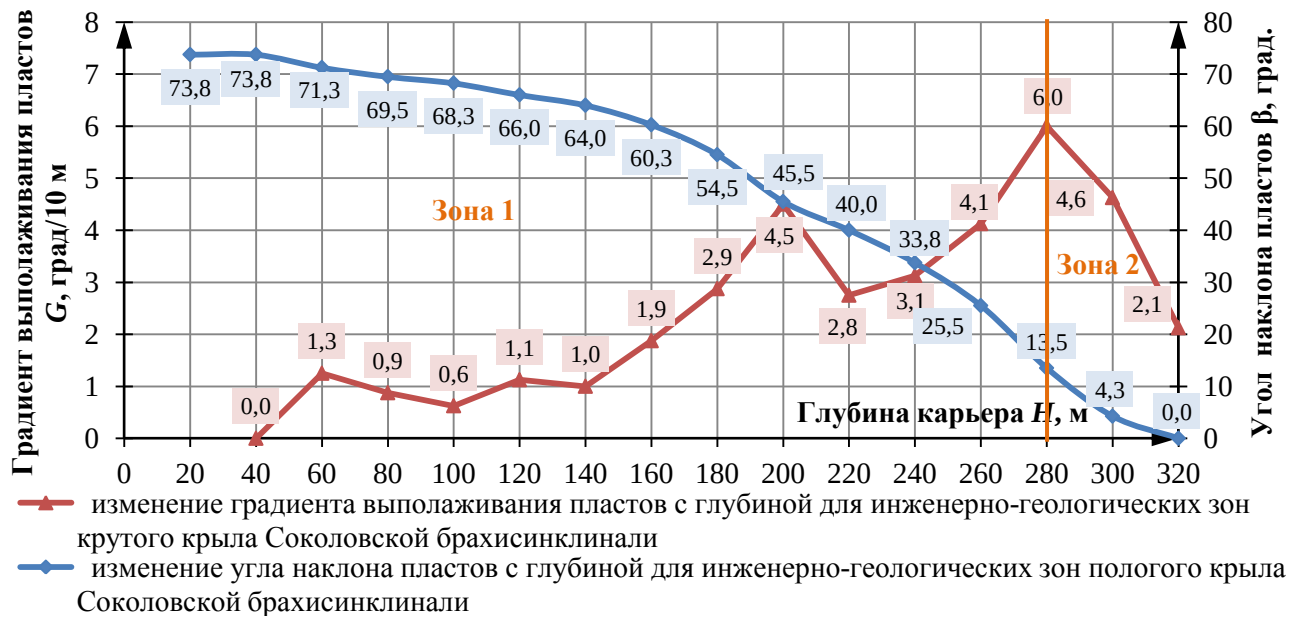
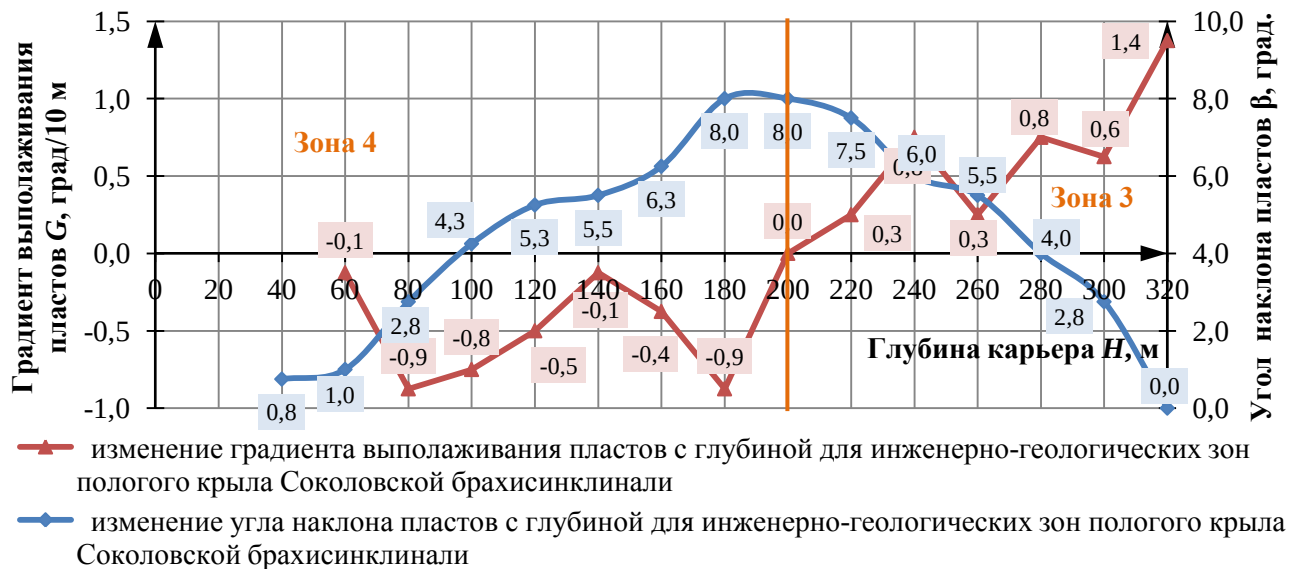


Рисунок 2.7 – Осредненное сечение крыльев Соколовской брахисинклинали:  
зона 1–4 – инженерно-геологические зоны, выделенные по характеру изменения  
градиентов выполаживания



а



б

Рисунок 2.8 – Изменение градиентов выполаживания пластов по характерным  
разведочным линиям в крыльях Соколовской брахисинклинали: а) для крутого крыла;  
б) для пологого крыла; зона 1–4 – инженерно-геологические зоны, выделенные по  
характеру изменения градиентов выполаживания

В зоне 1 находится крутопадающее крыло Соколовской брахисинклинали с постепенно нарастающими при углублении градиентами выполаживания. При подходе к донной части складки наблюдается резкое выполаживание пластов. Данный участок и последующая донная горизонтальная часть брахисинклинали выделена в зону 2.

Противоположное крыло обладает иными тенденциями, связанными с градиентами выполаживания. В приповерхностной части месторождения наблюдается возрастание угла наклона пластов, т. е. градиенты выполаживания принимают отрицательные значения (зона 4). Со средних гипсометрических отметок начинается уменьшение углов наклона пластов и градиенты выполаживания принимают положительные значения (зона 3). В шарнирной части брахисинклинали градиенты выполаживания имеют максимальные значения.

Если принять средние значения изменения градиентов выполаживания пластов от наносов до выположенной части, то для рассмотренных участков Кедровско-Крохалевской брахисинклинали они составят  $0,55^{\circ}/10$  м углубления, а для Соколовской брахисинклинали –  $0^{\circ}/10$  м для пологого крыла брахисинклинали,  $2,5^{\circ}/10$  м для крутого крыла и  $0,19^{\circ}/10$  м для замковой зоны. На рассмотренных сечениях максимальные значения градиентов выполаживания достигают  $6,3^{\circ}/10$  м для Черниговского разреза и  $6,0^{\circ}/10$  м для Майского.

На базе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- характер градиентов выполаживания пластов нестабилен, имеются зоны, в которых он принимает отрицательные значения, что связано с изменением морфологии пластов;
- локальные пликативные и разрывные тектонические нарушения оказывают существенное влияние на тенденцию изменения градиентов выполаживания угольных пластов;
- максимальные градиенты выполаживания наблюдаются в зоне нижних гипсометрических отметок, в пределах которых происходит переход к горизонтальному залеганию пластов;
- величина градиентов выполаживания в нижней зоне брахисинклинали превышает средние значения по вышележащим гипсометрическим уровням складки в 2,5–3 раза.

## 2.2. Факторы, определяющие параметры стационарных и рабочих бортов

Для разрезов «Черниговский» (Кедровско-Крохалевская брахисинклиналь, Кузбасс), «Майский» (Соколовская брахисинклиналь, Кузбасс) и «Тугнуйский» (Олонь-Шибирское месторождение) обобщены данные по углам наклона рабочих бортов и внутренних отвалов [18, 45, 70]. На данной основе построены графики изменения углов наклона бортов карьеров и углов откосов внутренних отвалов с глубиной открытых горных работ (рисунки 2.9, 2.10). Графики выполнены при условии, что борт карьера формируется в коренных породах с падением слоев в массив.

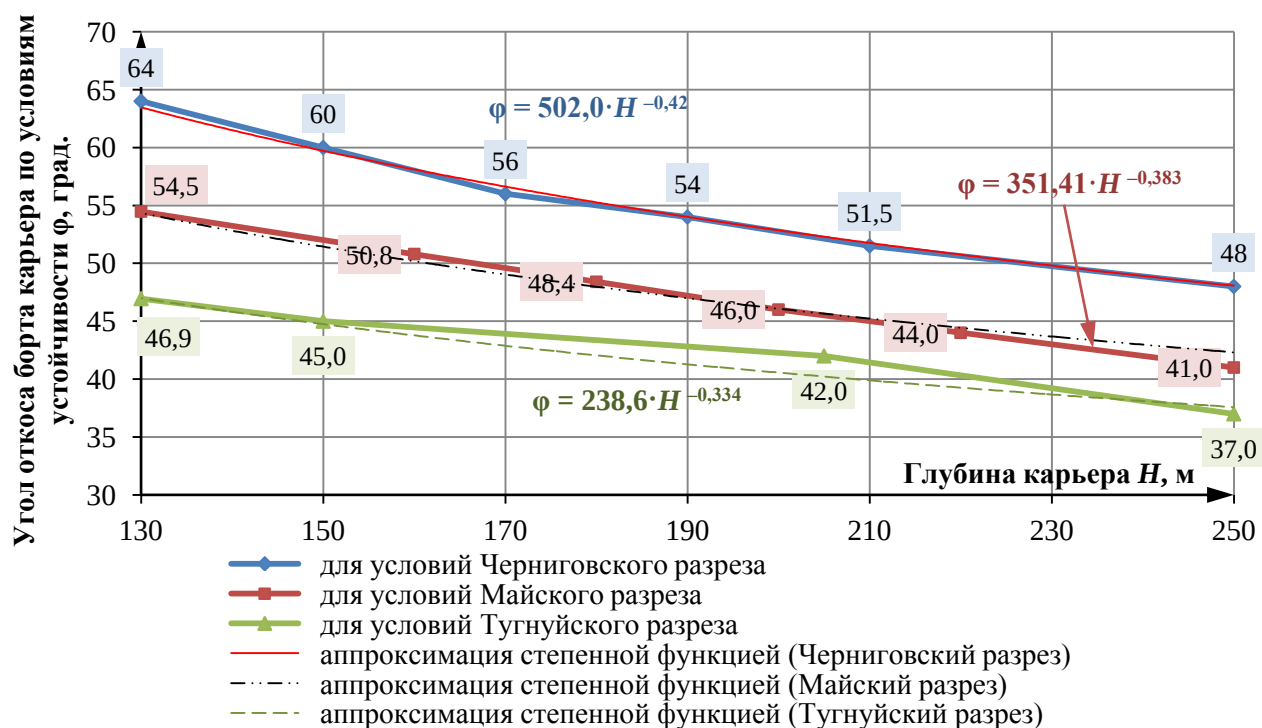


Рисунок 2.9 – Закономерности изменения предельных углов наклона бортов карьеров с глубиной (по условиям устойчивости)

По полученным зависимостям можно сделать вывод о том, что увеличение глубины отработки приводит к уменьшению углов наклона рабочего борта карьера и углов наклона внутренних отвалов. Данное обстоятельство оказывает важнейшее влияние на расстояние перемещения горной массы и потери полезного ископаемого в торцах карьера.

На крупных угольных карьерах («Тугнуйский», «Черниговский», «Майский», «Краснобродский» и др.) нашел применение панельный принцип отработки, позволяющий вести разработку с крутыми углами наклона рабочих бортов (рисунок 2.11).



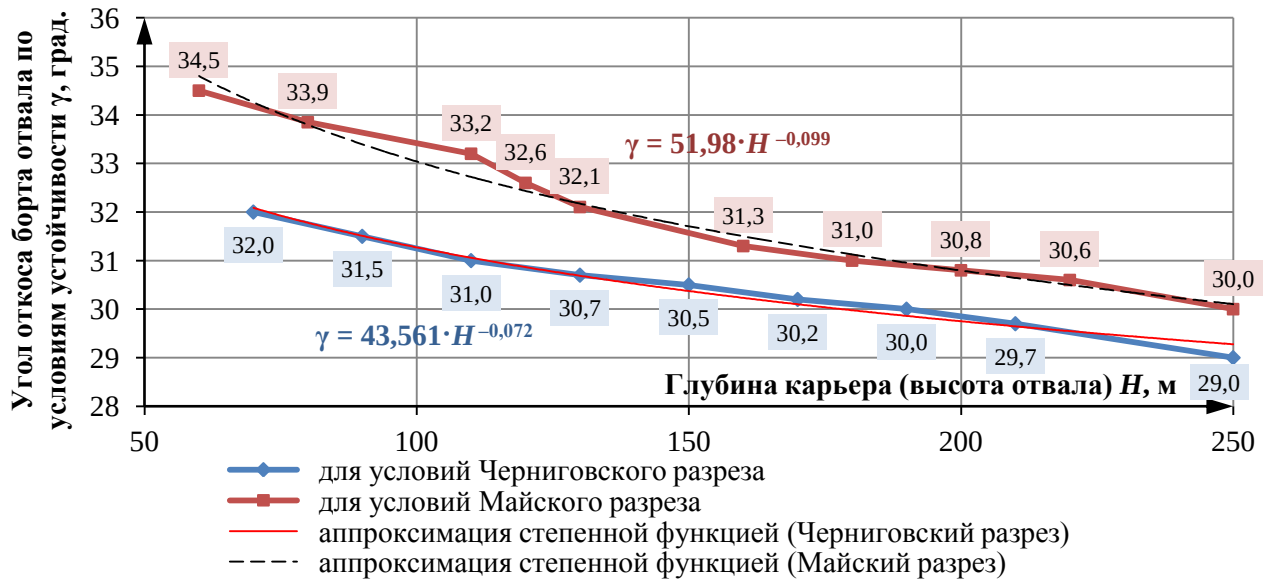


Рисунок 2.10 – Закономерности изменения предельных углов наклона бортов внутренних отвалов с глубиной (по условиям устойчивости)

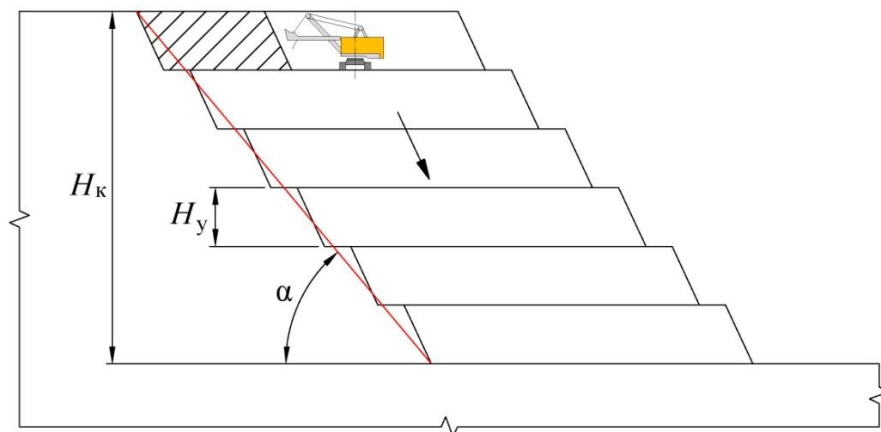


Рисунок 2.11 – Панельная схема отработки рабочего борта:  $\alpha$  – угол наклона рабочего борта;  $H_y$  – высота уступа;  $H_k$  – глубина карьера

Основным достоинством использования панельной отработки является экономия текущих издержек на формирование рабочих бортов карьера. Производство горных работ с крутыми углами наклона бортов дает возможность не сократить, а лишь перераспределить текущие издержки во времени.

По фактическим данным работы разреза «Черниговский» определены углы наклона рабочего борта в период с 2003 по 2010 гг. (рисунок 2.12).

Изменение угла наклона борта карьера и отвала с глубиной можно выразить функцией  $\alpha = f(H)$ . Для определения критической глубины, при которой осуществляется



пересечение графиков предельного угла наклона борта, определяемого условиями устойчивости, и фактического – проведено совмещение кривых, представленных на рисунках 2.9 и 2.12. Ниже критической глубины карьера дальнейшее развитие горных работ должно выполняться с углами наклона рабочего борта, определяемого условиями устойчивости (рисунок 2.13).

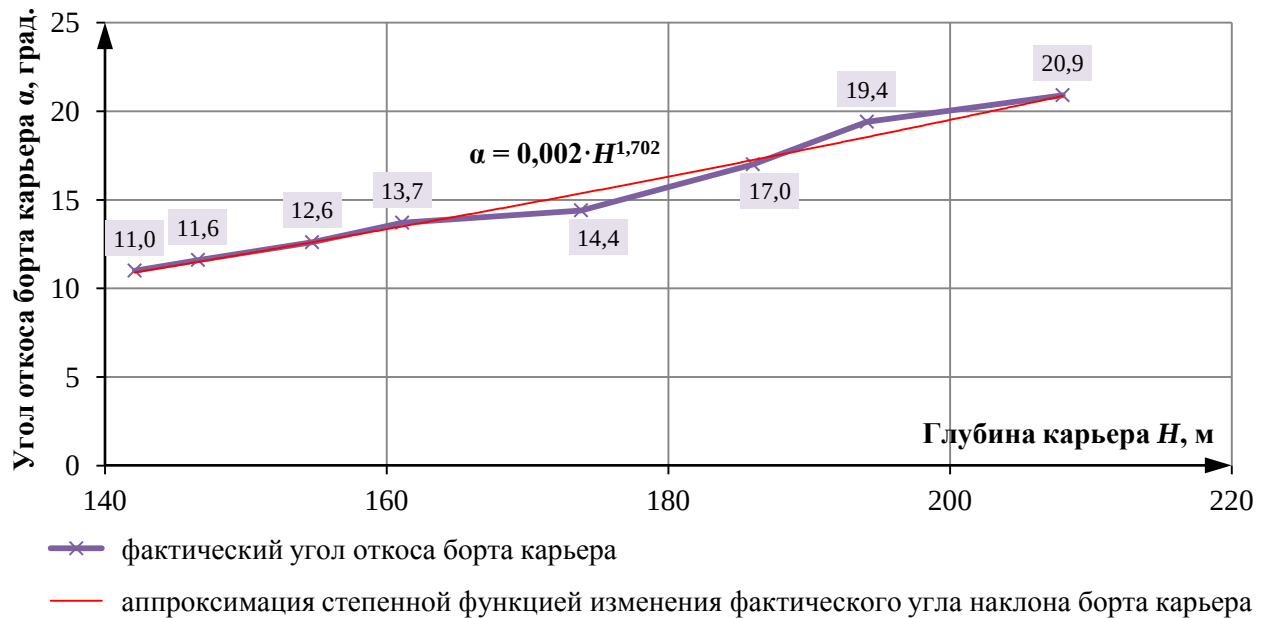


Рисунок 2.12 – Фактическое изменение углов наклона рабочего борта разреза «Черниговский» в период с 2003 по 2010 гг.

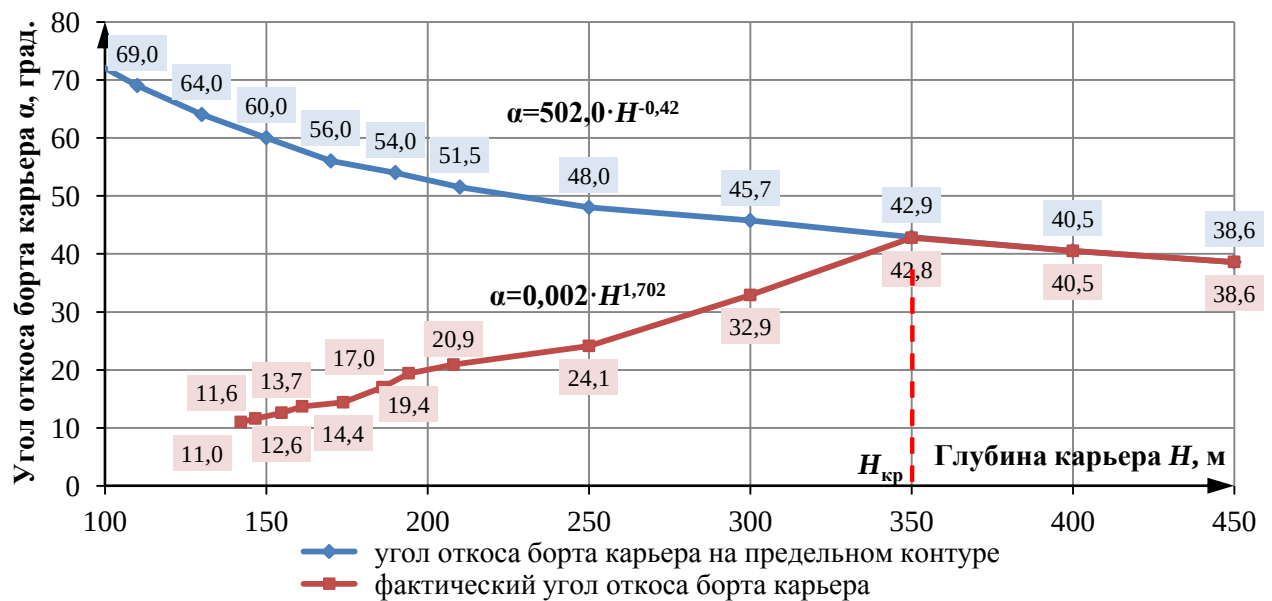


Рисунок 2.13 – Определение критической глубины карьера, после которой рабочий борт отстраивается исключительно по условиям устойчивости на предельном контуре:  $H_{кр}$  – критическая глубина карьера, м

### 2.3. Влияние морфологических и геомеханических факторов на изменение вскрываемых запасов угля

Выполаживание пластовых залежей с глубиной ведет к постепенному увеличению вскрываемых запасов полезного ископаемого (рисунок 2.14).

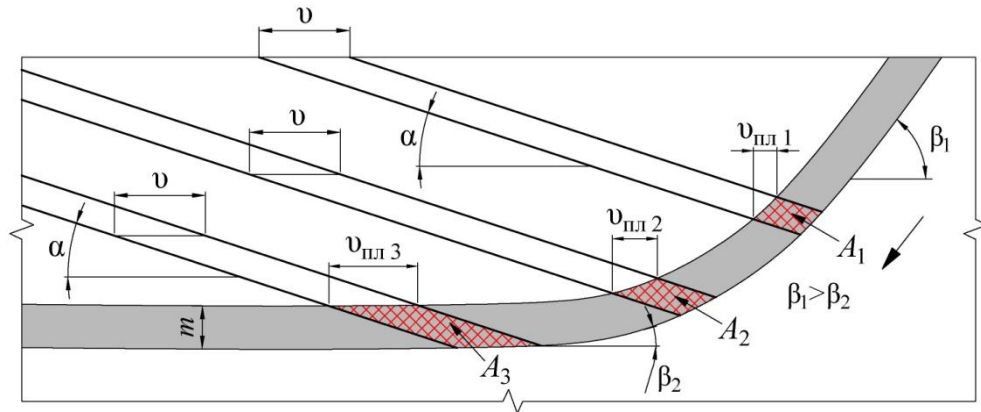


Рисунок 2.14 – Схема, иллюстрирующая различную площадь (объем) вскрываемых и извлекаемых запасов при выполаживании угольных пластов:  $v$  – скорость продвижения вскрышного фронта, м/год;  $v_{пл\ 1}$ – $v_{пл\ 3}$  – скорость продвижения фронта, приходящаяся на вскрываемую часть пласта для различных высотных зон, м/год ( $v_{пл\ 3} > v_{пл\ 2} > v_{пл\ 1}$ );  $m$  – нормальная мощность залежи, м;  $\beta_1, \beta_2$  – углы наклона залежи на различных участках, град.;  $\alpha$  – угол наклона рабочего борта карьера, град.;  $A_1$ – $A_3$  – вскрываемые и отрабатываемые запасы за один этап развития горных работ ( $A_3 > A_2 > A_1$ )

Годовое продвижение фронта горных работ, приходящееся на вскрываемую часть пласта, равно  $v_{пл}$ . С выполаживанием пластов параметр  $v_{пл}$  увеличивается и становится равным полной скорости продвижения фронта горных работ, т. е.  $v_{пл} = v$ .

Объем извлекаемого угля  $Q$  и скорость продвижения фронта горных работ  $v$  связаны следующей зависимостью [64]:

$$Q = \frac{v \cdot L_{\phi} \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta + \cos \beta}, \text{ т/год,} \quad (2.2)$$

где  $v$  – скорость продвижения вскрышного фронта горных работ, м/год;

$L_{\phi}$  – длина добычного фронта, м;

$m$  – нормальная мощность залежи, м;

$\rho$  – объемная масса угля, т/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – угол наклона рабочего борта карьера, град.;

$\beta$  – угол падения залежи, град.

Тенденции изменения объемов угля при скорости фронта 80 м/год для залежей с разными градиентами выполаживания пластов приведены на рисунке 2.15. В первом случае градиент выполаживания принят равным  $1^\circ/10$  м углубления, а во втором –  $2^\circ/10$  м углубления.

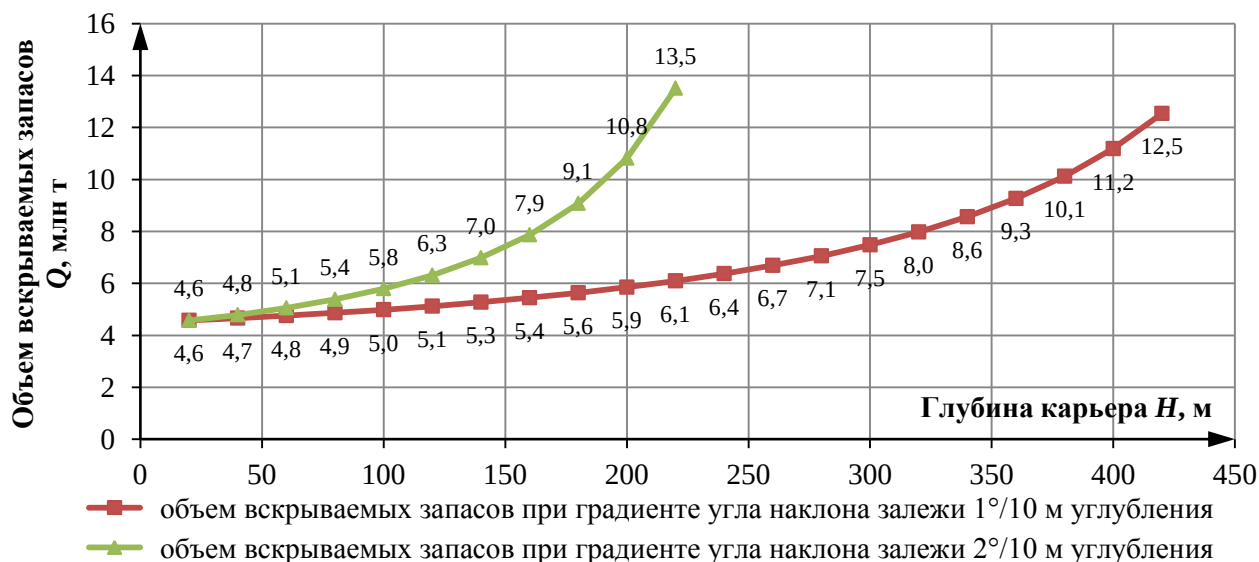


Рисунок 2.15 – Изменение объемов вскрываемых запасов угля с глубиной карьера при различных градиентах выполаживания (угол наклона рабочего борта принят равным  $15^\circ$ ; мощность залежи составляет 22,5 м; падение пластов изменяется от  $40^\circ$  до  $0^\circ$  в обоих вариантах; начальная длина фронта работ составляет 6000 м, а конечная – 5570 м)

Возрастание объема вскрываемых запасов в наибольшей степени зависит от градиентов выполаживания пластов. Увеличение градиента выполаживания залежей полезного ископаемого приводит к существенному возрастанию вскрываемых запасов.

Помимо положительного фактора возрастания вскрываемых и отработываемых запасов с глубиной отработки за счет выполаживания пластов, имеется отрицательный фактор, приводящий к снижению вскрываемых запасов с глубиной отработки. Отрицательный фактор предопределен следующими обстоятельствами [28]:

- сокращением рабочего фронта горных работ за счет отстройки стационарных бортов в торцевых зонах карьера;
- сокращением добычного фронта за счет поэтапного погашения горных работ в замковой (шарнирной) зоне брахисинклинали.

Иллюстрация сокращения фронта горных работ, происходящего при углублении карьера, за счет отстройки стационарных бортов в его торцах, приведена на рисунке 2.16.

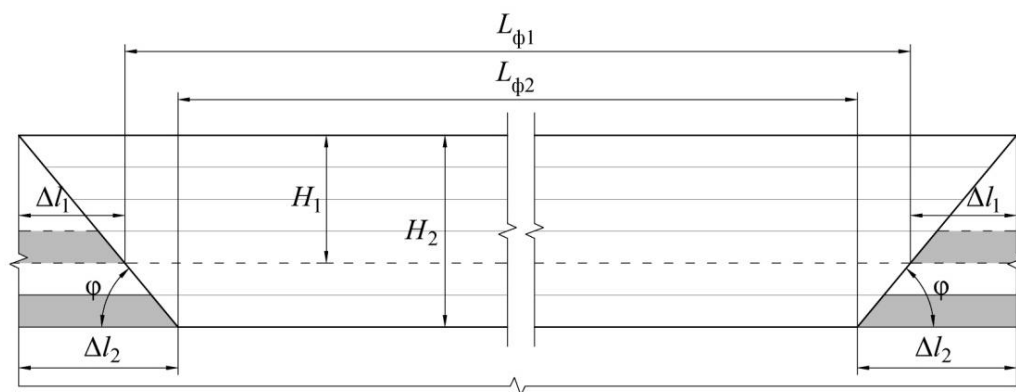


Рисунок 2.16 – Изменение фронта горных работ при отстройке стационарных бортов в торцах карьера:  $H_1, H_2$  – глубина карьера ( $H_2 > H_1$ );  $\varphi$  – угол постановки борта в стационарное положение (принят постоянный);  $\Delta l_1, \Delta l_2$  – величина сокращения фронта добычных работ ( $\Delta l_2 > \Delta l_1$ );  $L_{\phi 1}, L_{\phi 2}$  – длина фронта добычных работ ( $L_{\phi 1} > L_{\phi 2}$ )

Зная глубину карьера и угол откоса его борта в стационарном положении, можно найти величину сокращения добычного фронта, при отстройке стационарных бортов в торцевых зонах:

$$\Delta l_T = 2 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \text{ м}, \quad (2.3)$$

где  $H$  – текущая глубина карьера, м;

$\varphi$  – угол наклона стационарного борта в торцах карьера, град.

Изменение величины сокращения фронта горных работ за счет отстройки бортов в торцевых зонах карьера приведены на рисунке 2.17.

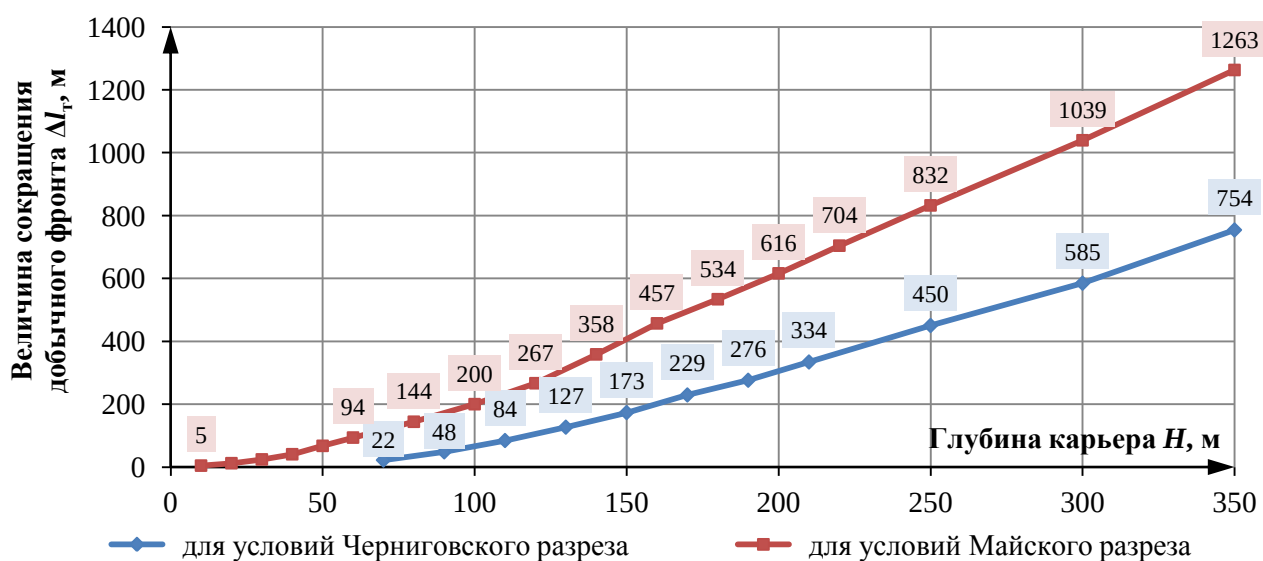


Рисунок 2.17 – Величина сокращения добычного фронта за счет отстройки стационарных бортов в торцах карьера (для условий разреза «Черниговский» и «Майский»)

Вторым обстоятельством, приводящим к сокращению добычной зоны карьера, является погашение фронта работ в замковой зоне брахисинклинали (рисунки 2.18, 2.19) [28].

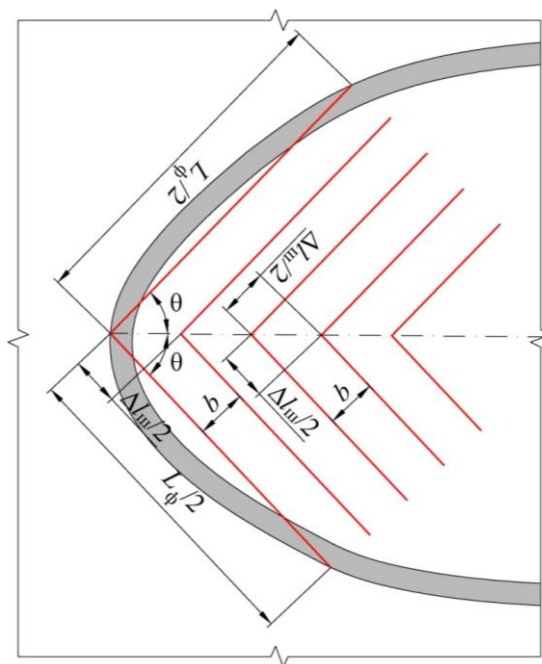


Рисунок 2.18 – Погашение фронта горных работ в замковой зоне брахисинклинали:  $L_\phi$  – длина добычного фронта, м;  $b$  – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м;  $\theta$  – угол встречи смежных фронтов, град.;  $\Delta l_{ш}$  – величина погашения фронта в шарнирной части складки, м; штрихпунктирной линией показана длинная ось брахисинклинали

Данное сокращение можно определить по выражению:

$$\Delta l_{ш} = 2 \cdot b \cdot \operatorname{ctg} \theta, \text{ м}, \quad (2.4)$$

где  $b$  – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м;  
 $\theta$  – угол встречи смежных фронтов, град.

Таким образом, при отработке брахисинклиналей имеются две противоположные тенденции. Одна из них связана с нарастанием вскрываемых запасов (фактор выполаживания пластов). Вторая – с уменьшением вскрываемых запасов за счет сокращения фронта горных работ в торцах и замковой части складки.

Если влияние отрицательных факторов (сокращение фронта добычных работ) превалирует над положительными (прирост вскрываемых запасов при выполаживании) то, чтобы сохранить производственную мощность предприятия на прежнем уровне, целесообразна прирезка нового участка (карьерного поля).



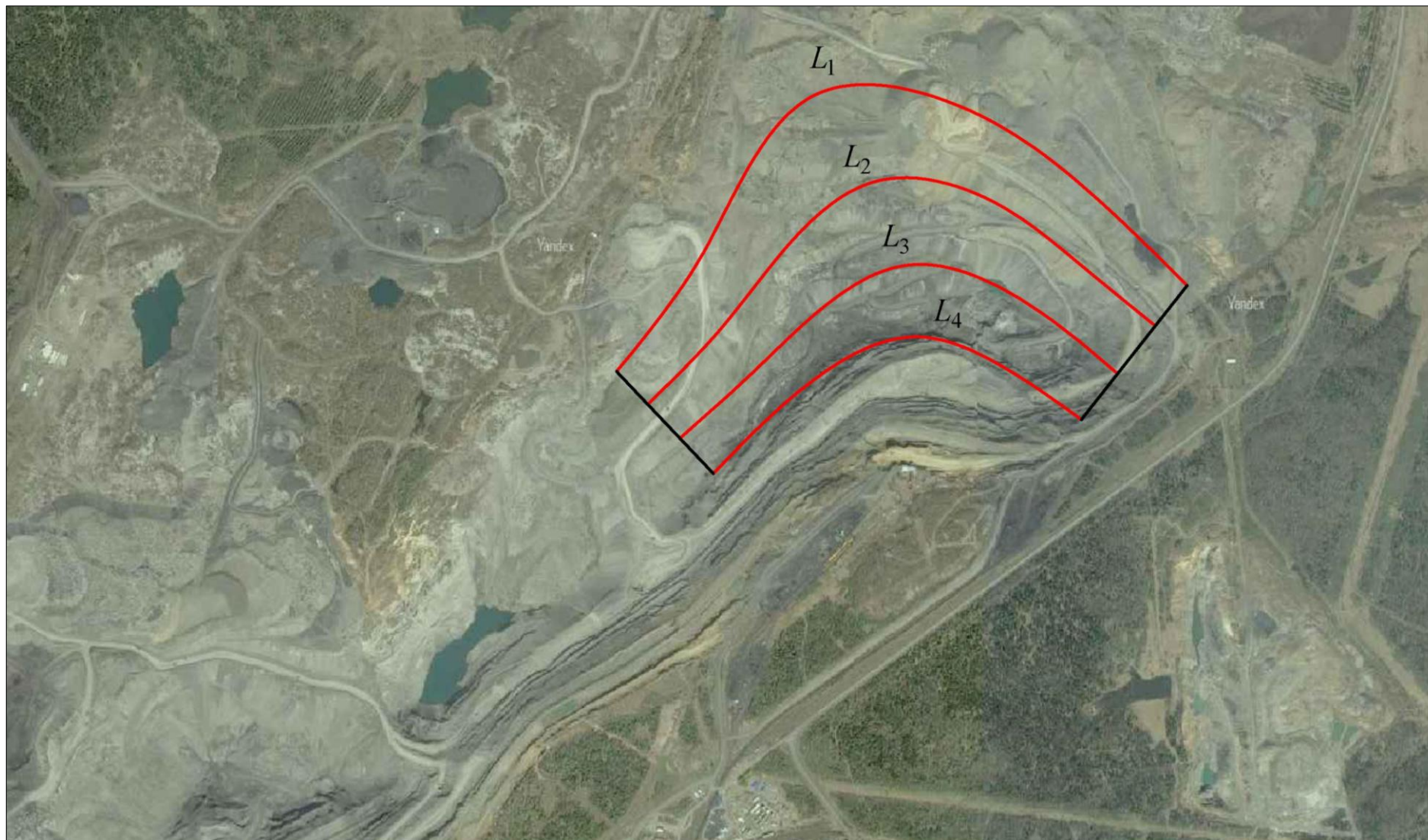


Рисунок 2.19 – Погашение добычного фронта вдоль оси северной замковой части Кедровско-Крохалевской брахисинклинали:  $L_1-L_4$  – длина добычного фронта, сокращаемая в процессе развития горных работ ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ , спутниковый снимок <https://maps.yandex.ru/>)

Принимая во внимание соотношение объемов выбываемых запасов  $Q_v$  из отработки (сокращение фронта добычных работ), и их приращение за счет выполаживания пластов с глубиной  $Q_{пр}$ , можно определить глубину карьера  $H_n$ , на которой выбытие запасов и их приращение уравнивается (точка нулевого баланса):

$$Q_v = Q_{пр}, \quad (2.5)$$

В ранее приведенных расчетах использовались формулы 2.2–2.4. На базе этих формул можно выразить рассматриваемые объемы и найти глубину, при которой они уравниваются. Скорость подвигания горных работ  $v$ , объемная масса полезного ископаемого  $\rho$ , мощность залежи  $m$ , угол откоса рабочего борта  $\alpha$ , угол откоса стационарного борта  $\varphi$ , угол встречи смежных фронтов  $\theta$  принимаются постоянными.

Объем выбываемых запасов из отработки составит:

$$Q_v = \frac{v \cdot \Delta L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}, \quad T, \quad (2.6)$$

где  $\Delta L_\phi$  – сокращение фронта горных работ, м.

$$\Delta L_\phi = l_{ш} + l_T = 2 (b \cdot \operatorname{ctg} \theta + H_n \cdot \operatorname{ctg} \varphi), \quad m, \quad (2.7)$$

где  $l_{ш}$  – сокращение фронта горных работ в шарнирной (замковой) части складки с начала отработки на текущий момент, м;

$l_T$  – сокращение фронта горных работ в торцевых частях с начала отработки на текущий момент.

Таким образом, выражение 2.6 примет вид:

$$Q_v = \frac{v \cdot 2 (b \cdot \operatorname{ctg} \theta + H_n \cdot \operatorname{ctg} \varphi) m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}, \quad T, \quad (2.8)$$

Объем приращаемых вскрываемых запасов находится между двумя этапами отработки (текущим и предыдущим) [28]:

$$Q_{пр} = Q_n - Q_{n-1}, \quad T, \quad (2.9)$$

$$Q_{пр} = \frac{v \cdot L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{v \cdot L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \quad T, \quad (2.10)$$

где  $L_\phi$  – длина фронта горных работ на верхнем горизонте карьера (максимальное значение), м.

Приравняв выражения 2.8 и 2.10, получим:

$$\frac{v \cdot 2 (b \cdot \operatorname{ctg} \theta + H_n \cdot \operatorname{ctg} \varphi) m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} = \frac{v \cdot L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{v \cdot L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \text{ т}, \quad (2.11)$$

Выразим из выражения 2.11 глубину карьера:

$$H_n = \frac{0,5 \cdot L_\phi \left( 1 - \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}} \right) - b \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \varphi}, \text{ м}, \quad (2.12)$$

Для упрощения записи получаемого выражения введем обозначения:

$$x_n = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n, \quad (2.13)$$

$$x_{n-1} = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}, \quad (2.14)$$

С принятыми сокращениями выражение для определения глубины, в которой достигается нулевой баланс, примет вид:

$$H_n = \frac{0,5 \cdot L_\phi}{\operatorname{ctg} \varphi} \left( 1 - \frac{x_n}{x_{n-1}} \right) - \frac{b \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \varphi}, \text{ м}, \quad (2.15)$$

С учетом вышерассмотренных факторов, влияющих на увеличение ( $Q_I = Q_{\text{пр}}$ , положительный фактор) и снижение вскрываемых запасов ( $Q_{II} = Q_{\text{в}}$ , отрицательный фактор), величина изменения вскрываемых запасов за определенный этап отработки находится по формуле:

$$\Delta Q = Q_I - Q_{II} = \frac{v \cdot m \cdot \rho (L_\phi - 2 (b \cdot \operatorname{ctg} \theta + Y \cdot \operatorname{ctg} \varphi))}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{v \cdot L_\phi \cdot m \cdot \rho}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \text{ т}, \quad (2.16)$$

где  $L_\phi$  – длина добычного фронта на текущем горизонте карьера, м;

$Y$  – углубление карьера за рассматриваемый этап отработки, м.

На основе моделирования порядка развития горных работ построены кривые изменения запасов угля, выбываемых из отработки (сокращение фронта горных работ) и приращаемых за счет выполаживания пластов (рисунки 2.20–2.23).

Для Черниговского участка Кедровско-Крохалевского месторождения небольшое превышение погоризонтных вскрываемых запасов над потерями достигается на глубине 40 м, а в донной части складки на глубине 310–330 м (0,8 млн т). Новоколбинский участок помимо значительного превышения вскрываемых запасов (более 2 млн т) над потерями в донной части на глубине 300 м имеет зоны с незначительным превышением (0,2 млн т) в средней части месторождения на глубинах 80–120 м.

Для крутого крыла Соколовской брахисинклинали общее превышение запасов достигается преимущественно в донной части на глубинах 260–310 м и составляет



1 млн т. Замковая зона (пологое крыло) не имеет участков, где осуществляется превышение вскрываемых запасов над их потерями.

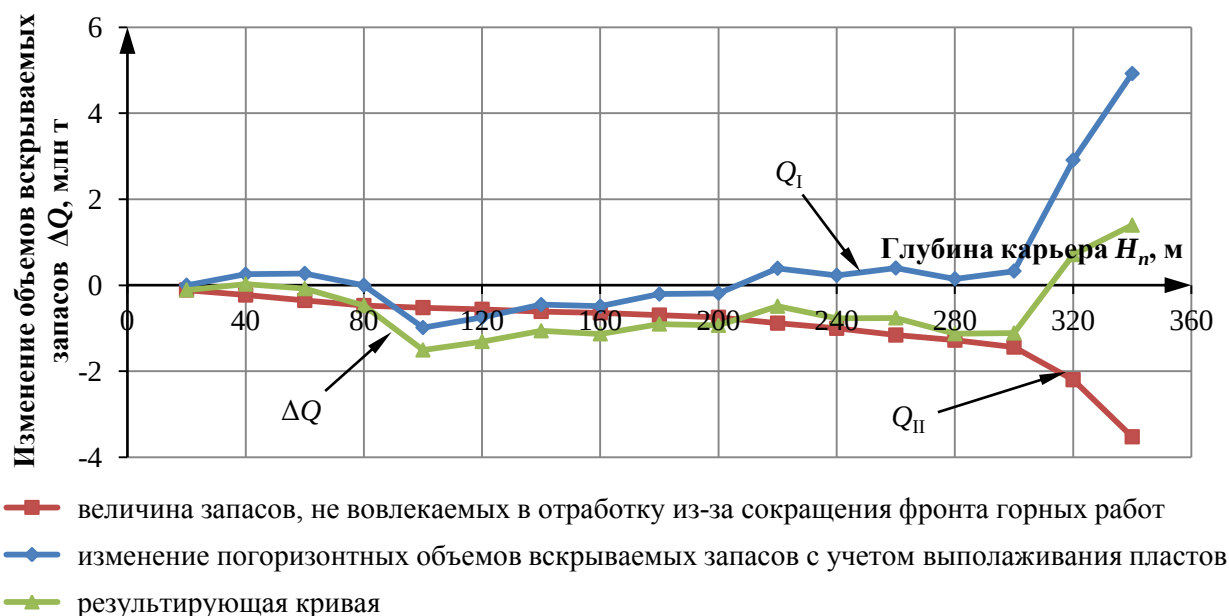


Рисунок 2.20 – Погоризонтное изменение объемов вскрываемых запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора (сокращение фронта горных работ) и положительного (выполаживание пластов) для Черниговского участка Кедровско-Крохалевской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 31 до 0°)

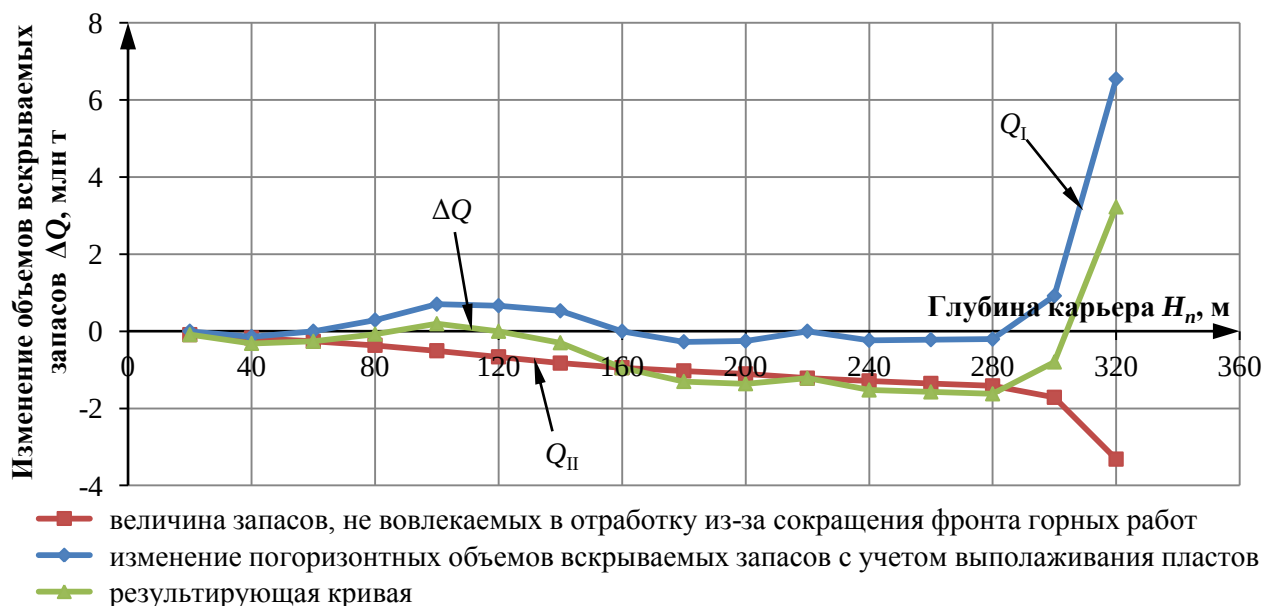


Рисунок 2.21 – Погоризонтное изменение объемов вскрываемых запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора и положительного для Новоколбинского участка Кедровско-Крохалевской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 23 до 0°)

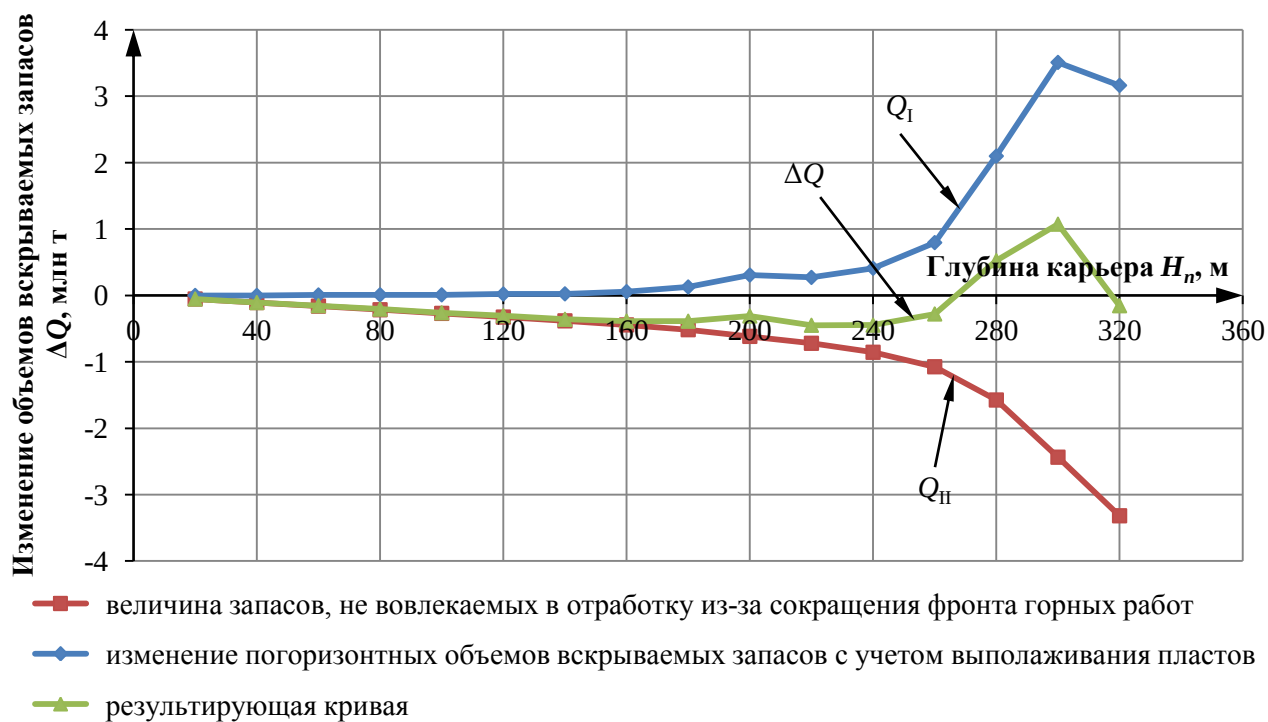


Рисунок 2.22 – Погоризонтное изменение объемов вскрываемых запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора и положительного для крутого крыла Соколовской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 74 до 0°)

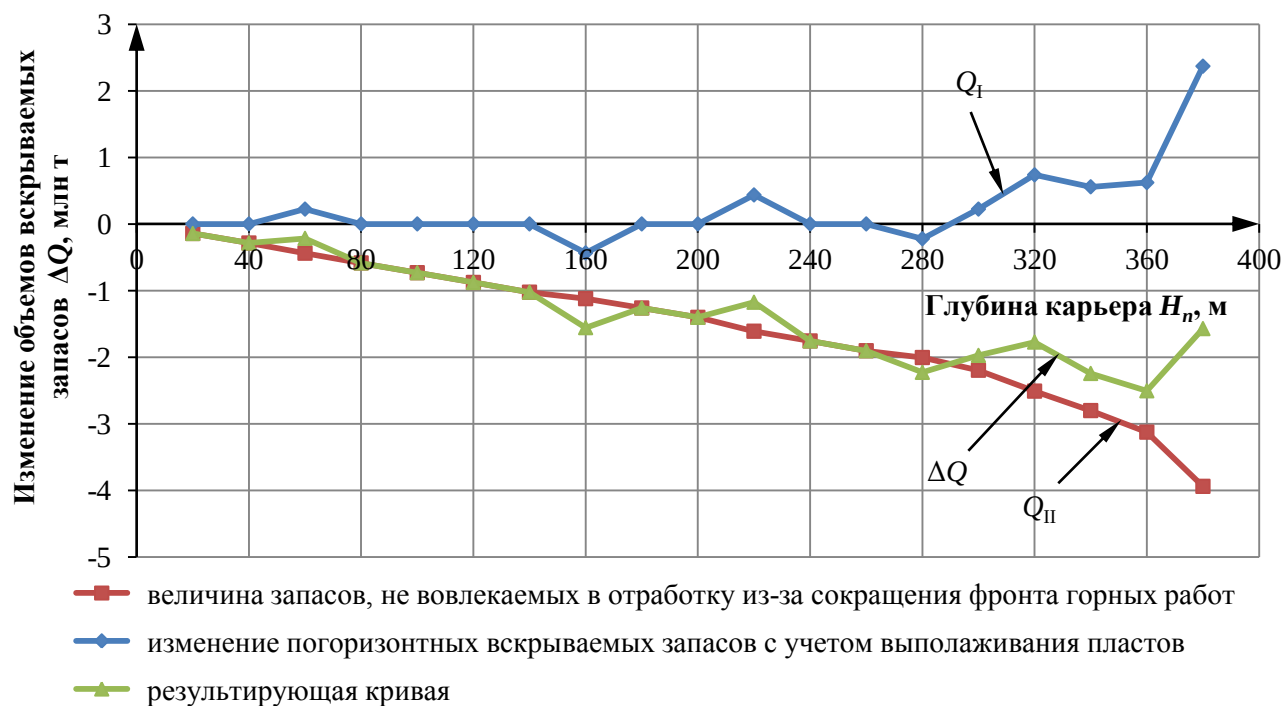


Рисунок 2.23 – Погоризонтное изменение объемов вскрываемых запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора и положительного для пологого крыла Соколовской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 8 до 0°)

Кривые изменения объема вскрываемых запасов повторяют тенденцию, связанную с характером их приращения за счет выполаживания пластов. При возрастании угла наклона залежи на локальном участке, градиент выполаживания принимает отрицательные значения, в результате чего площади и объемы вскрываемых запасов уменьшаются. Увеличение погоризонтных вскрываемых запасов происходит лишь при положительных градиентах выполаживания. Превышение вскрываемых запасов над их потерями совпадают с экстремумами градиентов выполаживания пластов.

По результатам моделирования и выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

- при отработке крупных угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами, увеличение вскрываемых запасов за счет выполаживания пластов не компенсируют потерь, связанных с выбытием добычного фронта в торцах карьера и замковой зоне складки. Таким образом, с углубление горных работ вскрытые запасы угля постепенно снижаются вплоть до этапа перехода к зоне с горизонтальным залеганием пластов;
- для поддержания производственной мощности карьера необходимо периодически осуществлять прирезку нового участка (карьерного поля) или увеличивать интенсивность подвигания фронта горных работ;
- на этапе перехода к горизонтальному залеганию пластов происходит интенсивное увеличение вскрытых запасов угля кратно превышающих потери запасов из-за сокращения добычного фронта, что в большинстве случаев приводит к появлению экстремума на кривой изменения вскрываемых запасов полезного ископаемого.

#### **2.4. Основные условия, определяющие порядок отработки угольных брахисинклиналей**

При развитии горных работ на угольных месторождениях, представленных брахисинклинальными складками, можно выделить несколько характерных этапов.

Первый этап сопровождается углублением горных работ от замковых зон вдоль шарнира складки. Такое развитие на первых этапах отработки обеспечивает минимум текущих коэффициентов вскрыши и максимальную скорость продвижения горных работ

в зоны, где может быть начато размещение вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

Второй этап характерен тем, что текущие коэффициенты вскрыши на отрабатываемых карьерных полях (участках) начинают превышать начальные эксплуатационные коэффициенты вскрыши на полях, незадействованных в отработку.

В данных условиях всегда существует дилемма – продолжать ли углубление для достижения и расширения зоны с углами наклона борта  $\alpha$  меньше критического  $\alpha_{кр}$ , позволяющего размещать вскрышные породы в выработанном пространстве, или выполнить прирезку новых карьерных полей, эффективно регулируя «за их счет» режим горных работ [67].

Рациональный порядок развития горных работ В.С. Хохряковым трактуется следующим образом: «в любой период разработки (за исключением периода затухания работ) текущий коэффициент вскрыши должен быть минимальным и меньше, чем в последующем периоде» [86].

Такая формулировка предполагает использование в качестве условия рационального развития горных работ минимального текущего коэффициента вскрыши  $k_{min}$  на каждом этапе развития горных работ. Однако использование условия  $k_{min}$  возможно лишь в частных случаях.

В общем случае для оценки порядка развития горных работ в проектной и экспертной практике часто используется чистая приведенная прибыль за период (этап) развития горных работ [73, 74].

При отработке крупных угольных брахисинклиналей направление развития горных работ, рациональное по условию  $k_{min}$ , как правило, не совпадает с направлением, обеспечивающим минимальные затраты на выполнение транспортной работы карьера. Транспортная работа предопределяет эксплуатационные издержки на производство горных работ.

Затраты на производство вскрышных работ  $C_v$ , в общем случае являются функцией двух переменных:

$$C_v = f(V, B), \quad (2.17)$$

где  $V$  – объем выработанного пространства, пригодного для складирования вскрышных пород;

$B$  – фактор влияния схемы вскрытия.

На величину транспортной работы карьера значительное влияние оказывает изменение приемной способности выработанного пространства при углублении горных работ. Рост приемной способности выработанного пространства для формирования внутренних отвалов адекватен темпу увеличения площади зоны ( $\alpha < \alpha_{кр}$ ). Сравним развитие рабочей зоны карьера по направлению  $A$  и  $B$  (рисунок 2.24). Приоритетным является направление  $A$ , т. к.  $\Delta S_A(H) > \Delta S_B(H)$ ,  $\text{м}^2$  (где  $\Delta S_A(H)$  – приращение площади зоны с  $\alpha < \alpha_{кр}$  по направлению  $A$ , с глубиной  $H$ ;  $\Delta S_B(H)$  – то же, по направлению  $B$ ).

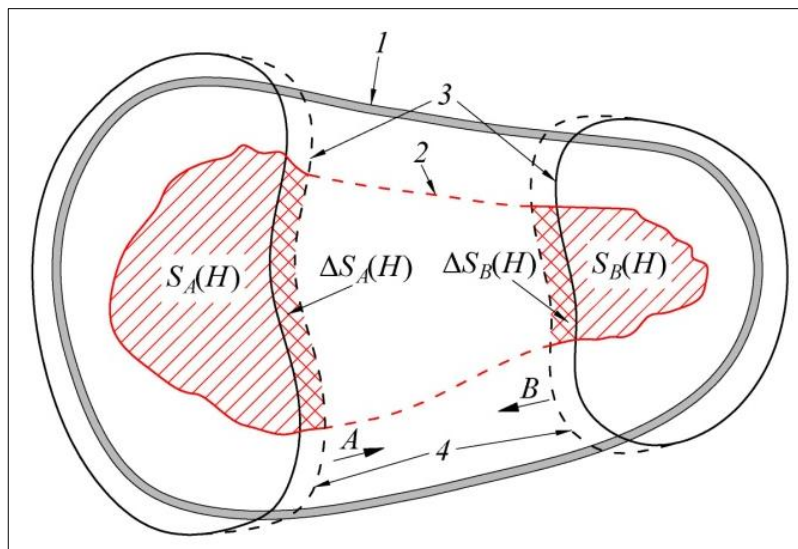


Рисунок 2.24 – Схема к оценке направлений развития горных работ при отработке угольной брахисинклинали по фактору приемной способности выработанного пространства: 1 – контур выхода угольных пластов; 2 – зона с  $\alpha < \alpha_{кр}$ ; 3, 4 – контуры развития горных работ по направлениям  $A$  и  $B$ ;  $S_A(H)$  – площадь выработанного пространства, пригодная для размещения вскрышных пород при развитии горных работ в направлении  $A$ ;  $S_B(H)$  – то же, при развитии горных работ в направлении  $B$

Для определения влияния фактора  $V$  необходимо выполнить геометризацию углов наклона стационарного борта карьера и выделить зоны, где нельзя разместить вскрышные породы (см. п. 2.5).

Вторым важнейшим фактором, влияющим на  $C_v$ , является схема вскрытия карьерных полей  $B(H)$ , определяющая уровень издержек на доставку и укладку вскрышных пород, а также интенсивность развития рабочей зоны карьера (рисунок 2.25).

Если принять в качестве условия рациональности порядка производства горных работ минимальный текущий коэффициент вскрыши, то лучшим вариантом развития

горных работ будет вариант по направлению  $A$  ( $A'$ ) (см. рисунок 2.25), при котором рабочая зона карьера «слепо» следует за залежью полезного ископаемого. Однако при такой отработке снижается темп отстройки стационарного борта на предельном контуре, что предопределяет переход к использованию временных транспортных схем.

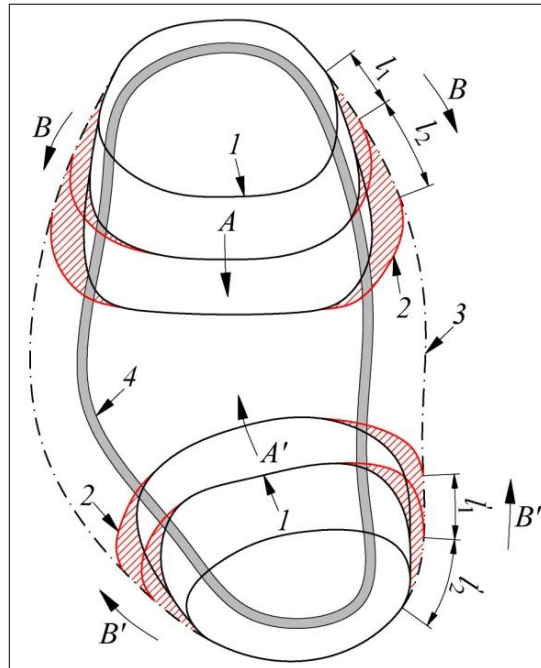


Рисунок 2.25 – Схема, поясняющая два варианта формирования схемы вскрытия карьерных полей: вариант 1 – движение за залежью по направлениям  $A$  и  $A'$  с минимальными текущими коэффициентами вскрыши без отстройки стационарных бортов; вариант 2 – то же по направлениям  $B$  и  $B'$  с отстройкой стационарных бортов; 1 – контур развития горных работ без отстройки стационарного борта; 2 – то же, с отстройкой стационарного борта; 3 – предельный контур отработки месторождения; 4 – выход угольных пластов на поверхность;  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_1'$ ,  $l_2'$  – участки приращения стационарного борта

В результате работы карьера без отстройки стационарного борта формируется временная транспортная схема. Ее наличие ведет к снижению экономических показателей горного предприятия из-за следующих негативных факторов:

- снижения интенсивности развития рабочей зоны карьера (уменьшение производственной мощности);
- увеличения затрат на производство  $1 \text{ м}^3$  вскрышных работ.

На основе выявленных закономерностей выполнено уточнение условия оптимизации порядка развития горных работ, предложенного в работах [33, 64, 67], при

отработке угольных брахисинклиналей. В общем случае целесообразность развития горных работ по замковой зоне (шарниру) брахисинклинали без задействования в эксплуатацию нового карьерного поля сохраняется, пока выполняется условие:

$$\Delta T(\Delta S) + \Delta Y(\Delta S) + P \cdot \Delta Z(\Delta S) + \Delta F(H) + \Delta B(H) \mp \Delta Q(G, L_{\phi}) \geq \Delta K(H) \cdot \Delta V \cdot C_b(H), \quad (2.18)$$

где  $\Delta T$  – снижение транспортных издержек за счет укладки вскрышных пород в выработанное пространство карьера, руб.;

$\Delta S$  – увеличение объемов выработанного пространства для складирования вскрышных пород в контурах брахисинклинали ( $\Delta S = f(H, k_{\pi})$ , где  $H$  – глубина карьера, м;  $k_{\pi}$  – коэффициент, показывающий долю площади стационарного борта карьера, пригодного для размещения вскрышных пород), м<sup>3</sup>;

$\Delta Y$  – снижение ущербов за счет размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера, руб.;

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

$\Delta Z$  – среднегодовое снижение площади изымаемых земель под внешнее отвалообразование, м<sup>2</sup>;

$\Delta F(H)$  – 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;  $L_{\phi}$  – длина добычного фронта, м), руб.;

$\Delta K(H)$  – увеличение текущего коэффициента вскрыши на действующем карьере в сравнении с вариантом, предполагающим прирезку нового карьерного поля, м<sup>3</sup>/т;

$\Delta V$  – объем угля, добываемый с прирезаемого участка, т;

$C_b(H)$  – затраты на удаление 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород на прирезаемом участке, руб/м<sup>3</sup>.

Левая часть неравенства предполагает набор положительных экономических факторов развития горных работ в замковых зонах складки, таких как интенсивное приращение объемов вскрышных пород, размещаемых в выработанном пространстве и снижение на этой основе транспортной работы, уменьшение площади изымаемых

земель, создание благоприятных техногенных ландшафтов. Правая часть определяет набор положительных экономических факторов, связанных с улучшением режима горных работ при задействовании в отработку нового карьерного поля.

При достижении определенной глубины карьера роль положительных экономических факторов нивелируется. Для эффективной его работы и поддержания проектной мощности необходима прирезка нового карьерного поля с лучшими горно-геологическими условиями, чем на эксплуатируемых карьерных полях. Принципиальное изменение положительных факторов развития горных работ по шарниру брахисинклинали и факторов прирезки нового карьерного поля приведено на рисунке 2.26.

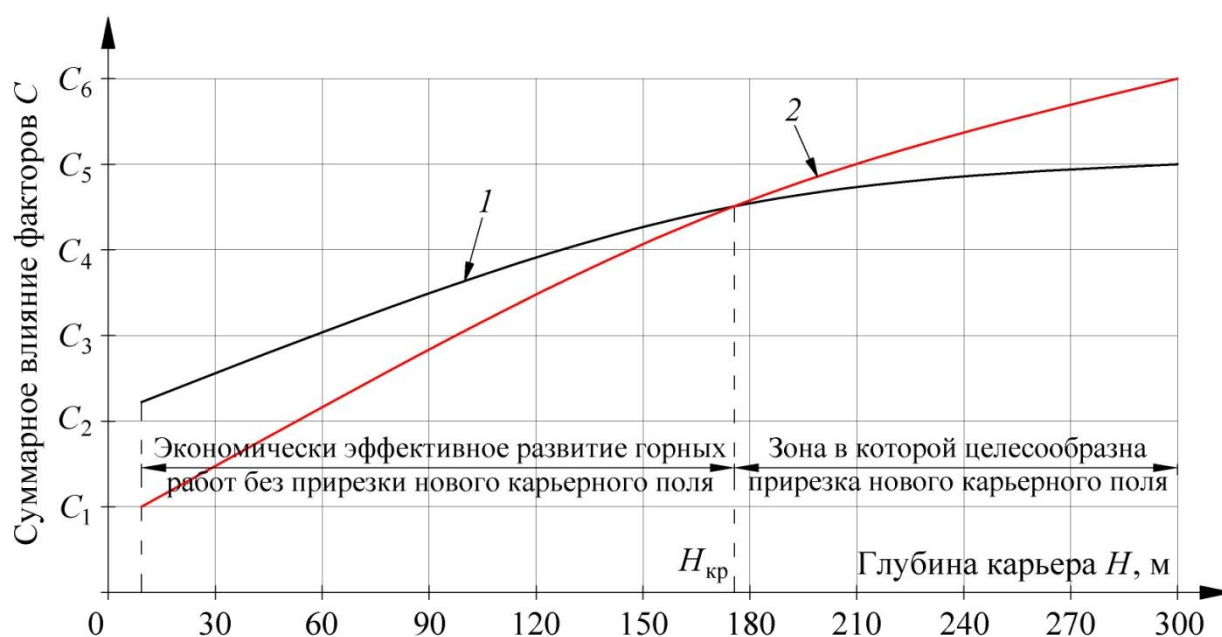


Рисунок 2.26 – Изменение положительных факторов развития горных работ в замковой части складки (1) и факторов прирезки нового карьерного поля (2):  $H_{кр}$  – критическая глубина карьера при достижении которой необходимо задействовать в отработку новое карьерное поле

Развитие горных работ, характеризующее справедливость условия (2.18) приведено на рисунке 2.27. Как видно из спутникового снимка, наибольшее развитие горных работ достигнуто в замковых частях брахисинклинали с интенсивным формированием здесь внутренних отвалов. В целях поддержания проектной мощности разреза «Черниговский» были выполнены работы по вскрытию и отработке новых карьерных полей (4, см. рисунок 2.27).



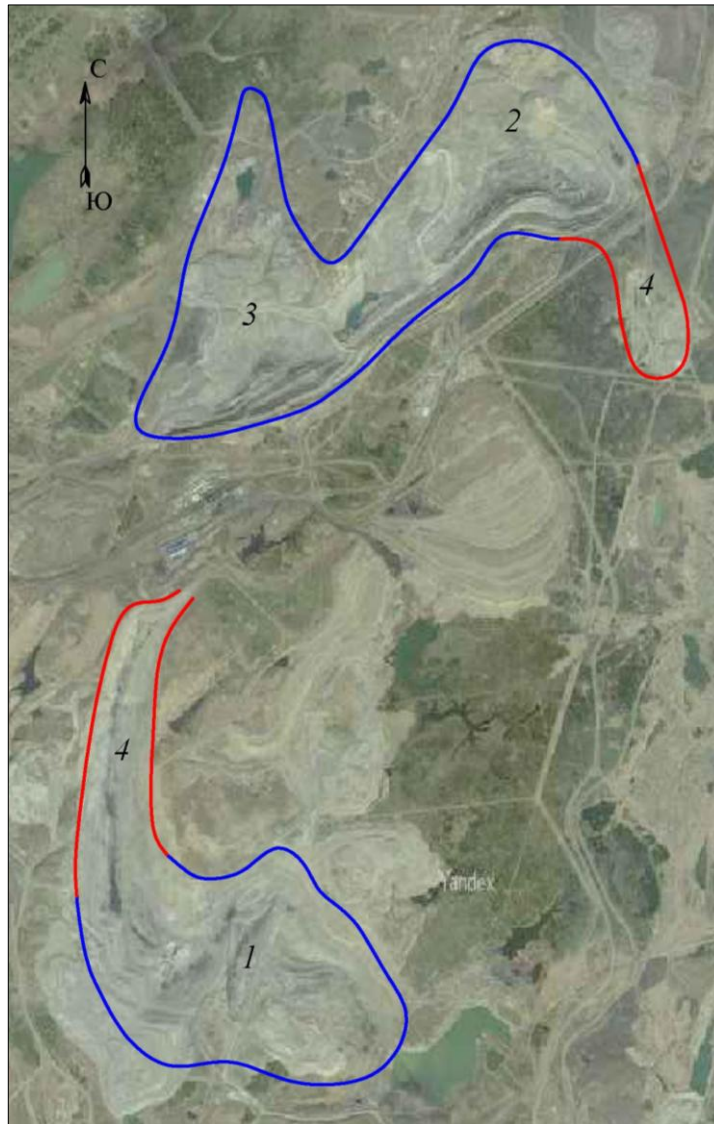


Рисунок 2.27 – Карта, иллюстрирующая более интенсивный характер производства горных работ в южной (1), северной (2) замковых зонах Кедровско-Крохалевской брахисинклинали и локальной зоне пликативных нарушений (3, спутниковый снимок <https://maps.yandex.ru/>): 4 – прирезки новых карьерных полей, необходимые для поддержания производственной мощности угольных карьеров «Черниговский» и «Кедровский»

## 2.5. Факторы, определяющие баланс извлекаемых вскрышных пород и объемов выработанного карьерного пространства для их размещения

Исследованиям закономерностей развития выработанного пространства и формирования отвальных массивов посвящены многие работы [1, 20, 32, 40, 48, 56, 59, 64, 76, 77, 83].

В процессе производства горных работ соотношение вместимости выработанного пространства и объемов вскрышных пород, перемещаемых в него, непрерывно меняется. Принципиальная схема формирования отвальных массивов при отработке угольных брахисинклиналей показана на рисунке 2.28.

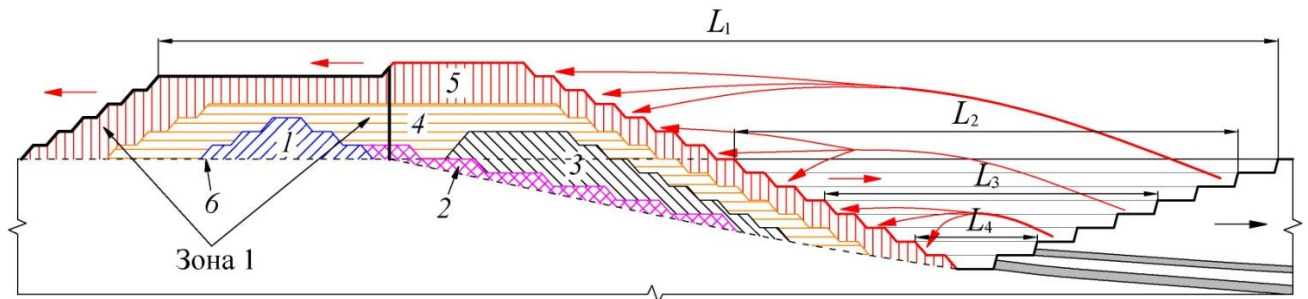


Рисунок 2.28 – Схема формирования отвальных массивов при отработке угольной брахисинклинали: 1–5 – этапы развития отвалов при отработке месторождения; 6 – рельеф поверхности до отработки месторождения;  $L_1$ – $L_4$  – расстояния перемещения вскрышных пород ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ ); зона 1 – участок, развиваемый за предельным контуром открытых горных работ; стрелками показаны направления развития отвалов и горных работ

Минимизация расстояний транспортирования вскрышных пород обеспечивается при реализации схемы, согласно которой перемещение вскрышных пород, начиная с нижних рабочих горизонтов карьера, осуществляется в ближайший ярус (ярусы) отвала.

На начальном этапе отработки месторождения (этап строительства) в прибортовой зоне карьера формируется внешний отвал (1, см. рисунок 2.28). Дальнейшее развитие горных работ сопровождается созданием достаточного объема выработанного пространства для размещения в нем большей части вскрышных пород (2, см. рисунок 2.28). Наиболее благоприятным является этап отработки месторождения, когда весь объем вскрышных пород укладывается во внутренние отвалы карьера (3, см. рисунок 2.28).

С возрастанием глубины горных работ, приемной способности выработанного пространства становится недостаточно для размещения вскрышных пород, что вынуждает развивать отвалы выше уровня естественного рельефа и за предельный контур карьера (зона 1, см. рисунок 2.28). Последующая отработка месторождения осуществляется с частичным размещением вскрышных пород во внутренний и частично во внешний отвалы (5, см. рисунок 2.28).

Можно выделить несколько этапов формирования отвальных массивов, характеризующихся различным соотношением объемов вскрышных пород и приемной способности выработанного пространства карьера:

- этап 1. Отсутствие выработанного пространства для размещения вскрышных пород (строительный период);
- этап 2. Полное размещение вскрышных пород в выработанном пространстве (начальный эксплуатационный период);
- этап 3. Возникновение дефицита приемной способности выработанного пространства (развитие внешнего отвала, основная часть эксплуатационного периода);
- этап 4. Полное размещение вскрышных пород в выработанном пространстве, возникновение избытков выработанного пространства для складирования вскрышных пород (период погашения горных работ).

Масштабы размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера предлагается характеризовать коэффициентом  $k_{\pi}$ , показывающим долю использования площади выработанного пространства карьера для складирования вскрышных пород.

Значение коэффициента  $k_{\pi}$  определяется по выражению:

$$k_{\pi} = \frac{S_o(H) - S_{\pi}(H)}{S_o(H)}, \quad (2.19)$$

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.

Величина  $S_{\pi}$  определяется морфологией почвы нижнего кондиционного пласта, наличием оползневых процессов, насыпных транспортных перемычек (вскрывающих выработок), инженерных коммуникаций, т. е. всем тем, что создает зоны временной консервации в пределах стационарного борта карьера.

Для определения параметра  $k_{\pi}$  необходимо выполнить геометризацию почвы нижнего обрабатываемого пласта по углам падения. Данная работа сделана применительно к условиям Кедровско-Крохалевского месторождения (пласт Подволковский II, рисунок 2.29) и Соколовского месторождения (пласт 10, рисунок 2.30).



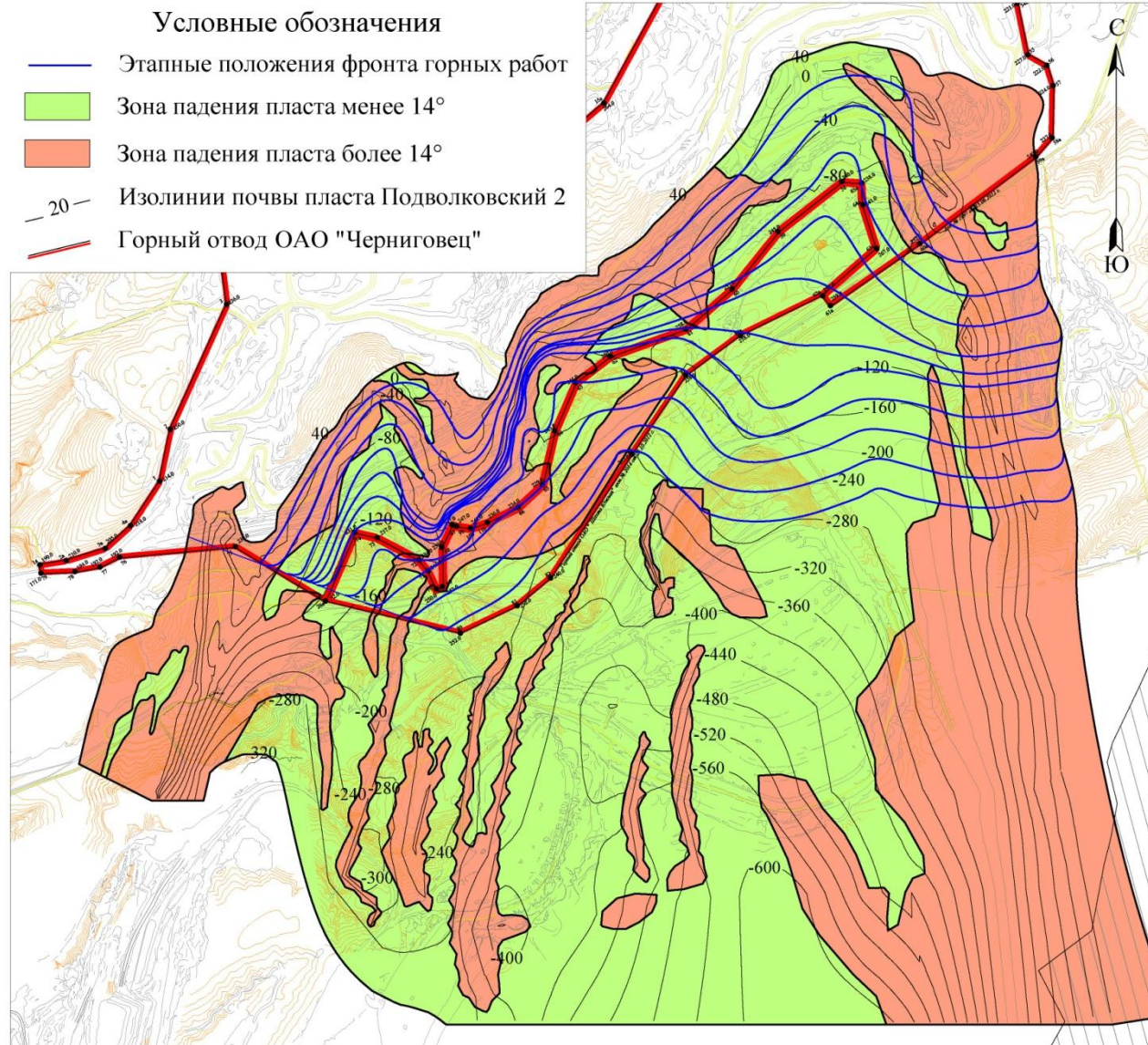


Рисунок 2.29 – Схема, иллюстрирующая наклон почвы пласта Подволковский II в северной части Кедровско-Крохалевской брахисинклинали, с потенциально пригодными участками для размещения внутренних отвалов

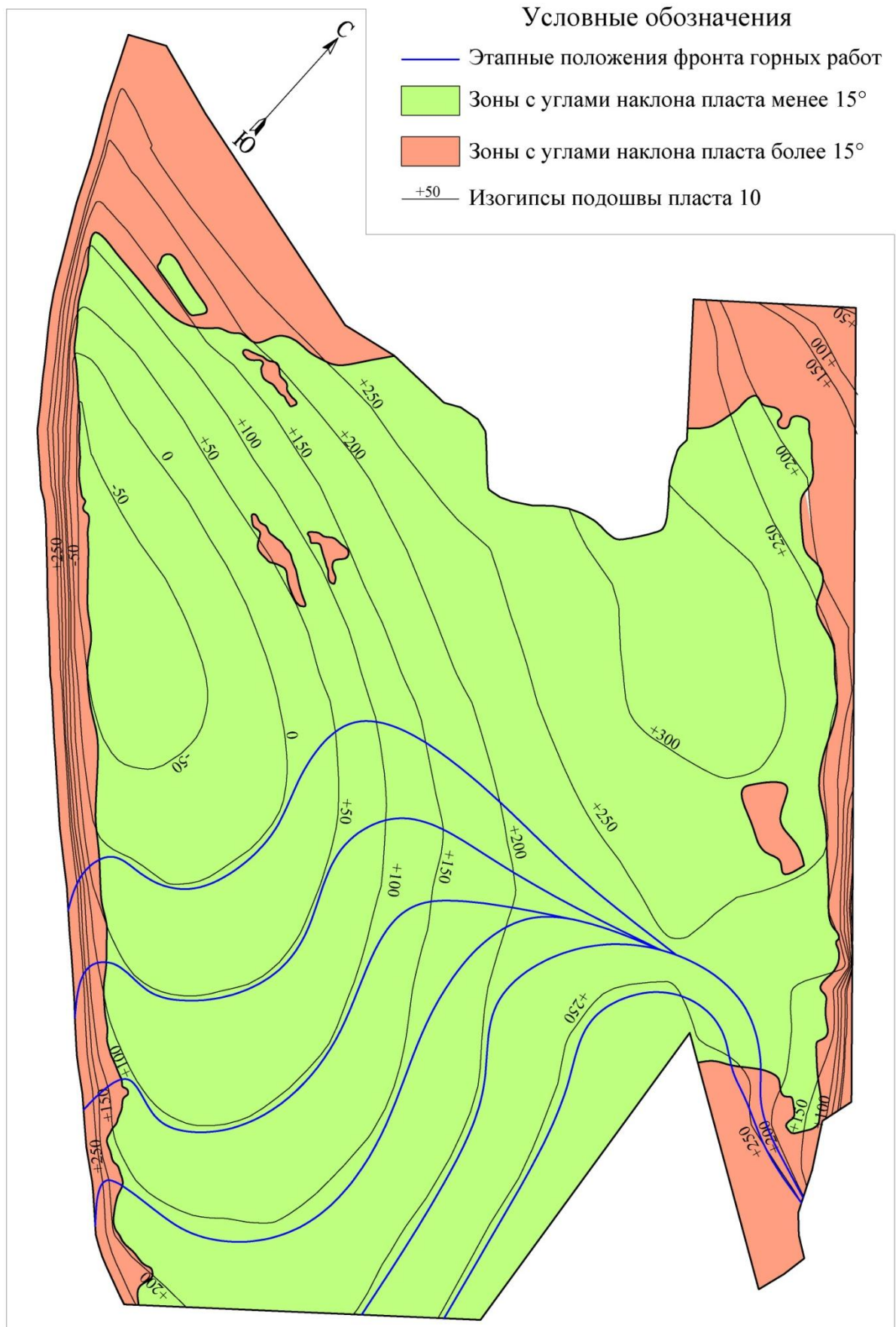


Рисунок 2.30 – Схема, иллюстрирующая наклон почвы пласта 10 на Соколовской брахисинклинали, с потенциально пригодными участками для размещения внутренних отвалов

На базе полученных данных построены графики изменения коэффициента  $k_{\Pi}$  (рисунки 2.31, 2.32) для различных гипсометрических уровней залегания пластов (глубины карьера  $k_{\Pi} = f(H)$ ).

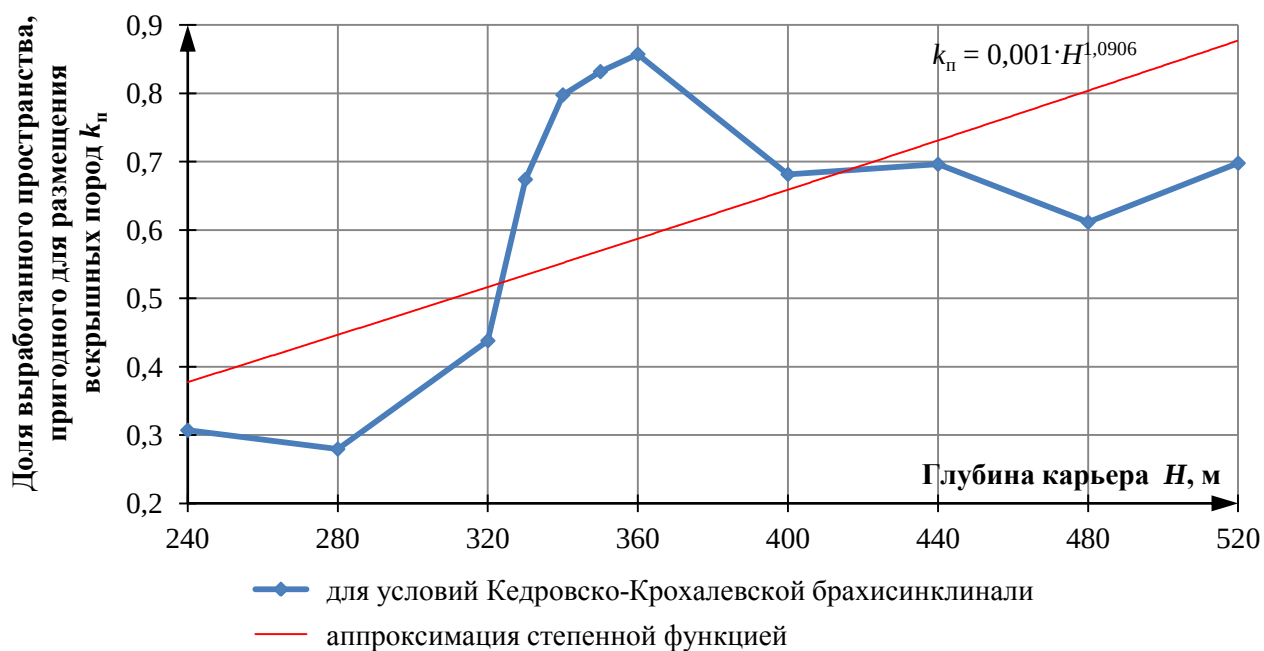


Рисунок 2.31 – Изменение доли выработанного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород (для условий Кедровско-Крохалевского угольного месторождения)

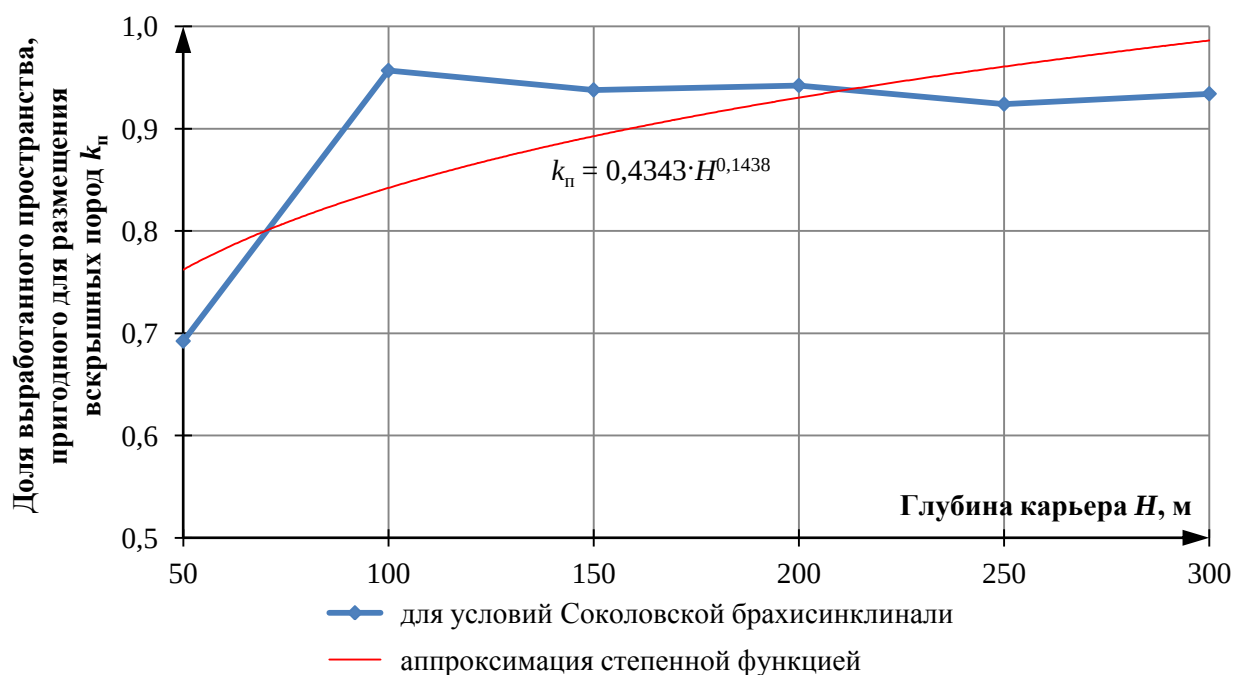


Рисунок 2.32 – Изменение доли выработанного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород (для условий Соколовского угольного месторождения)



Как следует из вышеприведенных материалов, углубление горных работ сопровождается увеличением доли площадей, пригодных для размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Однако, характер возрастания  $k_n$  как функции от глубины карьера весьма переменчив. Наклон почвы нижнего эксплуатационного пласта на Кедровско-Крохалевском месторождении имеет сложную тенденцию изменения и на некоторых этапах происходит уменьшение доли выработанного пространства, используемого для складирования вскрышных пород. Геологические условия Соколовского месторождения характеризуются тем, что зоны, непригодные для отвалообразования, присутствуют преимущественно на крыльях брахисинклинали, что предопределяет хорошие условия внутреннего отвалообразования.

Объем вскрышных пород с течением времени отработки и при углублении горных работ имеет тенденцию постепенного нарастания (рисунок 2.33).

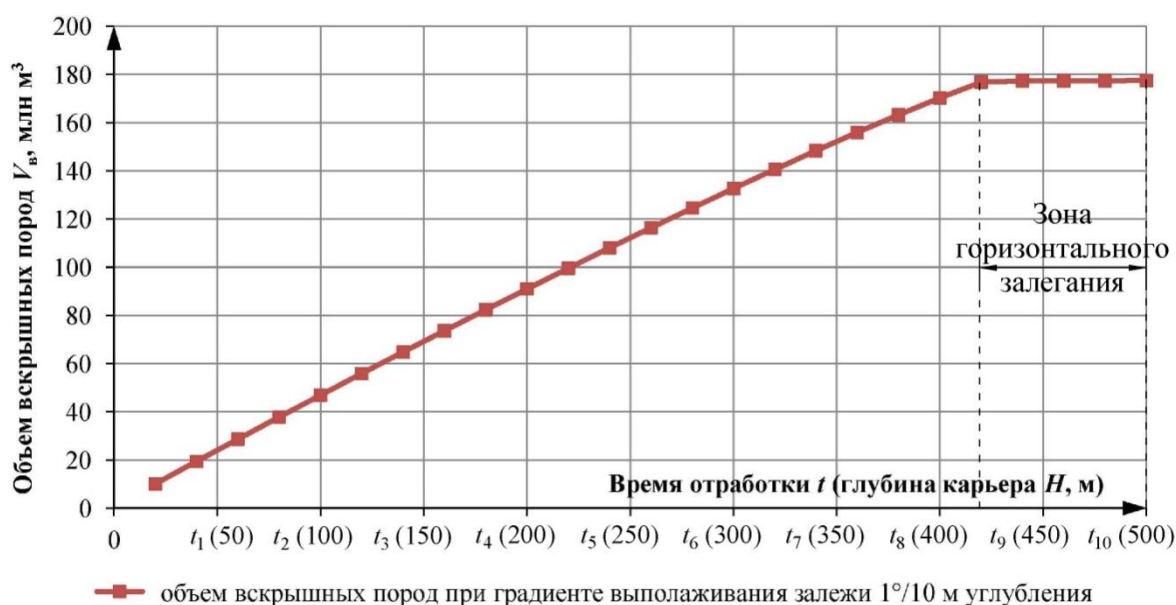


Рисунок 2.33 – Изменение объемов вскрышных пород с глубиной отработки до этапа выхода в зону с горизонтальным залеганием пластов

Объем вскрышных пород, размещаемый в выработанном пространстве карьера, находится по следующей формуле:

$$V_{p.v.p} = k_n (V_v + V_{п.п} / \rho), m^3, \quad (2.20)$$

где  $k_n$  – коэффициент, показывающий долю выработанного пространства, пригодного для размещения в нем вскрышных пород;

$V_v$  – общий объем вскрышных пород, удаляемых из карьера,  $m^3$ ;

$V_{п.и}$  – объем выработанного пространства, занимаемый полезным ископаемым, вскрытие которого осуществляется при выполнении вскрышных работ в размере  $V_b$ , т;

$\rho$  – объемная масса полезного ископаемого, т/м<sup>3</sup>.

Величина объема, размещаемого в выработанном пространстве, постепенно возрастает с углублением горных работ и достижением выположенных зон пластов, где возможно внутреннее отвалообразование.

Проблемой, ведущей к росту расстояния транспортирования и транспортной работы, являются объемы вскрышных пород  $\Delta V$ , размещение которых превышает текущую приемную способность выработанного пространства карьера. Величину последних можно определить по выражению:

$$\Delta V = k_p \cdot V_b - V_{р.в.п} = k_p \cdot V_b - k_{п} (V_b + V_{п.и} / \rho), \text{ м}^3, \quad (2.21)$$

где  $k_p$  – коэффициент остаточного разрыхления вскрышных пород.

Для северной замковой зоны Кедровско-Крохалевской брахисинклинали, основываясь на данных рисунков 2.29, 2.31 и используя выражение 2.21, построены кривые, показывающие величину недостатка приемной способности выработанного пространства (рисунок 2.34). Кривая 1 получена при использовании фактических значений  $k_{п}$  (см. рисунок 2.31), а кривая 2 – при значениях  $k_{п} = 1$ , то есть без ограничений по формированию внутренних отвалов. Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 2.1.

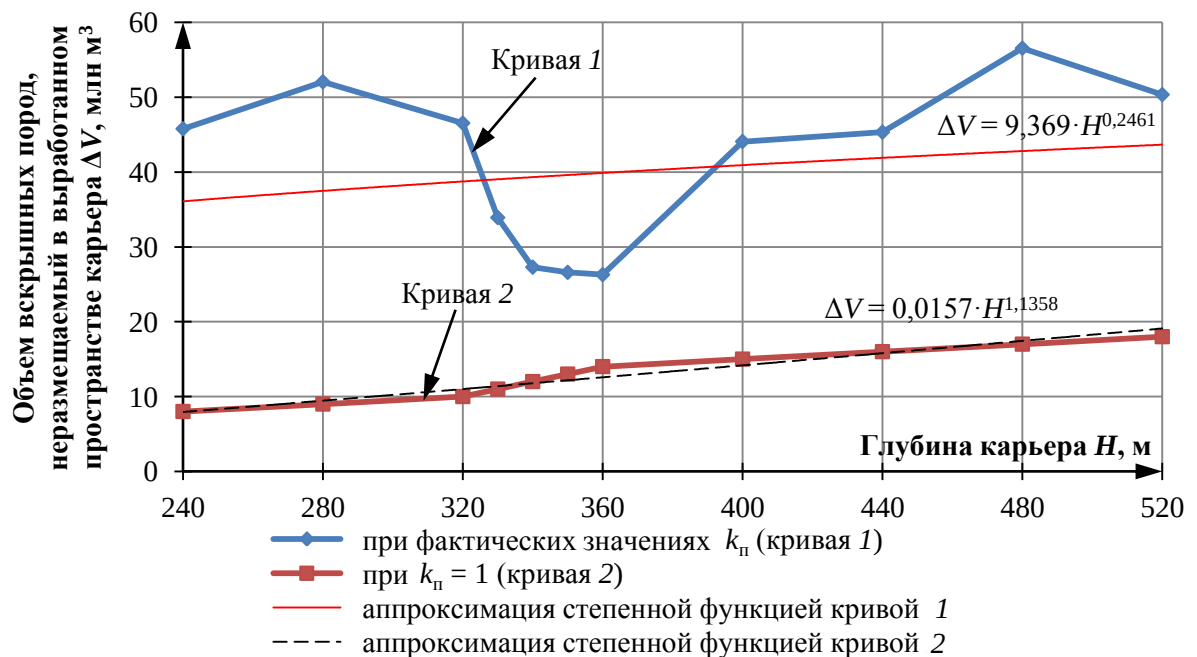


Рисунок 2.34 – Изменение объемов вскрышных пород, размещаемых в выработанном пространстве карьера



Таблица 2.1 – Исходные данные для определения объемов вскрышных пород, не размещааемых в выработанном пространстве карьера, и результаты расчетов

|                                                                                                                                                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Глубина карьера, <math>H</math>, м</b>                                                                                                                     | 240  | 280  | 320  | 330  | 340  | 350  | 360  | 400  | 440  | 480  | 520  |
| <b>Коэффициент остаточного разрыхления, <math>k_p</math></b>                                                                                                  | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| <b>Коэффициент использования площади выработанного пространства, <math>k_n</math></b>                                                                         | 0,31 | 0,28 | 0,44 | 0,67 | 0,80 | 0,83 | 0,86 | 0,68 | 0,70 | 0,61 | 0,70 |
| <b>Объемная масса угля, <math>\rho</math>, т/м<sup>3</sup></b>                                                                                                | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,35 |
| <b>Объем вскрышных пород, <math>V_v</math>, млн м<sup>3</sup></b>                                                                                             | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  |
| <b>Добываемый объем угля, <math>V_{п.и}</math>, млн т</b>                                                                                                     | 6,1  | 6,4  | 6,8  | 7,1  | 7,4  | 7,8  | 8,1  | 8,4  | 8,8  | 9,1  | 9,5  |
| <b>Объем вскрышных пород, размещааемый в выработанном пространстве, <math>V_{р.в.п}</math>, млн м<sup>3</sup></b>                                             | 16,7 | 16,7 | 28,5 | 47,3 | 60,2 | 67,2 | 73,7 | 62,2 | 67,2 | 62,2 | 74,7 |
| <b>Объем вскрышных пород не размещааемый в выработанном пространстве при фактических значениях <math>k_n</math>, <math>\Delta V</math>, млн м<sup>3</sup></b> | 45,8 | 52,1 | 46,5 | 33,9 | 27,3 | 26,6 | 26,3 | 44,1 | 45,3 | 56,5 | 50,3 |
| <b>Объем вскрышных пород не размещааемый в выработанном пространстве при <math>k_n = 1</math>, <math>\Delta V</math>, млн м<sup>3</sup></b>                   | 36,1 | 37,5 | 38,7 | 39,0 | 39,3 | 39,6 | 39,9 | 40,9 | 41,9 | 42,8 | 43,7 |

Полученные зависимости подтверждают тенденцию увеличения недостатка приемной способности выработанного пространства и его наличие даже в идеализированных условиях (кривая 2, см. рисунок 2.34).

Характеризовать возникновение дефицита приемной способности выработанного пространства карьера возможно посредством следующего условия:

$$\frac{V_v}{V_{п.и}} > \frac{k_n}{\rho (k_p - k_n)}, \quad (2.22)$$

$$K_v > \frac{k_n}{\rho (k_p - k_n)}, \quad (2.23)$$

где  $K_v$  – текущий коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т.

При среднем значении коэффициента остаточного разрыхления 1,25 и изменении объемной массы угля от 1,15 до 1,6 т/м<sup>3</sup> граничные условия, при которых наступает недостаток приемной способности выработанного пространства для размещения вскрышных пород, соответствуют текущему коэффициенту вскрыши 2,5–3,5 м<sup>3</sup>/т.

Кривая изменения объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства карьера, приведена на рисунке 2.35 (расчеты, послужившие базой для построения данной кривой, представлены в Приложении А).

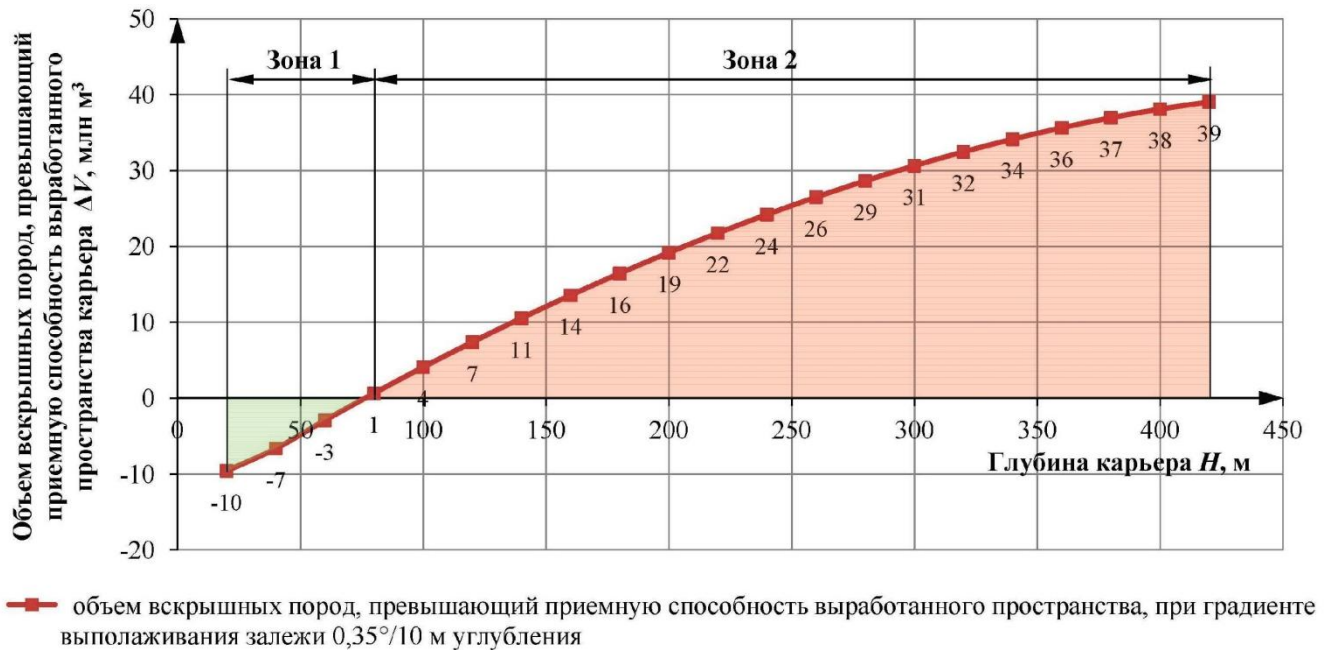


Рисунок 2.35 – Изменение приемной способности выработанного пространства карьера, отрабатывающего крупную угольную брахисинклиналь с пологим падением пластов в замковой части (вид В по соотношению баланса объемов вскрышных пород и выработанного карьерного пространства, см. рисунок 1.12; и типы II, III по систематизации угольных брахисинклиналей по морфологическим признакам, см. таблицу 1.4): Зона 1 – избыток приемной способности; Зона 2 – недостаток (дефицит) приемной способности

Для разреза «Черниговский» изменение объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность его выработанного пространства, показано на рисунке 2.36 [72].

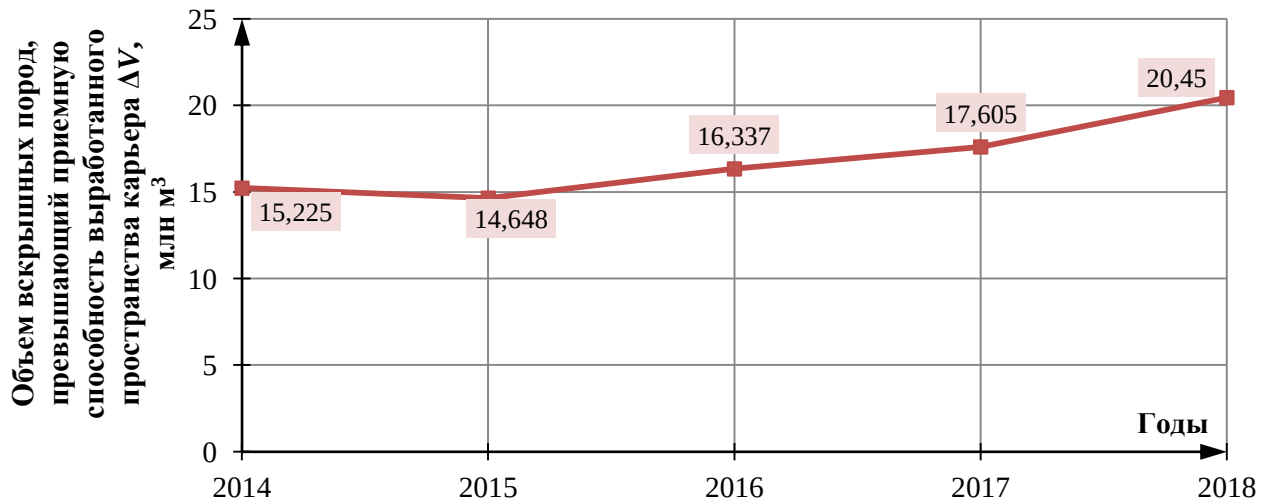


Рисунок 2.36 – Изменение объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства, для условий разреза «Черниговский»

Наличие дисбаланса приемной способности выработанного пространства и размещаемого в нем объема вскрышных пород, предопределяет порядок формирования внутренних отвалов. Внутренний отвал начинает развиваться выше уровня рельефа, существовавшего до разработки, и одним своим бортом в сторону, противоположную подвиганию рабочего борта карьера (рисунок 2.37).

Такой отвал предлагается называть компенсационным, т. к. он позволяет разместить вскрышные породы, не размещаемые в выработанном пространстве карьера (см. рисунок 2.37). Компенсационный отвал можно рассматривать как составной, выделив в нем внутреннюю зону, расположенную на площади внутреннего отвала, но выше поверхности рельефа и внешнюю зону, располагаемую за контуром карьера.

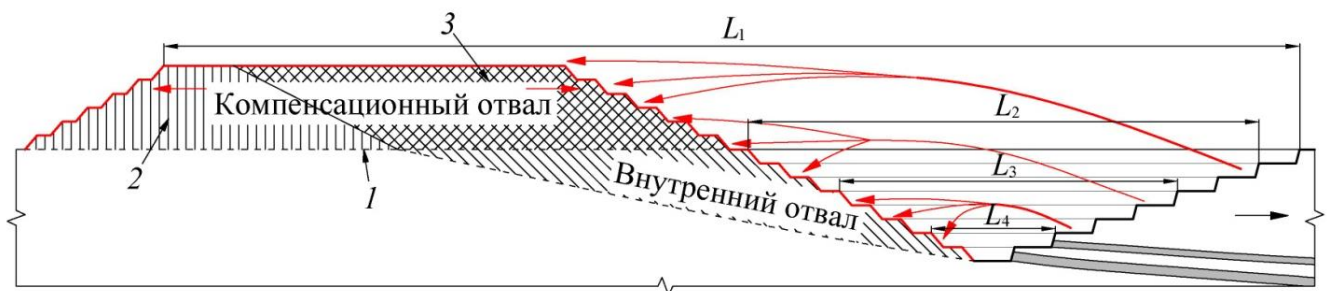


Рисунок 2.37 – Схема распределения вскрышных пород по отвальным ярусам: 1 – поверхность рельефа до отработки месторождения, служащая границей между внутренним и компенсационным отвалами; 2 – внешняя зона компенсационного отвала; 3 – внутренняя зона компенсационного отвала;  $L_1-L_4$  – расстояния перемещения вскрышных пород ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ )

## Выводы по главе 2

1. Величина градиентов выполаживания пластов имеет значительные изменения по глубине погружения крупных угольных брахисинклиналей. В донной части складки они превышают аналогичные значения, достигаемые на средних и верхних гипсометрических уровнях брахисинклинали, в 2,5–3 раза.

2. Установлены аналитические зависимости, изменения предельных углов наклона рабочих бортов для ряда крупных угольных брахисинклиналей Кузнецкого угольного бассейна. Критическая глубина для условий разреза «Черниговский», при достижении которой, рабочий борт отстраивается исключительно по условиям устойчивости, составляет 330–370 м.

3. При отработке угольных брахисинклиналей изменение объемов вскрываемых запасов определяется двумя противоположными факторами: первый фактор – выбытие запасов из отработки за счет сокращения добычного фронта в торцевых частях карьера и замковой зоне брахисинклинали; второй фактор – выполаживание пластов, способствующее приращению вскрываемых запасов. Доминирующим в вышесказанных изменениях является первый фактор. Второй фактор превалирует над первым на непродолжительном этапе эксплуатации месторождения в донной части складки, где градиенты выполаживания принимают максимальные значения.

4. Установлено аналитическое выражение, определяющее глубину карьера, при которой объемы выбытия из отработки и приращения запасов уравниваются (точка

нулевого баланса): 
$$H_n = \frac{0,5 \cdot L_\phi \left( 1 - \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}} \right) - b \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \varphi}, \text{ м}$$
 (где  $L_\phi$  – длина

фронта горных работ, м;  $\alpha$  – угол откоса рабочего борта карьера, град.;  $\beta_{n-1}$  – угол наклона пласта на текущем уровне отработки, град.;  $\beta_n$  – угол падения пласта на планируемом горизонте отработки, град.;  $b$  – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м;  $\theta$  – угол встречи смежных фронтов в замковой зоне брахисинклинали, град.;  $\varphi$  – предельный угол наклона стационарного борта карьера по условиям устойчивости, град.).

5. Долевое использование площади выработанного пространства карьера для размещения внутренних отвалов характеризуется коэффициентом  $k_n$ , который с глубиной отработки месторождения увеличивается за счет интенсивного

выполаживания пластов и уменьшения структурных нарушений горного массива. Для условий Кедровско-Крохалевского угольного месторождения данный коэффициент изменяется по следующей зависимости:  $k_{\pi} = 0,001 \cdot H^{1,0906}$  (где  $H$  – глубина карьера).

6. Дефицит приемной способности выработанного пространства возникает с этапа, когда выполняется условие:  $K_v > \frac{k_{\pi}}{\rho (k_p - k_{\pi})}$  (где  $K_v$  – текущий коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т;  $k_{\pi}$  – коэффициент, показывающий долю выработанного пространства, пригодного для размещения в нем вскрышных пород;  $k_p$  – коэффициент остаточного разрыхления вскрышных пород;  $\rho$  – объемная масса полезного ископаемого, т/м<sup>3</sup>).

7. Недостаток приемной способности выработанного пространства приводит к изменению порядка формирования внутренних отвалов. Они начинают частично развиваться в сторону, противоположную подвиганию рабочего борта карьера, что обуславливает постепенное нарастание расстояний перемещения вскрышных пород.

8. При развитии горных работ целесообразность прирезки нового участка к действующему карьере должна определяться с учетом влияния схемы вскрытия карьерных полей, изменения объемов вскрываемых запасов с глубиной отработки и долевого использования площади выработанного пространства карьера для размещения внутренних отвалов.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ ВСКРЫТИЯ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ

#### 3.1. Закономерности изменения работы по подъему горной массы по высотным зонам карьеров

Глубокие карьеры можно разделить на несколько высотных зон, существенно отличающихся работой по перемещению горной массы.

Впервые такое деление было предложено в работе [55], где сделан вывод, что вопросы компоновки транспортных схем и схем вскрытия карьерных полей должны решаться в соответствии с характером распределения объемов пород в отдельных высотных зонах карьеров.

Для угольных брахисинклиналей в верхней зоне обычно сосредотачивается до 50–55 % объемов вскрышных пород, заключенных в предельных контурах открытых работ, и только 10–15 % объемов угля. В средней зоне сосредотачивается до 40–45 % объемов вскрышных пород и 60–70 % объемов полезного ископаемого. В нижней зоне располагается лишь 5–10 % всех объемов вскрышных пород и до 30 % запасов угля.

Работа по подъему горной массы на поверхность с отдельного  $i$ -го горизонта карьера может быть определена по выражению [66]:

$$A_i = 10^{-3} \cdot h_i (S_v \cdot \gamma_v + S_n \cdot \gamma_n) \frac{(H_d - H_i)}{i_{cp}} \cdot k_{тр}, \text{ т} \cdot \text{км}, \quad (3.1)$$

где  $i$  – горизонт, выемочный слой с нижней отметкой  $i$  в пределах конечного (этапного) контура отработки;

$h_i$  – высота  $i$ -го слоя, м;

$S_v$  – площадь вскрышных пород в контурах  $i$ -го слоя, м<sup>2</sup>;

$S_n$  – площадь полезного ископаемого в контурах  $i$ -го слоя, м<sup>2</sup>;

$\gamma_v$  – объемная масса вскрышных пород в пределах  $i$ -го слоя, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_n$  – объемная масса полезного ископаемого в пределах  $i$ -го слоя, т/м<sup>3</sup>;

$H_d$  – средняя отметка дневной поверхности, м;

$H_i$  – отметка  $i$ -го горизонта, м;

$i_{cp}$  – средний уклон трассы, ‰;

$k_{тр}$  – коэффициент развития трассы (1,1–1,5).

Сравним изменение транспортной работы по подъему вскрышных пород для карьеров, обрабатывающих крутопадающую залежь (рисунок 3.1 а) и залежь,

выполаживающуюся с глубиной отработки (рисунок 3.1 б, крыло брахисинклинальной складки).

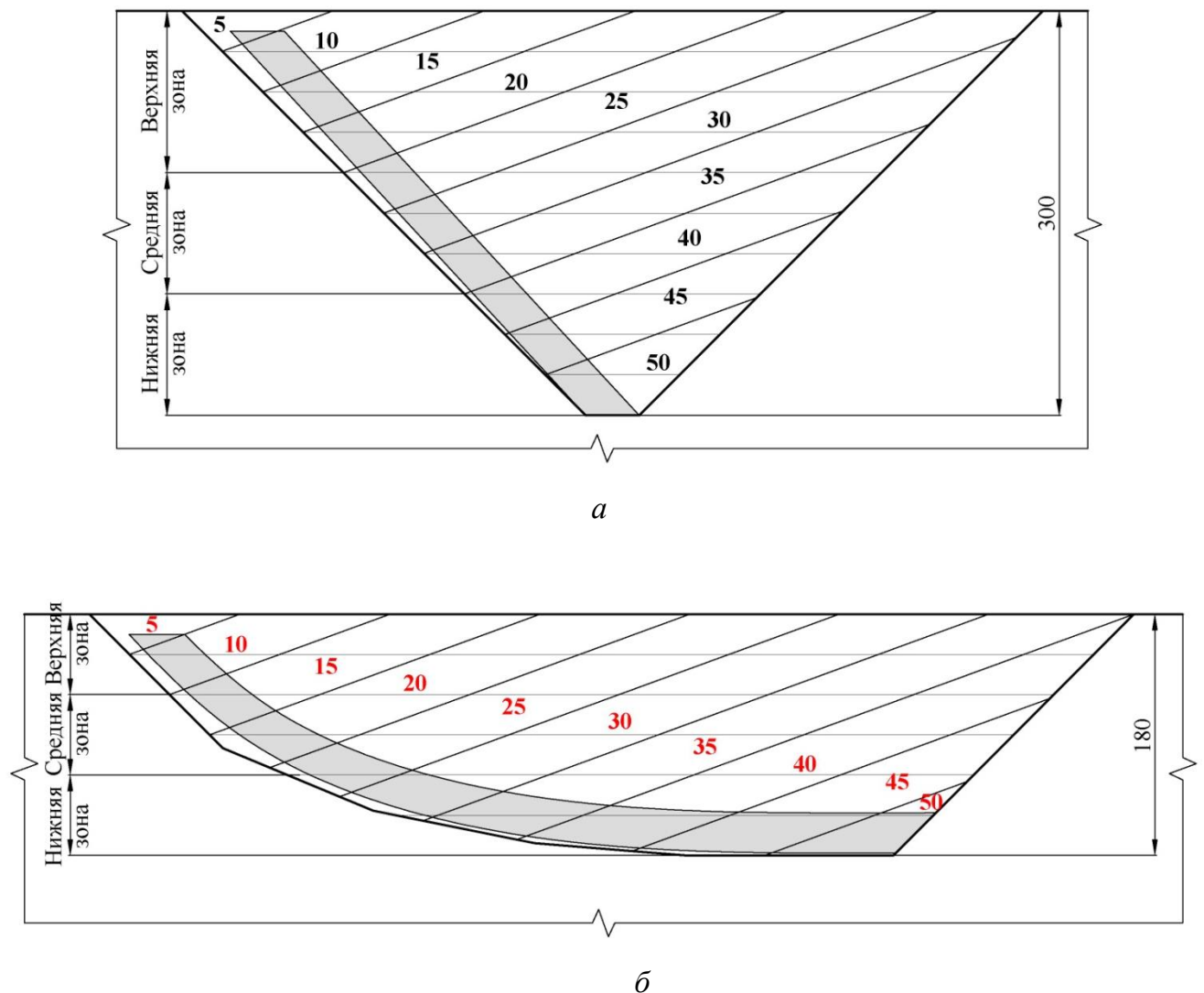


Рисунок 3.1 – Модели карьеров № 1 и № 2, отрабатывающих крутопадающую залежь полезного ископаемого (а) и угольный пласт брахисинклинали (б), соответственно, при одинаковых объемах вскрышных пород: 5–50 – годы (этапы) отработки карьерного поля

Объем вскрышных пород, заключенный в конечных контурах карьеров № 1 и № 2, принимается одинаковым. Важнейшим отличительным фактором, рассматриваемых карьеров, является то, что отработка брахисинклинали позволяет складировать вскрышные породы в выработанное карьерное пространство [29].

Изменение высоты подъема вскрышных пород, перемещаемых в отвал, за весь период отработки месторождений, приведено на рисунке 3.2, а изменение погоризонтных объемов вскрышных пород показано на рисунке 3.3.

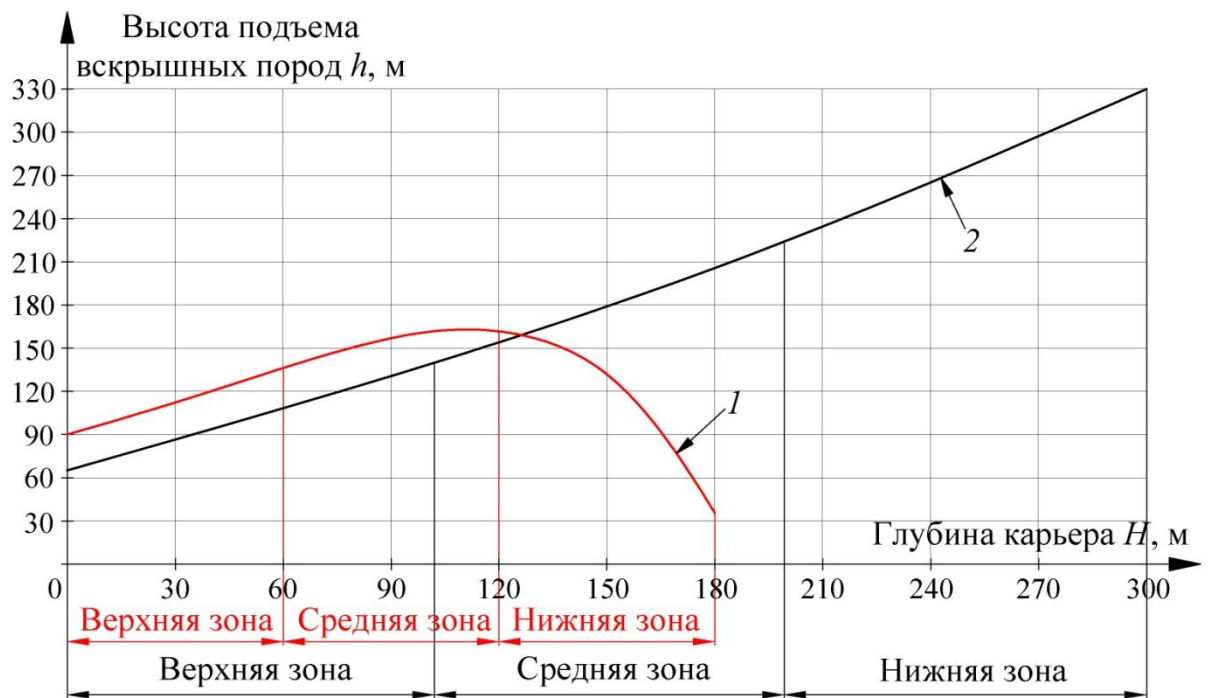


Рисунок 3.2 – Изменение высоты подъема вскрышных пород для карьеров, отрабатывающих месторождение, представленное угольной брахисинклиналию (1) и крутопадающей залежью (2) полезного ископаемого (при условии, что объемы отрабатываемых вскрышных пород и полезного ископаемого одинаковы)

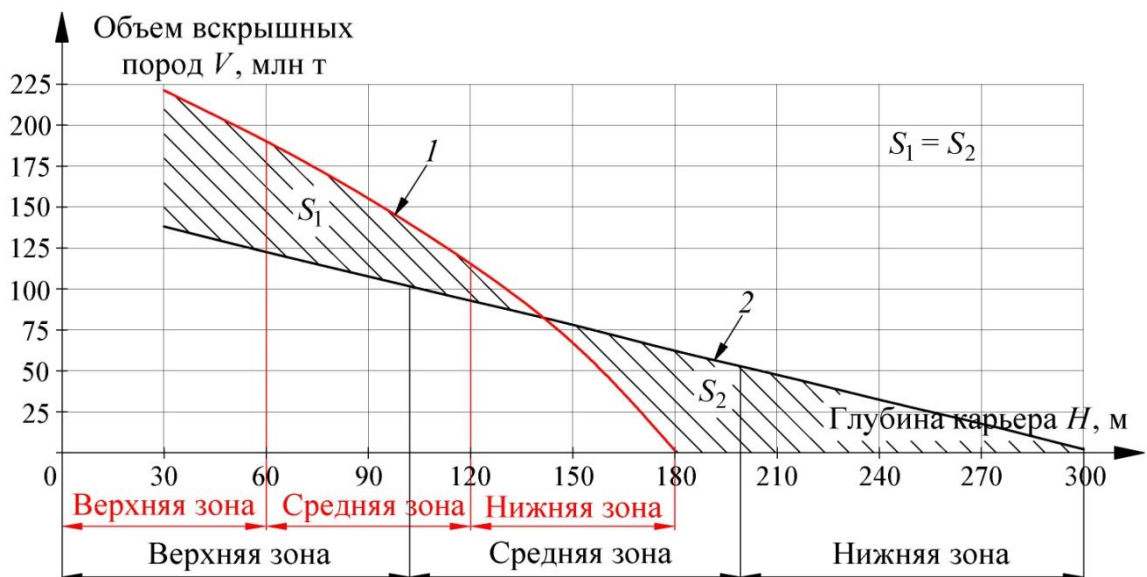


Рисунок 3.3 – Изменение погоризонтных объемов вскрышных пород для карьеров, отрабатывающих брахисинклиналию (1) и крутопадающую залежь (2) при условии, что объемы перемещаемых пород одинаковы:  $S_1, S_2$  – величины объемов вскрышных пород ( $S_2 > S_1$ )



Высота подъема вскрышных пород для крутопадающей залежи постоянно нарастает (см. рисунок 3.2), что предопределено необходимостью размещать вскрышные породы за контуром карьера (во внешнем отвале). Для брахисинклинали на первых этапах отработки месторождения наблюдается аналогичная тенденция, но с выходом в зону, где возможно внутреннее отвалообразование, высота подъема вскрышных пород постепенно уменьшается (см. рисунок 3.2).

Погоризонтный объем вскрышных пород для карьера, отрабатывающего крутопадающую залежь, равномерно уменьшается. Для брахисинклинали после аналогичного уменьшения вскрышных пород в верхней и средней зонах, происходит более интенсивное уменьшение погоризонтных объемов в нижней зоне (см. рисунок 3.3).

Изменение транспортной работы по перемещению вскрышных пород за весь период отработки карьеров № 1 и № 2 приведено на рисунке 3.4.

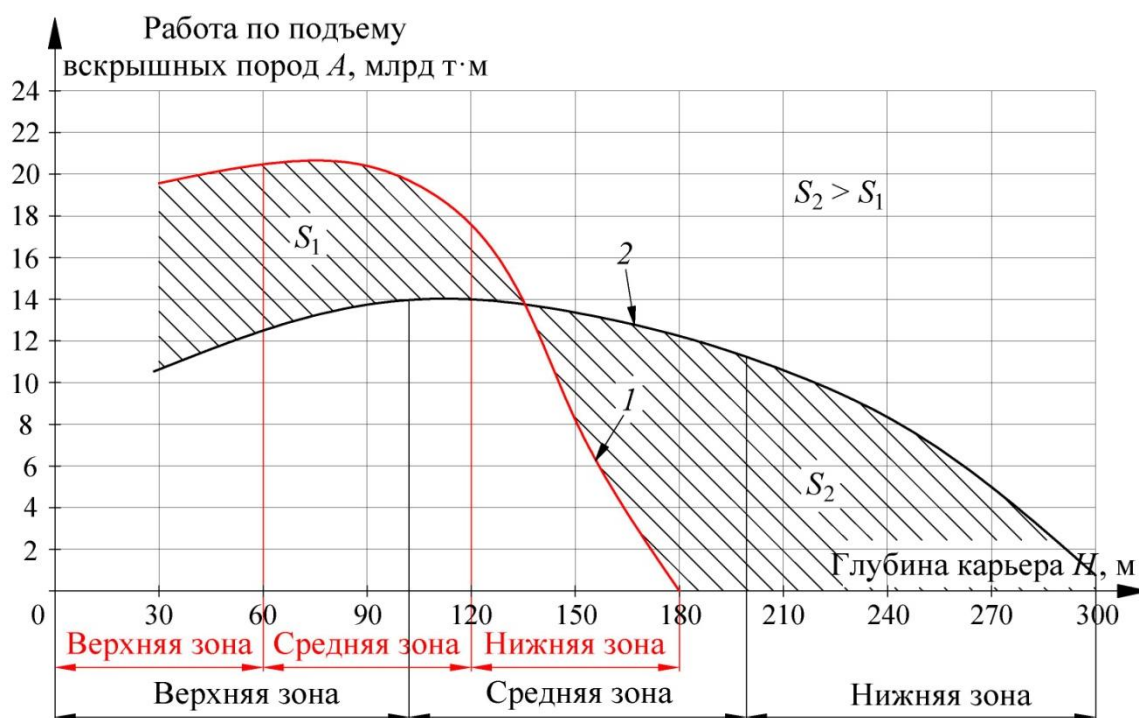


Рисунок 3.4 – Изменение транспортной работы для карьеров, отрабатывающих брахисинклиналь (1) и крутопадающую залежь (2):  $S_1$ ,  $S_2$  – величины работы по подъему вскрышных пород ( $S_2 > S_1$ )

Транспортная работа по подъему вскрышных пород для карьера, отрабатывающего крутопадающую залежь, постепенно возрастает и достигает максимума в группе средних горизонтов. Отработка брахисинклинали имеет отличия,

закрывающиеся в том, что группа верхних и средних горизонтов, имеет наибольшую величину транспортной работы, а в группе нижних горизонтов работа резко уменьшается в связи с возможностью складирования вскрышных пород в выработанное пространство при минимальных расстояниях транспортирования [29].

Изменение транспортной работы для карьеров, отрабатывающих крутопадающую залежь и залежь, выполаживающуюся с глубиной отработки приведено на рисунке 3.5 (для этапов отработки по 10 лет).

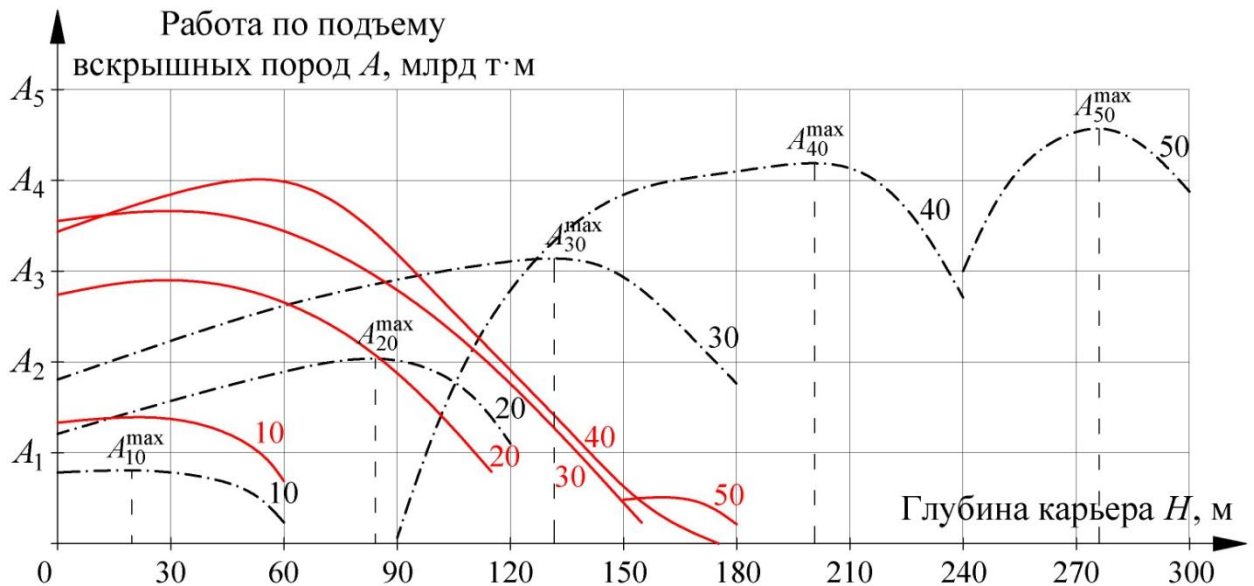


Рисунок 3.5 – Изменение транспортной работы (погоризонтно) при отработке месторождения, представленного брахисинклиналью (красные кривые) и крутопадающей залежью (штрихпунктирные черные кривые): 10–50 – годы (этапы) отработки;  $A_{10}^{\max}$  –  $A_{50}^{\max}$  – максимальные этапные значения работы для крутопадающей залежи ( $A_{50}^{\max} > A_{10}^{\max}$ )

Анализ данных рисунка 3.5 свидетельствует, что крутопадающая залежь для каждого последующего этапа отработки имеет закономерно увеличивающиеся значения удельной транспортной работы. При достижении конечного контура карьера по группе верхних и средних горизонтов суммарная транспортная работа уменьшается («сужение» графиков на рисунке 3.5). Месторождение, отрабатывающее брахисинклиналь, имеет схожую тенденцию до начала использования выработанного пространства для складирования вскрышных пород. С этапа, когда начинается внутреннее отвалообразование, происходит постепенное уменьшение транспортной работы.

Открытая разработка месторождений, представленных брахисинклинальными структурами, имеет особенность, заключающуюся в том, что группа верхних и средних горизонтов, обладает наибольшей транспортной работой. Максимумы транспортной работы в зависимости от текущей глубины карьера перемещаются, оставаясь в зоне, составляющей 25–35 % от общей глубины карьера (при отсчете от уровня дневной поверхности, рисунок 3.6).

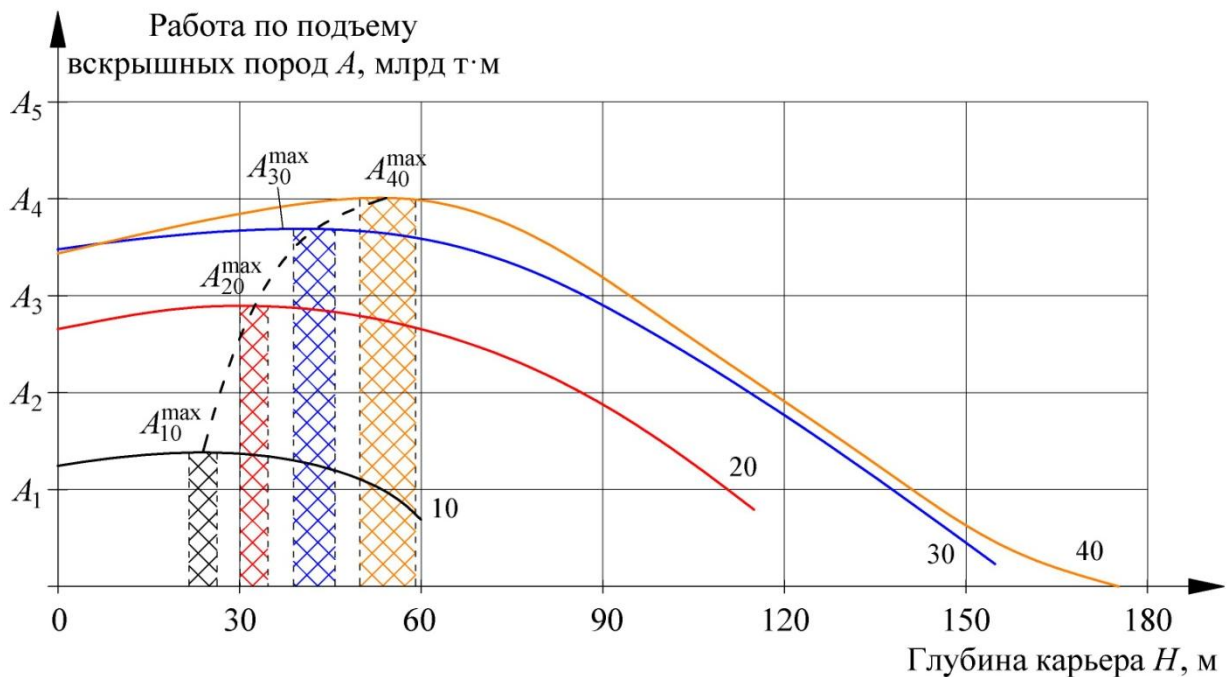


Рисунок 3.6 – Изменение транспортной работы при отработке месторождения, представленного брахисинклиналью: 10–40 – годы (этапы) отработки;  $A_{10}^{\max}$  –  $A_{40}^{\max}$  – максимальные значения работы на 10–40-й год работы карьера соответственно ( $A_{40}^{\max} > A_{10}^{\max}$ )

В общем случае график изменения транспортной работы карьера, отрабатывающего крутопадающую залежь и брахисинклиналь, имеет следующий вид (рисунок 3.7).

График функции  $A = f(H)$  идет не по траектории  $BCDEF$ , а по траектории  $BCD'E'F'$ , что позволяет сократить объем транспортной работы на величину  $\Delta A$  (заштриховано).

Наличие выположенных зон на брахисинклиналях предопределяет более легкие с точки зрения транспортного процесса условия производства открытых горных работ.

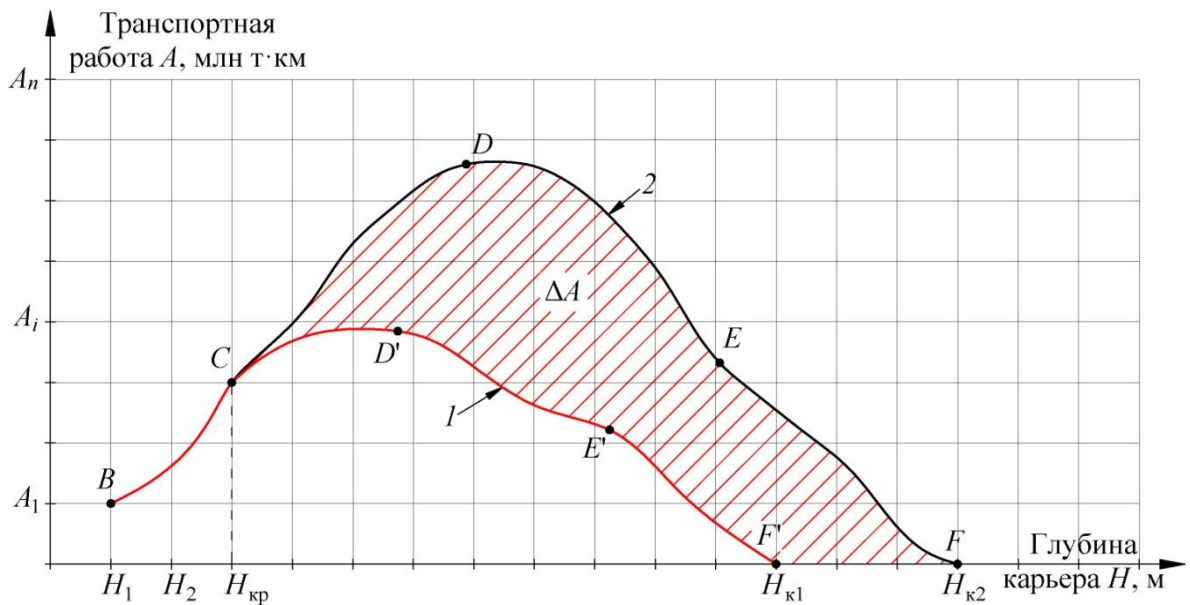


Рисунок 3.7 – Изменение транспортной работы по перемещению вскрышных пород для месторождения, отрабатывающего залежь, выполаживающуюся с глубиной разработки (брахисинклиналь, 1) и крутопадающую залежь полезного ископаемого (2):  $H_{кр}$  – горизонт карьера, при котором возможен переход к складированию вскрышных пород в выработанное пространство;  $H_{к1}$  – конечная глубина карьера, отрабатывающего брахисинклиналь;  $H_{к2}$  – конечная глубина карьера, отрабатывающего крутопадающую залежь [58]

### 3.2. Исследование изменений транспортной работы по перемещению вскрышных пород на различных этапах отработки угольных брахисинклиналей

Принципиальным моментом в определении закономерностей изменения работы транспорта для месторождений, представленных брахисинклиналями, является формирование начальных зон карьера, пригодных для внутреннего отвалообразования.

На основе полученных зависимостей изменения угла наклона борта карьера и откоса внутреннего отвала с глубиной отработки (см. п. 2.2), построены графики изменения расстояний  $L$  между верхними ярусами внутреннего отвала и рабочего борта карьера на различных этапах развития горных работ (рисунок 3.8).

Для нахождения среднего расстояния транспортирования вскрышных пород целесообразно разделить трассу вскрышного грузопотока на несколько участков:

- участок транспортирования по фронту горизонта  $l_{фг}$ ;
- участок транспортирования по торцу карьера или через транспортные перемычки  $l_{тр}$ ;

- участок, преодолеваемый по карьерным съездам  $l_{ck}$ ;
- участок транспортирования от карьера до отвала по поверхности (при внешнем расположении отвала,  $l_{п}$ );
- участок, преодолеваемый по въездам на отвальные ярусы  $l_{co}$ ;
- участок транспортирования по отвальному фронту  $l_{фo}$ .

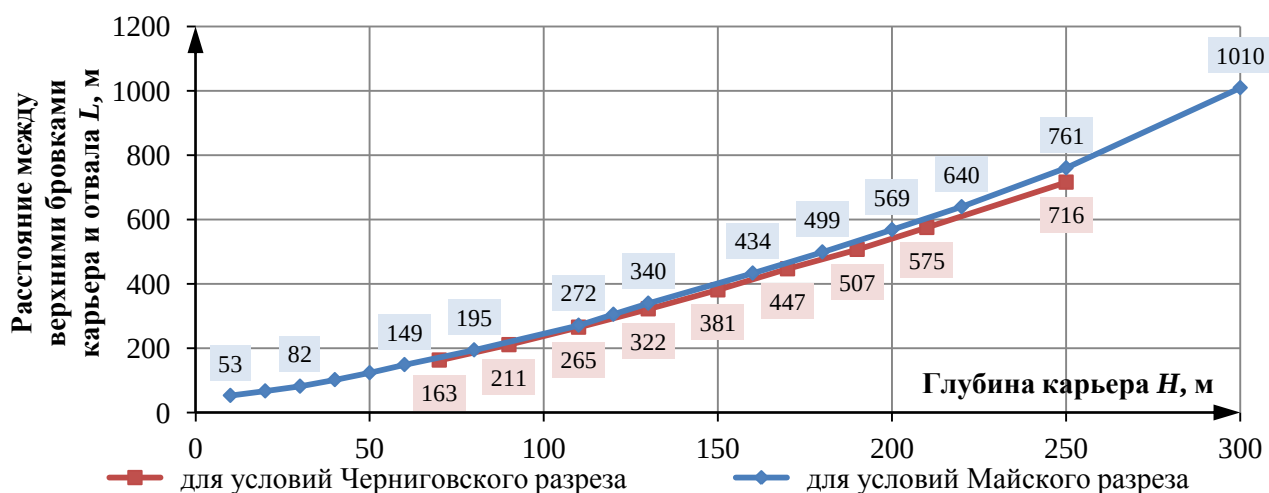


Рисунок 3.8 – Изменение расстояния между верхними бровками карьера и внутреннего отвала с глубиной (для разрезов «Черниговский» и «Майский»)

При невозможности полной укладки вскрышных пород в выработанное карьерное пространство происходит постепенное увеличение расстояний транспортирования в зоне верхних горизонтов карьера (рисунок 3.9).

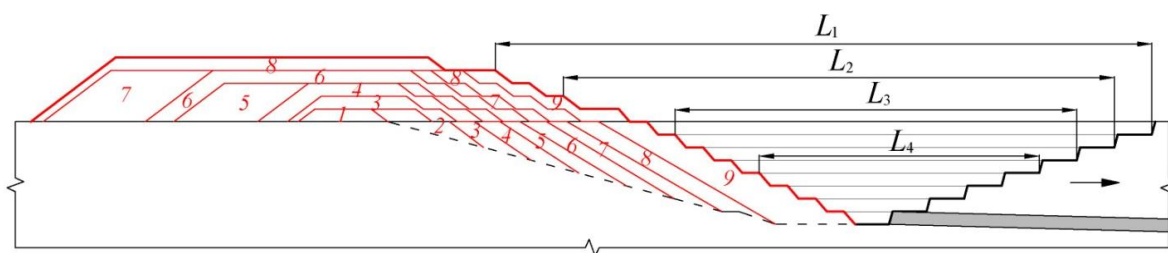


Рисунок 3.9 – Динамика развития отвальных массивов при отработке угольной брахисинклинали: 1–9 – этапы формирования отвального массива;  $L_1$ – $L_4$  – расстояния перемещения пород ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ )

Средневзвешенная высота подъема вскрышных пород с горизонтов карьера может быть определена по выражению [29]:

$$\sum_{i=n}^p h_n^{cp} = h_i^{omg} \cdot \frac{V_{i-n}}{\sum V} + \dots + h_p^{отв} \cdot \frac{V_{p-n}}{\sum V}, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $n$  – текущий уровень горизонта;

$p$  – наибольший уровень горизонта (яруса) отвала, на который транспортируются породы с текущего горизонта;

$h_i^{\text{отв}}$  – высота подъема вскрышных пород на  $i$ -ый ярус отвала, м,

$h_p^{\text{отв}}$  – высота подъема вскрышных пород на  $p$ -ый ярус отвала, м,

$V_{i-n}$  – объем (масса) вскрышных пород, транспортируемый с текущего горизонта в  $i$ -ый ярус отвала, т;

$V_{p-n}$  – объем вскрышных пород, транспортируемый с текущего горизонта в  $p$ -ый ярус отвала, т;

$\sum V$  – общий объем вскрышных пород, транспортируемый с текущего горизонта в ярусы отвала, т.

Анализ изменения высоты подъема вскрышных пород для залежей, выполаживающихся с глубиной отработки, свидетельствует, что максимальные значения приходятся на горизонты, расположенные в средней зоне карьера (рисунок 3.10).

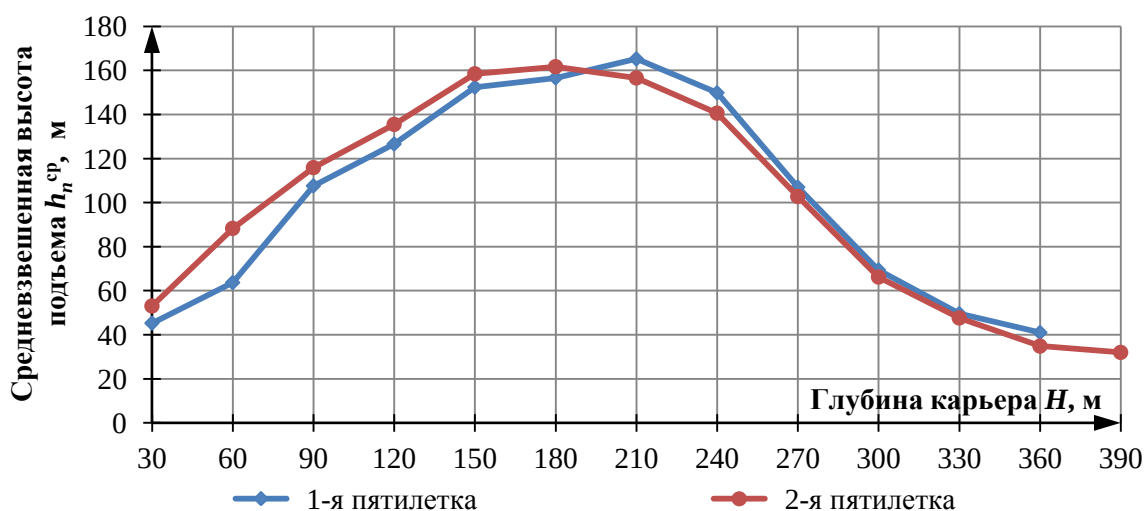


Рисунок 3.10 – Изменение средневзвешенной высоты подъема вскрышных пород с рабочих горизонтов карьера

Длина транспортирования пород имеет тенденцию постепенного возрастания при подходе к группе средних и верхних горизонтов (рисунок 3.11).

При оценке транспортной работы используются показатели грузооборота и энергоемкости. Под грузооборотом понимается транспортная работа в тонно-километрах, подлежащая выполнению транспортом за определенный период времени [52].

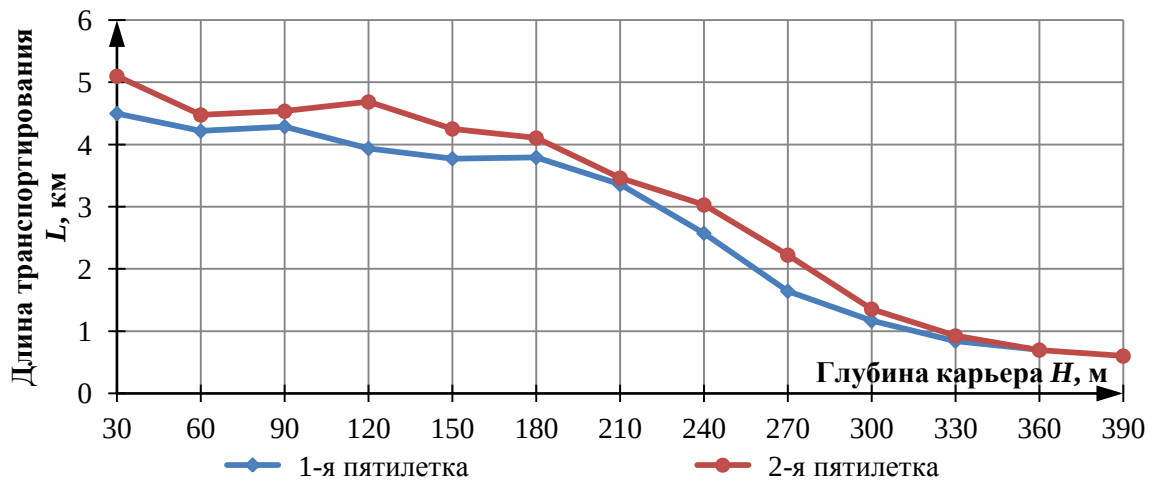


Рисунок 3.11 – Изменение длины транспортирования вскрышных пород в отвалы с рабочих горизонтов карьера

Грузооборот определяется по следующему выражению (рисунок 3.12):

$$P_n = V_n \cdot L_n, \text{ т} \cdot \text{км}, \quad (3.3)$$

где  $V_n$  – объемы перемещаемых пород, т;

$L_n$  – длина транспортирования пород, км.

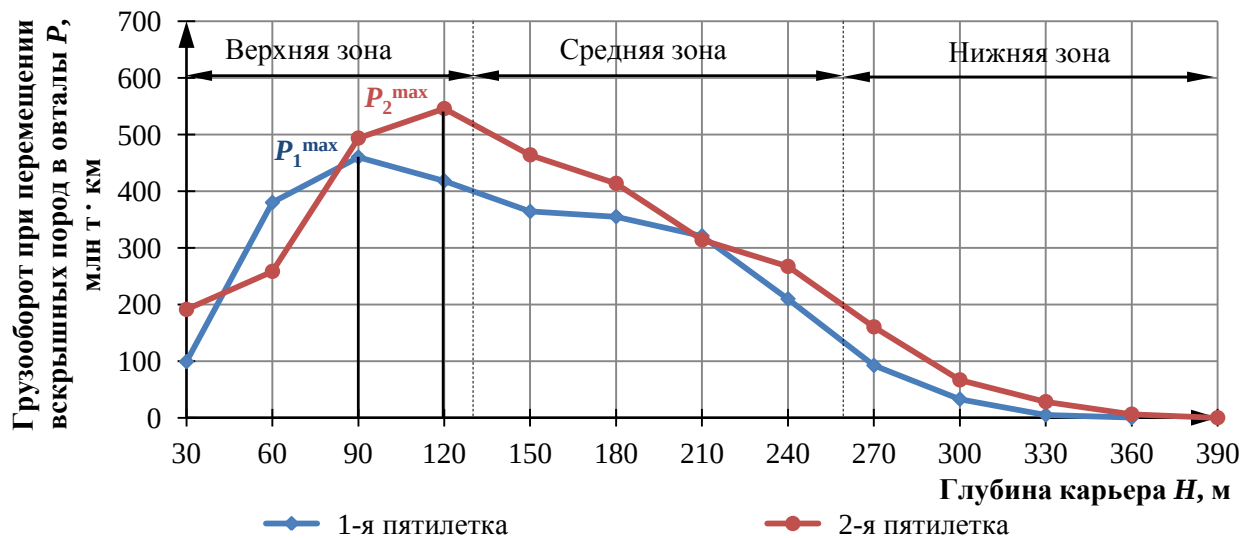


Рисунок 3.12 – Кривые изменения грузооборота на перспективный этап работы Черниговского разреза

Транспортная работа на горизонтальных и наклонных участках трассы имеет отличия в виду различных удельных сопротивлений движению транспорта [62]. Данный показатель на горизонтальном участке определяется по выражению:

$$W_r = \omega_o + \omega_b + \omega_r, \text{ Н/т}, \quad (3.4)$$



где  $\omega_0$  – основное удельное сопротивление движению, Н/т;

$\omega_b$  – удельное сопротивление воздушной среды, Н/т;

$\omega_r$  – удельное сопротивление от кривой, Н/т.

Для наклонного участка удельное сопротивление движению автомобильного транспорта находится по формуле:

$$W_n = \omega_0 + \omega_b + \omega_r + \omega_i, \text{ Н/т}, \quad (3.5)$$

где  $\omega_i$  – удельное сопротивление от уклона, Н/т.

На основе выражений 3.4, 3.5 выполнено определение отношения удельных сопротивлений движению автомобильного транспорта на наклонном участке трассы к горизонтальному (применительно к условиям Черниговского разреза):

$$\frac{W_{n.a}}{W_{г.а}} = \frac{400 + 450 + 15 + 700}{400 + 450 + 15} = 1,81, \quad (3.6)$$

Удельная транспортная работа на наклонном участке трассы находится по формуле:

$$A_{уд}^n = \frac{W_n}{W_r} \cdot l_n^H \cdot V_n, \text{ Т} \cdot \text{км}, \quad (3.7)$$

где  $l_n^H$  – длина наклонного участка трассы, км.

Транспортная работа складывается из суммы работ на наклонном и горизонтальном участках:

$$A = A_{уд}^n + A^r = \frac{W_n}{W_r} \cdot l_n^H \cdot V_n + l_n^z \cdot V_n = V_n \cdot \left( \frac{W_n}{W_r} \cdot l_n^H + l_n^z \right), \text{ Т} \cdot \text{км}, \quad (3.8)$$

где  $l_n^z$  – длина горизонтального участка трассы, км.

Работа автотранспорта определяется по следующему выражению:

$$A_a = V_n \cdot (1,81 \cdot l_n^H + l_n^z), \text{ Т} \cdot \text{км}, \quad (3.9)$$

Учитывая различные значения транспортной работы по участкам перемещения, выполнено определение транспортной работы для условий Черниговского разреза (весь объем вскрышных пород в рассматриваемом варианте перспективного развития карьера, перемещается с использованием автомобильного и железнодорожного транспорта, при доминировании автомобильного – 90 %, рисунок 3.13).

Кривые рисунка 3.13 свидетельствуют, что экстремумы транспортной работы соответствуют группе верхних и частично средних горизонтов. В зонах средних и



нижних горизонтов, за счет снижения расстояний транспортирования транспортная работа уменьшается.

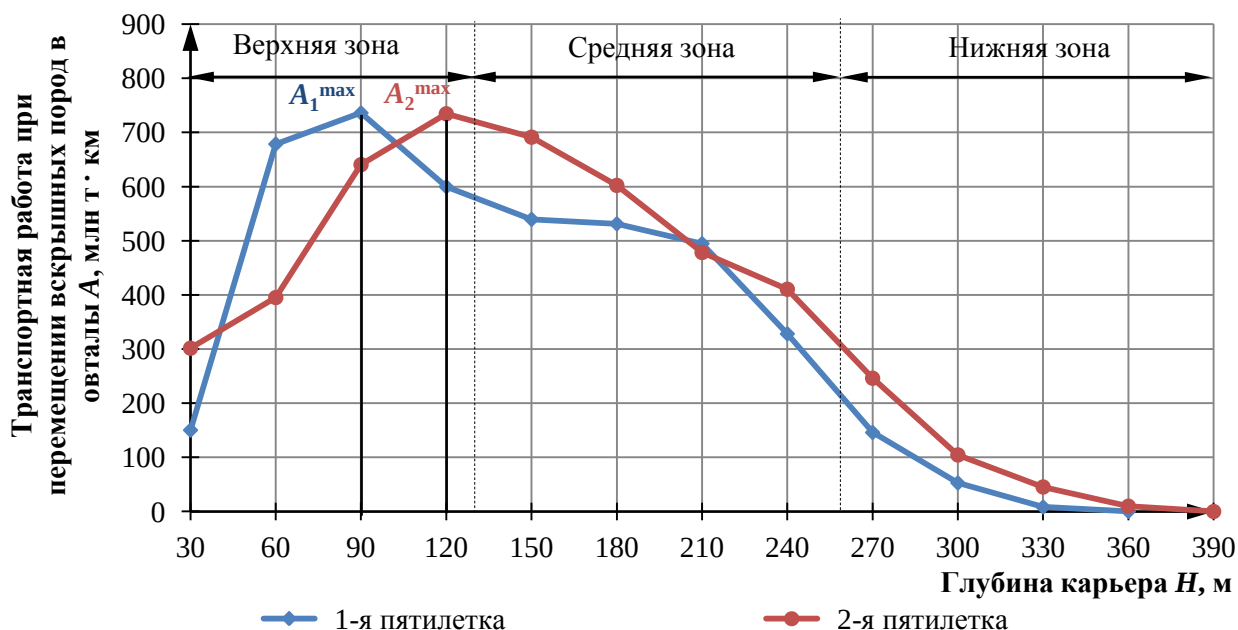


Рисунок 3.13 – Кривые изменения транспортной работы на перспективный этап развития Черниговского разреза

На базе полученных зависимостей можно сделать следующий вывод:

- на карьерах, отрабатывающих брахисинклинальные складки, максимум транспортной работы по перемещению вскрышных пород соответствует группе верхних и частично средних горизонтов.

Таким образом, мероприятия, проводимые с целью минимизации затрат на транспортирование пород при отработке брахисинклиналей, в первую очередь должны быть сконцентрированы в группе верхних и частично средних горизонтов карьера.

### 3.3. Изменение зон использования различных видов транспорта по высоте рабочей зоны карьера

Применение различных видов транспорта при отработке угольных брахисинклиналей predetermined балансом вскрышных пород, размещаемых в выработанном пространстве и компенсационных отвалах.

На начальных этапах отработки угольных брахисинклиналей дефицит приемной способности выработанного пространства минимален, что обеспечивает небольшие расстояния перемещения вскрышных пород.

При углублении горных работ дисбаланс объемов, вынимаемых вскрышных пород и выработанного пространства нарастает, и с достижением некоторого критического значения глубины карьера применение автотранспорта для перемещения вскрышных пород в компенсационные отвалы становится экономически неэффективным. Снизить затраты на перемещение вскрышных пород в таких условиях возможно посредством ввода магистральных видов транспорта, в зоны верхних и частично средних рабочих горизонтов, обладающих максимальной транспортной работой. Под магистральными видами транспорта понимаются конвейерный и железнодорожный. Данные виды транспорта имеют кратно меньшую себестоимость 1 т·км перемещения карьерных грузов.

Вскрышные породы, перемещаемые с группы нижних горизонтов, при отработке залежей, представленных брахисинклинальными структурами должны полностью размещаться в выработанном пространстве карьера. Таким образом, при отработке брахисинклиналей целесообразно использовать магистральные виды транспорта для перемещения пород не из нижней зоны, как для месторождений с наклонным и крутым залеганием полезного ископаемого, а из верхней и частично средней зон карьера. Систематизация условий использования различных видов транспорта в зависимости от углов падения залежей приведена в таблице 3.1.

С увеличением глубины карьера, границы зон использования различных видов транспорта изменяются. Автотранспорт концентрируется на нижних и средних гипсометрических уровнях карьера, и его зона действия остается относительно постоянной (const), а зона использования магистральных видов транспорта со временем расширяется. На рисунке 3.14 показаны зоны использования различных видов транспорта для Черниговского разреза.

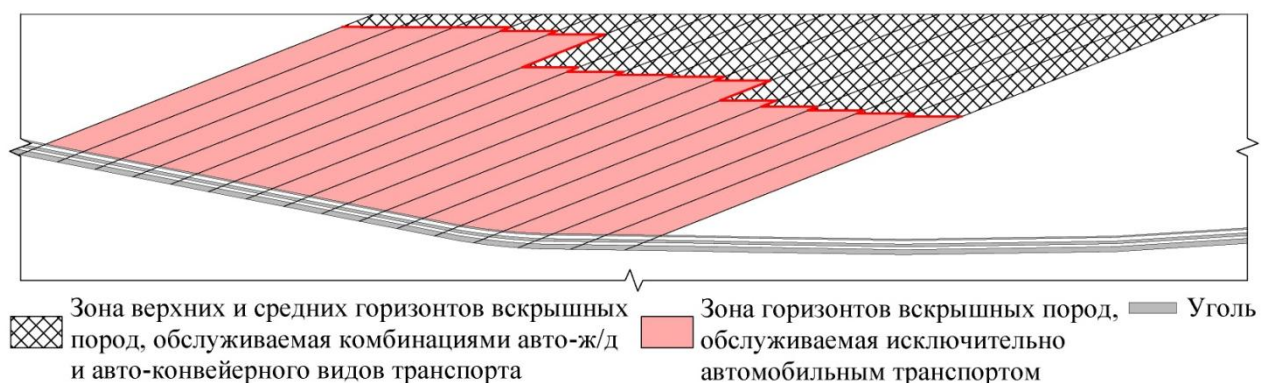


Рисунок 3.14 – Сечение рабочей зоны разреза «Черниговский» с нанесенными участками работы различных видов транспорта [58]

Таблица 3.1 – Систематизация условий перемещения вскрышных пород по высоте рабочей зоны карьера в зависимости от углов падения залежей

| Угол падения залежей, град. | Размещение вскрышных пород                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Тенденция изменения средневзвешенных расстояний перемещения вскрышных пород                                                                                                                                           | Глубина карьеров, м | Основные применяемые виды транспорта                                                                                                  | Обслуживаемая группа вскрышных горизонтов и направления перемещения пород                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 0–14°                       | Вскрышные породы полностью размещаются в выработанном пространстве                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Относительно стабильная длина перемещения в начале эксплуатации месторождения с последующим увеличением и возможностью дальнейшей стабилизации или уменьшения транспортирования пород на завершающих этапах отработки | 100–150             | Конвейерный, железнодорожный и автомобильный (в различных сочетаниях). Бестранспортная перевалка пород в зоне нижних горизонтов       | Все вскрышные горизонты                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|                             | Верхняя и частично средняя группа рабочих горизонтов обслуживается железнодорожным транспортом с перемещением пород во внешние и внутренние отвальные массивы. Автомобильным транспортом – средняя и нижняя группа горизонтов с перемещением пород во внутренний отвал. Возможно использование одного вида транспорта для всех обрабатываемых вскрышных горизонтов |                                                                                                                                                                                                                       |                     |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|                             | Вскрышные породы частично размещаются в выработанном пространстве, частично в компенсационных и внешних отвалах                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       | 200–300             | Автомобильный, железнодорожный, комбинированный автомобильно-железнодорожный. Ограниченное применение бестранспортной перевалки пород | Верхняя группа горизонтов обрабатывается с использование железнодорожного транспорта с перемещением пород во внешний или компенсационный отвал. Средняя – комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом с перемещением пород во внешний компенсационный отвал. Нижняя и частично средняя – автомобильным транспортом с перемещением пород во внутренний отвал. Возможно использование автомобильного транспорта на всей группе горизонтов |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |                     |                                                                                                                                       | Более 300                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Автомобильный, железнодорожный, конвейерный, комбинированный автомобильно-железнодорожный и автомобильно-конвейерный | Частично верхняя группа горизонтов обрабатывается с использование железнодорожного и автомобильно-железнодорожного транспорта с перемещением пород во внешний или компенсационный отвал. Частично верхняя и преимущественно средняя группа горизонтов обрабатывается с использование комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта с перемещением пород во внешний или компенсационный отвал. Нижняя и частично средняя группа горизонтов обрабатывается с использованием автомобильного транспорта с перемещением пород во внутренний отвал |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |                     |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |                     |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |

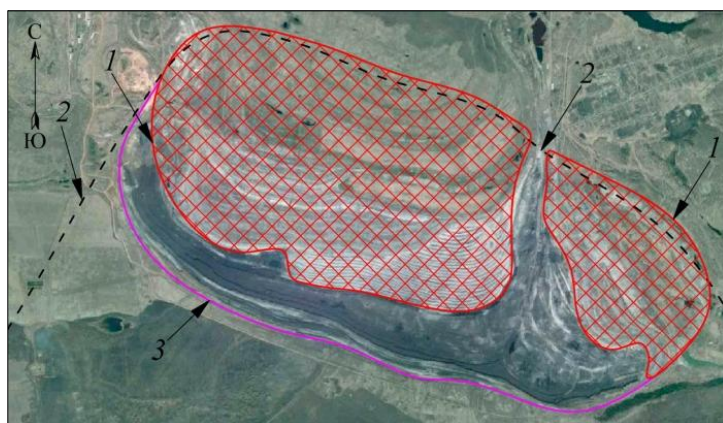
| Угол падения залежей, град.    | Размещение вскрышных пород                                                                                                                                                                                                                                         | Тенденция изменения средневзвешенных расстояний перемещения вскрышных пород                                                                    | Глубина карьеров, м | Основные применяемые виды транспорта                                                                                 | Обслуживаемая группа вскрышных горизонтов и направления перемещения пород                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Более 14°                      | Отсутствует возможность размещения вскрышных пород в выработанном пространстве. Весь объем вскрышных пород размещается во внешних отвалах                                                                                                                          | Постепенное нарастание длины перемещения пород с увеличением глубины отработки месторождения                                                   | 100–150             | Автомобильный и (или) железнодорожный                                                                                | Верхняя и частично средняя группа рабочих горизонтов обслуживается железнодорожным и автомобильным транспортом. Комбинация автомобильного и железнодорожного видов транспорта используется в зоне средних и нижних горизонтов. Возможно использование автомобильного и (или) железнодорожного транспорта на всей группе горизонтов |
|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                | 200–300             | Автомобильный, железнодорожный, комбинированный автомобильно-железнодорожный                                         | Верхняя и частично средняя группа горизонтов отрабатывается с использованием железнодорожного и автомобильного транспорта. Частично средняя и нижняя – комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом. Возможно использование автомобильного транспорта на всей группе горизонтов                                        |
|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                | Более 300           | Автомобильный, железнодорожный, конвейерный, комбинированный автомобильно-железнодорожный и автомобильно-конвейерный | Верхняя группа горизонтов отрабатывается с использованием железнодорожного и автомобильного транспорта. Средняя – комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом. Нижняя – комбинированным автомобильно-конвейерным транспортом. Возможно использование автомобильного транспорта на верхней и средней группе горизонтов |
| Сложное залегание (переменный) | На различных этапах отработки изменяются условия внутреннего отвалообразования от невозможности его применения до частичного или даже полного размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Часть вскрышных пород размещается во внешних отвалах | Переменный характер. Имеют место различные тенденции, как относительно стабильные расстояния перемещения пород, так и возрастание (уменьшение) | До 400              | Автомобильный, железнодорожный, конвейерный и их комбинации                                                          | Используются различные комбинации вышеописанных вариантов в зависимости от этапа отработки месторождения                                                                                                                                                                                                                           |

### 3.4. Опыт создания отвалов во внутренних контурах крупных угольных месторождений

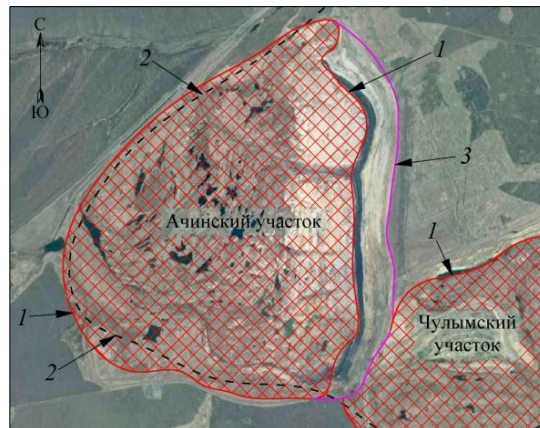
Возможность формирования отвальных массивов во внутренних контурах брахисинклиналей является одним из наиболее значимых способов регулирования транспортной работы карьера.

Технические решения по размещению отвальных массивов во внутренних контурах брахисинклиналей реализованы и планируются к реализации на ряде крупных угольных месторождений (Экибастузское, Кедровско-Крохалевское, Соколовское, Ерковецкое и др.). Условия формирования отвальных массивов во внутренних контурах крупных брахисинклиналей можно систематизировать по ряду наиболее значимых факторов.

Первым здесь является классический тип внутренних отвалов, в которых размещается весь объем вскрышных пород, удаляемых при производстве горных работ. Однако для их формирования требуется ряд условий: значительная мощность пластов, благоприятные морфологические условия их залегания и относительно невысокие коэффициенты вскрыши ( $K_{\text{тек}} < 2,5 \text{ м}^3/\text{т}$ , тип I, см. таблицу 1.4). Данные условия имеют ограниченное число угольных месторождений (Бородинское, рисунок 3.15 а; Назаровское, рисунок 3.15 б; Березовское и др.).



а



б

Рисунок 3.15 – Внутренние отвалы, полностью располагаемые полностью в выработанном пространстве карьера (спутниковые снимки, <https://www.google.ru/maps/>):

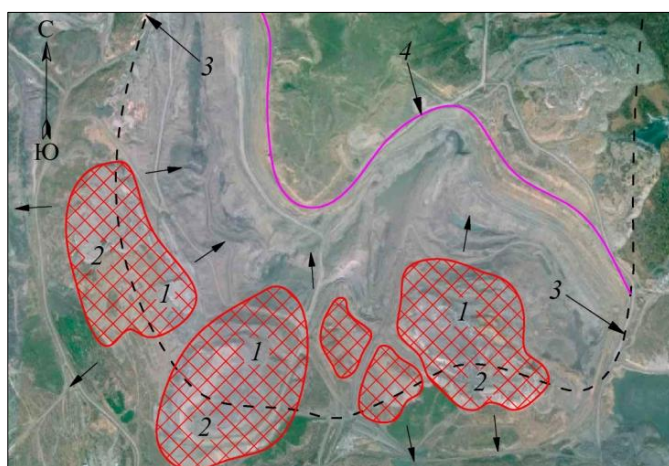
а) Бородинский разрез; б) Назаровский разрез: 1 – отвальные массивы; 2 – контур брахисинклинали; 3 – положение горных работ



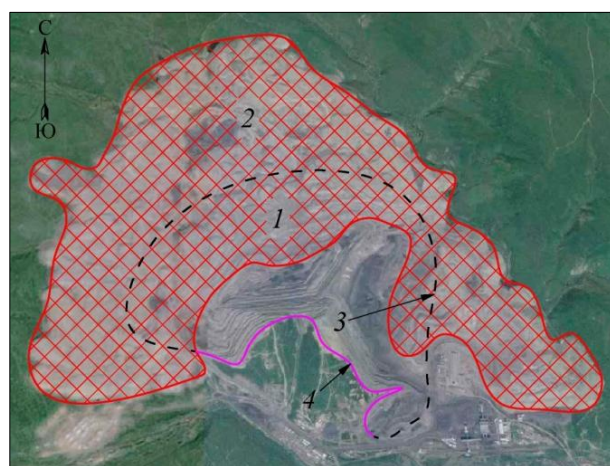
Для большинства угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами, с определенного этапа их развития, объем вскрышных пород, извлекаемых с рабочих горизонтов карьера, начинает превышать приемную способность выработанного пространства карьера (см. п. 2.5).

В таких условиях развитие внутреннего отвала идет по иному сценарию. На определенном этапе разработки высота внутренних отвалов начинает превышать уровень рельефа, существовавшего до отработки месторождения, а их контуры выходят за границы карьерного поля.

Формируется компенсационный отвал, частично располагаемый в выработанном пространстве карьера (внутренняя часть отвала), частично за контурами карьерного поля (внешняя часть отвала). Примерами здесь могут служить карьеры, отрабатывающие Кедровско-Крохалевское (рисунок 3.16 а), Нерюнгринское (рисунок 3.16 б), Талдинское, Шубаркольское, Борлинское, Соколовское и др. месторождения.



а



б

Рисунок 3.16 – Компенсационные отвальные массивы: а) Кедровский разрез; б) Нерюнгринский разрез (спутниковые снимки, <https://www.google.ru/maps/>): 1 – внутренняя часть компенсационного отвала; 2 – внешняя часть компенсационного отвала; 3 – контур брахисинклинали; 4 – положение горных работ; стрелками показаны направления развития отвалов

Развитие внешней части компенсационного отвала направлено в сторону, противоположную ведению горных работ, что ведет к прогрессивному увеличению расстояний перемещения вскрышных пород (транспортной работы карьера). Последнее

предопределяет поиск альтернативных решений по компоновке отвальных полей и создание схем вскрытия, обеспечивающих стабилизацию и снижение транспортной работы карьера.

Одним из таких решений является формирование отвалов во внутренних контурах отрабатываемых месторождений и создание со стороны рабочих бортов специальных схем вскрытия, обеспечивающих перемещение вскрышных пород на вышесказанные отвалы. На ряде крупных угольных месторождений существуют зоны, которые нецелесообразно вовлекать в отработку открытым способом. Данные зоны обычно планируются для отработки подземным способом. В ряде случаев в контурах вышесказанных зон планируется создание отвальных массивов для укладки вскрышных пород. Примерами здесь являются Кедровско-Крохалевское (рисунок 3.17), Соколовское, Шоптыкольское и др. угольные месторождения.

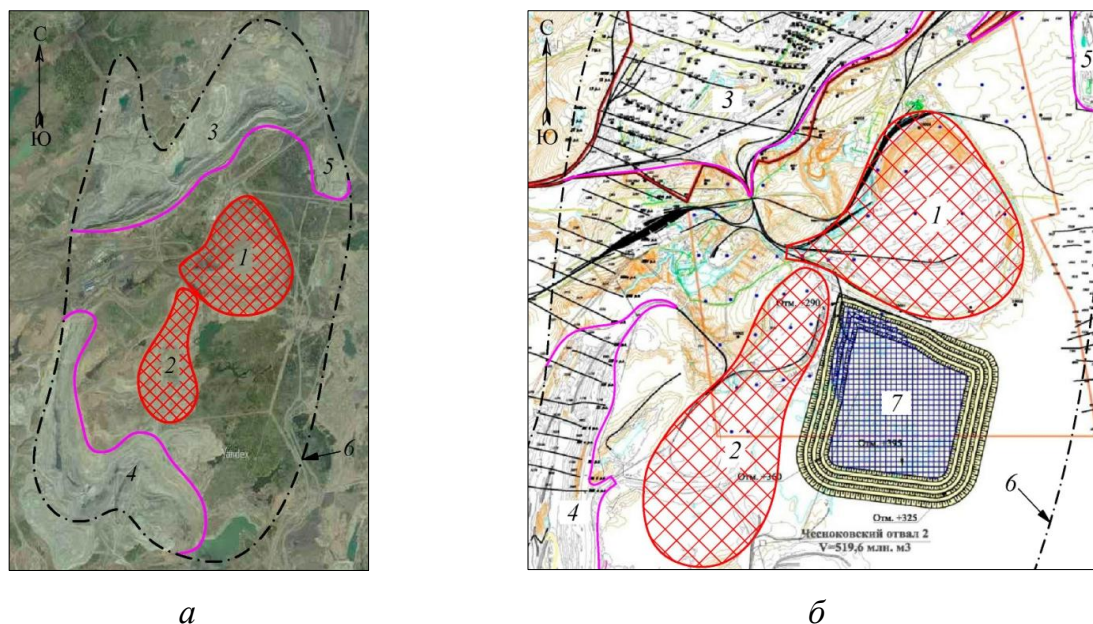


Рисунок 3.17 – Отвальные массивы, сформированные над запасами глубоких горизонтов Кедровско-Крохалевского угольного месторождения (потенциальная зона подземной отработки,  $K_{cp} > 30 \text{ м}^3/\text{т}$ ): а) текущая ситуация (спутниковый снимок, <https://maps.yandex.ru/>); б) проработки по формированию нового отвала (7) в потенциальной зоне подземной разработки: 1 – Чесноковский отвал, образованный при отработке северной части брахисинклинали (разрез «Черниговский»); 2 – отвалы разреза «Кедровский», сформированные при разработке южной части брахисинклинали; 3 – разрез «Черниговский»; 4 – разрез «Кедровский»; 5 – прирезаемый участок Крохалевский-2 (Северный Кузбасс); 6 – контур Кедровско-Крохалевской брахисинклинали

Создание отвалов во внутренних контурах брахисинклиналей возможно также в случаях, когда на месторождениях имеются обширные безугольные зоны.

Помимо стационарных отвальных массивов во внутреннем контуре крупных угольных и рудных месторождений могут быть сформированы временные отвалы, перенос которых возможен на поздних этапах их эксплуатации (обычно через 10–15 лет). Примерами здесь являются временные породные отвалы, сформированные в периоды горно-капитальных работ и в процессе эксплуатации Экибастузского, Олонь-Шибирского, Бачатского и ряда других угольных месторождений. Условия размещения временных («промежуточных») отвалов во внутренних контурах месторождений исследовались В.С. Хохряковым в работе [86] (рисунок 3.18). Дальнейшее развитие и обоснование условий временного отвалообразования нашло отражение в работе Я.О. Литвина [30]. Целесообразность создания временного отвала В.С. Хохряковым оценивается на базе выражения:

$$\Pi \geq \mathcal{E} - 3_{\text{т}} - 3_{\text{э}} - 3_{\text{о}}, \text{ руб.}, \quad (3.10)$$

где  $\Pi$  – чистая дисконтированная экономия, полученная от применения временных отвалов, руб.;

$\mathcal{E}$  – сэкономленные средства в первые годы отработки месторождения, руб.;

$3_{\text{т}}$ ,  $3_{\text{э}}$ ,  $3_{\text{о}}$  – дисконтированные затраты на транспортирование, экскавацию, отвалообразование пород на этапе их переноса из контуров перспективной отработки, руб.

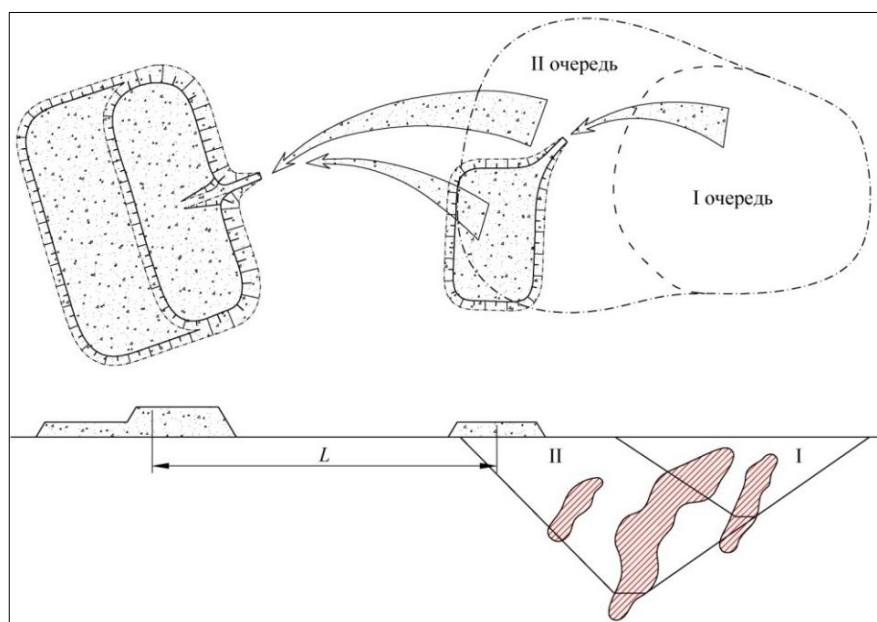


Рисунок 3.18 – Схема размещения временного отвала во внутреннем контуре месторождения: I, II – очереди (этапы) отработки месторождения;  $L$  – величина сокращения расстояния транспортирования при доставке пород в промежуточный отвал [86]



При  $\Pi \leq 0$  размещение временного отвала во внутреннем контуре месторождения нецелесообразно.

Создание временных отвалов обосновано минимизацией текущих затрат, имеющих приоритет над затратами будущих периодов. Расходы на перенос временных отвалов, как правило, меньше за счет использования для этих целей более совершенных комплексов оборудования и инженерных решений.

Формирование временных отвалов в контурах угольных брахисинклиналей в значительной степени определяется расположением основного продуктивного пласта и пластов-спутников, подлежащих разработке.

В случае если производство работ осуществляется по почве основного пласта, и он расположен на нижних гипсометрических уровнях месторождения, создаются наиболее благоприятные условия для размещения вскрышных пород в выработанном пространстве (рисунок 3.19 *а*). Однако такие условия встречаются редко.

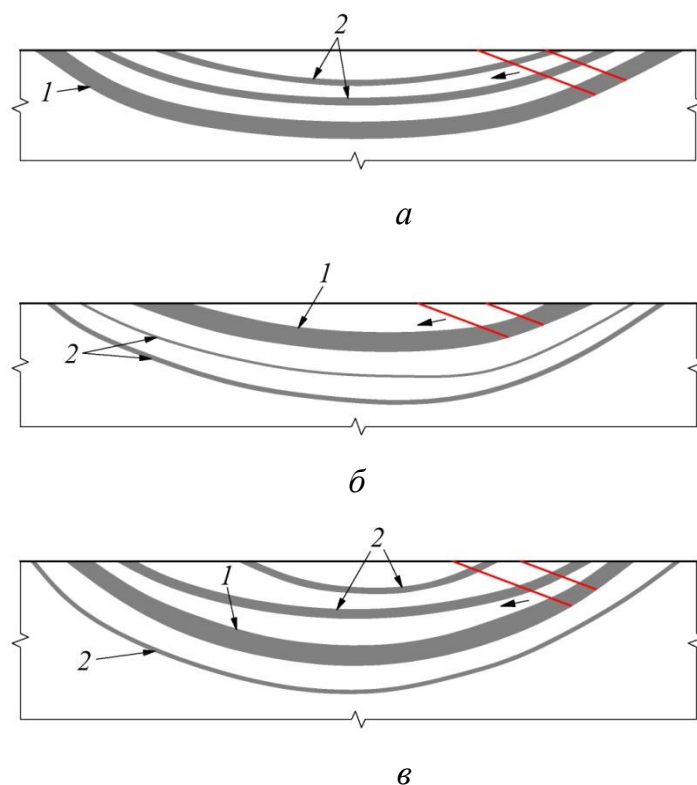


Рисунок 3.19 – Варианты расположения основного продуктивного пласта (1) относительно других пластов свиты (2) с балансовыми запасами: *а*) основной пласт располагается на нижних гипсометрических отметках; *б*) основной пласт располагается на верхнем уровне угольной свиты; *в*) основной пласт располагается на среднем уровне угольной свиты [67]

В практике отработки угольных брахисинклиналей наиболее часто имеют место случаи, когда основной пласт или группа пластов располагаются на верхних и средних уровнях угольной свиты, а группа пластов-спутников под ними (рисунок 3.19 б, в). В таких случаях отработка нижних пластов часто становится фактором, сдерживающим размещение вскрышных пород в выработанном пространстве. Горная практика имеет примеры формирования внутренних отвальных массивов в вышесказанных условиях.

Разработка угольных брахисинклиналей, представленных свитой пластов, начинается с верхней зоны (Талдинское, Олонь-Шибирское, Соколовское и др. месторождения). Крупное месторождение делится на ряд участков, отрабатываемых вначале в центральной, а затем в периферийных частях (рисунок 3.20).

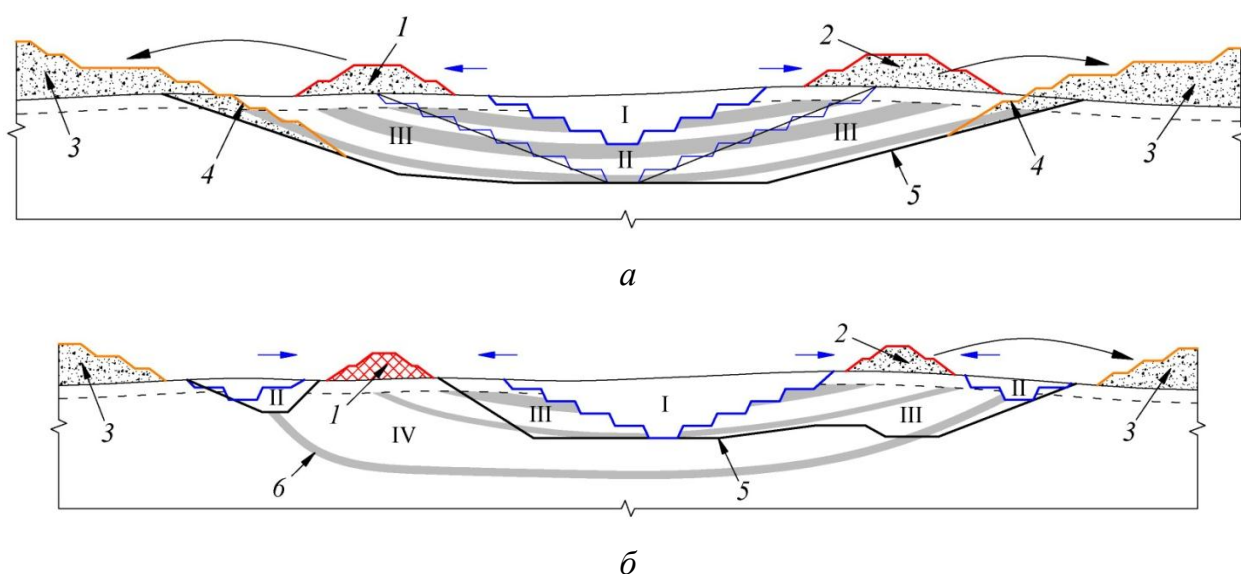


Рисунок 3.20 – Схемы размещения временных отвальных массивов при отработке угольных брахисинклиналей, представленных свитой пластов: а) с последующим переносом отвалов при отработке нижних пластов свиты; б) с частичным переносом отвалов и доработкой нижних пластов свиты подземным способом: 1, 2 – временные отвалы, располагаемые во внутреннем контуре брахисинклинали; 3 – внешние отвалы, формируемые за предельным контуром открытых горных работ; 4 – внутренние отвалы, формируемые при отработке нижних пластов свиты; 5 – конечный контур открытой разработки; 6 – пласт, отрабатываемый подземным способом; I–III – этапы отработки месторождения открытым способом; IV – этап отработки подземным способом; синими стрелками показаны направления развития горных работ; черными – направления перемещения временных отвалов

Этот принцип отработки и размещения вскрышных пород во многих случаях имеет экономическое и экологическое оправдание, т. к. позволяет улучшить режим горных работ, значительно сократить расстояния перемещения вскрышных пород из карьера и уменьшить площадь изъятия земель под внешние отвалы.

Добыча нижних пластов свиты возможна по следующим сценариям:

- временные отвалы полностью переносятся частично за предельный контур карьера и частично в выработанное пространство, формируемое при отработке группы нижних пластов;
- временные отвалы переносятся только частично (1, рисунок 3.20, б), а доработка нижней свиты пластов осуществляется подземным способом.

Примером создания временного отвала с последующим его переносом является Тугнуйский разрез (Олонь-Шибирское месторождение, рисунок 3.21). На рисунке 3.21 стрелками показано перемещение временного отвала частично в выработанное пространство, формируемое при отработке нижних пластов свиты, частично за предельный контур карьера.

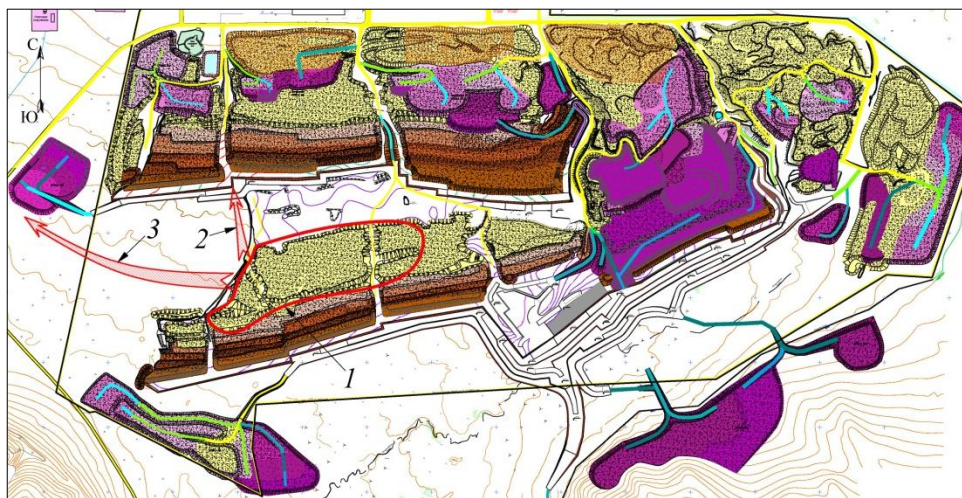


Рисунок 3.21 – Перенос временного отвала при отработке нижних пластов Олонь-Шибирского месторождения (разрез «Тугнуйский»): 1 – временный отвал; 2 – направление перемещения вскрышных пород из временного отвала в стационарный внутренний отвал, формируемый при отработке нижних пластов угольной свиты; 3 – направление перемещения вскрышных пород из временного отвала в стационарный внешний отвал

Формирование временных отвалов внутри контура брахисинклинали выполняется при эксплуатации Соколовского месторождения (рисунок 3.22). Целесообразность

переноса отвалов (4, см рисунок 3.22) окончательно не определена, что обосновано значительными объемами вскрышных работ и затратами на их выполнение. Проектные проработки ООО «СИГД» свидетельствуют, что одним из наиболее вероятных вариантов решений здесь будет разработка нижних пластов подземным способом.

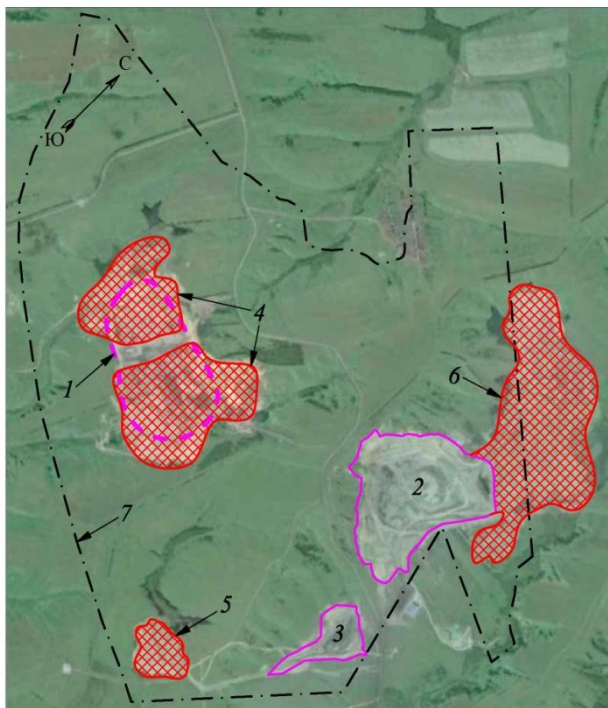


Рисунок 3.22 – Отвальные массивы, располагаемые в контуре отработки Соколовской брахисинклинали, сформированные при завершении горных работ по верхним пластам свиты (спутниковый снимок, <https://www.google.ru/maps/>): 1 – контур отработки разрезов «Энергетик» и «Майский» (недействующие); 2 – разрез «Первомайский» (действующий); 3 – разрез «Купринский-2» (действующий); 4 – временные отвальные массивы, сформированные при отработке разрезов «Энергетик» и «Майский», решение по переносу которых не принято; 5 – временный отвальный массив, сформированный при строительстве разреза «Купринский-2»; 6 – отвальный массив, сформированный при отработке разреза «Первомайский»; 7 – проектный контур открытой отработки месторождения (по данным института «Кузбассгипрошахт»)

Иными факторами продиктовано расположение отвального массива во внутреннем контуре Экибастузского каменноугольного месторождения. Этот случай является «уникальным» в горной практике. Над запасами, которые целесообразно отрабатывать открытым способом, формируется отвальный массив объемом около 1 млрд м<sup>3</sup> (рисунок 3.23).



Вышеприведенное решение продиктовано тем, что запасы данной зоны месторождения планируются к отработке в очень дальней перспективе (через 45 лет). За столь значительный временной интервал, возможно освоение альтернативных источников энергии, которые сделают разработку запасов к моменту их ввода в эксплуатацию проблематичной.

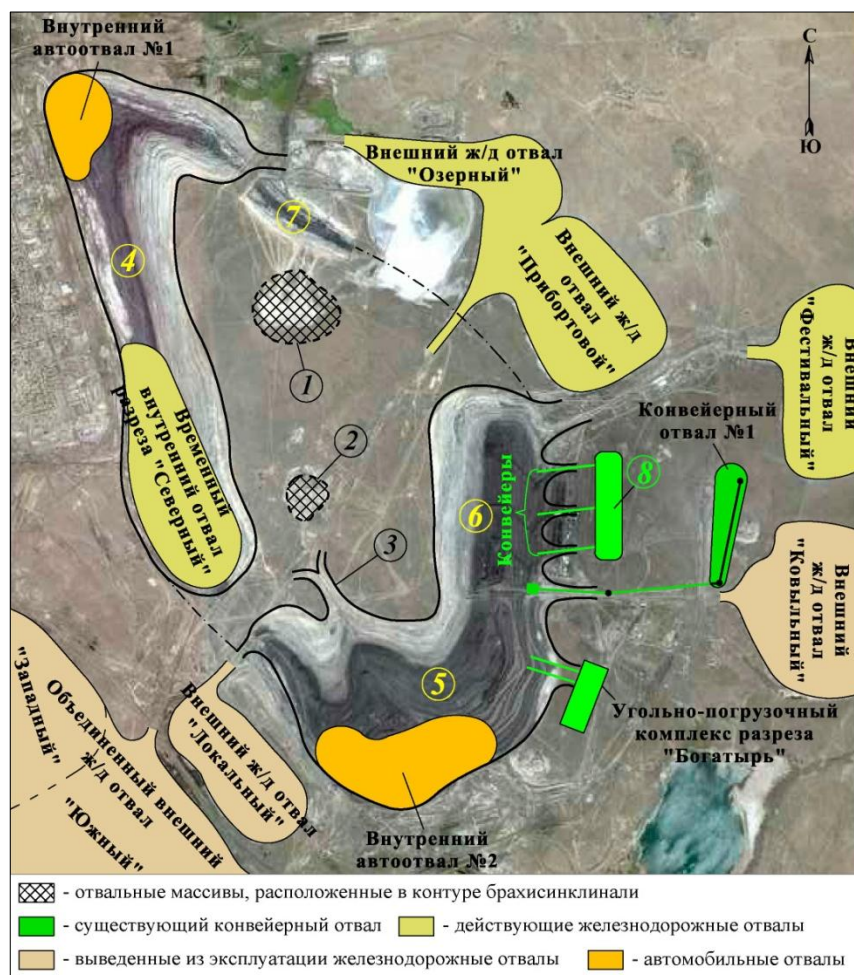


Рисунок 3.23 – Текущее и перспективное развитие отвальных массивов в Экибастузском каменноугольном бассейне (фоном рисунка является снимок из космоса, <http://maps.yandex.ru/>): 1 – породный отвал, формируемый во внутреннем контуре Экибастузской брахисинклинали; 2 – временный отвал строительного периода; 3 – капитальная траншея, заложенная со стороны рабочего борта разреза «Богатырь»; 4 – разрез «Северный»; 5 – разрез «Богатырь»; 6 – разрез «Восточный»; 7 – разрез «Екибастузский»; 8 – технологический (усреднительный) комплекс разреза «Восточный»

При освоении крупных брахисинклиналей имеется опыт создания прибортовых (внешних) отвалов. Целесообразность их использования появляется при подходе горных

работ к конечному контуру карьера, когда расстояния перемещения вскрышных пород в прибортовой отвал становятся меньше, чем во внутренние отвалы.

Целесообразность использования прибортовых отвалных массивов при отработке разреза «Тугнуйский» (Олонь-Шибирское месторождение) предложена в работе [68]. Динамику формирования прибортовых отвалов можно проследить на спутниковых снимках, сделанных на различных этапах производства горных работ (рисунок 3.24).

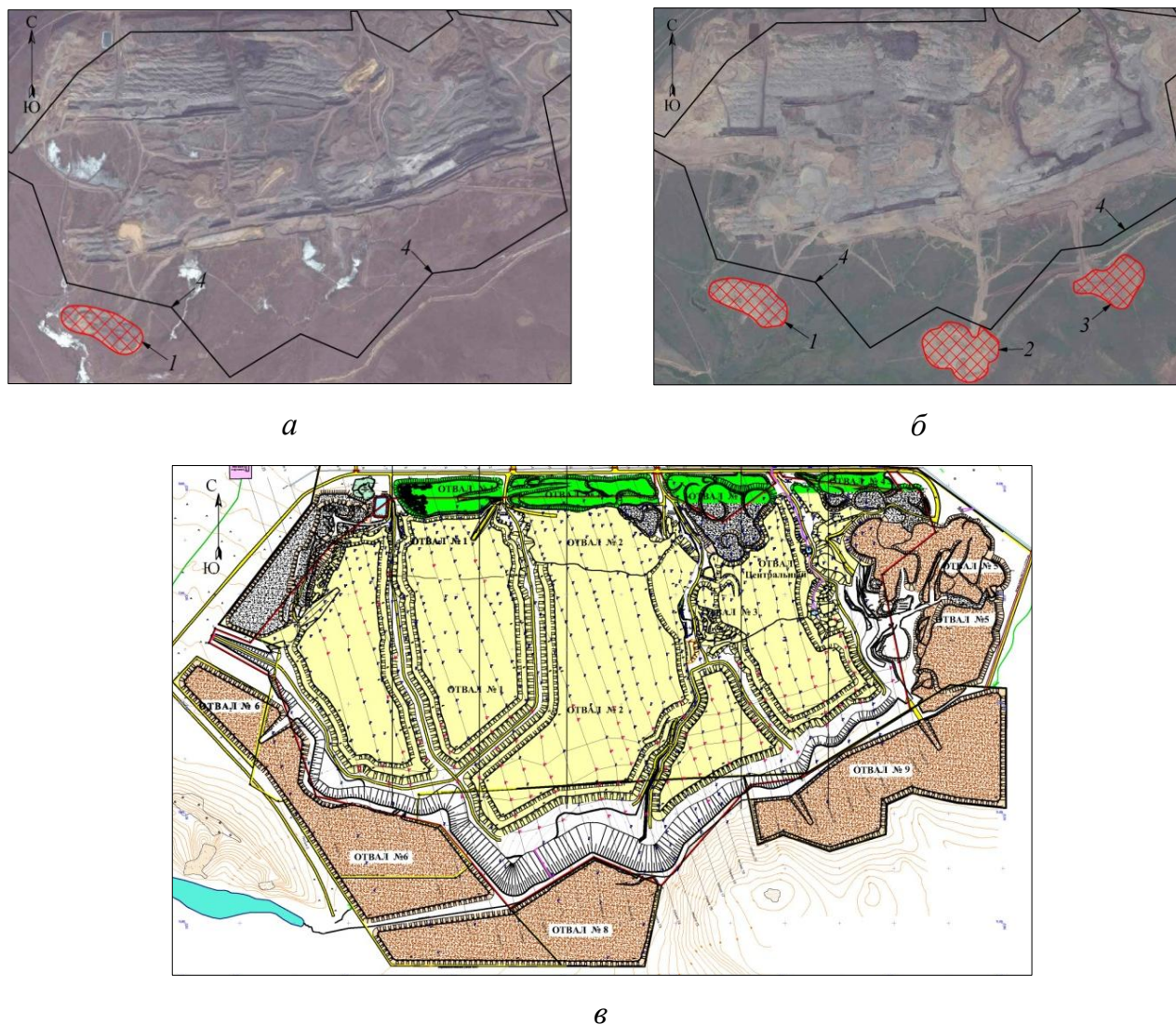
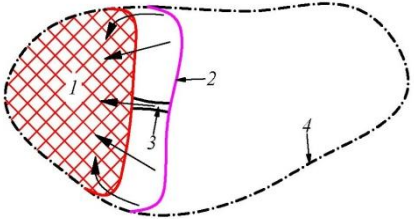
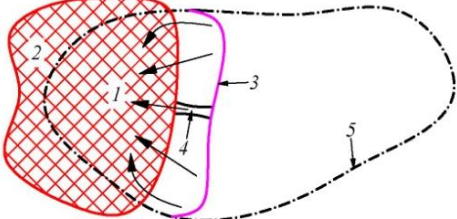
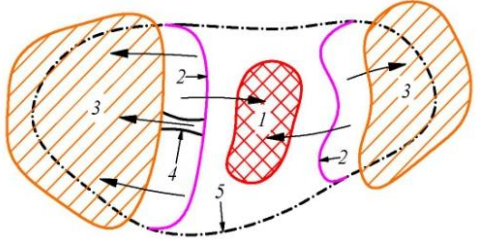


Рисунок 3.24 – Формирование прибортовых отвалов при подходе горных работ разреза «Тугнуйский» (Олонь-Шибирское месторождение) к конечному контуру отработки: а) создание прибортового отвала на западном фланге (1) карьерного поля; б) формирование двух дополнительных прибортовых отвалов в центральной (2) и восточной (3) частях карьерного поля (спутниковые снимки: <https://www.here.com/>; <http://www.bing.com/maps/>); 4 – предельный контур открытых работ; в) конечные контуры внешних прибортовых отвалов

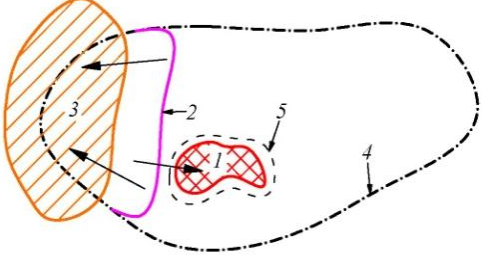
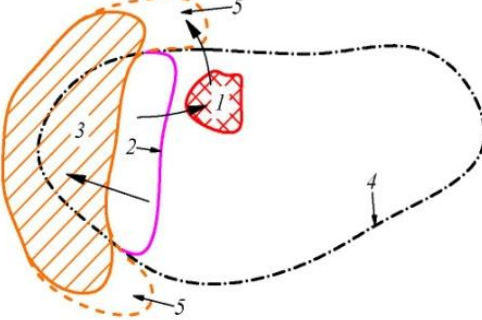
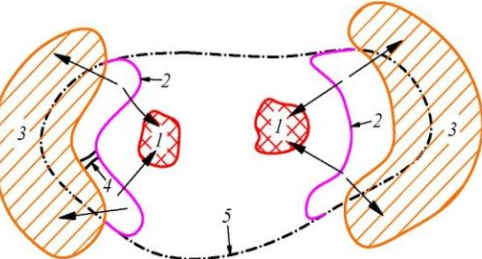


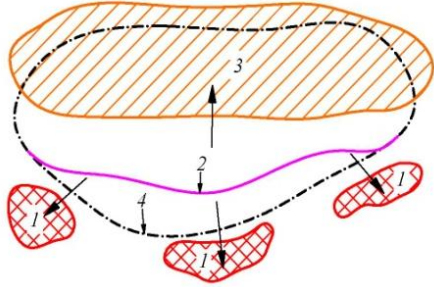
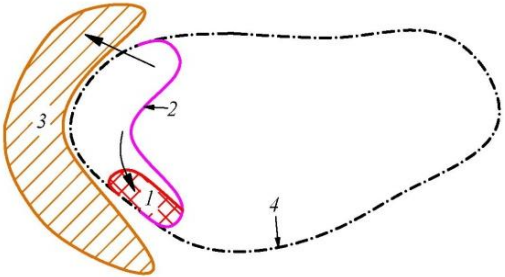
Разнообразие видов и назначений отвальных массивов, используемых при отработке угольных брахисинклиналей, позволяет систематизировать условия их применения (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Условия расположения и схемы формирования отвальных массивов, создаваемых во внутренних контурах крупных угольных брахисинклиналей и внешних прибортовых зонах карьерных полей

| Отличительные признаки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Конструктивные особенности                                                                                                                          | Схема расположения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I тип. Внутренние отвальные массивы</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Полностью размещаются в выработанном пространстве карьеров, отрабатывающих угольные брахисинклинали. Отсутствует дисбаланс выработанного пространства и укладываемых в него вскрышных пород                                                                                                                                                    | Отсыпаются на формируемый стационарный борт карьера со стороны лежачего бока залежи                                                                 |  <p>1 – внутренний отвальный массив; 2 – карьер; 3 – перемычка; 4 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p>                                                                                                     |
| <b>II тип. Компенсационные отвальные массивы</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Частично размещаются в выработанном карьерном пространстве, частично за контуром открытых работ. Образуются при наличии дисбаланса емкости выработанного пространства и вынимаемых объемов вскрышных пород. Вскрышные породы в зоне 1 и 2 с некоторого этапа разработки превышают уровень естественного рельефа, существовавшего до разработки | Зона 1 является внутренней частью отвала. Зона 2 формируется как внешний многоярусный отвал, создаваемый на рельефе, не нарушенном горными работами |  <p>1 – внутренняя часть компенсационного отвального массива (зона 1); 2 – внешняя часть компенсационного отвального массива (зона 2); 3 – карьер; 4 – перемычка; 5 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p> |
| <b>III тип. Отвальные массивы, размещаемые в зоне подземной отработки месторождений</b>                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Укладываются в стационарном положении во внутренних контурах угольных брахисинклиналей, планируемых к отработке подземным способом (как правило, это центральная зона месторождения с $K_{cp} > 30 \text{ м}^3/\text{т}$ )                                                                                                                     | Формируются как внешние отвалы на рельефе, не нарушенном горными работами, располагаемом в зоне отработки месторождения подземным способом          |  <p>1 – отвальный массив, располагаемый в зоне подземной отработки; 2 – карьеры; 3 – компенсационные отвалы; 4 – перемычка; 5 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p>                                       |



| Отличительные признаки                                                                                                                                                                                                                          | Конструктивные особенности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Схема расположения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IV тип.</b> Отвальные массивы, размещаемые в безугольных зонах, расположенных во внутреннем контуре месторождения                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Создание и местоположение данного типа отвальных массивов предопределяет наличие и морфология безугольных зон. Отвал имеет стационарное положение                                                                                               | Формируются как внешние отвалы на рельефе, не нарушенном горными работами                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  <p>1 – отвальный массив, размещаемый в безугольной зоне; 2 – карьер; 3 – компенсационный отвал; 4 – предельный контур открытых горных работ; 5 – контур безугольной зоны; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p>                                             |
| <b>V тип.</b> Временные отвальные массивы (по В.С. Хохрякову)                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Размещаются в перспективных зонах отработки открытым способом. Обеспечивают сокращение эксплуатационных затрат на перемещение вскрышных пород. При подходе горных работ к данным отвалам предполагается их перемещение в стационарное положение | Формируются как внешние отвалы на рельефе, не нарушенном горными работами. Располагаются над запасами полезного ископаемого, планируемого к отработке открытым способом                                                                                                                                                                                                                  |  <p>1 – временный отвальный массив, перемещаемый при подходе к нему горных работ; 2 – карьер; 3 – компенсационный отвал; 4 – предельный контур открытых горных работ; 5 – перспективные зоны отвалообразования; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p>       |
| <b>VI тип.</b> Отвальные массивы, формируемые во внутренних контурах крупных брахисинклиналей, которые планируется разрабатывать в дальней перспективе (более 40–50 лет)                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Данное решение обосновывается сокращением капитальных и эксплуатационных затрат в условиях, когда может принципиально измениться структура энергетического рынка                                                                                | Формируются как внешние отвалы на рельефе, не нарушенном горными работами. Располагаются в зоне, пригодной для отработки открытым способом. При подходе горных работ к данным отвалам, обосновывается целесообразность их перемещения. Если принимается решение по их переносу, то варианты направлений перемещения отвалов аналогичны условиям временного отвалообразования (см. V тип) |  <p>1 – отвальные массивы, сформированные в зоне, планируемой отработки через значительный временной интервал; 2 – карьеры; 3 – компенсационные отвалы; 4 – переключки; 5 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p> |

| Отличительные признаки                                                                                                                                                                                                                                     | Конструктивные особенности                                                | Схема расположения                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VII тип. Прибортовые отвальные массивы</b>                                                                                                                                                                                                              |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Отвальные массивы, располагаемые в непосредственной близости от конечного контура открытых работ (со стороны приближающегося к нему рабочего борта карьера).<br>Формируются в стационарном положении на поздних этапах эксплуатации угольных месторождений | Формируются как внешние отвалы на рельефе, не нарушенном горными работами |  <p>1 – прибортовые отвальные массивы; 2 – карьер; 3 – компенсационный отвал; 4 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p> |
| <b>VIII тип. Временные внутренние отвалы, располагаемые в выработанном карьерном пространстве</b>                                                                                                                                                          |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Располагаются в выработанном карьерном пространстве на участках, выводимых из эксплуатации на длительный период                                                                                                                                            | Формируются как внутренние отвалы в выработанном карьерном пространстве   |  <p>1 – временный внутренний отвал; 2 – карьер; 3 – внешний отвал; 4 – предельный контур открытых горных работ; стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород</p>           |
| <b>Сочетание различных типов отвальных массивов</b>                                                                                                                                                                                                        |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Отработка крупных брахисинклиналей в большинстве случаев осуществляется с формированием нескольких типов отвальных массивов                                                                                                                                | Различные варианты вышеприведенных конструктивных особенностей            | Комбинация вышеприведенных схем расположения отвалов                                                                                                                                                                                                                         |

### **Выводы по главе 3**

1. Для карьеров, отрабатывающих угольные месторождения, представленные брахисинклинальными структурами, максимальной величиной транспортной работы по перемещению вскрышных пород обладают верхние и частично средние группы горизонтов, составляющие 25–35 % от общей текущей высоты рабочей зоны карьера. Технические решения, направленные на снижение затрат на транспортирование вскрышных пород, в первую очередь должны рассматриваться для вышесказанных горизонтов.

2. Высота зон использования различных видов транспорта и их комбинаций изменяется во времени, что обусловлено смещением по глубине зон с максимальными значениями транспортной работы. Магистральные виды транспорта, обслуживающие верхнюю часть рабочей зоны карьеров со временем должны увеличивать высоту своего применения, при этом зона использования автотранспорта (средние и нижние горизонты) должна оставаться достаточно стабильной.

3. Во внутренних контурах большинства крупных угольных брахисинклиналей и внешних прибортовых контурах карьерных полей существуют площади, в которых возможно создание внешних отвальных массивов. По условиям формирования они разделяются на отвальные массивы, размещаемые в контурах подземной отработки, в безугольных зонах месторождений, площадях, планируемых к отработке в дальней перспективе (более 40 лет), а также на временные отвалы.

## 4. ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМ ВСКРЫТИЯ СО СТОРОНЫ РАБОЧИХ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

### 4.1. Основные условия формирования схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров

Стабилизировать и сократить затраты на транспортирование вскрышных пород карьера возможно путем создания вскрышных грузопотоков из зоны верхних и частично средних горизонтов посредством капитальных траншей, заложенных со стороны рабочих бортов, в отвалы, расположенные во внутреннем контуре отрабатываемого месторождения или внешней прибортовой зоне карьерных полей (см. таблицу 3.2).

На рисунке 4.1 показано положение горных работ, которое характеризует возможность создания вскрышного грузопотока, замыкаемого на отвал, расположенный во внутреннем контуре разрабатываемого месторождения.

На первом этапе отработки минимальные расстояния обеспечиваются при перемещении вскрышных пород в выработанное пространство (компенсационный отвальный массив,  $L_1^k$ , см. рисунок 4.1). Обратная тенденция наблюдается при транспортировании в отвал, расположенный со стороны рабочего борта, где длина перемещения на первом этапе  $L_1^p$  максимальна ( $L_1^k < L_1^p$ ).

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 на внешний отвал, расположенный во внутреннем контуре месторождения (см. рисунок 4.1).

С достижением третьего этапа расстояния транспортирования вскрышных пород во внешний отвал значительно уменьшаются  $L_{III}^k > L_{III}^p$ , что способствует увеличению доли вскрышных грузопотоков, направляемых через капитальную траншею со стороны рабочего борта карьера (см. рисунок 4.1).

Себестоимости перемещения вскрышных пород автомобильным  $C_a$  и магистральными (конвейерный  $C_k$ ; железнодорожный  $C_{ж/д}$ ) видами транспорта имеют значительные отличия. Их можно характеризовать следующими соотношениями:  $C_k = (0,25-0,4) C_a$ ;  $C_{ж/д} = (0,15-0,25) C_a$ .

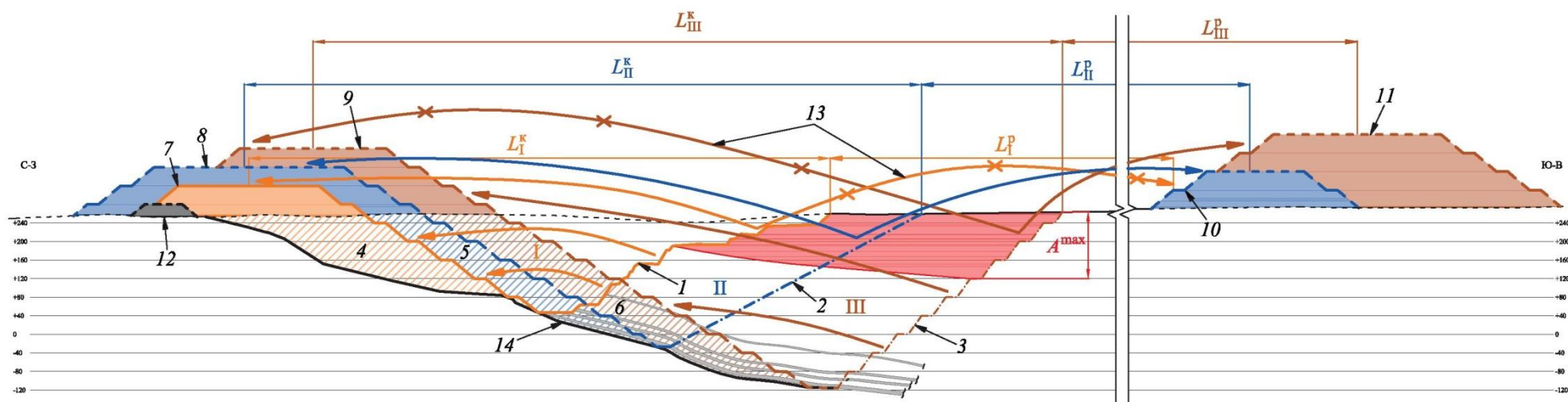


Рисунок 4.1 – Схема, иллюстрирующая условия расположения и этапность развития отвалов, на которые замыкаются вскрышные грузопотоки, создаваемые с использованием схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров: 1–3 – изменение положения рабочего борта; 4–6 – развитие внутренних отвалов; 7–9 – развитие компенсационных отвалов; 10, 11 – развитие внешнего отвала, располагаемого во внутреннем контуре месторождения; 12 – отвал строительного периода; 13 – нецелесообразные направления перемещения пород для соответствующих этапов развития горных работ; 14 – контур стационарного борта карьера; I–III – этапы отработки карьерного поля;  $L_1^к - L_3^к$  – изменение расстояний транспортирования в компенсационные отвалы;  $L_1^р - L_3^р$  – изменение расстояний перемещения во внешний отвал, располагаемый внутри контура месторождения;  $A^{\max}$  – зона горизонтов с максимальной транспортной работой (глубина траншеи  $H = A^{\max}$ ); стрелками показаны направления перемещения вскрышных пород

Исходя из сказанного, формирование грузопотоков со стороны рабочего борта с использованием магистральных видов транспорта, может быть реализовано на ранних этапах производства горных работ. Наиболее перспективным здесь можно считать конвейерный вид транспорта (Приложение Б).

При отработке брахисинклиналей со стороны крыльев складки, на определенном этапе развития горных работ вместо отвалов внутри контура месторождения могут быть сформированы прибортовые отвальные массивы (рисунок 4.2). Экономическая целесообразность их использования наступает на завершающих этапах отработки, когда  $L_{II}^K \approx L_{II}^P$  (см. рисунок 4.2). На рисунке 4.3 приведена схема размещения прибортовых отвалов Тугнуйского разреза.

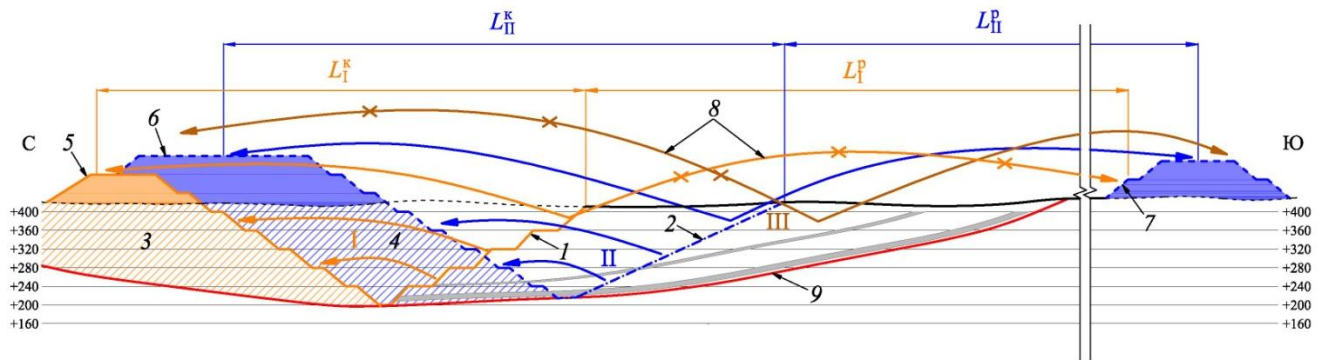


Рисунок 4.2 – Схема создания прибортового отвала при подходе горных работ к конечному контуру отработки месторождения: 1, 2 – изменение положения рабочего борта; 3, 4 – развитие внутренних отвалов; 5, 6 – развитие компенсационных отвалов; 7 – формирование прибортового отвала; 8 – нецелесообразные направления перемещения пород для соответствующих этапов развития горных работ; 9 – контур отработки месторождения;  $L_I^K, L_{II}^K$  – изменение расстояний транспортирования в компенсационные отвалы;  $L_I^P, L_{II}^P$  – изменение расстояний транспортирования в прибортовой отвал; I–III – этапы отработки карьерного поля

Эффективность перехода к формированию прибортовых отвалов может быть оценена по изменению длины перемещения вскрышных пород. Зона А характеризует эффективное использование внутреннего отвала, а зона В – прибортового отвала (рисунок 4.4).



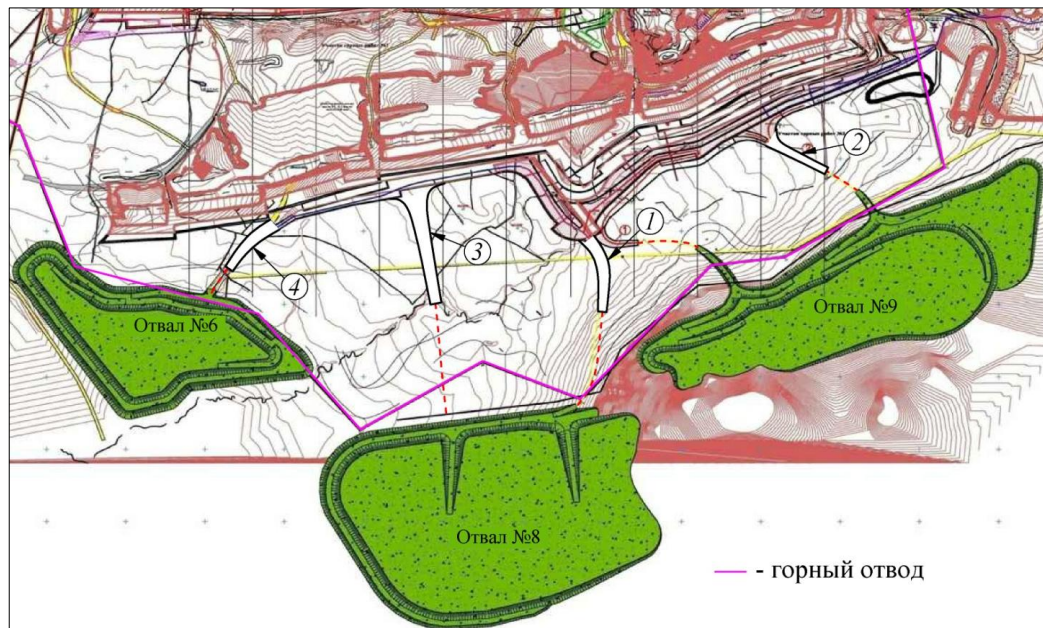


Рисунок 4.3 – Схема размещения прибортовых отвалов со стороны южного стационарного борта разреза «Тугнуйский»: 1–4 – капитальные траншеи, создаваемые со стороны рабочего борта карьера (реализованное техническое решение, Приложение В)

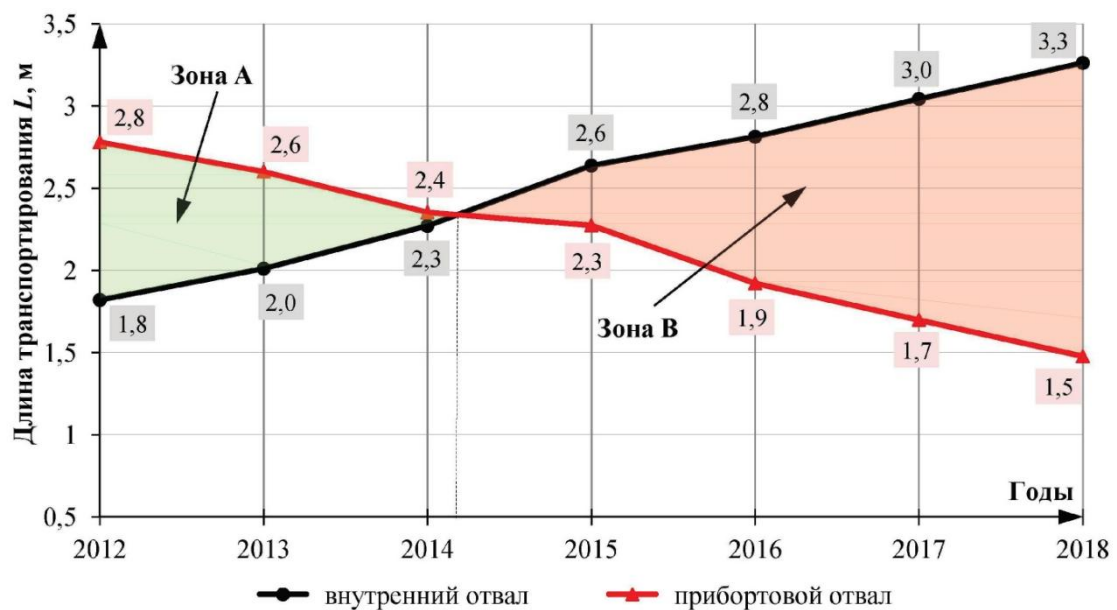


Рисунок 4.4 – Изменение расстояния транспортирования  $L$  вскрышных пород на внутренний и прибортовой отвалы для условий разреза «Тугнуйский»

Выполнено определение изменения эксплуатационных затрат на перемещение вскрышных пород для различных вариантов формирования схемы вскрытия и задействованных в эксплуатацию видов транспорта за 5-летний этап работы карьера со средним ежегодным объемом транспортирования вскрышных пород 75 млн м<sup>3</sup>.



В первом варианте транспортирование вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства, осуществляется в компенсационный отвал автотранспортом (90 % ежегодного объема транспортирования вскрышных пород перемещается автотранспортом, а 10 % – ж/д транспортом).

Во втором варианте происходит расширение применения магистральных видов транспорта (24 % конвейерный транспорт, 16 % железнодорожный транспорт) с перемещением вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства (24 %), через вскрывающую выработку, заложенную на рабочем борту карьера в отвал, располагаемый во внутреннем контуре месторождения. Полученные кривые изменения эксплуатационных затрат по каждому варианту приведены на рисунке 4.5.

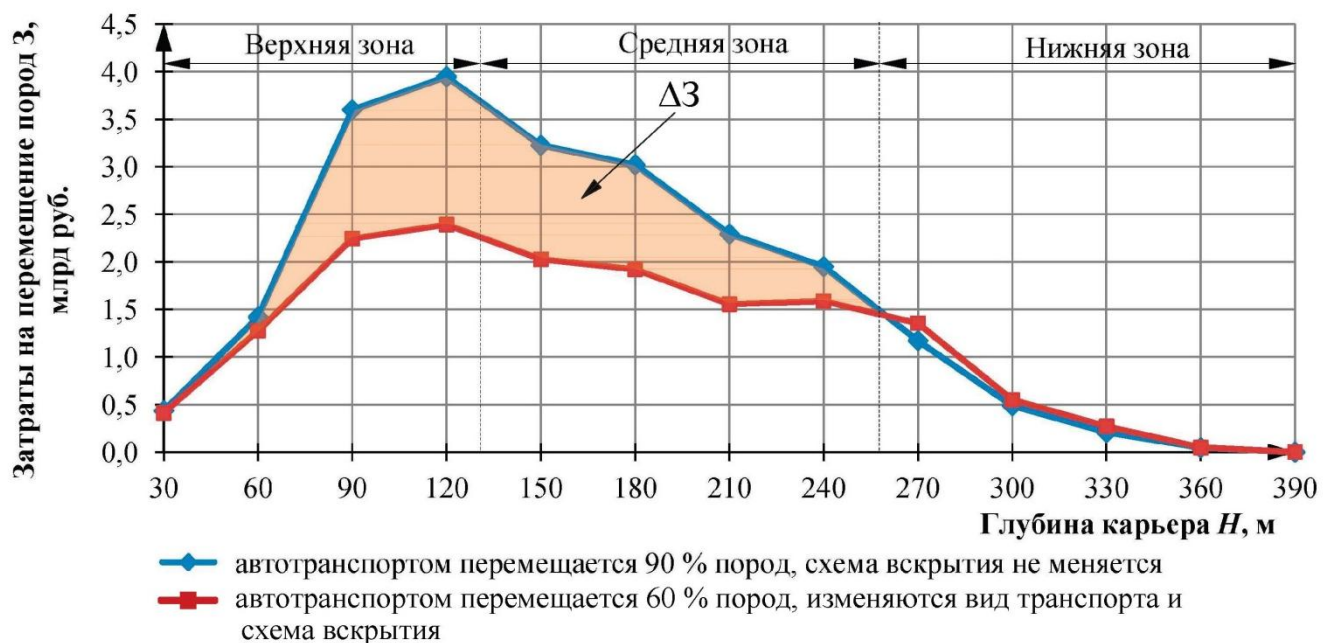


Рисунок 4.5 – Изменение эксплуатационных затрат при перемещении вскрышных пород:  $\Delta Z$  – величина снижения эксплуатационных затрат при переходе к использованию схем вскрытия со стороны рабочих бортов и расширения применения магистральных видов транспорта

Использование схем вскрытия горизонтов карьеров со стороны рабочих бортов с замыканием части вскрышных грузопотоков на ближайшие отвалы, и расширение использования магистральных видов транспорта в зоне с максимальными значениями транспортной работы, позволяет сократить эксплуатационные затраты на транспортирование вскрышных пород на 25–30 %.

#### 4.2. Обоснование мест заложения вскрывающих выработок со стороны рабочих бортов карьеров

При формировании схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров, зоны примыкания капитальных траншей к рабочим горизонтам должны выбираться с учетом динамики развития фронта горных работ. Наличие в пределах крупной брахисинклинали локальных складчатых нарушений предопределяет условия появления зон отработки, имеющих минимальные скорости подвигания рабочего фронта (рисунок 4.6, зона А). Эти зоны являются базовыми точками, к которым могут быть «привязаны» пункты примыкания капитальных траншей, сооружаемых со стороны рабочих бортов.

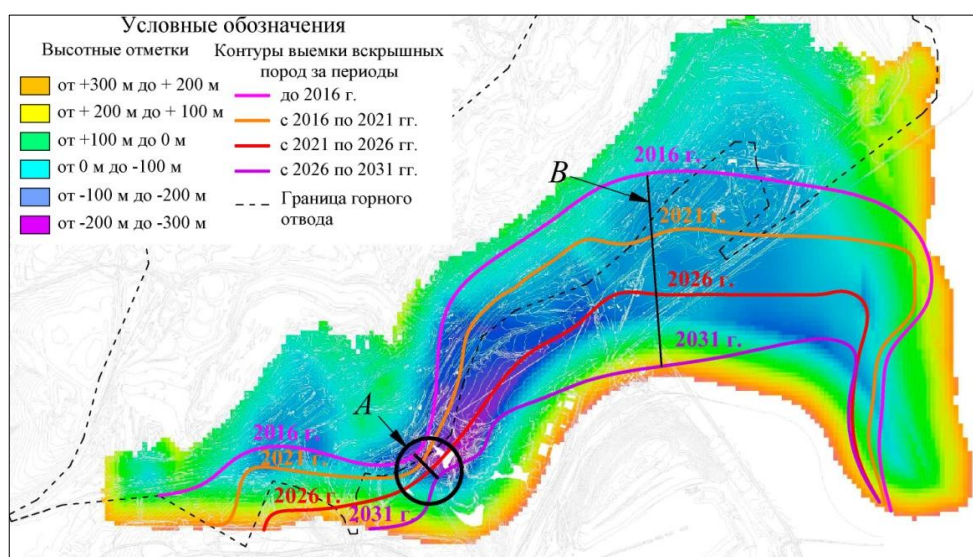


Рисунок 4.6 – Контурные пятилетних этапов развития разреза «Черниговский» по вскрышным породам: А – зона с минимальной скоростью подвигания фронта горных работ; В – зона с максимальной скоростью подвигания фронта горных работ

Примером такого плана решений является схема вскрытия разреза «Богатырь» (Экибастузский угольный бассейн). Предпосылками для использования глубокой траншеи со стороны рабочего борта стала прирезка нового карьерного поля № 9 к эксплуатационным участкам действующего разреза. При ликвидации транспортных целиков (перемычек) между карьерными полями № 5 и № 9, данная траншея обеспечила восстановление грузотранспортной связи вскрышных грузопотоков с внешними отвалами. Пункт примыкания траншеи выполнен в зоне складчатого нарушения (антиклинали карьерного поля № 5), имеющей минимальную скорость подвигания фронта горных работ (рисунок 4.7).

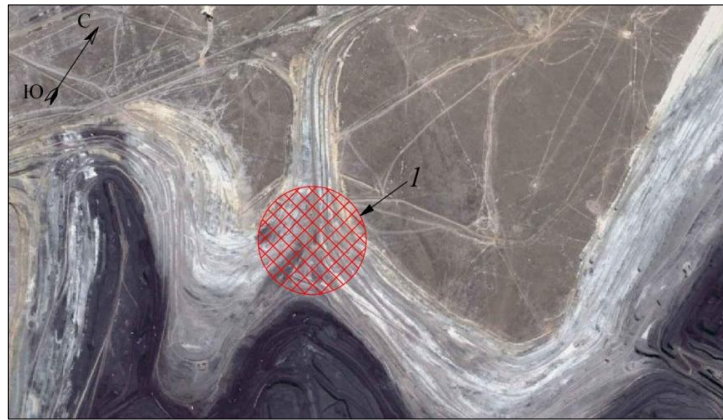


Рисунок 4.7 – Рабочий борт разреза «Богатырь» (Экибастузский угольный бассейн, спутниковый снимок, <https://www.google.ru/maps/>): 1 – пункт примыкания траншеи к рабочему борту карьера

В тех случаях, когда на месторождении не существует зон локальных складчатых нарушений, характеризующихся малой скоростью подвигания фронта горных работ, необходимо принимать иные технологические решения, обеспечивающие нормальные условия эксплуатации магистральных видов транспорта (конвейерного и ж/д) при формировании вскрышных грузопотоков со стороны рабочего борта карьера. Одним из таких решений является использование внешних капитальных траншей с горизонтальными вставками, обеспечивающими продолжительный срок ее эксплуатации.

При значительной динамике развития рабочей зоны карьера железнодорожный транспорт, в силу известных технологических ограничений, не может обеспечить требуемую скорость подвигания фронта горных работ. Альтернативным решением в таких условиях является применение конвейерного транспорта.

#### **4.3. Конструкция и условия эксплуатации внешних капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов**

Капитальная траншея, закладываемая со стороны рабочего борта карьера, представляет собой вскрывающую выработку, состоящую из двух участков: наклонного 1 и горизонтального 2 (рисунок 4.8). Горизонтальная часть траншеи с подвиганием фронта горных работ постепенно погашается, обеспечивая стационарность транспортных коммуникаций, расположенных на уклоне. Длина горизонтальной части, соотнесенная со скоростью подвигания фронта горных работ, предопределяет срок эксплуатации наклонного участка траншеи.

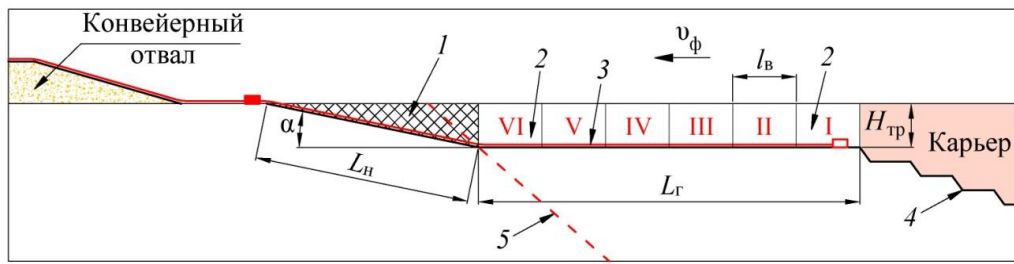


Рисунок 4.8 – Конструкция внешней траншеи с горизонтальными вставками, закладываемой со стороны рабочего борта карьера, при расположении в ней конвейера: 3 – магистральный конвейер, располагаемый в траншее; 4 – рабочий борт карьера; 5 – конечный контур карьера;  $H_{тр}$  – глубина траншеи;  $l_v$  – участок погашения горизонтальной вставки;  $v_{\phi}$  – скорость подвигания фронта горных работ;  $L_{г}$  – длина горизонтального участка траншеи;  $L_{н}$  – длина наклонного участка траншеи;  $\alpha$  – угол наклона траншеи; I–VI – этапы погашения горизонтальной вставки траншеи

Существует две основные схемы эксплуатации рассматриваемых траншей при использовании конвейерного транспорта. Первая схема предусматривает следующую организацию работ: экскаватор → мобильная дробильная установка → межступный перегружатель → забойный конвейер → магистральный конвейер (рисунок 4.9).

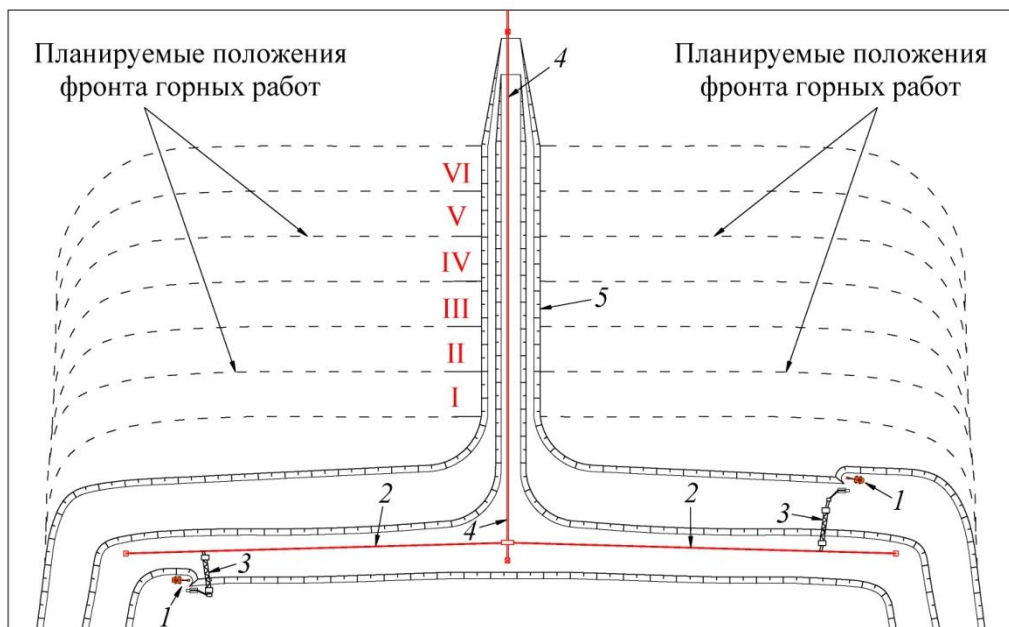


Рисунок 4.9 – Схема эксплуатации внешней траншеи с горизонтальными вставками, заложенной на рабочем борту карьера: 1 – экскаваторы, работающие в комплексе с мобильными дробильными установками; 2 – забойные конвейеры; 3 – межступные перегружатели; 4 – магистральный конвейер, расположенный в траншее; 5 – траншея с горизонтальными вставками; I–VI – этапы погашения горизонтальных вставок траншеи

Данная компоновка схемы эксплуатации траншеи позволяет достичь высоту рабочей зоны в 45–60 м. Увеличить высоту зоны, обслуживаемой конвейерным транспортом, можно за счет доставки вскрышных пород в створы отработанных экскаваторных заходов, расположенных на горизонтах, охватываемых рассмотренной технологической схемой.

Вторая схема базируется на использовании автомобильного транспорта и перегрузочного склада (рисунок 4.10). В непосредственной близости с мобильной дробильной установкой формируется перегрузочный склад, на который автотранспортом доставляются вскрышные породы из рабочей зоны карьера, обслуживаемой комплексом циклично-поточной технологии (ЦПТ). При данной организации работ, доставка вскрышных пород на конвейер осуществляется по схеме: забойный экскаватор → автотранспорт → перегрузочный склад → экскаватор на перегрузочном складе → мобильная дробильная установка → перегружатель → конвейерная система.

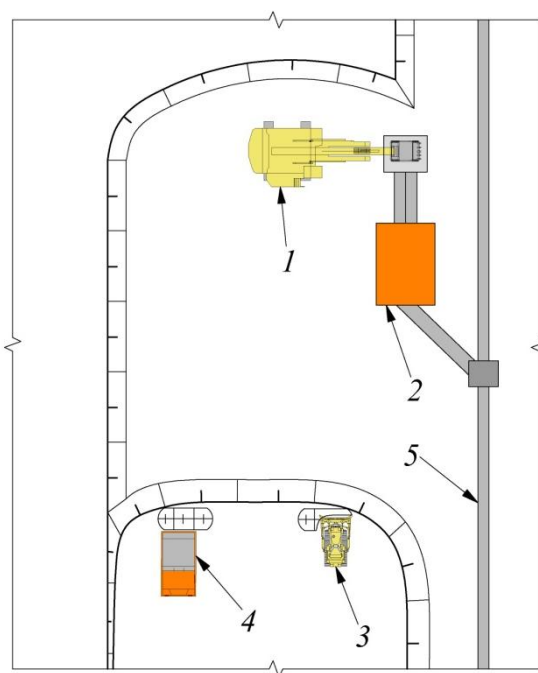


Рисунок 4.10 – Схема перегрузочного склада с автомобильного транспорта на конвейерный, при использовании мобильных дробильных установок: 1 – экскаватор; 2 – мобильная дробильная установка с перегружателем; 3 – бульдозер; 4 – автосамосвал; 5 – конвейер

Приведенная технологическая схема организации работ, подразумевает транспортирование вскрышных пород к перегрузочному складу только вдоль фронта



карьера, что исключает участки трасс в торцах и на отвалах. Последнее позволяет снизить длину транспортирования и себестоимость перемещения вскрышных пород автотранспортом. Капитальная траншея с горизонтальными вставками при второй схеме организации работ приведена на рисунке 4.11.

Положительный эффект внедрения в эксплуатацию мобильных дробилок с конвейерным транспортом заключается в исключении циклического транспорта (первая технологическая схема) или минимизации расстояний перемещения вскрышных пород автомобильным транспортом (вторая технологическая схема).

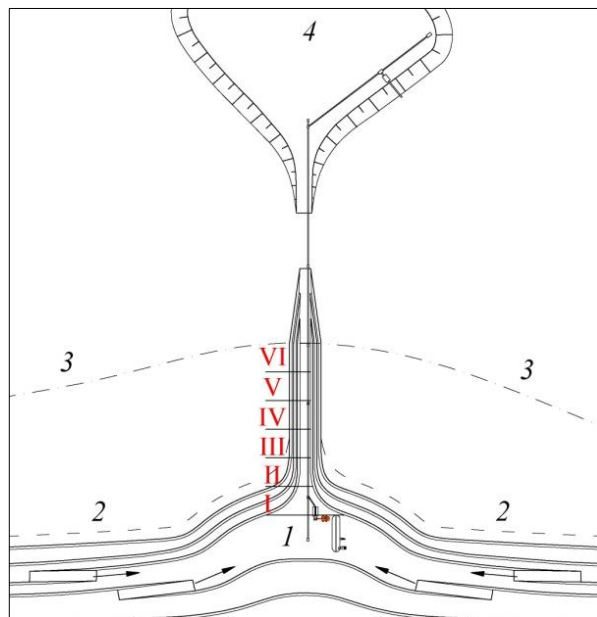


Рисунок 4.11 – Эксплуатация траншеи с горизонтальными вставками по второй технологической схеме организации работ: 1 – концентрационный горизонт с перегрузочным складом; 2 – планируемое положение фронта горных работ; 3 – конечный контур карьера; 4 – конвейерный отвал; I–VI –этапы погашения горизонтальных вставок траншеи; стрелками показаны направления грузопотоков к перегрузочному складу

#### **4.4. Оптимизация параметров капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров**

Основными параметрами траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров, являются их глубина и длина горизонтальных вставок (горизонтальной части). Нижняя отметка заложения траншеи определяется уровнем расположения группы горизонтов с максимальными значениями транспортной работы ( грузооборота) карьера (рисунок 4.12).

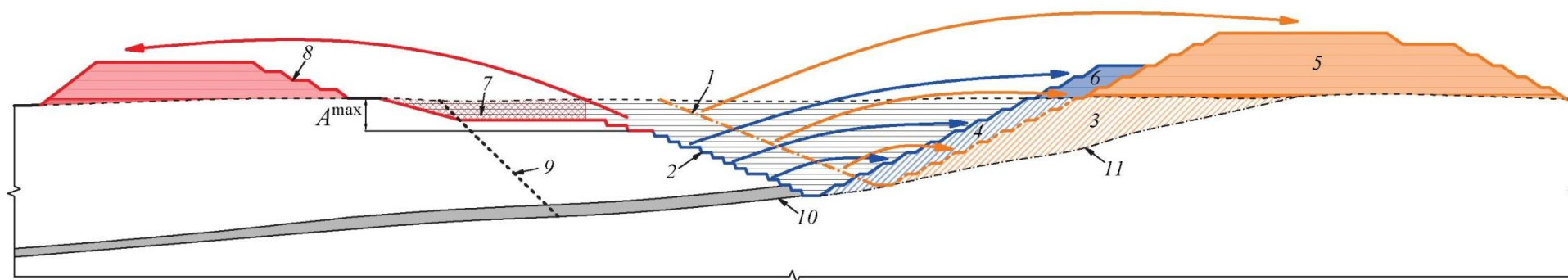


Рисунок 4.12 – Сечение карьера, характеризующее глубину заложения траншеи с горизонтальными вставками: 1, 2 – положения рабочего борта; 3, 4 – положения внутренних отвалов; 5, 6 – развитие компенсационных отвалов; 7 – траншея с горизонтальными вставками, закладываемая со стороны рабочего борта карьера; 8 – внутренний отвал, формируемый в контуре месторождения; 9 – конечный контур карьера; 10 – угольные пласты; 11 – контур стационарного борта карьера;  $A^{\max}$  – зона горизонтов с максимальной транспортной работой (глубина траншеи  $H = A^{\max}$ ); стрелками показаны направления вскрышных грузопотоков



Затраты на сооружение траншей с горизонтальными вставками поэтапно возвращаются в эксплуатационный период, так как данная выработка располагается в контуре отработки и в процессе развития горных работ постепенно срабатывается.

При определении размеров горизонтальных вставок траншей необходимо учитывать интенсивность развития рабочей зоны карьера и расстояние до конечного контура отработки. На этапах подхода горных работ к конечному контуру карьера длина горизонтальных вставок может соответствовать расстоянию до данного контура. При значительном расстоянии до конечного контура отработки, строительство траншей с горизонтальными вставками может осуществляться в несколько этапов.

Для нахождения рациональной длины горизонтальной вставки необходимо оценить две тенденции. С одной стороны по мере увеличения длины горизонтальной вставки возрастают капитальные затраты на строительство траншей, с другой – снижаются эксплуатационные затраты за счет длительной стационарности магистральных транспортных коммуникаций и сооружений, расположенных в данной выработке (последнее минимизирует простои вскрышного оборудования).

Общий объем траншей складывается из объемов ее наклонного и горизонтального участков:

$$V_{\text{тр}} = \frac{H^2}{\sin \alpha} \cdot \left( \frac{\text{III}}{2} + \frac{H \cdot \text{ctg} \beta}{3} \right) + H \cdot L \cdot (\text{III} + H \cdot \text{ctg} \beta), \text{ м}^3, \quad (4.1)$$

где  $H$  – глубина заложения траншей, м;

$\text{III}$  – ширина основания траншей, м;

$\alpha$  – угол наклона траншей, град.;

$\beta$  – угол откоса бортов траншей (изменяется в сторону уменьшения с увеличением глубины траншей), град.;

$L$  – длина горизонтального участка (вставки), м.

Определить затраты на строительство траншей можно по выражению:

$$З_{\text{тр.Л}} = V_{\text{тр.Л}} \cdot C_{\text{тр}}, \text{ руб.}, \quad (4.2)$$

где  $V_{\text{тр.Л}}$  – объем траншей при заданной длине горизонтальной вставки, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{тр}}$  – себестоимость работ по строительству траншей (вскрышных работ), руб/м<sup>3</sup>.

Изменение объемов траншей при варьировании глубины заложения и длины горизонтальных вставок приведено на рисунке 4.13.

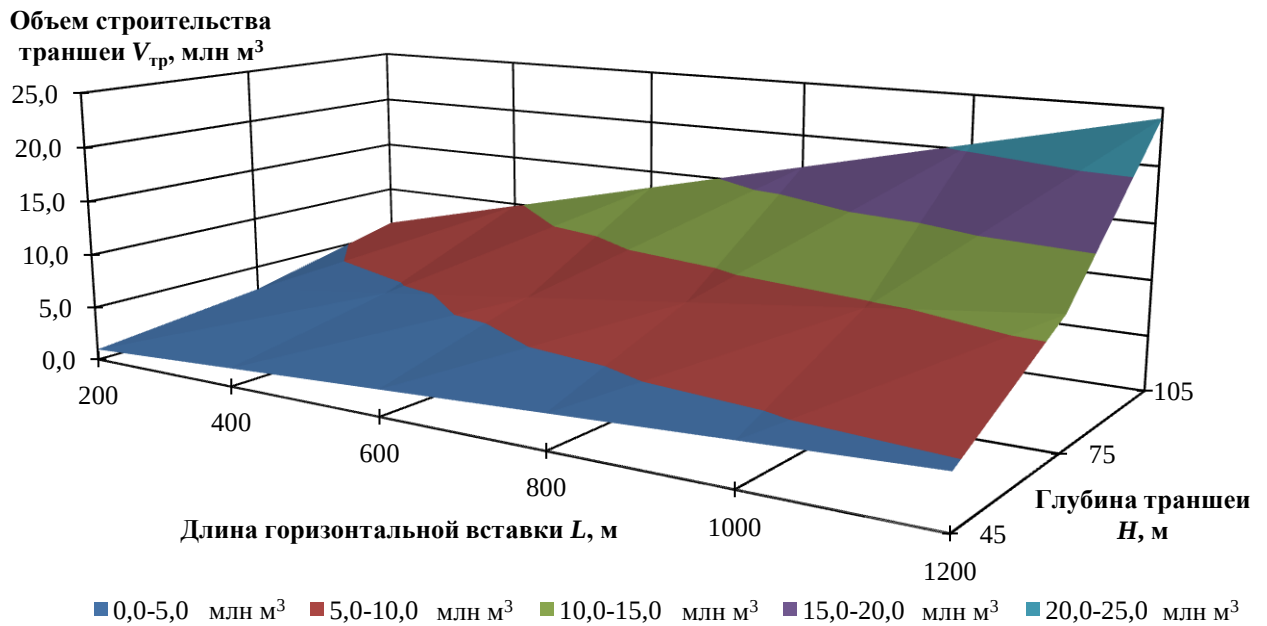


Рисунок 4.13 – Изменение объемов траншеи при различных глубинах заложения и длинах горизонтальной вставки

Рациональная длина горизонтальной вставки может быть определена на базе основных экономических критериев: чистого дисконтированного дохода ( $NPV$ ) и дисконтированного срока окупаемости инвестиций ( $DPP$ ) [43].

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. В этом случае объем вскрышных пород, превышающий приемную способность выработанного пространства, направляется в отвальные массивы, формируемые во внутреннем контуре месторождения, конвейерным транспортом (комплексом ЦПТ).

Эксплуатационные расходы на транспорт при базовом варианте определяются по выражению:

$$B_{a.n} = Q \cdot C_a, \text{ руб/год}, \quad (4.3)$$

где  $n$  – год работы;

$Q$  – годовой объем перемещаемых вскрышных пород,  $m^3/\text{год}$ ;

$C_a$  – себестоимость транспортирования единицы объема породы автотранспортом, руб/ $m^3$ .

Фактическая производительность комплекса ЦПТ зависит от частоты перемещения конвейерной системы и находится по выражению:

$$Q_{\text{цпт},n}^{\Phi} = Q \cdot k_{\text{п},n}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.4)$$

где  $k_{\text{п},n}$  – коэффициент, учитывающий потери производительности комплекса ЦПТ при перемещении наклонного конвейера и приводной станции (демонтаж, монтаж).

Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту находятся по формуле:

$$\text{ОД}_n = Q_{\text{цпт},n}^{\Phi} \cdot C_{\text{цпт}} + (Q - Q_{\text{цпт},n}^{\Phi}) \cdot C_a, \text{ руб/год}, \quad (4.5)$$

где  $C_{\text{цпт}}$  – себестоимость транспортирования единицы объема породы комплексом ЦПТ, руб/м<sup>3</sup>.

Чистый денежный поток определяется по выражению:

$$CF_n = B_{a,n} - \text{ОД}_n - Z_{\text{тр},L} - I_n + Z_{\text{в},n} + A_n, \text{ руб/год}, \quad (4.6)$$

где  $I_n$  – инвестиции на комплекс ЦПТ (конвейерную систему, мобильные дробильные установки, перегружатели, отвалообразователь), руб/год;

$Z_{\text{тр},L}$  – затраты на строительство траншеи, руб.;

$Z_{\text{в},n}$  – возвращение капитальных затрат на строительство траншеи за счет погашения горизонтальной вставки, руб./год;

$A_n$  – амортизация комплекса ЦПТ (конвейерной системы, мобильных дробильных установок, перегружателей, отвалообразователя), руб/год.

Возвращение капитальных затрат на строительство траншеи происходит поэтапно при погашении горизонтальных вставок:

$$Z_{\text{в},n} = V_{\text{п}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot k_d, \text{ руб/год}, \quad (4.7)$$

где  $V_{\text{п}}$  – объем вскрышных пород, который был отработан при строительстве траншеи и погашен за рассматриваемый год, млн м<sup>3</sup>/год;

$k_d$  – коэффициент дисконтирования.

Чистый дисконтированный денежный поток находится по формуле:

$$CF_{nt} = CF_n \cdot k_d, \text{ руб/год}, \quad (4.8)$$

Чистый дисконтированный денежный доход нарастающим итогом определяется по выражению:

$$NPV = \sum_{t=1}^T CF_{nt}, \text{ руб.}, \quad (4.9)$$

где  $T$  – горизонт расчета, лет.

Рациональная длина горизонтальной вставки траншеи может быть определена по максимальному значению чистого дисконтированного денежного дохода:

$$L_{\text{рац}}^{\text{NPV}} = \text{NPV}^{\text{max}}(L), \text{ м}, \quad (4.10)$$

Также для определения рациональной длины горизонтальной вставки может быть использован критерий – минимальный дисконтированный срок окупаемости инвестиций:

$$L_{\text{рац}}^{\text{DPP}} = \text{DPP}^{\text{min}}(L), \text{ м}, \quad (4.11)$$

Используя вышеприведенные формулы, определены рациональные параметры горизонтальных вставок для разной глубины заложения траншей. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.1 (результаты расчетов приведены в Приложении Г).

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения расчетов по рационализации длины горизонтальных вставок капитальных траншей

| Параметры                                                                                            | Обозначение параметра | Значения параметров                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Рассматриваемые глубины заложения траншеи, м                                                         | $H$                   | 30; 45; 60                                                                 |
| Длины горизонтальных вставок, м                                                                      | $L$                   | 200, 400, 600, 1200                                                        |
| Ширина основания траншеи, м                                                                          | $\Pi$                 | 50                                                                         |
| Угол наклона траншеи, град.                                                                          | $\alpha$              | 16                                                                         |
| Угол откоса бортов траншеи, град.                                                                    | $\beta$               | 61, 57, 53                                                                 |
| Горизонт расчета, лет                                                                                | $T$                   | 15                                                                         |
| Скорость фронта горных работ, м/год                                                                  | $v_{\text{ф}}$        | 100                                                                        |
| Себестоимость производства вскрышных работ при строительстве траншеи, руб/м <sup>3</sup>             | $C_{\text{тр}}$       | 94                                                                         |
| Годовой объем перемещаемых вскрышных пород, млн м <sup>3</sup> /год                                  | $Q$                   | 20                                                                         |
| Себестоимость транспортирования автотранспортом до отвального массива, руб/м <sup>3</sup>            | $C_{\text{а}}$        | 58                                                                         |
| Коэффициент, учитывающий потери производительности комплекса ЦПТ                                     | $k_{\text{п.л}}$      | при перемещении наклонного конвейера 0,8;<br>при 1-м годе эксплуатации 0,5 |
| Себестоимость транспортирования при вводе в эксплуатацию конвейерного транспорта, руб/м <sup>3</sup> | $C_{\text{цпт}}$      | 20                                                                         |
| Инвестиции на комплекс ЦПТ, млн руб/год                                                              | $I$                   | 700 (вносятся 3 года, итого 2100 млн руб.)                                 |
| Амортизационные отчисления на комплекс ЦПТ, млн руб/год                                              | $C_{\text{а}}$        | 131,25                                                                     |
| Коэффициент дисконтирования                                                                          | $k_{\text{д}}$        | 1–0,18 (каждый год понижается на 0,11)                                     |

На базе критериев  $NPV$  и  $DPP$  выполнены построения графиков для определения рациональной длины горизонтальной вставки траншеи (рисунки 4.14, 4.15).

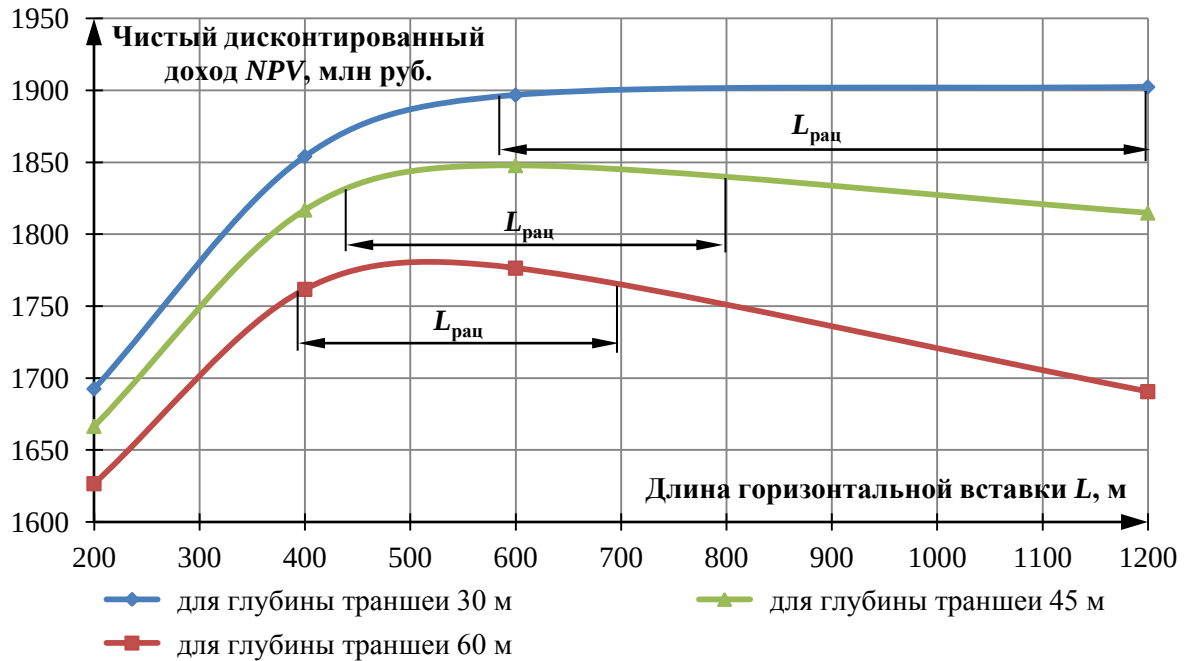


Рисунок 4.14 – Определение рациональной длины горизонтальной вставки траншеи при различных параметрах вскрывающей выработки (получено на базе анализа чистых дисконтированных денежных потоков)

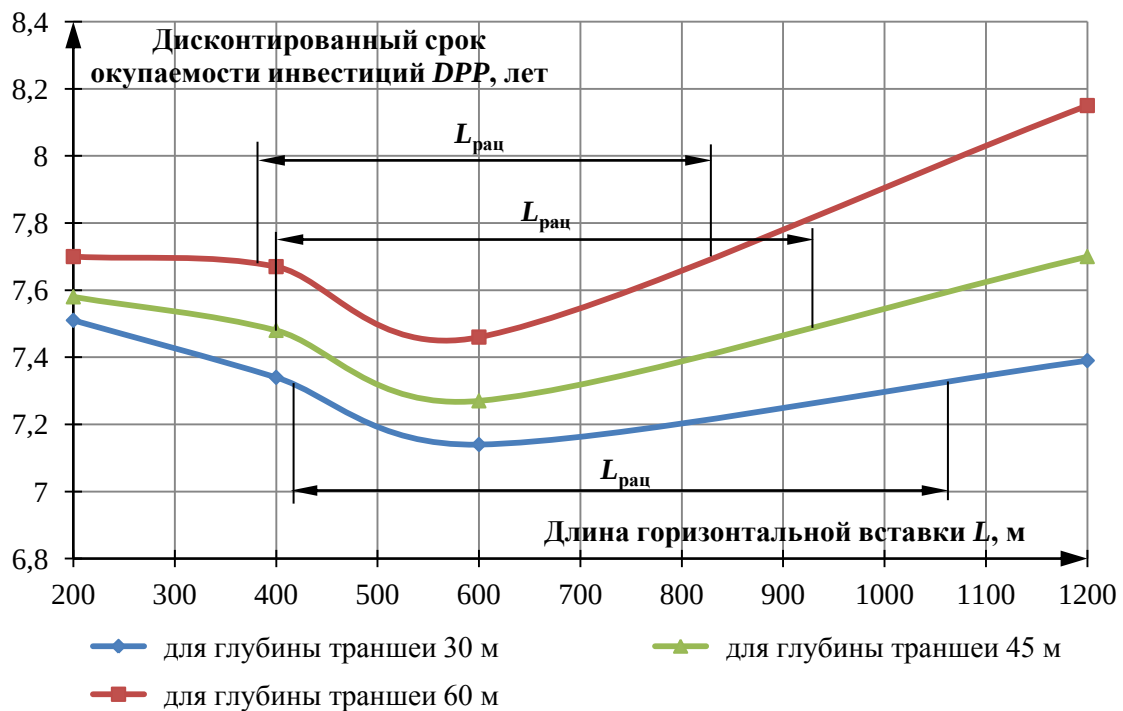


Рисунок 4.15 – Определение рациональной длины горизонтальной вставки траншеи при различных параметрах вскрывающей выработки (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций)

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, 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.

Значения рациональных параметров горизонтальных вставок имеют отличия применительно к двум рассмотренным экономическим критериям. Решения по определению точной горизонтальной вставки принимаются в зависимости от того, какой экономический критерий наиболее важен. К примеру, наибольшую доходность обеспечивает длина горизонтальной вставки, рациональная по критерию внутренней нормы доходности (*NPV*). При необходимости как можно быстрее вернуть вложенные инвестиции на оборудование комплекса ЦПТ, приоритет отдается длине горизонтальной вставки, которая соответствует минимальному дисконтированному сроку окупаемости инвестиций (*DPP*).

#### **4.5. Области использования траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов, и насыпных транспортных перемычек**

Вскрытие рабочих горизонтов угольных карьеров, отрабатывающих месторождения, представленные брахисинклинальными структурами, может быть выполнено траншеями, закладываемыми со стороны рабочих бортов, и насыпными транспортными перемычками. Для определения эффективного использования траншей внешнего заложения, располагаемых со стороны рабочего борта, и транспортных перемычек, можно сопоставить объемы горно-строительных работ при их сооружении.

Объем траншеи определяется по следующей формуле:

$$V_{\text{тр}} = \frac{H_{\text{тр}}^2 \cdot B}{2 \cdot i} + \frac{H_{\text{тр}}^3 \cdot \text{ctg} \alpha}{3 \cdot i}, \text{ м}^3, \quad (4.12)$$

где  $H_{\text{тр}}$  – глубина траншеи, м;

$B$  – ширина основания траншеи (транспортной полосы), м;

$i$  – величина уклона основания траншеи, доли ед.;

$\alpha$  – средний угол откоса борта траншеи, град.

Объем насыпной транспортной перемычки вычисляется по выражению:

$$V_{\text{пер}} = L_{\text{пер}} \cdot H_{\text{пер}} \cdot b + H_{\text{пер}}^2 \cdot \text{ctg}\beta \cdot L_{\text{пер}} - \frac{b \cdot H_{\text{пер}}^2 \cdot \text{ctg}\gamma}{2} - \frac{H_{\text{пер}}^3 \cdot \text{ctg}\beta \cdot \text{ctg}\gamma}{3}, \text{ м}^3, \quad (4.13)$$

где  $L_{\text{пер}}$  – длина перемычки, м;

$H_{\text{пер}}$  – высота перемычки, м;

$b$  – ширина перемычки (ширина транспортной полосы), м;

$\beta$  – угол откоса перемычки, град.;

$\gamma$  – угол откоса борта карьера и отвала, к которым примыкает перемычка (приняты равными), град.

Длина перемычки:

$$L_{\text{пер}} = \text{Ш}_д + 2 \cdot H_{\text{пер}} \cdot \text{ctg}\gamma, \text{ м}, \quad (4.14)$$

где  $\text{Ш}_д$  – ширина дна карьера, м.

На базе исходных данных, представленных в таблице 4.2, построены кривые изменения объемов горно-строительных работ при вскрытии горизонтов рассматриваемыми выработками (рисунок 4.16). Ввиду того, что траншея отстраивается с поверхности, а перемычка от дна карьера, отсчет их глубины и высоты соответственно производится от различных гипсометрических отметок.

Таблица 4.2 – Исходные данные для проведения расчетов объемов траншеи и насыпной перемычки

|                                                                                                     |      |    |    |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Глубина траншеи <math>H_{\text{тр}}</math> и высота перемычки <math>H_{\text{пер}}</math>, м</b> | 30   | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
| <b>Угол откоса перемычки <math>\beta</math>, град.</b>                                              | 40   | 38 | 37 | 36  | 35  | 34  | 33  |
| <b>Угол откоса борта карьера, отвала <math>\gamma</math> и траншеи <math>\alpha</math>, град.</b>   | 61   | 57 | 53 | 49  | 45  | 41  | 37  |
| <b>Ширина основания траншеи <math>B</math> и перемычки по верху <math>b</math>, м</b>               | 60   |    |    |     |     |     |     |
| <b>Ширина дна карьера <math>\text{Ш}_д</math>, м</b>                                                | 40   |    |    |     |     |     |     |
| <b>Уклон траншеи <math>i</math>, доли ед.</b>                                                       | 0,08 |    |    |     |     |     |     |

Для карьера глубиной 210 м при заданных условиях, уравнивание объемов траншеи и перемычки происходит при глубине траншеи 90 м и высоте перемычки 120 м. Высотные зоны при которых происходит уравнивание объемов работ по сооружению траншей и перемычек для глубины карьера от 60 до 210 м, показаны на рисунке 4.17.



Данные рисунка 4.17 свидетельствует, что группу верхних горизонтов карьера целесообразно вскрывать траншеей, а насыпные транспортные перемычки использовать для вскрытия нижней группы рабочих горизонтов.

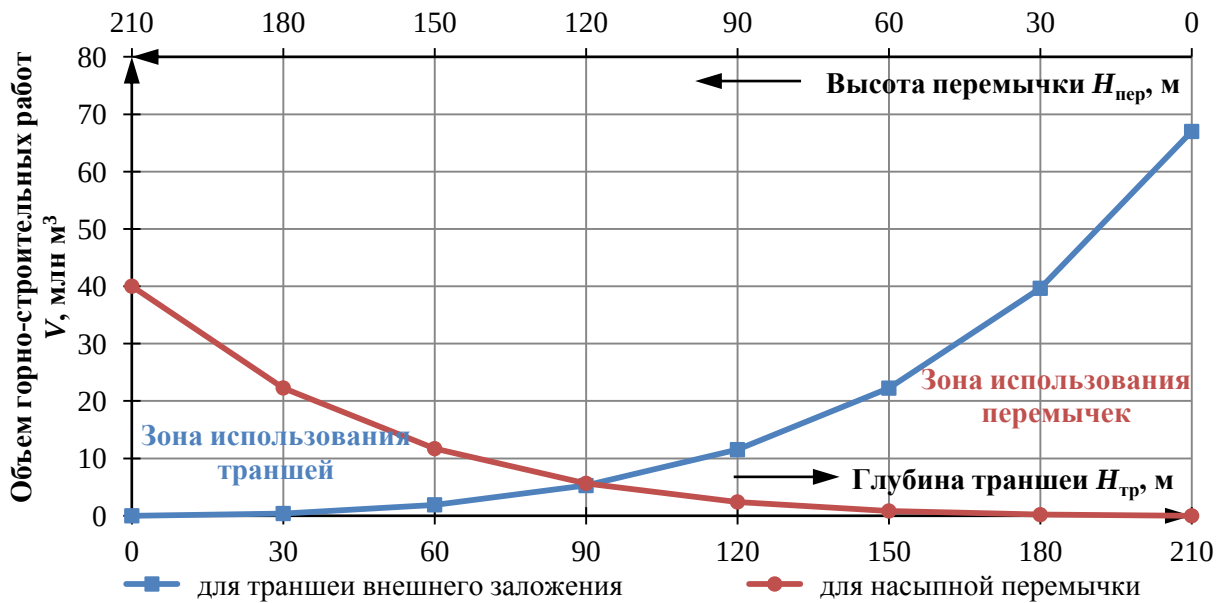


Рисунок 4.16 – Графики изменения объемов горно-строительных работ при различных глубинах траншей и высотах перемычки (глубина карьера 210 м)

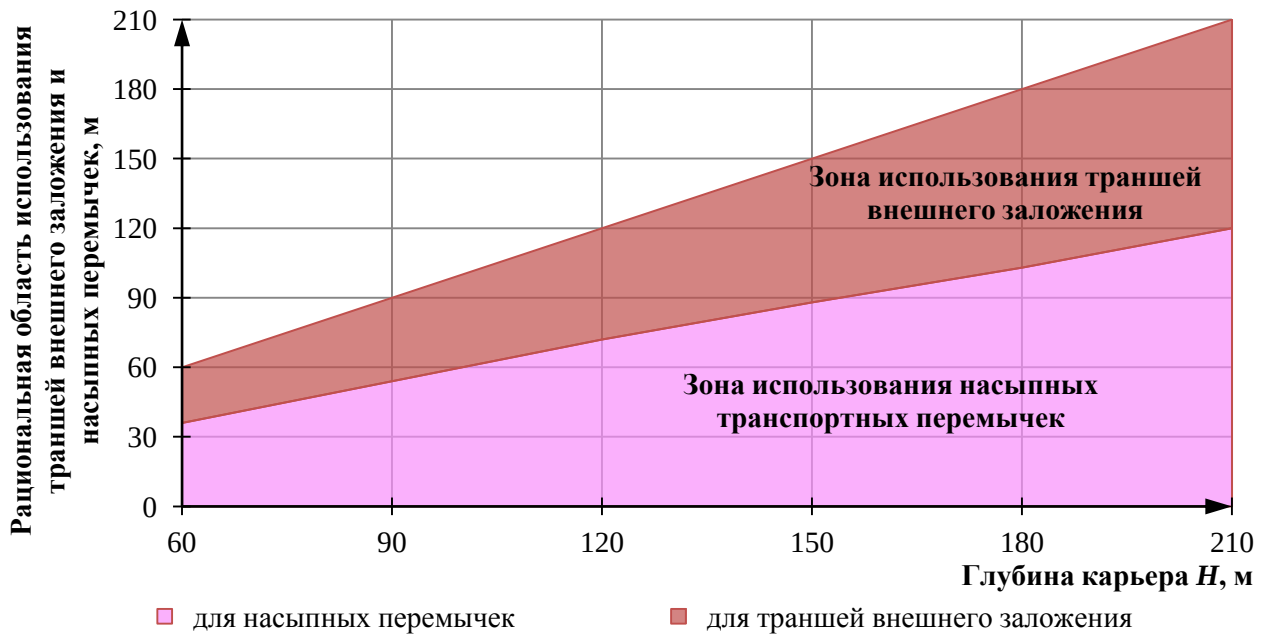


Рисунок 4.17 – Изменение зон использования внешних траншей, закладываемых со стороны рабочего борта, и насыпных транспортных перемычек

В общем случае рабочую зону карьера значительной глубины (более 250 м) можно разделить на области влияния трех типов вскрывающих выработок.

Зона эффективного использования траншей внешнего заложения распространяется на группу верхних горизонтов, а транспортных перемычек – на группу нижних и частично средних горизонтов. Связующим звеном верхней группы рабочих горизонтов, вскрываемых траншеями со стороны рабочих бортов карьеров и нижней зоны, вскрываемой перемычками, являются внутренние капитальные траншеи (скользящие съезды). Последний тип выработок используется для вскрытия рабочих горизонтов средней части рабочей зоны карьера (рисунок 4.18).

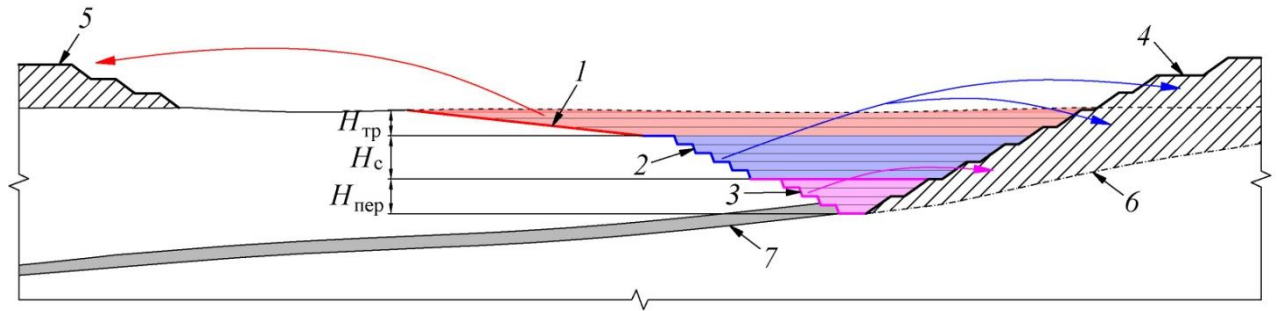


Рисунок 4.18 – Зоны влияния вскрывающих выработок на обслуживаемые ими горизонты карьера: 1 – группа горизонтов, вскрываемая траншеей, закладываемой со стороны рабочего борта ( $H_{тр}$ ); 2 – группа горизонтов, вскрываемая скользящими съездами ( $H_{с}$ ); 3 – группа горизонтов, вскрываемая насыпной перемычкой ( $H_{пер}$ ); 4 – компенсационный отвальный массив; 5 – отвальный массив, располагаемый со стороны рабочего борта карьера внутри контура месторождения; 6 – стационарный борт карьера; 7 – угольные пласты; стрелками показаны направления вскрышных грузопотоков

Определение зон разграничения временных траншей и насыпных транспортных перемычек только на базе равенства их объемов является не полным. С учетом того обстоятельства, что объемы капитальных траншей, расположенных со стороны рабочего борта, являются объемами опережающих вскрышных работ. Объемы насыпных транспортных перемычек приходится вначале укладывать в створ между рабочим бортом и ярусами внутреннего обвала (в ряде случаев ярусами стационарного борта), а затем удалять на внутренний отвал. Рациональные зоны использования вышесказанных вскрывающих выработок показаны на рисунке 4.19.

С учетом вышесказанного, рациональные области использования данных типов вскрывающих выработок могут быть уложены в следующие интервалы:

– верхняя группа рабочих горизонтов, составляющая до 20–30 % общей текущей глубины карьера – траншеи, закладываемые со стороны рабочих бортов;

– средняя группа рабочих горизонтов, составляющая до 40–50 % общей текущей глубины карьера – внутренние траншеи – внутренние траншеи (скользящие съезды), формируемые в пределах рабочей зоны карьера;

– нижняя группа рабочих горизонтов, составляющая до 30–40 % общей текущей глубины карьера – насыпные транспортные перемычки.

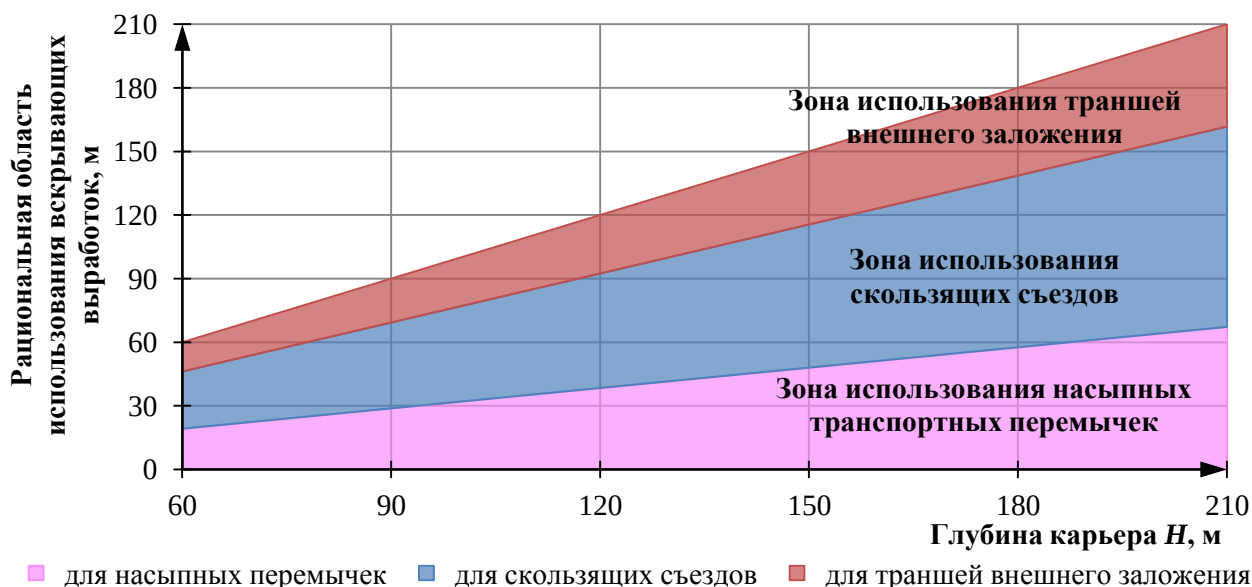


Рисунок 4.19 – Области использования траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов, насыпных транспортных перемычек и скользящих съездов

#### 4.6. Определение количества траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров

Сократить расстояния перемещения вскрышных пород с группы верхних и средних горизонтов возможно посредством изменения числа капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьера и насыпных транспортных перемычек. Грузопоток вскрышных пород, перемещаясь через капитальную траншею, заложенную на рабочем борту карьера, направляется в отвал, располагаемый во внутреннем контуре брахисинклинали (см. п. 3.4), а грузопоток, следующий через перемычку – во внутренний отвал.

При наличии двух вскрышающих выработок, расположенных в торцах карьера, (без задействования новых вскрышающих выработок) длина эксплуатационных блоков равна  $0,5 \cdot L_{\phi}$  (рисунок 4.20 а). Ввод в эксплуатацию перемычки или траншеи позволяет разделить участок транспортирования по фронту работ на четыре блока длиной  $0,25 \cdot L_{\phi}$  (рисунок 4.20 б).

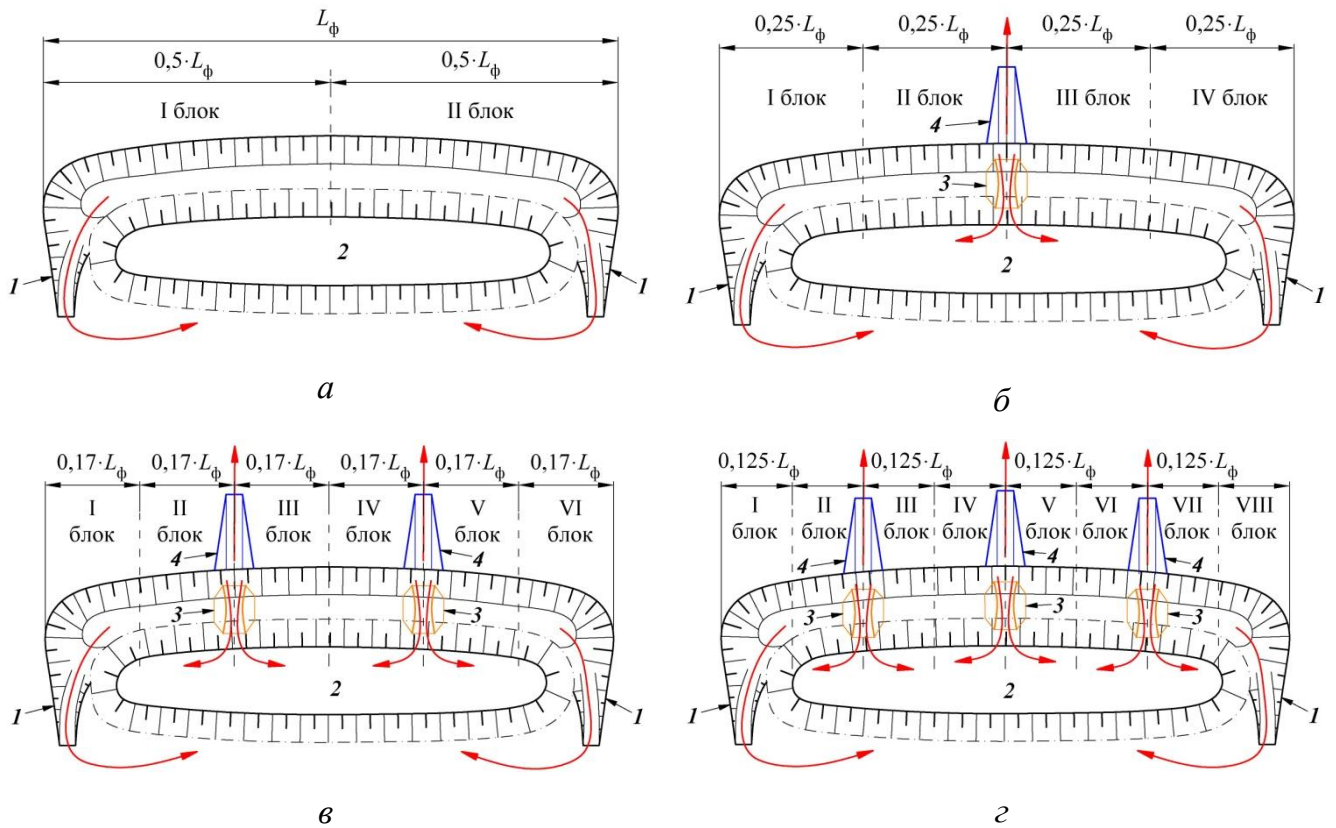


Рисунок 4.20 – Изменение длины эксплуатационных блоков вскрышного фронта в зависимости от числа траншей или насыпных транспортных перемычек, заложенных со стороны рабочего борта карьера: а) без траншей или перемычек; б) одна траншея или перемычка; в) две траншеи или перемычки; г) три траншеи или перемычки; 1 – внешние капитальные траншеи, расположенные в стационарном положении на флангах карьера; 2 – отвальный массив, располагаемый частично в выработанном пространстве, частично за контуром карьера (компенсационный отвал); 3 – насыпные транспортные перемычки; 4 – внешние траншеи, располагаемые на рабочем борту карьера; красными стрелками показаны направления вскрышных грузопотоков;  $L_{\phi}$  – длина фронта горных работ

Определить средневзвешенное расстояние транспортирования пород вдоль фронта горных работ в зависимости от числа траншей и перемычек можно по следующему выражению:

$$L_n^{cp} = k \cdot L_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{2 \cdot N_{\text{бл}}} = \frac{L_{\phi}}{2 \cdot n_r \cdot (N + 1)}, \text{ км}, \quad (4.15)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий долю средневзвешенного расстояния, преодолеваемого вдоль фронта горных работ ( $k = \frac{1}{2 \cdot N_{\text{бл}}}$ , рисунок 4.21);

$L_{\Phi}$  – длина фронта горных работ на уступе, км;

$N_{\text{бл}}$  – число эксплуатационных блоков на уступе, шт. ( $N_{\text{бл}} = n_{\Gamma} \cdot (N + 1)$ , рисунок 4.22);

$n_{\Gamma}$  – число имеющихся выходов с горизонта (вскрывающих выработок на горизонте, 1 или 2), шт.;

$N$  – число вводимых в эксплуатацию траншей (перемычек), шт.

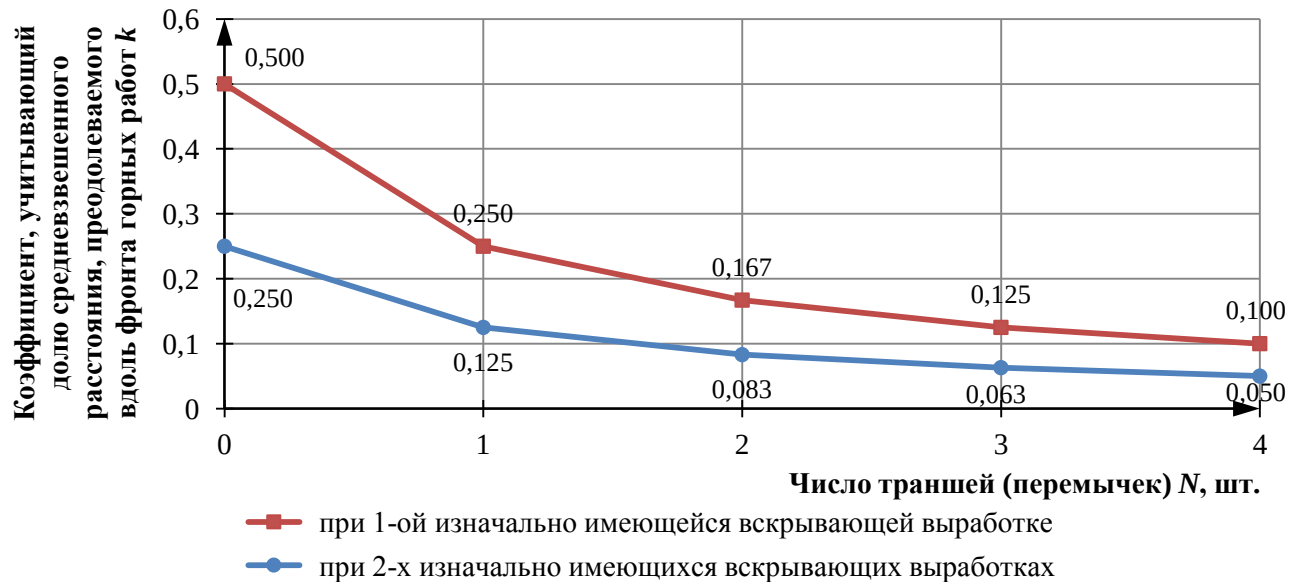


Рисунок 4.21 – Изменение коэффициента, учитывающего долю средневзвешенного расстояния транспортирования пород вдоль фронта горных работ, при различном числе вводимых в эксплуатацию траншей или транспортных перемычек

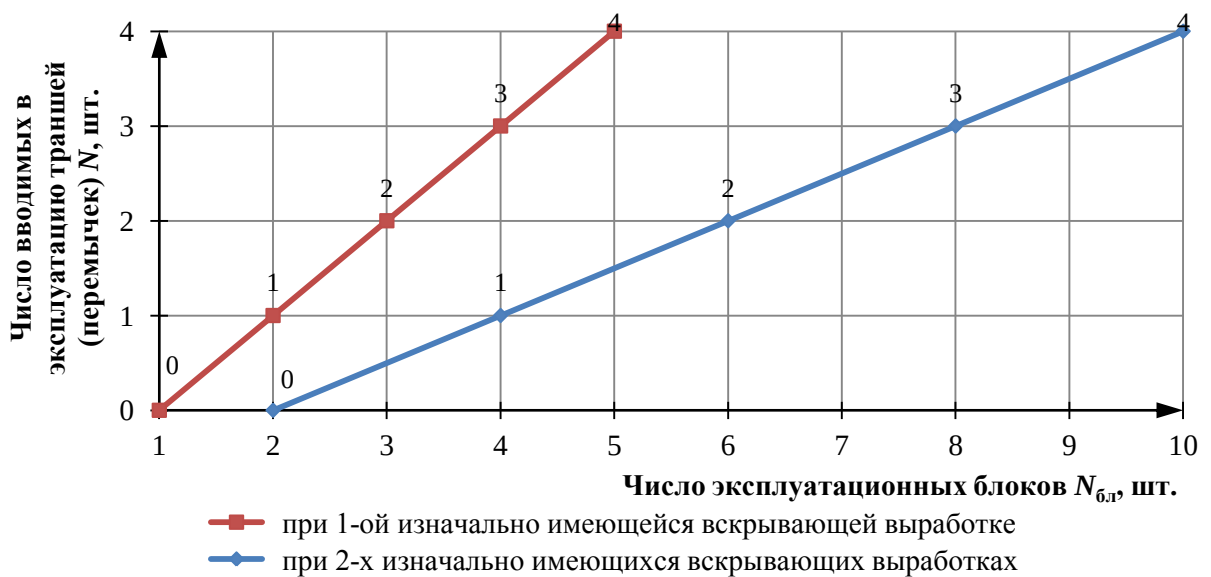


Рисунок 4.22 – Изменение числа эксплуатационных блоков в зависимости от количества вводимых в эксплуатацию траншей или транспортных перемычек

Анализируя данные графиков, изображенных на рисунке 4.21, можно сделать вывод о том, что строительство одной траншеи позволяет сократить средневзвешенное расстояние, преодолеваемое вдоль фронта горных работ в 2 раза, строительство второй траншеи (перемычки) – в 1,5 раза; третьей траншеи (перемычки) – в 1,33 раза; четвертой траншеи (перемычки) – в 1,25 раза. Таким образом, наиболее значительное сокращение длины перемещения вскрышных пород достигается при использовании 1-ой или 2-х траншей (перемычек).

Для длины фронта горных работ 6 км средневзвешенные расстояния перемещения вдоль фронта горных работ в зависимости от различного числа траншей и перемычек приведены на рисунке 4.23.

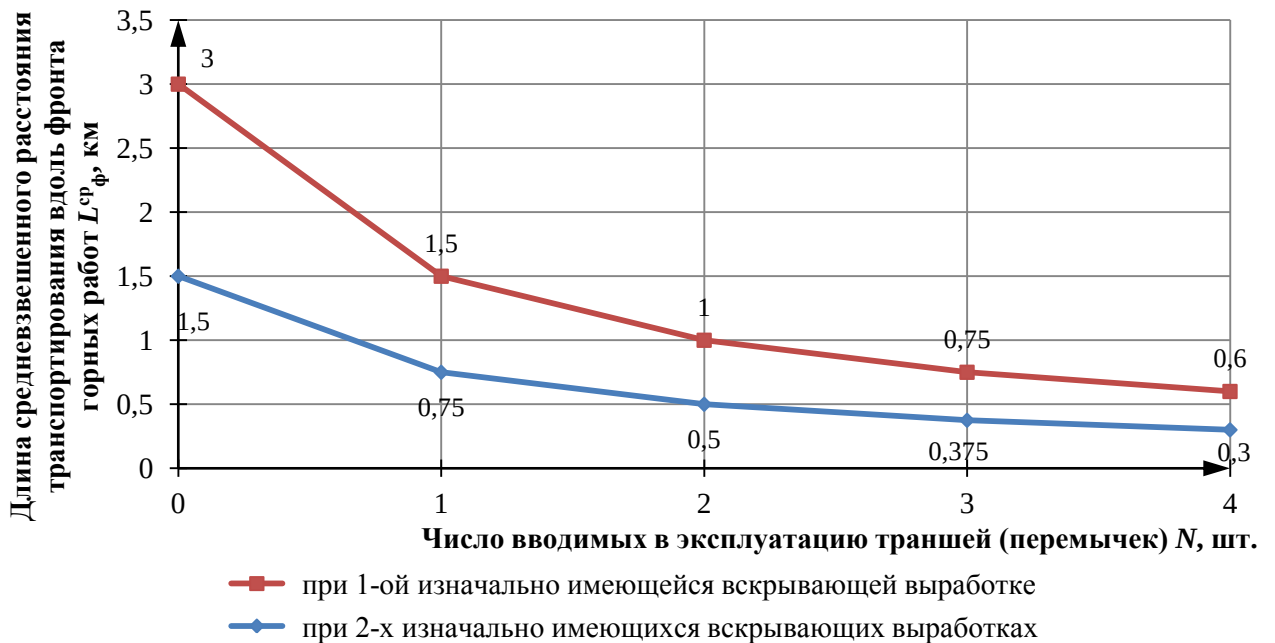


Рисунок 4.23 – Изменение длины средневзвешенного расстояния транспортирования вдоль фронта работ в зависимости от числа вводимых в эксплуатацию вскрывающих выработок

Изначальное число вскрывающих выработок, расположенных в торцах карьера (1 или 2), оказывает двукратное влияние на коэффициент, учитывающий долю средневзвешенного расстояния транспортирования пород вдоль фронта горных работ, число эксплуатационных блоков и в итоге на средневзвешенное расстояние перемещения пород вдоль фронта горных работ (см. рисунки 4.21–4.23).

Изменения средневзвешенных расстояний транспортирования автотранспортом для условий разреза «Черниговский» по проектному варианту (без внешних траншей и

перемычек) и варианту, предполагающему использование траншей, закладываемых со стороны рабочего борта карьера, и двух насыпных транспортных перемычек, показаны на рисунке 4.24.



Рисунок 4.24 – Кривые, иллюстрирующие возможность регулирования расстояний транспортирования вскрышных пород автотранспортом (выполнено для условий разреза «Черниговский»)



#### Выводы по главе 4

1. При отработке угольных брахисинклиналей минимизировать затраты на транспортирование вскрышных пород из группы верхних и средних горизонтов можно посредством создания схем вскрытия со стороны рабочих бортов и использования в них магистральных видов транспорта. Вскрышные грузопотоки с группы горизонтов, имеющих максимальные значения транспортной работы, перенаправляются в отвальные массивы, размещаемые во внутренних и внешних прибортовых контурах карьерных полей.

2. Места заложения вскрывающих выработок должны формироваться в зонах с наименьшей скоростью подвигания фронта горных работ. При отсутствии таких зон обеспечить стационарность наклонной части вскрывающих выработок возможно за счет использования внешних капитальных траншей с горизонтальными вставками.

3. Глубина заложения траншей со стороны рабочих бортов карьеров, отрабатывающих угольные месторождения, представленные брахисинклинальными структурами, определяется положением группы горизонтов с максимальными значениями транспортной работы. Рациональная длина горизонтальной вставки вышесказанных траншей с увеличением глубины заложения изменяется. Осредненные значения длины горизонтальной вставки на базе рассмотренных критериев ( $NPV$  и  $DPP$ ) для глубины заложения траншей 30 м составляют 500–1100 м, для глубины траншей 45 м – 450–850 м, для глубины 60 м – 400–750 м.

4. Расстоянием перемещения вскрышных пород возможно эффективно управлять. Установлена закономерность снижения расстояний транспортирования в зависимости от числа капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров. Строительство одной вскрывающей выработки позволяет сократить расстояние перемещения пород вдоль фронта горных работ в 2 раза, строительство второй – в 1,5 раза, третьей – в 1,33 раза. Дальнейшее строительство траншей экономически и технически неэффективно.

## 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 карьере 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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдибеков Н.К. Обоснование технологии внутреннего отвалообразования при разработке крутопадающих и наклонных угольных месторождений Кузбасса. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1993. – 25 с.
2. Анистратов Ю.И. Исследование технологических грузопотоков на карьерах со скальными породами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МГИ, 1970. – 42 с.
3. Анистратов Ю.И. Технология открытых горных работ. – М.: Недра, 1984. – 287 с.
4. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. – М.: Недра, 1981. – 278 с.
5. Арсентьев А.И., Холодняков Г.А. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. – М.: Недра, 1994. – 336 с.
6. Балмасов Н.Н., Бранчугов В.К., Быкадоров В.С., Голицын М.В. и др. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России. В 2-х томах. Том 1 (состояние, динамика, развитие). – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1999. – 648 с.
7. Балмасов Н.Н., Бранчугов В.К., Быкадоров В.С., Голицын М.В. и др. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России. В 2-х томах. Том 2 (регионы и бассейны). – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1999. – 448 с.
8. Бердюгин В.А. Перспектива применения циклично-поточной технологии при разработке Эльгинского месторождения // Наука и образование – 2010. – № 4. – С. 98–99.
9. Бетехтин А.Г., Ершов С.П., Зверев В.Н., Иванов Г.А. и др. Краткий курс месторождений полезных ископаемых. – Ленинград: Главная редакция горно-топливной и геологоразведочной литературы, 1938. – 474 с.
10. Васильев Е.И., Зайцева А.А. Отработка карьерных полей наклонных месторождений блоками // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2001. – № 3. – С. 208–213.
11. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
12. Генеральная схема комплексного повышения и развития Экибастузского угольного бассейна. – Караганда: Карагандагипрошахт, 1989. – 205 с.

13. Геологические материалы для составления технико-экономического обоснования постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов каменного угля по участку «Шурапский» Кедровско-Крохалевского месторождения в Кемеровском геолого-экономическом районе Кузбасса. ОАО «Шахта Южная», ООО «Омега», 2012.
14. Геологический словарь: в 2-х томах. Том 1, 2. / Под редакцией К.Н. Паффенгольца и др. – М.: Недра, 1978.
15. Григорьев С.Н. Обоснование порядка разработки мульдообразных залежей угля одним карьером. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 1999. – 190 с.
16. Железнова Н.Г., Кузнецов Ю.Я., Матвеев А.К., Череповский В.Ф. Запасы углей стран мира. – М.: Недра, 1983. – 167 с.
17. Иншаков В.Ю. Перспективы развития и направление технического перевооружения филиала ОАО «СУЭК-Красноярск» разрез «Бородинский» // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2012. – № 5. – С. 238–242.
18. Иоффе А.М., Величко Д.В. Отчет по научно-исследовательской работе по теме «Геомеханическое обоснование параметров устойчивости откосов бортов, уступов при отработке угольного пласта 18 по восстанию». ООО «ЦМ и Г», 2013. – 108 с.
19. Истомин В.В., Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А. и др. Оптимизация технических границ, зон консервации, порядка и интенсивности отработки, карьерных полей Олонь-Шибирского месторождения. Том 1. Пояснительная записка. – М.: МГТУ, 2010. – 304 с.
20. Коваленко В.С. Формирование ресурсосберегающих технологий открытой разработки свит крутых и наклонных угольных пластов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 1997. – 489 с.
21. Коваленко В.С., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И. Землесберегающие и землевоспроизводящие технологии на угольных разрезах. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. – 440 с.
22. Колесников В.Ф. Вскрытие карьерных полей на угольных месторождениях: учебное пособие. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2007. – 139 с.
23. Колесников В.Ф. Развитие и обоснование способов и схем вскрытия рабочих горизонтов угольных разрезов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Кемерово, 1999. – 325 с.

24. Колесников В.Ф., Кузнецов В.И., Ташкинов А.С. Технические решения по вскрытию рабочих горизонтов разрезов Кузбасса. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. – 172 с.
25. Кортелев О.Б., Молотиллов С.Г., Норри В.К. Перспективы комбинированного транспорта на угольных карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2005. – № 1. – С. 170–173.
26. Кравцов А.И., Погребнов Н.И. Месторождения горючих полезных ископаемых. – М.: Недра, 1981. – 160 с.
27. Курехин Е.В., Ташкинов А.С. Применение циклично-поточной технологии на угольных разрезах Кузбасса // Вестник КузГТУ – 2007. – № 5. – С. 29–30.
28. Левченко Я.В. Влияние морфологических, геомеханических и технических факторов на изменение вскрываемых запасов угля // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2015. – № 7. – С. 416–422.
29. Левченко Я.В. Закономерности изменения транспортной работы по подъему горной массы по высотным зонам карьеров. Отдельная статья: Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Издательство «Горная книга», 2015. – № 5 (специальный выпуск 18). – 16 с.
30. Литвин Я.О. Обоснование условий временного отвалообразования при поэтапном перемещении вскрышных пород карьерными автосамосвалами на разрезах Кузбасса. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово.: КузГТУ, 2011. – 19 с.
31. Матвеев А.К. Угольные бассейны и месторождения зарубежных стран. – М.: МГУ, 1979. – 311 с.
32. Мацко Н.А. Обоснование разработки месторождений глубокими карьерами с интенсивным формированием выработанного пространства для размещения в нем внутренних отвалов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: Российская АН, ИПКОН, 1993. – 16 с.
33. Мелехов Д.П., Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А. и др. Порядок и принципы отработки крупных угольных брахисинклиналей // Уголь. – 2013. – № 6. – С. 22–26.
34. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. М.: «Недра», 1974. – 424 с.

35. Мельников Н.В. Теория и практика открытых горных разработок. – М.: Недра, 1979. – 636 с.
36. Ментгес У., Коппач Ю., Пашко П.Б. Полностью мобильный дробильный комплекс на гусеничном ходу для крупных карьеров и разрезов // Уголь. – 2009. – № 4. – С. 28–31.
37. Меньшонок П.П., Ташкинов А.С. Перспективные циклично-поточные технологические схемы для создаваемых гибких технологий отработки угольных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2004. – № 2. – С. 228–231.
38. Миронов К.В. Разведка и геолого-промышленная оценка угольных месторождений. – М.: Недра, 1977. – 253 с.
39. Мобильные и полумобильные дробильные установки // сайт компании Tenova TAKRAF. URL: <http://www.takraf.com/ru/Products/miningequipment/crushingplants.htm> (дата обращения: 17.05.2015).
40. Ненашев А.С. Исследование эффективности разработки месторождений Южного Кузбасса этапами с внутренними отвалами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1975.
41. Новожилов М.Г., Хохряков В.С., Пчелкин Г.Д., Эскин В.С. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Технология и комплексная механизация открытых разработок. – М.: Недра, 1971. – 552 с.
42. Новые решения в технике и технологии добычи угля открытым способом. / Под ред. Н.В. Мельникова и К.Е. Виницкого. – М.: Недра, 1976. – 424 с.
43. Пешкова М.Х. Экономическая оценка горных проектов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 422 с.
44. Плотников Е.П. Обоснование рациональных областей применения схем вскрытия угольных карьеров при поперечных системах разработки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Кемерово, 2001. – 214 с.
45. Попов В.Н., Сильченко О.Б., Иоффе А.М., Парамонова М.С. и др. Отчет по научно-исследовательской работе: «Оценка устойчивости рабочих бортов до отметки минус 100 – минус 120 м с максимальными по условию обеспечения устойчивости углами наклона бортов на предельном контуре и отвалов горных пород ЗАО «Черниговец». – М.: МГГУ. Центр маркшейдерии и геомеханики, 2011. – 153 с.
46. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2005 г. № 69. О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых, геологической, экономической



и экологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, размере и порядке взимания платы за ее проведение (с изменениями на 5 февраля 2014 года).

47. Проект строительства разреза «Майкубенский» объединения «Экибастузуголь». Том 3. Общая пояснительная записка (конспект). П6527-III-2ПЗ. Караганда, 1989. – 155 с.
48. Просандеев Н.И. Определение основных параметров внутренних отвалов // В сборнике: Разработка рудных месторождений. – Киев: Техшка, 1982. Выпуск 33. – С. 81–88.
49. Проспект карьерного оборудования Тепова TAKRAF.
50. Радченко С.А., Левченко Я.В. Формирование вскрышных грузопотоков при отработке крупных угольных брахисинклиналей // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013. – № 6. – С. 52–57.
51. Ракишев Б.Р. Циклично-поточные технологии на карьерах Казахстана // Вестник КазНТУ – 2012. – № 1 (89).
52. Рафф М.И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев.: «Вища школа», 1975. – 288 с.
53. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Учебник для вузов. В 2-х частях. Часть 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
54. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
55. Ржевский В.В., Истомин В.В., Супрун В.И. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров // Горный журнал. – 1982. – С. 27–31.
56. Русский И.И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. – М.: Недра, 1979. – 221 с.
57. Рутковский Б.Т. Блочный способ отработки карьерных полей с большим простиранием // В кн. Разработка угольных месторождений открытым способом. – Кемерово: КузПИ – 1982. – С. 81–87.
58. Рыбак Л.В., Бурцев С.В., Минибаев Р.Р., Матвеев А.В. и др. Обоснование технических параметров и зон использования комплекса циклично-поточной технологии для отработки вскрышных пород разреза «Черниговский» // 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.

59. Саканцев Г.Г. Геотехнологические основы внутреннего отвалообразования при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 42 с.
60. Сафронов В.П., Сафронов В.В., Дубинин А.В., Корнеев В.Д. Использование отвалов угольного разреза для синтеза почвообразующей минеральной массы с целью ее применения в рекультивационных работах и для землевания малопродуктивных земель // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2010. – № 1. – С. 115–122.
61. Сафронов В.П., Лазарев М.С. Оценка технологических параметров отвала для обоснования зон влияния ветрового потока // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 6-1. – С. 84–93.
62. Спиваковский А.О., Потапов М.Г. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. – М.: Недра, 1983. – 383 с.
63. Спиваковский А.О., Ржевский В.В., Васильев М.В. и др. Поточная технология открытой разработки скальных горных пород. – М.: Недра, 1970. – 328 с.
64. Супрун В.И. Основы формирования отвальных массивов при открытой разработке крупных угольных брахисинклиналей. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 1996. – 465 с.
65. Супрун В.И., Манкевич В.В. Проектирование внешних отвалов при железнодорожном транспорте. – М.: МГИ, 1991. – 148 с.
66. Супрун В.И. Проектирование схем вскрытия и транспортных схем для отработки карьеров. – М.: МГИ, 1990. – 103 с.
67. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И. и др. Формирование отвальных массивов при отработке угольных месторождений. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 240 с.
68. Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А., Ворошилин К.С. и др. Вскрытие и отработка карьерных полей Олонь-Шибирского месторождения каменного угля // Уголь. – 2012. – № 12. – С. 10–13.
69. Супрун В.И., Радченко С.А., Агафонов Ю.Г., Левченко Я.В. и др. Отчет по работе: «ТЭР подготовки к освоению, оптимизации технических границ, порядка и интенсивности отработки карьерных полей северной части Кедровско-Крохалевского

каменноугольного месторождения». Раздел 4.5. «Оценка эффективности инвестиций и определение сроков окупаемости предложенных решений в сопоставлении с существующей программой развития разреза». – М.: МГГУ, 2013. – 12 с.

70. Супрун В.И., Радченко С.А., Иоффе А.М., Левченко Я.В. Отчет по научно-исследовательской работе: «Генеральная схема развития добывающих и перерабатывающих мощностей на базе Соколовского каменноугольного месторождения. Геомеханическое обоснование углов наклона и конструкции конечных и рабочих бортов карьера, а также внешних и внутренних отвалов». Том 1. Книга 3. – М.: МГГУ, Проектно-экспертный центр, 2013. – 97 с.

71. 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.

72. Супрун В.И., Радченко С.А., Пастихин Д.В., Левченко Я.В. и др. Отчет по работе: «Технико-экономическое обоснование применения циклично-поточной технологии на вскрышных работах разреза ОАО «Черниговец». Книга 1. Пояснительная записка. – М.: НИТУ «МИСиС» МГИ, ООО «СИГД», 2014. – 138 с.

73. Супрун В.И., Радченко С.А., Пастихин Д.В., Таланин В.В. и др. Регулирование контуров открытых горных работ // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 4. – С. 50–57.

74. Супрун В.И., Рыбак Л.В., Радченко С.А., Бурцев С.В. и др. Обоснование границ открытых горных работ при отработке крупных угольных брахисинклиналей // Уголь. – 2012. – № 6. – С. 30–33.

75. Сытенков В.Н., Наимова Р.Ш. Научно-технические основы использования пространственных технологических ресурсов при открытой разработке месторождений // Цветные металлы. – 2008. – № 8. – С. 31–36.

76. Таланин В.В. Обоснование параметров и технологии строительства карьера первой очереди при углубочно-сплошных поперечных системах разработки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГГУ, 2006. – 20 с.

77. Томаков П.И. Исследование транспортной системы разработки открытым способом свит крутых угольных пластов Кузбасса с размещением вскрыши в

выработанном пространстве. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1963.

78. Томаков П.И., Коваленко В.С. Вовлечение в производство ресурса выработанного пространства – основное направление в снижении ресурсоемкости и улучшении экологических показателей угледобычи на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень – 1998. – № 3. – С. 37–44.

79. Томаков П.И., Ненашев А.С. Поэтапная отработка пологих месторождений Южного Кузбасса // Добыча угля открытым способом – 1972. – № 1.

80. Трубецкой К.Н., Жариков И.Ф., Шендеров А.И. Совершенствование конструкции карьерных комплексов ЦПТ // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 21–25.

81. Трубецкой К.Н., Жариков И.Ф., Шендеров А.И. Совершенствование циклично-поточной технологии при комплексном освоении месторождений // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 3 (71). – С. 22–31.

82. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. Учебник для вузов в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство Академии горных наук, 2001.

83. Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А. Определение области применения способов разработки крутопадающих залежей с использованием заранее сформированного выработанного пространства карьера // Горный журнал. – 1994. № 1. – С. 51–59.

84. Угольная база России Т. 1–6. – М.: ЗАО «Геоинформмарк».

85. Хохряков В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 336 с.

86. Хохряков В.С. Проектирование карьеров 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 382 с.

87. Ческидов В.И. Очередность отработки пологих и наклонных угольных пластов с размещением вскрышных пород во внутренних отвалах. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 1999. – 52 с.

88. Шеметов П.А., Сытенков В.Н., Коломников С.С. Разработка крутопадающего месторождения открытым способом с поэтапным внутренним отвалообразованием // Горный журнал. – 2007. – № 5. – С. 17–30.

89. Шешко Е.Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей. – М.: Углетехиздат, 1953. – 116 с.
90. Шешко Е.Ф. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом. – М.: Углетехиздат, 1957. – 495 с.
91. Шешко Е.Ф., Ржевский В.В. Основы проектирования карьеров. – М.: Углетехиздат, 1958. – 355 с.
92. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
93. Юматов Б.П. Технология открытых горных работ и основные расчеты при комбинированной разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1966. – 147 с.
94. Яковлев В.Л. Развитие идей Е.Ф. Шешко по теории вскрытия карьерных полей // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2001. – № 12. – С. 117–121.
95. Ясюченя С.В., Опанасенко П.И., Исайченков А.Б., Рыбак Л.В. и др. Проблемы и перспективы использования циклично-поточной технологии для открытой разработки угольных и рудных месторождений // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 3. – С. 52–60.
96. BHP Billiton Mitsubishi Alliance Presentation [Electronic resource] // BHP Billiton resourcing the future [Official website]. URL: <http://www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/2005/BHPBillitonBMAPart2.pdf> (accessed: 11.05.2015).
97. In-pit crushing and conveying. Break it in the pit and save haulage costs. John Chadwick looks at some of the latest thinking and applications making mining more efficient and sustainable // International Mining. –june 2010. – pp. 33–41.
98. Tenova TAKRAF Open Cast Mining Equipment Optimal Solutions & Technologies [Electronic resource] // Tenova [Official website]. URL: [http://www.tenova.com/public/AA/products/tenova\\_takraf\\_open\\_cast\\_mining\\_eng.pdf](http://www.tenova.com/public/AA/products/tenova_takraf_open_cast_mining_eng.pdf) (accessed: 10.05.2015).

**Вклад соискателя в статьи, написанные в соавторстве:**

- оценка приемной способности выработанного карьерного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород, по предложенному методическому положению [33];
- обобщение возможных направлений вскрышных грузопотоков на различных этапах отработки угольных брахисинклиналей [50];

- определение зон работы и объемов вскрышных пород, приходящихся на различные виды транспорта, для условий разреза «Черниговский» [58];
- описание этапности развития отвальных массивов; типизация угольных брахисинклиналей по морфологическим признакам; методические положения по определению объемов вскрываемых запасов угля; систематизация брахисинклиналей в зависимости от условий заполнения выработанного пространства, формируемого при отработке пластов различной мощности [67];
- разработка принципиальной схемы компоновки отвальных массивов при отработке Апсатского каменноугольного месторождения [71];
- обобщение опыта использования мобильных дробильных установок на открытых горных работах [95].

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



**Приложение А. Исходные данные для определения изменения объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства**

Таблица А1 – Исходные данные для определения тенденций изменения объемов вскрышных пород, превышающих приемную способность выработанного пространства

| Параметры                                                                                                                     | Значения  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Углубление карьера, $У$ , м/год                                                                                               | 10,3–0    |
| Угол падения залежи, $\beta$ , град.                                                                                          | 14–0      |
| Градиент выполаживания пластов, $G$ , град/10 м углубления                                                                    | 0,35      |
| Нормальная мощность пластов, $m$ , м                                                                                          | 50        |
| Коэффициент показывающий долю выработанного пространства, пригодного для размещения вскрышных пород (среднее значение), $k_n$ | 0,85      |
| Скорость подвигания вскрышного фронта, $v$ , м/год                                                                            | 80        |
| Конечная глубина карьера, $H$ , м                                                                                             | 420       |
| Длина добычного фронта, м                                                                                                     | 6000–5160 |
| Угол наклона рабочего борта, $\alpha$ , град.                                                                                 | 15        |
| Угол откоса стационарного борта карьера, $\varphi$ , град.                                                                    | 45        |
| Коэффициент остаточного разрыхления вскрышных пород, $k_p$                                                                    | 1,25      |
| Объемная масса угля, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>                                                                                | 1,35      |

Площадь вскрываемой горной массы (по сечению) составит:

$$S_{г.м} = v \cdot (H + 0,5 \cdot У), \text{ м}^2, \quad (A1)$$

где  $v$  – скорость подвигания вскрышного фронта горных работ, м/год;

$H$  – глубина карьера, м;

$У$  – углубление горных работ, м/год.

Углубление карьера определяется по следующему выражению:

$$У = \frac{v}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta}, \text{ м/год}, \quad (A2)$$

где  $\alpha$  – угол откоса рабочего борта карьера, град.;

$\beta$  – угол падения залежи, град.

Объем вскрываемой горной массы:

$$V_{г.м} = S_{г.м} \cdot l_{ср.г.м}, \text{ м}^3, \quad (A3)$$

где  $l_{ср.г.м}$  – средняя длина фронта горных работ, м.

Среднее длина фронта горных работ определяется по формуле:

$$l_{\text{ср.г.м}} = \frac{\sum_{i=1}^n l(H_i)}{n}, \text{ м}, \quad (\text{A4})$$

где  $i$  – момент ввода месторождения в промышленную эксплуатацию на заданную производственную мощность;

$n$  – период отработки (число этапов, лет).

Зная обрабатываемый объем горной массы и полезного ископаемого, можно определить объем вскрышных пород:

$$V_{\text{в}} = V_{\text{г.м}} - V_{\text{п.и}} / \rho, \text{ м}^3, \quad (\text{A5})$$

где  $V_{\text{п.и}}$  – объем добываемого полезного ископаемого, т;

$\rho$  – объемная масса полезного ископаемого, т/м<sup>3</sup>.

## Приложение Б. Перспективы использования конвейерного транспорта для отработки крупных угольных месторождений

Созданию и совершенствованию горных работ на базе применения конвейерного транспорта посвящен целый ряд трудов и проектов крупных горных предприятий [8, 17, 25, 27, 37, 51, 80, 81, см. список использованных источников].

Эксплуатационные затраты на транспортирование тонны горной массы конвейером (с учетом затрат на дробление) примерно в два раза меньше аналогичных, при использовании карьерного автотранспорта [11, см. список использованных источников]. Несмотря на то, что капитальные расходы (CAPEX) для циклично-поточной технологии (ЦПТ) выше, совокупные расходы (TOTAL) на 20–40 % ниже. Это происходит потому, что эксплуатационные расходы (OPEX) в схемах ЦПТ меньше из-за сниженной потребности в автосамосвалах, водителях и техническом персонале (рисунок Б1).

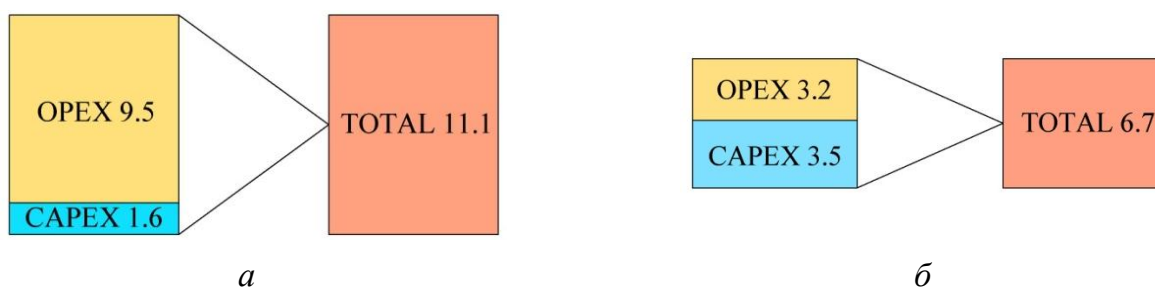


Рисунок Б1 – Диаграммы изменения эксплуатационных (OPEX), капитальных (CAPEX) и общих затрат (TOTAL) на транспортировку вскрышных пород при использовании: а) автосамосвалов; б) комплексов ЦПТ (данные фирмы Sandvik)

Комплексы ЦПТ эксплуатируются на угольных месторождениях США, Австралии, Китая, Канады, России, Казахстана и других стран. Одним из основных звеньев комплекса ЦПТ является дробильная установка, тип и место расположения которой в значительной мере определяют технико-экономические параметры всего комплекса.

На первых этапах внедрения комплексов ЦПТ дробильные станции выполнялись в качестве стационарных сооружений, перемещение которых, при углублении горных работ, требовало значительных затрат.

С развитием горного машиностроения были реализованы новые технические решения по конструкции дробильных станций. Главным преимуществом здесь явилось

применение новых типов дробилок и модульное исполнение дробильных станций. Таким образом, появились комплексы ЦПТ с полумобильными и полностью мобильными дробильными станциями.

В России и СНГ комплексы ЦПТ с полумобильными дробильными установками эксплуатируются на угольных разрезах «Талдинский» (рисунок Б2), «Бачатский» (рисунок Б3) и «Восточный» (Экибастузский угольный бассейн).



Рисунок Б2 – Полумобильная дробильная установка на разрезе «Талдинский» («Tenova TAKRAF») [39, см. список использованных источников]



Рисунок Б3 – Расположение комплекса ЦПТ на разрезе «Бачатский» (спутниковый снимок, <https://www.google.ru/maps/>): 1 – полумобильная дробильная установка; 2 – забойный конвейер; 3 – подъемный конвейер; 4 – магистральный конвейер; 5 – перегрузочный конвейер с магистрального участка на отвальный; 6 – отвальный конвейер; 7 – отвалообразователь

Полностью мобильные дробильные установки в горной практике впервые были применены во второй половине XX века на известняковых карьерах США, Европы и России (самоходный дробильный агрегат отечественного производства впервые был введен в эксплуатацию на Тургорякском карьере по добыче флюсовых известняков в 1968 г.) [63, см. список использованных источников].

В Австралии на угольном карьере «Goonyella» реализована схема ЦПТ с погрузкой горной массы экскаватором P&H 2800 в мобильную дробильную установку «MMD» (рисунок Б4), с последующим перемещением дробленого материала системой конвейеров на консольный отвалообразователь. Производительность данного комплекса составляет 13 млн м<sup>3</sup>/год.



Рисунок Б4 – Погрузка горной массы экскаватором P&H 2800 в передвижную дробильную установку «MMD» (разрез «Goonyella») [96, см. список использованных источников]

В состав комплексов ЦПТ с полностью мобильными дробильными установками входит экскаватор механическая лопата, передвижная дробильная установка, перегружатель, система конвейеров и отвалообразователь (рисунок Б5).

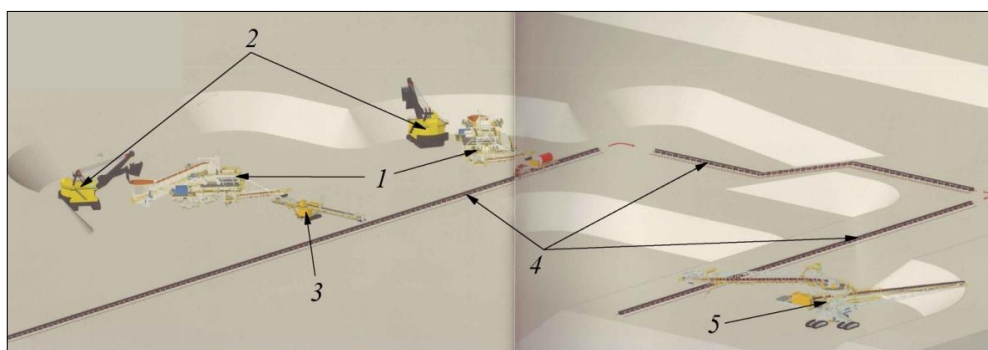


Рисунок Б5 – Состав комплекса ЦПТ с полностью мобильными дробильными установками: 1 – полностью мобильные дробильные установки; 2 – экскаваторы; 3 – перегружатель с дробилки на забойный конвейер; 4 – конвейерная система; 5 – отвалообразователь [49, см. список использованных источников]



Использование непрерывно работающей техники взамен циклично работающих автосамосвалов обеспечивает экономический эффект не только от роста производительности и снижения транспортных издержек, но также за счет экономии энергозатрат и затрат на реализацию мероприятий по охране окружающей среды [36, 95, см. список использованных источников].

Полностью мобильная дробильная установка фирмы «Tenova TAKRAF» при отработке вскрышной толщи используется на угольном разрезе «Clermont» (Австралия) с 2009 г. Она работает в комплексе с экскаватором P&H 4100XPC (рисунок Б6).

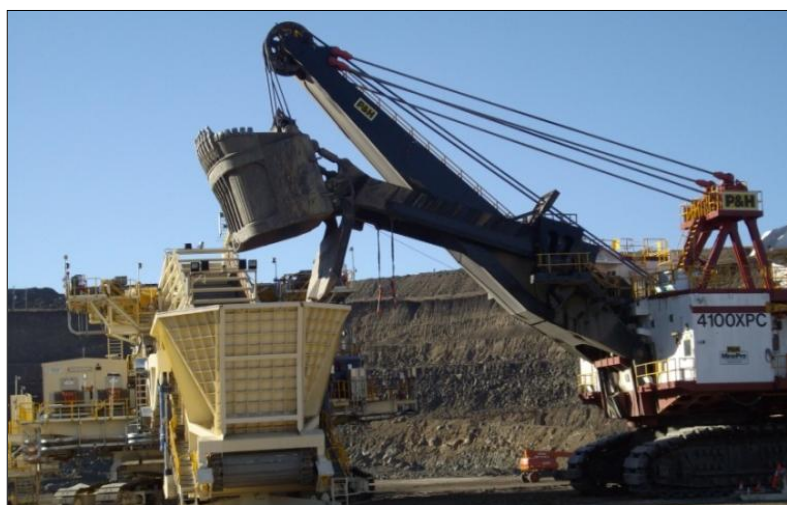


Рисунок Б6 – Мобильная дробильная установка фирмы «Tenova TAKRAF», работающая в комплексе с экскаватором P&H 4100XPC на вскрышных работах (разрез «Clermont», Австралия) [98, см. список использованных источников]

Производительность дробильной установки составляет 12000 т/ч, и на ее долю приходится около половины разрабатываемых вскрышных пород карьера. Ввод в эксплуатации данного комплекса позволил снизить эксплуатационные затраты карьера на транспортирование пород на 35 % [97, см. список использованных источников].

На отечественных карьерах в ближайшее время планируется внедрение вскрышных комплексов ЦПТ на Черниговском (производительностью 17 млн м<sup>3</sup>/год), а также на Краснобродском разрезе (2 комплекса с производительностью по 12 млн м<sup>3</sup>/год каждый). В работе [71, см. список использованных источников] рассмотрены перспективы отработки Апсатского каменноугольного месторождения с использованием комплексов ЦПТ.

Целесообразность строительства комплекса ЦПТ обычно оценивают на базе изменения чистых дисконтированных денежных потоков на этапе строительства

(инвестиционный этап) и в последующий эксплуатационный период (период операционной деятельности) [69, 72, см. список использованных источников].

При вводе в эксплуатацию комплекса ЦПТ снижается объем грузоперевозок автотранспортом, т. к. часть или весь объем вскрышных пород доставляется в отвал конвейерным транспортом.

В условиях стабильно работающего горного предприятия и нормального функционирования банковской системы важнейшим фактором при обосновании эффективности использования комплексов ЦПТ является срок окупаемости капитальных затрат (инвестиций). Анализ технико-экономических обоснований строительства комплексов ЦПТ свидетельствует, что величина данного показателя составляет от 5 до 8 лет (рисунок Б7).



Рисунок Б7 – Изменение чистых дисконтированных денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности при реализации проекта строительства комплекса ЦПТ на разрезе «Черниговский»:  $T_{ок}$  – срок окупаемости капитальных затрат

Срок окупаемости комплексов ЦПТ относительно высокий, однако, вследствие продолжительного срока эксплуатации данного оборудования и ухудшающихся горно-геологических условий разработки месторождений их использование во многих случаях является весьма эффективным.



## Приложение В. Справки об использовании результатов диссертационного исследования



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ  
«СДС-УГОЛЬ»



650066, Россия, г. Кемерово, пр. Притомский, д. 7/2, тел./факс +7(3842) 39-00-45, 68-08-40, e-mail: office@sds-ugol.ru; www.sds-ugol.ru

Для предоставления в диссертационный совет  
Д 212.132.16 при ФГАОУ ВПО «НИТУ «МИСиС»

### СПРАВКА

об использовании результатов кандидатской диссертации  
Левченко Ярослава Викторовича, выполненной в Национальном  
исследовательском технологическом университете «Московский институт стали и  
сплавов» (НИТУ «МИСиС»)

Настоящим письмом Акционерное Общество Холдинговая Компания «Сибирский Деловой Союз – Уголь» (АО ХК «СДС-Уголь») подтверждает, что результаты диссертационной работы Левченко Ярослава Викторовича «Обоснование схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров» заслушаны на техническом совещании. По результатам совещания принято решение об использовании методических рекомендаций по определению глубины заложения, конструкции и пунктов примыкания капитальных траншей к участкам рабочих бортов при проектировании схемы вскрытия рабочих горизонтов участков «Новоколбинский» и «Крохалевский-2» разреза «Черниговский».

Первый заместитель генерального директора  
технический директор



С.В. Бурцев

РОССИЯ, 115054, МОСКВА  
УЛ. ДУБНИНСКАЯ, ДОМ 53, СТР. 7  
ТЕЛ.: (495) 795-2538, ФАКС (495) 795-2542  
E-MAIL: OFFICE@SUEK.RU

WWW.SUEK.RU

No

об использовании результатов кандидатской диссертации

Левченко Ярослава Викторовича, выполненной в Национальном исследовательском технологическом университете «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС»)

Настоящим письмом «Сибирская угольная энергетическая компания» (АО «СУЭК») подтверждает, что результаты диссертационной работы Левченко Ярослава Викторовича «Обоснование схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров» явились базой для проектирования параметров капитальных траншей и прибортовых отвалов №8 и №9 со стороны рабочего борта разреза «Тугнуйский». В настоящее время данные технические решения внедрены в производство на разрезе «Тугнуйский».

**Заместитель технического директора  
АО «СУЭК», к.т.н.**

П.И. Опанасенко



## Приложение Г. Результаты расчетов по определению рациональной длины горизонтальной вставки траншеи

Таблица Г1 – Результаты расчетов по определению рациональной длины горизонтальной вставки при глубине заложения траншей 30 м

[illegible]

|                                                                                  |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Длина горизонтальной вставки 600 м                                               |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $K_{н,л}$                   | 0      | 0      | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,8   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q_{цпт,л}^{\Phi}$ млн м <sup>3</sup> /год      | 0      | 0      | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 16,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>н</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 552,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ , млн руб/год                        | 0      | 122,1  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 122,1 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{н,л}$ , млн руб/год              | 0      | 0      | 0      | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 28,2  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -822,1 | -700,0 | 530,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 645,3 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -655,4 | -498,2 | 336,8 | 516,4 | 461,1 | 411,7 | 367,5 | 232,7 | 293,0 | 261,6 | 233,6 | 208,6 | 186,2 | 166,3 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.          | 1896,8 |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                            | 7,14   |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Длина горизонтальной вставки 1200 м                                              |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{н,л}$                   | 0      | 0      | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q_{цпт,л}^{\Phi}$ млн м <sup>3</sup> /год      | 0      | 0      | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>н</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ , млн руб/год                        | 0      | 234,8  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{н,л}$ , млн руб/год              | 0      | 0      | 0      | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  | 18,8  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -934,8 | -700,0 | 530,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 | 910,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -745,3 | -498,2 | 336,8 | 516,4 | 461,1 | 411,7 | 367,5 | 328,2 | 293,0 | 261,6 | 233,6 | 208,6 | 186,2 | 166,3 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.          | 1902,4 |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                            | 7,39   |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |



Таблица Г2 – Результаты расчетов по определению рациональной длины горизонтальной вставки при глубине заложения траншей 45 м

|                                                                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Годы $n$                                                                             | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
| Коэффициент дисконтирования $k_d$                                                    | 0,89   | 0,80   | 0,71   | 0,64   | 0,57   | 0,51   | 0,45   | 0,40   | 0,36   | 0,32   | 0,29   | 0,26   | 0,23   | 0,20   | 0,18   |
| Эксплуатационные расходы при перемещении пород автотранспортом $B_{a,m}$ млн руб/год | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 |
| Инвестиции на комплекс ЦПТ $I_m$ млн руб/год                                         | 700,0  | 700,0  | 700,0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Амортизация комплекса ЦПТ $A_m$ млн руб/год                                          | 0      | 0      | 0      | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  |
| Длина горизонтальной вставки 200 м                                                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{п,л}$                       | 0      | 0      | 0      | 0,5    | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 1      |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{цпт,m}$ млн м <sup>3</sup> /год          | 0      | 0      | 0      | 10,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>m</sub> млн руб/год       | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  |
| Затраты на строительство траншеи $Z_{тр,Л}$ млн руб/год                              | 0      | 91,0   | 0      | 0      | 91,0   | 0      | 91,0   | 0      | 91,0   | 0      | 91,0   | 0      | 91,0   | 0      | 0      |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,m}$ млн руб/год                    | 0      | 0      | 0      | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 33,5   |
| Чистый денежный поток $CF_m$ млн руб/год                                             | -700,0 | -791,0 | -700,0 | 544,8  | 705,7  | 924,8  | 705,7  | 924,8  | 705,7  | 924,8  | 705,7  | 924,8  | 705,7  | 924,8  | 924,8  |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_m$ млн руб/год                            | -625,0 | -630,6 | -498,2 | 346,2  | 400,5  | 468,5  | 319,2  | 373,5  | 254,5  | 297,7  | 202,9  | 237,4  | 161,7  | 189,2  | 169,0  |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом $NPV$ , млн руб.           | 1666,5 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций $DPP$ , лет                             | 7,58   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Длина горизонтальной вставки 400 м                                                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{п,л}$                       | 0      | 0      | 0      | 0,5    | 1      | 1      | 0,8    | 1      | 1      | 1      | 0,8    | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{цпт,m}$ млн м <sup>3</sup> /год          | 0      | 0      | 0      | 10,0   | 20,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>m</sub> млн руб/год       | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0  | 400,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  |
| Затраты на строительство траншеи $Z_{тр,Л}$ млн руб/год                              | 0      | 158,0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 158,0  | 0      | 0      | 0      | 158,0  | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,m}$ млн руб/год                    | 0      | 0      | 0      | 33,5   | 33,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 33,5   | 33,5   | 57,5   | 33,5   | 33,5   | 33,5   | 33,5   |
| Чистый денежный поток $CF_m$ млн руб/год                                             | -700,0 | -858,0 | -700,0 | 544,8  | 924,8  | 924,8  | 638,7  | 924,8  | 924,8  | 924,8  | 638,7  | 924,8  | 924,8  | 924,8  | 924,8  |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_m$ млн руб/год                            | -625,0 | -684,0 | -498,2 | 346,2  | 524,7  | 468,5  | 288,9  | 373,5  | 333,5  | 297,7  | 183,6  | 237,4  | 211,9  | 189,2  | 169,0  |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом $NPV$ , млн руб.           | 1816,9 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций $DPP$ , лет                             | 7,48   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

| Длина горизонтальной вставки 600 м                                               |        |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{п,л}$                   | 0      | 0       | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,8   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{цп,л}$ млн м <sup>3</sup> /год       | 0      | 0       | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 16,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>л</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0  | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 552,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ млн руб/год                          | 0      | 225,1   | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 225,1 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,л}$ млн руб/год                | 0      | 0       | 0      | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 57,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -925,1  | -700,0 | 544,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 571,7 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -737,5  | -498,2 | 346,2 | 524,7 | 468,5 | 418,3 | 373,5 | 206,2 | 297,7 | 265,8 | 237,4 | 211,9 | 189,2 | 169,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.          | 1847,8 |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                            | 7,27   |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Длина горизонтальной вставки 1200 м                                              |        |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{п,л}$                   | 0      | 0       | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{цп,л}$ млн м <sup>3</sup> /год       | 0      | 0       | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>л</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0  | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ млн руб/год                          | 0      | 426,1   | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,л}$ млн руб/год                | 0      | 0       | 0      | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  | 33,5  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -1126,1 | -700,0 | 544,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 | 924,8 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -897,7  | -498,2 | 346,2 | 524,7 | 468,5 | 418,3 | 373,5 | 333,5 | 297,7 | 265,8 | 237,4 | 211,9 | 189,2 | 169,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.          | 1814,8 |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                            | 7,7    |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Таблица ГЗ – Результаты расчетов по определению рациональной длины горизонтальной вставки при глубине заложения траншей 60 м

|                                                                                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Годы $n$                                                                               | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
| Коэффициент дисконтирования $k_d$                                                      | 0,89   | 0,80   | 0,71   | 0,64   | 0,57   | 0,51   | 0,45   | 0,40   | 0,36   | 0,32   | 0,29   | 0,26   | 0,23   | 0,20   | 0,18   |
| Эксплуатационные расходы при перемещении пород автотранспортом $B_{a,n}$ , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 |
| Инвестиции на комплекс ЦПТ $I_n$ , млн руб/год                                         | 700,0  | 700,0  | 700,0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Амортизация комплекса ЦПТ $A_n$ , млн руб/год                                          | 0      | 0      | 0      | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  | 131,3  |
| Длина горизонтальной вставки 200 м                                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{n,l}$                         | 0      | 0      | 0      | 0,5    | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 0,8    | 1      | 1      |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{\text{цпг},n}$ , млн м <sup>3</sup> /год   | 0      | 0      | 0      | 10,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>n</sub> , млн руб/год       | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  |
| Затраты на строительство траншей $Z_{\text{тр},L}$ , млн руб/год                       | 0      | 156,6  | 0      | 0      | 156,6  | 0      | 156,6  | 0      | 156,6  | 0      | 156,6  | 0      | 156,6  | 0      | 0      |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,n}$ , млн руб/год                    | 0      | 0      | 0      | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 53,7   |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                             | -700,0 | -856,6 | -700,0 | 565,0  | 685,5  | 945,0  | 685,5  | 945,0  | 685,5  | 945,0  | 685,5  | 945,0  | 685,5  | 945,0  | 945,0  |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CE_n$ , млн руб/год                            | -625,0 | -682,9 | -498,2 | 359,0  | 389,0  | 478,7  | 310,1  | 381,6  | 247,2  | 304,2  | 197,1  | 242,5  | 157,1  | 193,4  | 172,6  |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.                | 1626,6 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                                  | 7,7    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Длина горизонтальной вставки 400 м                                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $k_{n,l}$                         | 0      | 0      | 0      | 0,5    | 1      | 1      | 0,8    | 1      | 1      | 1      | 0,8    | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q^{\Phi}_{\text{цпг},n}$ , млн м <sup>3</sup> /год   | 0      | 0      | 0      | 10,0   | 20,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   | 16,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   | 20,0   |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>n</sub> , млн руб/год       | 1160,0 | 1160,0 | 1160,0 | 780,0  | 400,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  | 552,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  | 400,0  |
| Затраты на строительство траншей $Z_{\text{тр},L}$ , млн руб/год                       | 0      | 264,0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 264,0  | 0      | 0      | 0      | 264,0  | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,n}$ , млн руб/год                    | 0      | 0      | 0      | 53,7   | 53,7   | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 53,7   | 53,7   | 102,9  | 53,7   | 53,7   | 53,7   | 53,7   |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                             | -700,0 | -964,0 | -700,0 | 565,0  | 945,0  | 945,0  | 578,1  | 945,0  | 945,0  | 945,0  | 578,1  | 945,0  | 945,0  | 945,0  | 945,0  |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CE_n$ , млн руб/год                            | -625,0 | -768,5 | -498,2 | 359,0  | 536,2  | 478,7  | 261,5  | 381,6  | 340,8  | 304,2  | 166,2  | 242,5  | 216,6  | 193,4  | 172,6  |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.                | 1761,7 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет                                  | 7,67   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |



| Длина горизонтальной вставки 600 м                                               |        |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $K_{н,л}$                   | 0      | 0       | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,8   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q_{цп,л}^{\Phi}$ млн м³/год                    | 0      | 0       | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 16,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>л</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0  | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 552,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ , млн руб/год                        | 0      | 371,4   | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 371,4 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,л}$ , млн руб/год              | 0      | 0       | 0      | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 102,9 | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -1071,4 | -700,0 | 565,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 470,7 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -854,1  | -498,2 | 359,0 | 536,2 | 478,7 | 427,4 | 381,6 | 169,8 | 304,2 | 271,7 | 242,5 | 216,6 | 193,4 | 172,6 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом $NPV$ , млн руб.       | 1776,5 |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций $DPP$ , лет                         | 7,46   |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Длина горизонтальной вставки 1200 м                                              |        |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Коэффициент, учитывающий время простоя комплекса ЦПТ $K_{н,л}$                   | 0      | 0       | 0      | 0,5   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Производительность комплекса ЦПТ $Q_{цп,л}^{\Phi}$ млн м³/год                    | 0      | 0       | 0      | 10,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  | 20,0  |
| Эксплуатационные расходы по предлагаемому варианту ОД <sub>л</sub> , млн руб/год | 1160,0 | 1160,0  | 1160,0 | 780,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 | 400,0 |
| Затраты на строительство траншей $Z_{тр,л}$ , млн руб/год                        | 0      | 693,6   | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Возвращение затрат на строительство траншей $Z_{в,л}$ , млн руб/год              | 0      | 0       | 0      | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  | 53,7  |
| Чистый денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                                       | -700,0 | -1393,6 | -700,0 | 565,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 | 945,0 |
| Чистый дисконтированный денежный поток $CF_n$ , млн руб/год                      | -625,0 | -1111,0 | -498,2 | 359,0 | 536,2 | 478,7 | 427,4 | 381,6 | 340,8 | 304,2 | 271,7 | 242,5 | 216,6 | 193,4 | 172,6 |
| Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом $NPV$ , млн руб.       | 1690,6 |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дисконтированный срок окупаемости инвестиций $DPP$ , лет                         | 8,15   |         |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |