

УДК 622.271:622.33

Титов Роман Сергеевич

старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Кантемиров Валерий Данилович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией управления
качеством минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukrkant@mail.ru

Яковлев Андрей Михайлович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: quality@igduran.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСВОЕНИЯ
АК-ТАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАМЕННОГО УГЛЯ****Аннотация:*

В настоящее время основной тенденцией горнодобывающего производства является усложнение условий разработки и связанные с этим горно-геологические риски освоения новых востребованных для народного хозяйства сложноструктурных месторождений. К разряду месторождений сложного геолого-морфологического строения относится участок Одегелдей Ак-Тальского каменноугольного месторождения в Республике Тыва. Приведены технические решения по снижению технико-технологических и горно-геологических рисков при отработке сложноструктурного месторождения каменного угля, реализация которых позволяет снизить их до приемлемого уровня, достаточного для рассмотрения инвестиционных проектов по его разработке. Рассмотрены варианты инфраструктурного обеспечения добычи угля, включая транспортную доступность месторождения и проблему электроснабжения предприятия и связанных с ним объектов. Установлены параметры разработки и экономические показатели, которые могут обеспечить приемлемый уровень эффективности добычи. Выполнена технико-экономическая оценка перспектив освоения участка Одегелдей, необходимость в которой связана с определенным дефицитом доступного для обеспечения городских котельных и частных домохозяйств угля.

Ключевые слова: сложноструктурное месторождение, каменный уголь, открытая отработка, модель карьера, схемы электроснабжения, транспортная инфраструктура, технические решения, риск, экономическая эффективность.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.016

Titov Roman S.

Senior Researcher,
Quality management laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Kantemirov Valery D.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Quality management laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukrkant@mail.ru

Yakovlev Andrei M.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Quality management laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: quality@igduran.ru

**SUBSTANTIATION OF OPTIONS
FOR THE DEVELOPMENT
OF THE AK-TALSKY COAL DEPOSIT***Abstract:*

Currently, the main trend of mining production is the complication of the development conditions and the associated mining and geological risks of developing new complex-structured deposits that are in demand for the national economy. The Odegeldey section of the Ak-Talsky coal deposit in the Republic of Tyva belongs to the category of deposits of complex geological and morphological structure. This article presents technical solutions to reduce technical and technological as well as mining and geological risks during the development of a complex-structured coal deposit, the implementation of which allows to reduce them to an acceptable level sufficient for consideration of investment projects for its development. Options for infrastructural support of coal mining are considered, including transport accessibility of the deposit and the problem of power supply to the enterprise and related facilities. The development parameters and economic indicators that can provide an acceptable level of production efficiency have been established. The article presents a technical and economic assessment of the prospects for the development of the Odegeldey section, the need for which is associated with a certain shortage of coal available to provide urban boiler houses and private households.

Key words: complex-structured deposit, coal, open-pit mining, quarry model, power supply schemes, transport infrastructure, technical solutions, risk, economic efficiency.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №1, тема «Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горно-технических систем» (2022–2024) (FUWE-2022-0005), пер. № 1021062010531-8-1.5.1.

Введение

Ак-Тальское каменноугольное месторождение расположено в центральной части Республики Тыва в северных предгорьях хребта Танну-Ола. По данным геологических отчетов 1970-х годов месторождение состоит из 3-х участков: Чалама, Кесарыг и Одегелдей, удаленных, соответственно, друг от друга на 18 и 4 км.

Наиболее перспективным для открытой разработки является пласт № 1 участка Одегелдей. Всего на участке каменные угли представлены тремя пластами – двумя крупными № 1 и 2 и одним более мелким № 3. Участок Одегелдей Ак-Тальского угольного месторождения находится на правом берегу р. Элегест в 140 км от столицы региона г. Кызыла. Вблизи участка в 2-х км на северо-восток находится с. Холчук, которое связано с пос. Хову-Аксы грунтовой дорогой (расстояние до Ак-Тала – 25 км, до с. Холчук – 43 км).

Пласт № 1 сложного строения с углом падения в 20° имеет запасы чистого угля (без породных пропластков) по категориям В+С₁ – 3,7 млн т. Запасы подсчитаны до глубины 109 м, средняя истинная мощность пласта (чистого угля) составляет 8,1 м. Угли Одегелдейского участка по ГОСТ 25543-2013 относятся к марке СС (слабоспекающиеся), со средней теплотой сгорания 6,8 Мкал/кг и зольностью до 20 %. Угли характеризуются высокой зольностью и трудной обогатимостью и могут быть рекомендованы к использованию в качестве энергетического топлива.

Целью исследований является технико-экономическая оценка перспектив освоения участка Одегелдей Ак-Тальского месторождения каменного угля.

В свою очередь, основной целью освоения месторождения является возможность обеспечить углем социально значимые объекты в г. Кызыл и окрестностях (местные котельные, частные домохозяйства и др.).

Материалы исследований

По результатам горно-геометрического анализа расчетные запасы угля пласта № 1 участка Одегелдей в границах проектируемого карьера с глубиной отработки 100 м следующие:

- объем балансовых запасов в границах пласта № 1, обрабатываемого карьером глубиной 100 м, составляет по категориям В+С₁ – 3,69 млн т;
- объем вскрышных скальных и полускальных пород в границах карьера – 26,6 млн м³;
- текущий коэффициент вскрыши в границах карьера – 7,2 м³/т;
- количество некондиционного угля пласта № 1 составляет – 4,88 млн т (3,42 млн м³) или 56,9 % от общих геологических запасов в контурах карьера (в 1,3 раза больше обрабатываемых балансовых запасов угля в этих же контурах).

Элементом новизны данной работы является разработанный метод обоснования границ ведения горных работ, основанный на оценке эффективности добычи балансовых запасов угольного пласта с комплексным анализом параметров его отработки 3-мя методами: горно-геометрическим анализом (графоаналитический метод), математического и компьютерного моделирования на базе современных геоинформационных технологий. Указанный подход позволяет получать удовлетворительный результат численного обоснования границ разработки при отсутствии ряда исходных экономических и других показателей.

Обоснование границ методом горно-геометрического анализа производилось для двух «условно» задаваемых вариантов границ ведения горных работ: карьер глубиной до 50 м (I-я очередь) и карьер для отработки всех балансовых запасов глубиной до 100 м (II-я очередь). Критерием выбора соответствующего варианта являлось выполнение заданных условий, таких как наименьший коэффициент вскрыши, обеспечение

безопасной отработки угля, соблюдения нормативных показателей потерь и разубоживания и т.д.

Обоснование границ открытых горных работ методом компьютерного моделирования выполнено на базе оцифрованных геологических данных 1970 – 1972 гг. (лаборатория УКР ИГД УрО РАН), построенных 3D моделей развития открытых горных работ с учетом горно-геологических и горнотехнических условий разработки карьера [1].

Линейные размеры карьера при полной отработке балансовых запасов угля пласта № 1 определялись с плана и разрезов его компьютерной модели и представлены на рис. 1 - 2, табл. 1.

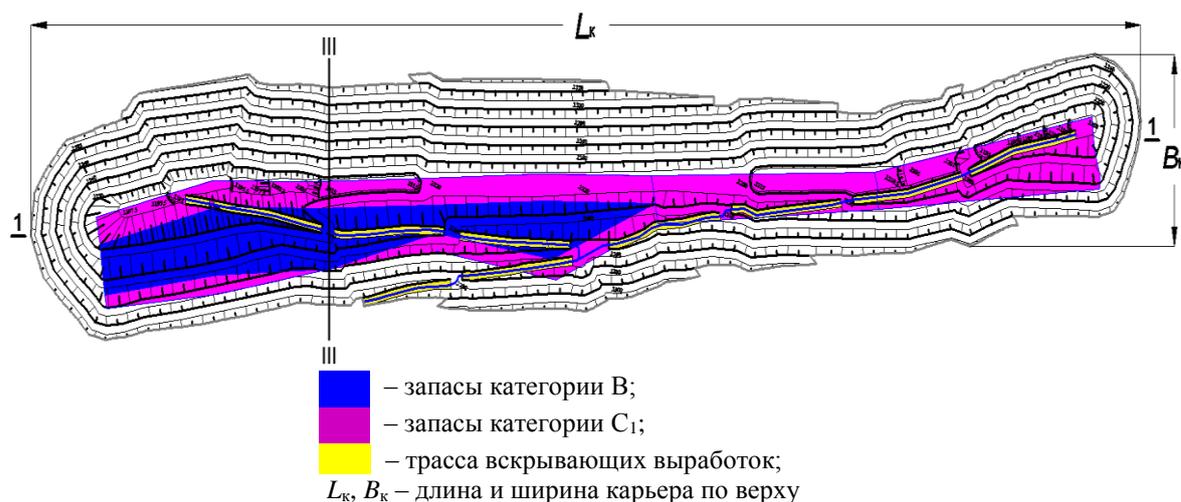


Рис. 1. План модели карьера (средний размер $L_k \times B_k = 2500 \times 350$ м)

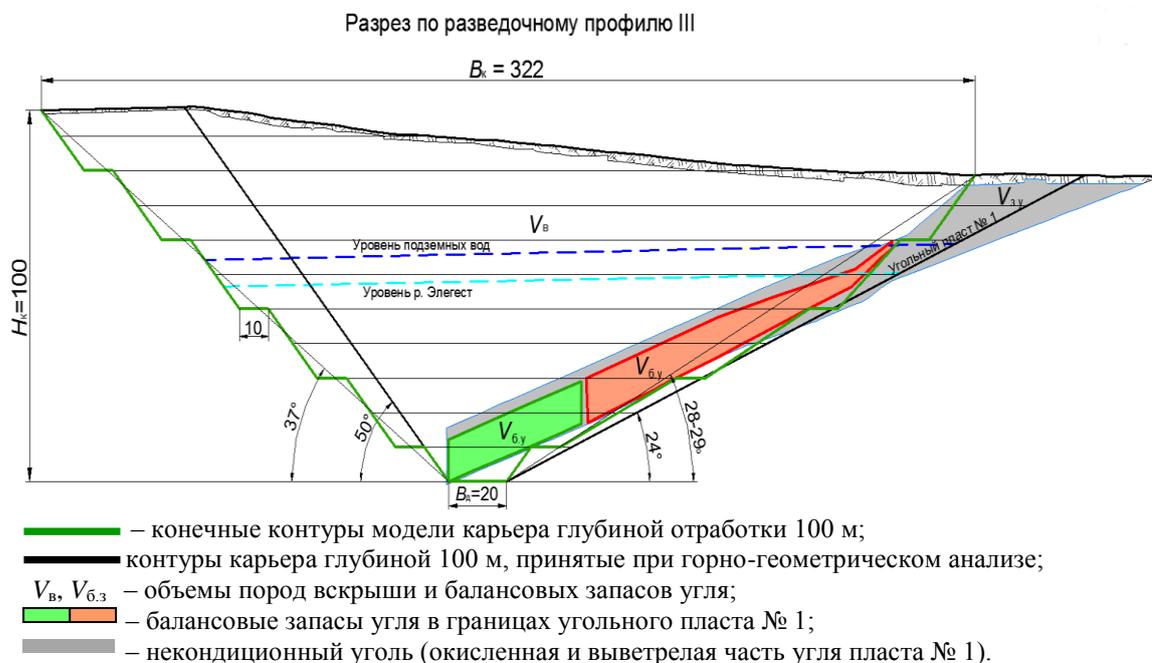


Рис. 2. Поперечный разрез модели карьера по разведочному профилю III

Таблица 1

Основные параметры разрабатываемого карьера

№	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели
1	Площадь карьера по поверхности, S_k	тыс. м ²	847,4
2	Глубина карьера, H_k	м	до 105
3	Длина карьера по поверхности, L_k	м	2500
4	Наибольшая ширина карьера по поверхности, B_k^{\max}	м	370
5	Средняя ширина карьера по поверхности, B_k	м	320
6	Углы погашения борта по углю, $\beta_{п.у}$	град.	20 – 26
7	Угол погашения борта по вскрыше, $\beta_{п.в}$	град.	36 – 37
8	Средний угол погашения борта, $\beta_{п}$	град.	29
В конечных контурах карьера			
9	Объем горной массы	тыс. м ³	28 705
10	Эксплуатационные запасы руды	тыс. т	3 698
		тыс. м ³	2 586
11	Объем вскрышных пород	тыс. м ³	26 119
12	Средний коэффициент вскрыши, k_b	м ³ /т	7,2
		м ³ / м ³	10,1

Реализация математического метода обоснования границ карьера включает проверку принятой глубины карьера по следующей модели:

$$H_{к.к} = \frac{H_{к.п} \operatorname{ctg} \beta_p}{\operatorname{ctg} \beta_n} = \frac{-P_d + \sqrt{P_d^2 - 4\pi(S_d - M_n L_d [1 + k_b])}}{2\pi \operatorname{ctg} \beta_n}; \quad (1)$$

$$M_n = \frac{m_n}{\sin \alpha_n} = \frac{h_n \cos \alpha_n}{\sin \alpha_n}, \quad (2)$$

где β_n – угол откоса нерабочего борта карьера, град;

P_d – периметр дна карьера, м;

S_d – площадь дна карьера, м²;

B_d – ширина дна карьера, м;

M_n – горизонтальная мощность пласта (балансовой части запасов), м;

L_d – длина дна карьера (определяется длиной пласта по простиранию, $L_d \sim L_n$), м;

k_b – средний коэффициент вскрыши, м³/м³ (м³/т);

m_n – средняя истинная эксплуатационная мощность пласта, м;

h_n – средняя вертикальная мощность пласта, м;

α_n – средний угол падения пласта, град.

Общий срок эксплуатации карьера (по отработке пласта № 1), исходя из количества утвержденных балансовых запасов угля и принятой годовой производительности по его добыче в 300 тыс. т/год, определяется следующим выражением, лет:

$$T_{э.к} = \frac{Q_{п.у}}{A_y} + (T_o + T_э) = \frac{Q_{б.у} k_{и}}{A_y} + T_{о.э} = \frac{Q_{б.у} (1 - \eta)}{A_y} + T_{о.э} = \frac{3698498 \times (1 - 0,1)}{300000} + 1,5 = 12,6, \quad (3)$$

где $Q_{п.у}$ – промышленные запасы угля в контурах карьера, т;

$Q_{б.у}$ – утвержденные балансовые запасы угля в контурах карьера, т;

$k_{и}$ – коэффициент извлечения, учитывающий потери угля при добыче, дол. ед.;

A_y – проектная производительность карьера по углю, т/год;

$T_{о.э}$ – время на освоение и затухание мощности карьера по добыче (1 – 2), год.

Разработку угольного месторождения участка Одегелдей предполагается вести открытым способом с применением в качестве основного выемочного оборудования на

вскрышных и добычных работах по вариантам привода (электропривод или дизельный) [2, 3]:

– на добыче угля гидравлического гусеничного экскаватора ЭО-5225 (прямая лопата, вместимость ковша 2,5 м³) (ООО «ВЗЭ Экспорт», г. Воронеж, дизельный привод);

– на вскрышных работах гусеничного экскаватора ЭКГ-5А (вместимость ковша 5 м³) (ПАО «Уралмашзавод» (УЗТМ) электропривод) или гусеничный дизельный экскаватор Komatsu PC1250 (прямая лопата, вместимость ковша до 6,5 м³).

Транспортирование горной массы выполняется автомобильным карьерным транспортом:

– вскрышных пород автосамосвалами БелАЗ-7547 грузоподъемностью 45 т - 8 шт.;

– угля на склад самосвалами-углевозами КАМАЗ-65801-Т5, грузоподъемностью 31 т – 2 шт.

Основная доля технологических перевозок карьера приходится на вскрышные породы.

По физико-механическим свойствам угли месторождения и вскрышная порода требуют предварительной подготовки буровзрывным способом.

Подготовка полезного ископаемого и вскрышных пород к выемке осуществляется буровзрывным способом с применением на бурении взрывных скважин станка шарошечного бурения СБШ-250МНА-32 с диаметром скважин 200 мм (для угля) и 250 мм (для вскрышных пород) (ООО УК «Рудгормаш», г. Воронеж, электропривод высоковольтного исполнения) или СБШ-250Д (дизельное исполнение).

Взрывная подготовка вскрышной породы производится с помощью взрывчатого вещества Граммонит 79/21, угля – Граммонит Д5 [4]. Для производства взрывных работ предусмотрено привлечение специализированной организации.

На вспомогательных работах, в карьере, на отвале и складе готовой продукции предполагается использовать бульдозер с емкостью отвала 11,9 м³ и фронтальный колесный погрузчик с вместимостью ковша 2,4 м³.

Добытый уголь из забоя транспортируется самосвалами-углевозами КАМАЗ-65801-Т5 (г/п 31 т) на угольный склад готовой продукции.

Извлеченная вскрыша вывозится автосамосвалами БелАЗ-7547 (г/п 45 т) во внешний отвал, расположенный в непосредственной близости от разрабатываемого карьера, часть скальных вскрышных пород используется для ремонта и строительства автодорог в пределах Одегелдейского участка месторождения.

Освоение участка Одегелдей связано с отсутствием в радиусе более 50 км необходимых объектов инфраструктур – автодорог с твердым покрытием и объектов электроснабжения (ЛЭП, трансформаторных подстанций и др.).

В связи с этим при разработке ТЭО освоения месторождения было рассмотрено три варианта схемы электроснабжения предприятия и связанных с предприятием объектов в близлежащем селе Холчук:

– *вариант 1* (базовый, условное обозначение Э1) – предусматривается строительство ЛЭП-35 кВ протяженностью 40 км до с. Холчук и ряда трансформаторных понизительных подстанций: 110/35 кВ – 1 шт., 35/6 кВ – 1 шт., 6/0,4 кВ – 1 шт. – и воздушных и кабельных линий электропередач (рис. 3);

– *вариант 2* (условное обозначение Э2) – энергообеспечение основных и вспомогательных объектов добычи обеспечивается дизельной электростанцией мощностью 2400 кВт напряжением на выходе 6 кВ, размещаемой на промплощадке в с. Холчук, по этому варианту предполагается строительство ряда трансформаторных понизительных подстанций, воздушных и кабельных линий электропередач (рис. 4);

– *вариант 3* (условное обозначение Э3) – предусматривает использование в карьере на основных и вспомогательных технологических операциях дизельного оборудования, при этом для электропитания отдельных групп вспомогательного оборудования предусматривается дизельная электростанция мощностью до 800 кВт и модернизация действующей трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ в с. Холчук (рис. 5).

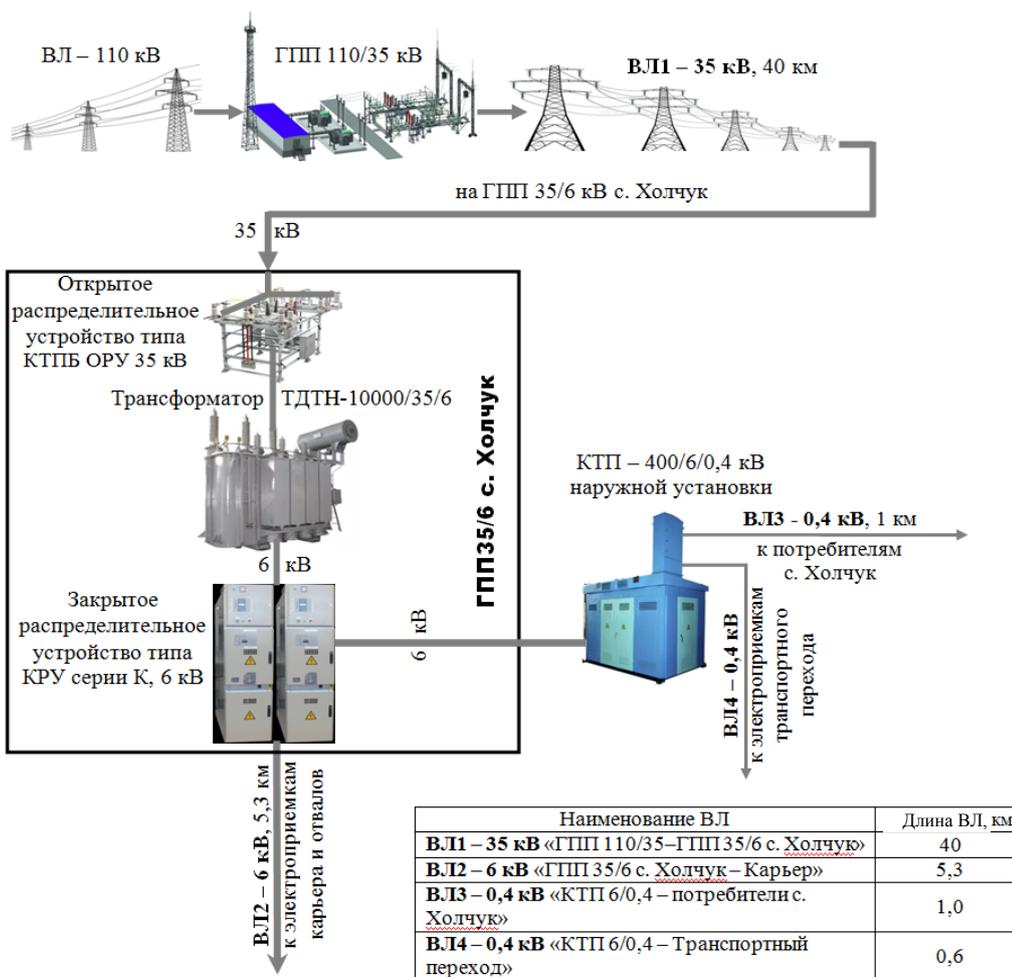


Рис. 3. Принципиальная схема электроснабжения по варианту 1 (Э1)

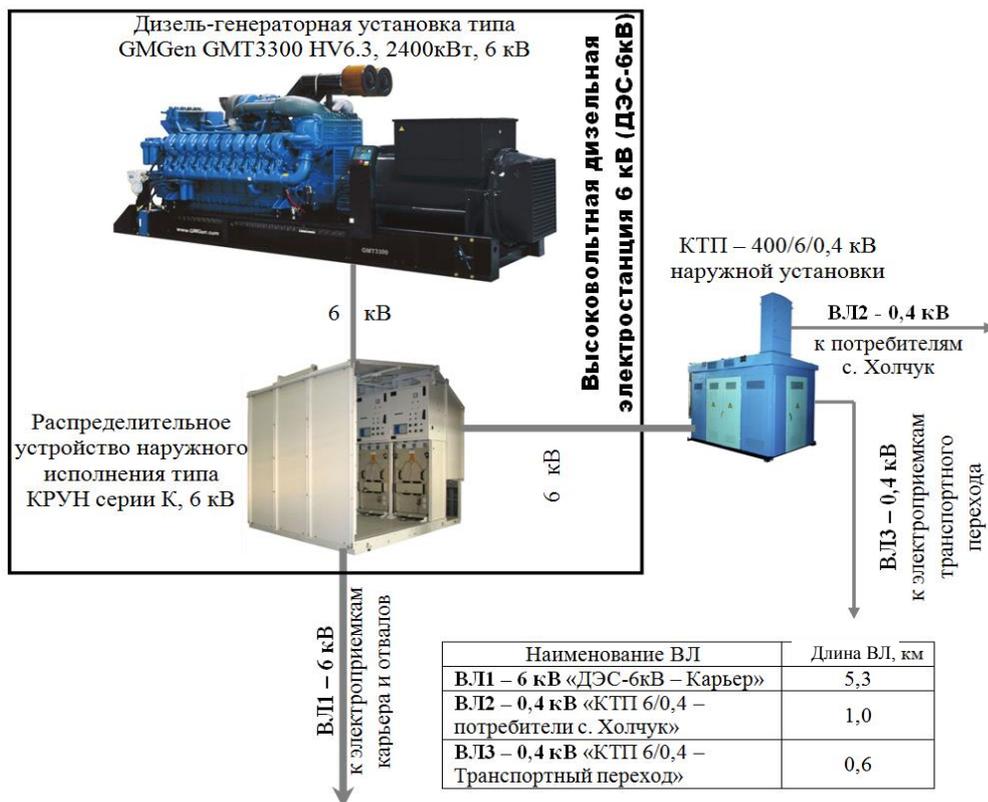


Рис. 4. Принципиальная схема электроснабжения по варианту 2 (Э2)

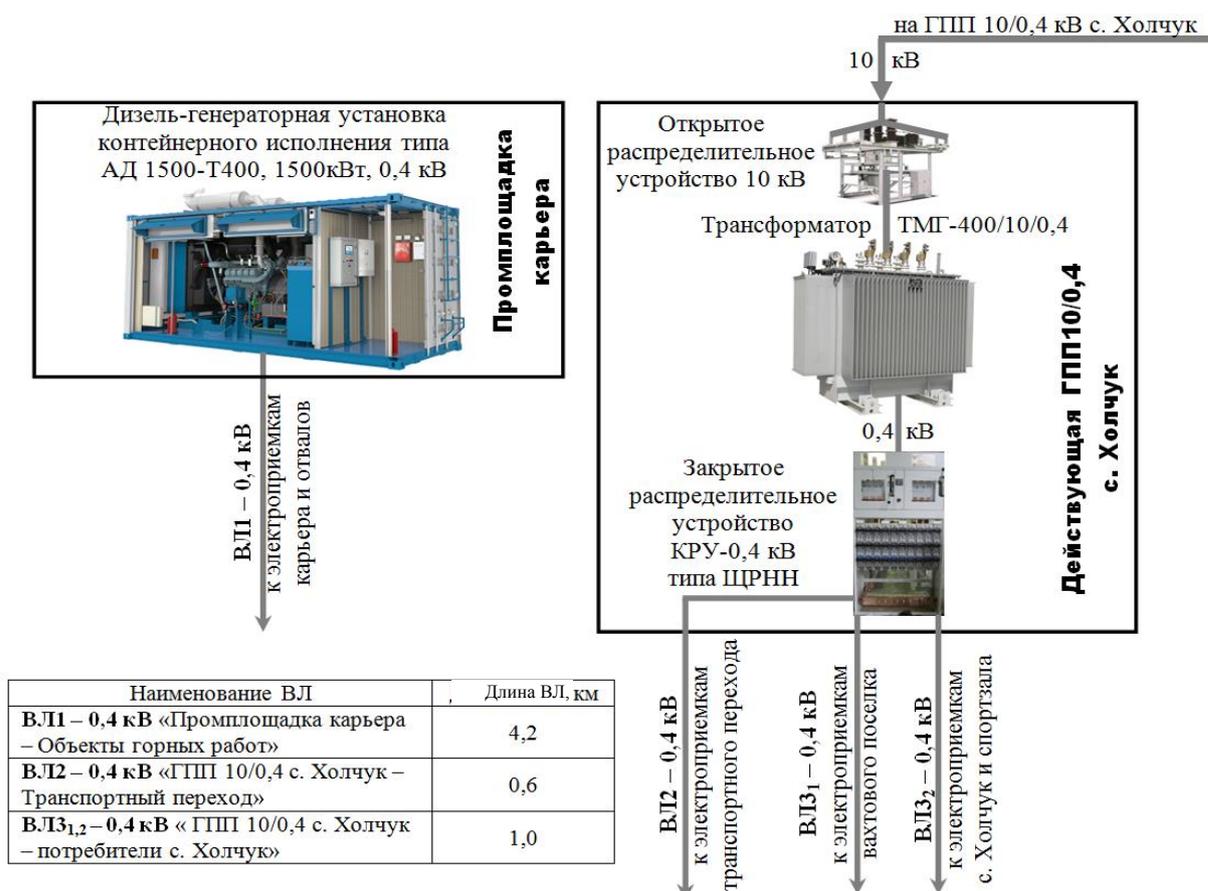


Рис. 5. Принципиальная схема электроснабжения по варианту 3 (ЭЗ)

Рассмотрено два варианта обеспечения безопасной транспортной доступности карьера:

- 1-й вариант – строительство новой автодороги IV категории с. Холчук – с. Ак-Тал протяженностью 20 км с выходом на существующую дорожную сеть района;
- 2-й вариант – ремонт существующей автодороги с. Холчук – с. Ак-Тал.

В настоящее время по действующей грунтовой автодороге с. Холчук – с. Ак-Тал производится круглогодичное движение низкой интенсивности.

По оцениваемому варианту строительства новой автодороги с. Холчук – с. Ак-Тал предлагается устройство насыпной (гравийной) автодороги в соответствии с п. 4.3 СП 34.13330.2012 и ГОСТ Р 52398-2005, которая относится к классу «дорога обычного типа» (не скоростная дорога) категории IV с расчетной интенсивностью движения от 200 до 2000 авт./сутки. Дорога имеет единую проезжую часть, доступ на которую возможен через пересечения и примыкания, расположенные не чаще, чем через 100 м. По технической классификации автомобильных дорог общего пользования ГОСТ Р 52398-2005, дорога IV категории может иметь 2 полосы движения с шириной по 3,0 м каждая, без центральной разделительной полосы. Расход материалов на строительство автодороги протяженностью 20 км представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расход материалов для строительства автодороги с. Холчук – с. Ак-Тал

Объекты	Расход материалов, тыс. м ³		
	Щебень	Смесь № С4	Песок
На 1 км дороги	1,6	1,63	0,06
Всего на дорогу (20 км)	32	32,6	1,2

При реализации варианта с ремонтом существующей автодороги решено использовать для подсыпки скальные породы текущей вскрыши (песчаники, алевролиты) после их предварительной подготовки (дробления, сортировки). Для этих целей предлагается использовать мобильный агрегат дробления и сортировки типа АДС-50-И (ДРО-755-А) производства ЗАО «Дробмаш» г. Выкса, который состоит из конусной дробилки, грохота самобалансного, транспортера приемо-передающего, транспортера разгрузки дробилки и транспортеров разгрузки грохота.

Оба варианта обеспечения транспортной доступности разрабатываемого карьера к автодорожной сети предусматривают обустройство технологического транспортного перехода через реку Элегест (рис. 6, табл. 3).

В состав транспортного перехода входят автомобильный мост через реку Элегест грузоподъемностью 60 т для одностороннего проезда груженых автосамосвалов-углевозов типа КАМАЗ-65801-Т5 (масса автосамосвала с грузом – 50 т) и порожних карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ-7547 (грузоподъемностью – 45 т, масса порожнего а.с. – 33 т), предназначенных для перевозки вскрыши. Для проезда техники на гусеничном ходу и перевозки крупногабаритных грузов предусмотрен брод в 30 м от моста по течению реки.

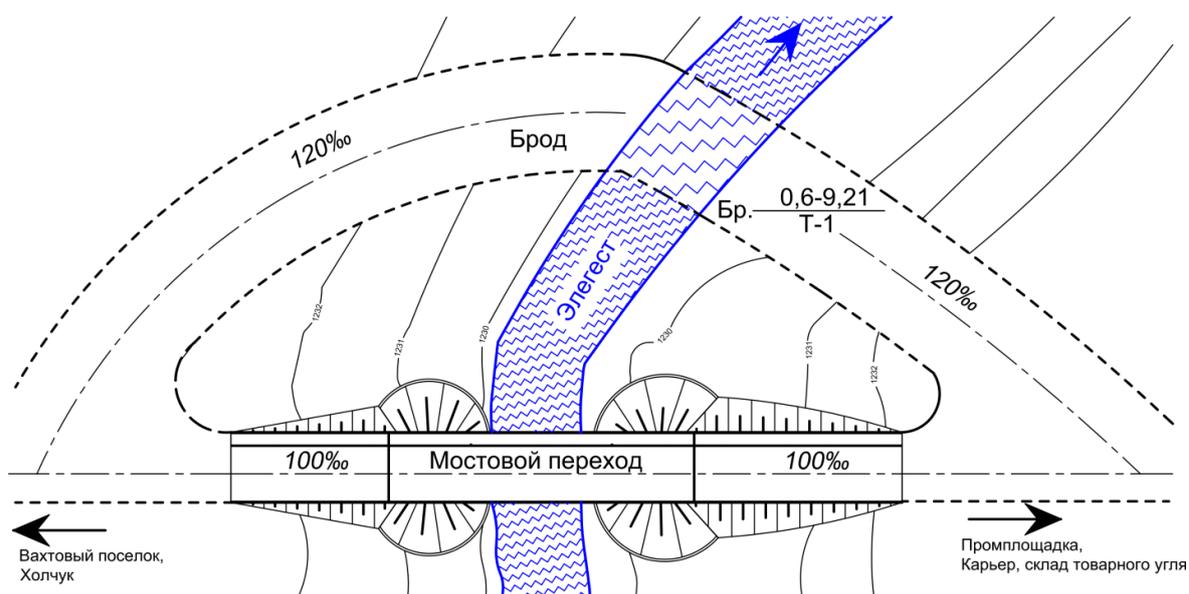


Рис. 6. Транспортный переход через реку Элегест

Таблица 3

Параметры мостового перехода

Параметры	Ед. изм.	Значение
Тип моста		малый
Длина моста	м	26
Количество полос	шт.	1
Ширина моста	м	6
Категория автодороги		III-в
Грузоподъемность моста	т	60
Нагрузка на ось	т	18
Интенсивность движения по мосту	авт./сут.	56 – 60

При разработке ТЭО был рассмотрен ряд дополнительных мероприятий, которые позволят снизить горно-геологические риски при разработке карьера.

Основные риски горно-геологического характера при разработке карьера следующие:

– вблизи от выходов угольного пласта находится русло р. Элегест (100 – 500 м), и на отдельных площадках мощность рыхлых отложений достигает 35 м, в связи с этим наиболее вероятным участком возникновения геомеханических рисков является Северо-западный борт карьера, расположенный вблизи р. Элегест (80 – 100 м);

– приток воды в карьер до глубины 25 м (до уровня р. Элегест) определен в $0,8 \text{ м}^3/\text{час}$, а в диапазоне глубин 25 – 100 м – до $860 \text{ м}^3/\text{час}$.

Для локализации геомеханических рисков при производстве горных работ рекомендуются следующие мероприятия:

– устройство противofильтрационной завесы барражного типа (рис. 7), которая сокращает поступление воды в выработанное пространство, тем самым снижая обводненность массива и вероятность деформации борта карьера;

– устройство системы открытого водоотлива и дренажа, обеспечивающих своевременное удаление воды из карьера с учетом максимальных водопротоков $1250 \text{ м}^3/\text{час}$.

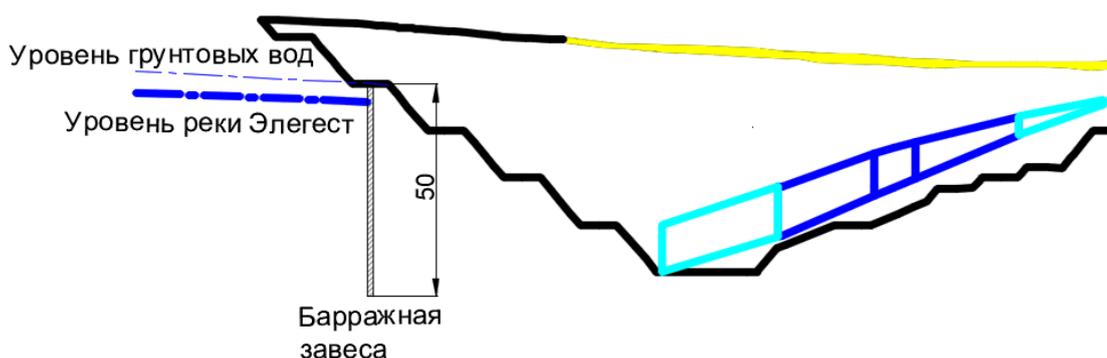


Рис. 7. Схема расположения «барражной» завесы в карьере

Противofильтрационная завеса устраивается на участке Северо-западного борта карьера в зоне (на горизонтах) с наиболее интенсивным притоком воды. Технологически завеса выполняет функции вертикальной перегородки, сокращающей фильтрацию подземных вод. Для создания завесы в массиве на рабочих горизонтах карьера проходятся скважины диаметром 160 мм буровым станком СБШ-250, через которые в массив закачиваются вяжущие растворы (бетон и др.) или противofильтрационные материалы (глина, суглинок). Длина завесы на опасном участке – до 50 м, расстояние между скважинами – 2 – 5 м.

На нижних горизонтах карьера (от 50 м и более) для сбора подземных вод и атмосферных осадков сооружается карьерный водосборник – зумпф-отстойник емкостью 4 – 4,5 тыс. м^3 , обеспечивающий прием воды с максимальным притоком до $1243,7 \text{ м}^3/\text{час}$. На поверхность отстоянная вода подается передвижной насосной станцией карьерного водоотлива закрытого типа, оснащенной электронасосным агрегатом типа 1Д1250-125 с номинальной подачей $1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором 125 м.

Сдерживающими факторами эффективного освоения месторождения являются следующие:

– недостаточная степень геологической изученности пласта № 1, что заключается в недостаточном объеме выполненных геологоразведочных работ, в т.ч. 33 разведочных и 59 картировочных скважин, до глубины 102 – 150 м, с сеткой 250×250 и 500×500 м, что недостаточно для оцениваемой площади (более 120 Га);

– объем утвержденных запасов не позволяет обеспечить длительный период поставок угля потребителям в г. Кызыл (не более 10 лет с начала эксплуатации карьера).

Для снижения влияния указанных факторов предложен комплекс технических решений:

– для снижения риска неподтверждения количественных и качественных показателей запасов угля рекомендуется выполнить эксплуатационную доразведку участков контактов рудных тел с пустой породой с сеткой 50×50 м (25×25 м) и глубиной до 150 м, с последующими исследованиями проб, подсчетом и корректировкой балансовых запасов;

– для продления срока эксплуатации карьера необходимо выполнить работы по обоснованию прироста утвержденных запасов после детальной разведки пласта № 2 по категориям В и С₁, прогнозные ресурсы которого по категории Р₁ составляют 6,2 млн т, прирост запасов может составить до 2,8 млн т угля или ~ 10 лет дополнительной работы карьера и дополнительный доход до 800 млн руб. (рис. 8).

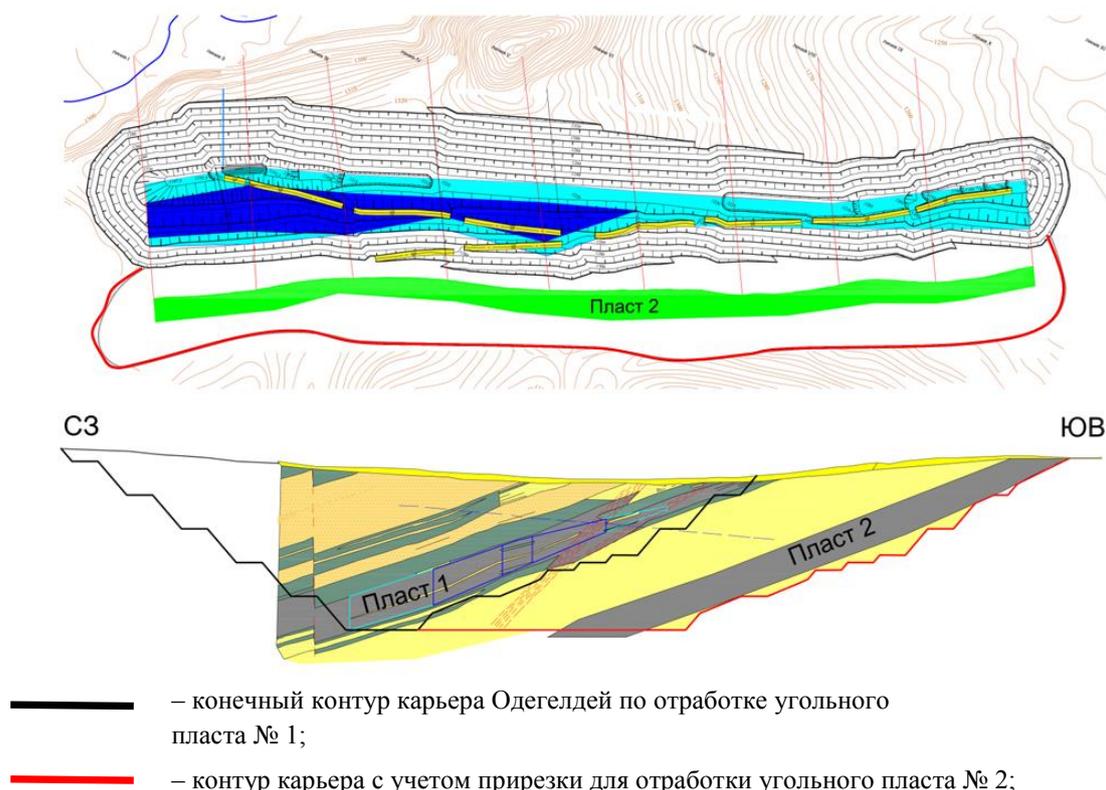


Рис. 8. Контурсы угольного карьера Одегелдей

Для уменьшения рисков снижения качественных показателей угля рекомендуется следующее [5 – 10]:

– внедрение мероприятий по стабилизации качества угля, включающих селективную выемку и сортировку угля в забое (сокращение разубоживания пустой породой);

– при этом селективная выемка угля производится гидравлическим экскаватором с емкостью ковша $2,5 \text{ м}^3$, за счет динамического управления ковшом в различных плоскостях, позволяющим с наименьшими потерями и разубоживанием производить разборку угольной массы в забое и отдельную выемку угля и породы;

– сепарацию засоренного угля на складе готовой продукции с помощью плоскостного сепаратора простой конструкции, который позволяет производить разделение материала на основе различия в форме частиц угля и породы и разной величины их коэффициентов трения. Простота конструкции сепаратора позволяет изготовить его собственными силами предприятия.

С учетом вышеизложенных горно-геологических условий освоения месторождения выполнена технико-экономическая оценка разработки карьера по вариантам строительства инфраструктурных объектов, включая организацию вахтового поселка в с. Холчук (табл. 4) [11 – 13].

Оценка необходимого объема инвестиций и ежегодных эксплуатационных затрат в условиях отсутствия исходной информации производилась с использованием профессионального программного комплекса ПК «Гранд-Смета 2020», который позволяет выполнить сметные расчеты по статьям затрат, включая проектирование объекта; стоимость материалов и оборудования; стоимость строительно-монтажных работ (СМР) и др.

Эффективность инвестиций оценена на основе расчетных динамических показателей:

- чистого дисконтированного дохода

$$NPV = \sum_{t=1}^n \alpha \times CF_t = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IC_0; \quad (4)$$

- внутренней нормы доходности

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IC_0 = 0; \quad (5)$$

- индекса доходности инвестиций

$$PI = \frac{NPV}{IC_0} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{IC_0}; \quad (6)$$

- срока окупаемости

$$PP = \left(\frac{IC_0}{CF_{cr}} \right) + T_c, \quad (7)$$

где CF_t – денежный поток в период времени t ;

IC_0 – объем начальных инвестиций;

r – ставка дисконтирования (барьерная ставка);

t – период оценки;

IRR – ставка процента, которая показывает доходность инвестиций, или внутренняя норма доходности;

CF_{cr} – расчетный среднегодовой доход от проекта;

T_c – срок строительства объектов инфраструктуры, необходимых для освоения месторождения.

В табл. 4 представлены результаты сравнения вариантов освоения участка Одегелдей.

Таблица 4

Технико-экономическая оценка сравниваемых вариантов

Наименование показателя	Ед. измер.	Значение показателя по вариантам			
		1	2	3	4
Объем добычи угля	тыс. т/год	300	300	300	300
Численность персонала	чел.	149	149	149	149
Всего первоначальных инвестиций, в т.ч.:	млн руб	1229,6	889,9	793,7	759,5
Горнокапитальные работы, водоотлив, отвалообразование	-“-	149,1	149,1	149,1	149,1
Технологическое и вспомогательное оборудование с электроприводом	-“-	479,8	-	-	-
Технологическое оборудование с дизельным приводом	-“-	-	471,1	471,1	471,1
Энергоснабжение по вар. Э1(стр-во ЛЭП-35кВ с тр. подстанциями)	-“-	406,6	-	-	-
Энергоснабжение по варианту Э2 (дизельная электростанция)	-“-	-	75,6	75,6	-
Энергоснабжение по варианту Э3 (реконструкция ЛЭП-10 кВ)	-“-	-	-	-	41,40
Вахтовый поселок в с. Холчук	-“-	42,7	42,7	42,7	42,7
Строительство автодороги с. Холчук – Ак-Тал (20 км)	-“-	113,7	113,7	-	-
Ремонт автодороги с. Холчук – с. Ак-Тал (10 км) скальными вскрышными породами после дробления и сортировки	-“-	-	-	17,5	17,5
Технологический транспортный переход через реку Элегест	-“-	37,7	37,7	37,7	37,7
Эксплуатационные расходы	млн руб/год	399,4	488,5	488,5	485,6
Отпускная цена угля	руб/т	2800	2500	2450	2450
Чистый дисконтированный доход	млн руб.	2031,23	1050,0	1030,3	1080,5
Индекс доходности	доли ед.	1,63	1,17	1,27	1,40
Срок окупаемости с учетом строительства инфраструктуры	лет	8,1	5,8	5,6	5,4

Результаты исследований

Выполненная оценка вариантов освоения участка Одегелдей Ак-Тальского каменноугольного месторождения соответствует мировой практике предварительного технико-экономического обоснования (предТЭО) эффективности инвестиций в сложно реализуемый бизнес-проект. Стадия предТЭО позволяет более детально проанализировать альтернативные варианты проекта, т.к. на стадии бизнес-планирования это весьма трудоемко и требует дополнительных затрат.

Поскольку рассматриваемый объект имеет социально-экономическую направленность, то имеет значение размер отпускной цены на добываемый уголь для населения [14, 15]. На территории Республики Тыва осуществляется государственное регулирование цен на каменный уголь (Федеральный закон от 26.07.2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции»). Установлено, что в регионе цена на уголь (на 2020 г.) колеблется в диапазоне 2300 – 2700 руб/т, при этом наблюдается тенденция по ежегодному росту отпускной цены для населения на 3 – 5% (100 – 150 руб/год).

С учетом вышеизложенного рассмотрены варианты отпускной цены на уголь карьера Одегелдей в пределах от 1700 руб/т (со скидкой ~38 % к действующим ценам в регионе) до 2900 руб/т (с учетом тенденций роста отпускных цен). На рис. 9 представлено графическое обоснование оптимальной отпускной цены на уголь, которая позволяет обеспечить приемлемую эффективность (чистый дисконтированный доход) и срок окупаемости проекта с учетом его социальной значимости.

Результаты сравнения вариантов следующие:

– минимальная отпускная цена угля для получения приемлемых результатов по вариантам составляет 2450 – 2500 руб/т для вариантов 2 – 4 и 2800 руб/т – для варианта 1;

– объем первоначальных инвестиций (капитальных затрат) по варианту 1 больше на 350 – 470 млн руб по сравнению с вариантами 2 – 4, что объясняется строительством дорогостоящих инфраструктурных объектов;

– эксплуатационные затраты по варианту 1 меньше по сравнению с вариантами 2 – 3 на 296,7 млн руб/год и варианту 4 – на 277 млн руб/год, соответственно, что объясняется использованием в вариантах 2 – 4 преимущественно дизельного оборудования (в т.ч. по вариантам 2, 3 – мощных дизельных электростанций), потребляющих в больших объемах дорогостоящее дизельное топливо до 4,76 тыс. т/год (5,8 млн л/год);

– при соответствующей отпускной цене угля чистый дисконтированный доход (ЧДД) проекта по варианту 1 больше на 1243,9 млн руб. и сроке окупаемости инвестиций с учетом времени строительства дополнительной инфраструктуры (ЛЭП-35 кВ, автодорога, спортзал) – 8,1 года.

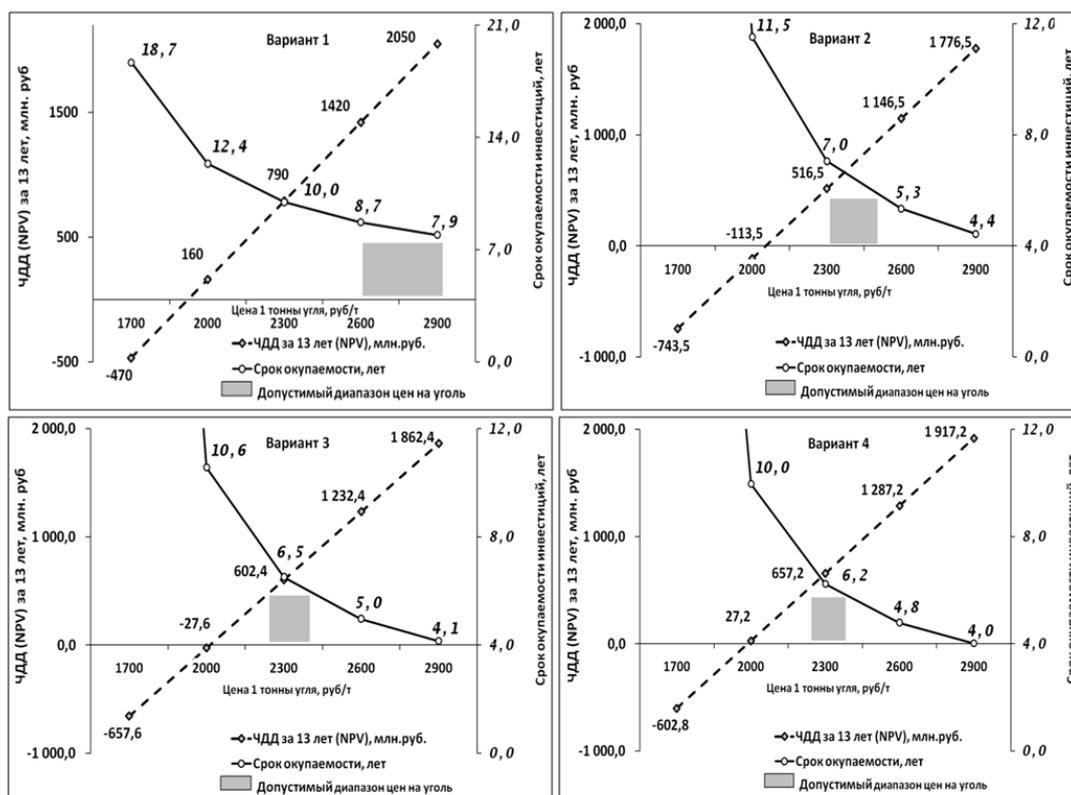


Рис. 9. Оценка эффективности вариантов освоения месторождения в зависимости от отпускной цены угля

Выводы

Рассмотренные варианты освоения месторождения имеют достоинства и недостатки.

Достоинства вариантов:

Вариант 1 – возможность реализовать в проекте строительство важных для развития региона инфраструктурных объектов, таких как ЛЭП-35 кВ протяженностью 40 км с понизительными подстанциями, автодороги IV категории протяженностью 20 км; меньшие из всех вариантов эксплуатационные затраты (меньше на 86 - 89 млн руб/год по вариантам);

Варианты 2, 3 – быстрый ввод в строй объектов энергоснабжения карьера (за счет быстромонтируемых мощных дизельных электростанций);

Вариант 4 – имеет наименьший по сравнению с другими вариантами объем первоначальных инвестиций (< на 35 – 40 %), небольшой срок ввода карьера в эксплуатацию (1,5 – 2 года), возможность реконструкции действующей ЛЭП-10 кВ с трансформаторной подстанцией в с. Холчук.

Недостатки вариантов:

Вариант 1 – большой объем первоначальных инвестиций по сравнению с другими вариантами, значительный период времени (4,5 – 5 лет) от начала финансирования проекта до получения товарного угля в связи со строительством масштабных объектов инфраструктуры (в первую очередь ЛЭП-35 кВ); увеличение отпускной цены угля до 2800 – 2900 руб/т для достижения эффективности проекта;

Варианты 2 – 4 – повышенные эксплуатационные затраты по сравнению с *вариантом 1* вследствие использования технологического оборудования на дорогостоящем дизельном топливе и дизельных электростанций для электроснабжения карьера, усложнение организации работ в связи с необходимостью доставки в регион значительных объемов дизтоплива – до 4,6 тыс. т/год.

Следует отметить, что любой из рассмотренных вариантов освоения участка Одегелдей может быть успешно реализован, однако с точки зрения перспектив развития региона и последующего комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов более предпочтительным является *вариант 1*, позволяющий обеспечить транспортную и энергетическую доступность района добычи.

Представленная оценка вариантов освоения месторождения каменного угля выполнена на уровне предварительного технико-экономического обоснования эффективности инвестиций. При этом были реализованы методы комплексного анализа параметров отработки карьера по вариантам с использованием графоаналитического, математического и метода компьютерного моделирования на базе современных геоинформационных технологий.

Предложенные методы позволяют при отсутствии многих исходных данных получать результаты, необходимые для дальнейшего проектирования объекта разработки, и рекомендуются для обоснования эффективности отработки сложноструктурных месторождений.

Список литературы

1. Арсентьев А.И., 1982. *Принятие решений о параметрах карьера*. Ленинград: ЛГИ, 60 с.
2. Кантемиров В.Д., 2021. Оценка технологических решений по комплексному освоению Ельничного месторождения магнетита. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №. 5 – 1, С. 29 – 40.
3. Кантемиров В.Д., 2014. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 369 – 373.

4. Кутузов Б.Н., Белин В.А., 2012. *Проектирование и организация взрывных работ*. Москва: Издательство «Горная книга», 416 с.
5. Кубиньски В., Кубиньска-Ябцон Е., Петров А., Сала Д., Савон Д.Ю., 2017. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, С. 168 – 176.
6. Цветкова А.Ю., 2011. Обзор основных рисков предприятий горнодобывающей и металлургической отраслей в современных условиях. *Записки Горного института*, Т. 194, С. 339 – 343.
7. Карташова Н.А., 2017. Разработка предложений по совершенствованию системы управления рисками на предприятии горнодобывающей отрасли Северо-Востока России (на примере АО «Чукотская горно-геологическая компания», рудник «Купол»). *Международный научно-исследовательский журнал*. № 8(50), Ч. 1, С. 38 – 43.
8. Малашкина В.А., Погорелая Ю.В., 2012. Сравнение методов оценки и анализа рисков на горнодобывающих предприятиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 267 – 279.
9. Шаклеин С.В., Рогова Т.Б., 2009. *Оценка риска пользования недрами*. Учеб. пособие. Кемерово: Изд-во ГУ КузГТУ, 120 с.
10. Петросов А.А., 2009. *Стратегическое планирование, прогнозирование, экономические риски горного производства*. Москва: «Мир горной книги», Издательство МГГУ, Издательство «Горная книга», 684 с.
11. Пешкова М.Х., 2003. *Экономическая оценка горных проектов*. Москва: Издательство МГГУ, 422 с.
12. Уварин Н.Л., 2002. *Экономические методы управления предприятием*. Москва: Издательство МГГУ, 500 с.
13. Мельников Н.Н., Бусырев В.М., 2001. *Экономические аспекты освоения месторождений*. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 156 с.
14. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., Козлова М.В., 2020. Технологические особенности открытой разработки высококачистого кварца. *Известия вузов. Горный журнал*, № 6, С. 14 – 25.
15. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., 2019. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России. *Известия вузов. Горный журнал*, № 2, С. 40 – 50.

References

1. Arsent'ev A.I., 1982. Prinyatie reshenii o parametrakh kar'era [Making decisions about career parameters]. Leningrad: LGI, 60 p.
2. Kantemirov V.D., 2021. Otsenka tekhnologicheskikh reshenii po kompleksnomu osvoeniyu El'nichnogo mestorozhdeniya magnezita [Evaluation of technological solutions for the complex development of the Yelnichny deposit of magnesite]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5 – 1, P. 29 – 40.
3. Kantemirov V.D., 2014. Tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya novykh syr'evykh baz [Technological features of the development of new raw material bases]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 6, P. 369 – 373.
4. Kutuzov B.N., Belin V.A., 2012. Proektirovanie i organizatsiia vzryvnykh работ [Design and organization of blasting operations]. Moscow: Izdatel'stvo "Gornaia kniga", 416 p.
5. Kubin'ski V., Kubin'ska-Yabtson E., Petrov A., Sala D., Savon D.Yu., 2017. Analiz riskov v gornodobyvayushchei promyshlennosti, svyazannykh s bezopasnost'yu raboty. [Analysis of risks in the mining industry related to work safety]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 11, P. 168 – 176.
6. Tsvetkova A.Yu., 2011. Obzor osnovnykh riskov predpriyatii gornodobyvayushchei i metallurgicheskoi otraslei v sovremennykh usloviyakh [Overview of the main risks at min-

ing and metallurgical enterprises in modern conditions]. Zapiski Gornogo instituta, Vol. 194, P. 339 – 343.

7. Kartashova N.A., 2017. Razrabotka predlozhenii po sovershenstvovaniyu sistemy upravleniya riskami na predpriyatii gornodobyvayushchei otrasli Severo-Vostoka Rossii (na primere AO "Chukotskaya gorno-geologicheskaya kompaniya", rudnik "Kupol") ») [Development of proposals for improving the risk management system at the enterprise of the mining industry in the North-East of Russia (on the example of the Chukotka Mining and Geological Company, Kupol mine)]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. № 8(50), Ch. 1, P. 38 – 43.

8. Malashkina V.A., Pogorelaya Yu.V., 2012. Sravnenie metodov otsenki i analiza riskov na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [Comparison of risk assessment and risk analysis methods at mining enterprises]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 12, P. 267 - 279.

9. Shaklein S.V., Rogova T.B., 2009. Otsenka riska pol'zovaniya nedrami [Assessment of the risk of subsurface use]. Ucheb. posobie. Kemerovo: Izd-vo GU KuzGTU, 120 p.

10. Petrosov A.A., 2009. Strategicheskoe planirovanie, prognozirovanie, ekonomicheskie riski gornogo proizvodstva [Strategic planning, forecasting, economic risks of mining production]. Moscow: "Mir gornoj knigi", Izdatel'stvo MGGU, Izdatel'stvo "Gornaya kniga", 684 p.

11. Peshkova M.Kh., 2003. Ekonomicheskaya otsenka gornykh proektov [Economic assessment of mining projects]. Moscow: Izdatel'stvo MGGU, 422 p.

12. Uvarin N.L., 2002. Ekonomicheskie metody upravleniya predpriyatiem [Economic methods of enterprise management]. Moscow: Izdatel'stvo MGGU, 500 p.

13. Mel'nikov N.N., Busyrev V.M., 2001. Ekonomicheskie aspekty osvoeniya mestorozhdenii [Economic aspects of field development]. Apatity: Izd. KNTs RAN, 156 p.

14. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., Kozlova M.V., 2020. Tekhnologicheskie osobennosti otkrytoi razrabotki vysokochistogo kvartsa . [Technological features of the open development of high-purity quartz]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal, № 6, P. 14 - 25.

15. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., 2019. Analiz ekspluatatsionnykh pokazatelei gornodobyvayushchego oborudovaniya vedushchikh zhelezorudnykh kar'erov Rossii [Analysis of operational indicators of mining equipment at the leading iron ore quarries in Russia]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal, № 2, P. 40 – 50.