

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ КРУТОПАДАЮЩИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОТКРЫТЫМ
СПОСОБОМ**

Специальность

25.00.21 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»

Канд. техн. наук, доцент

БУРМИСТРОВ КОНСТАНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ

Научный консультант:

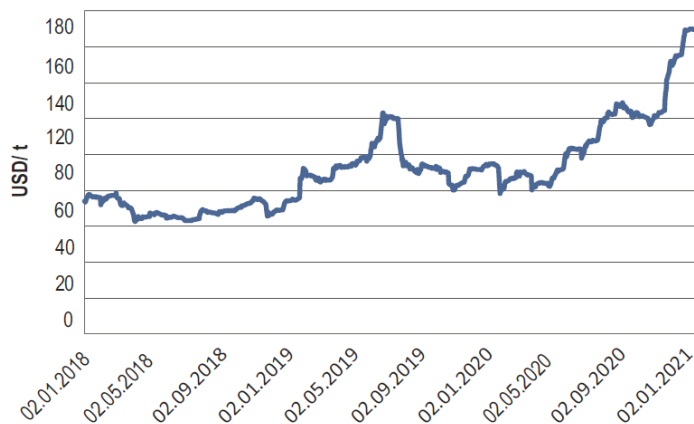
Докт. техн. наук, профессор

ГАВРИШЕВ СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

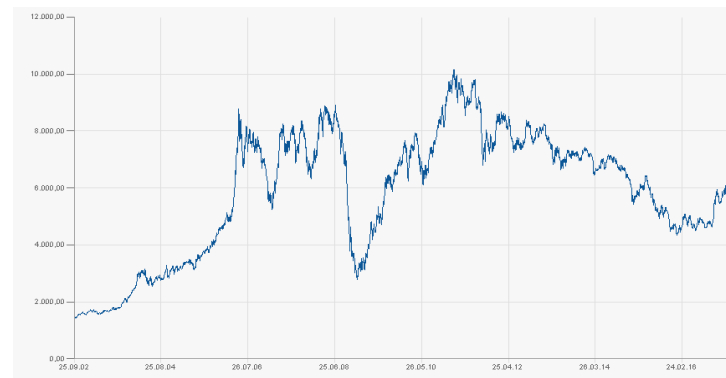
Магнитогорск, 2022



Изменение цен на минеральное сырье



а) динамика цен на железную руду, \$/т



б) динамика цен на медь, \$/т

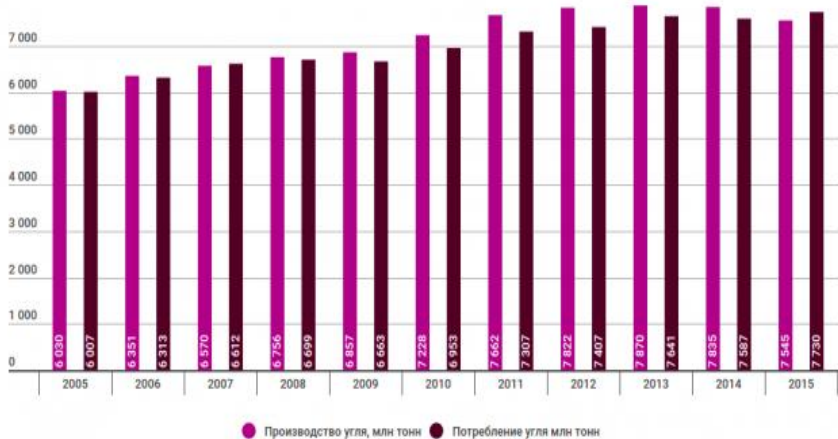


в) динамика цен на уголь, \$/т

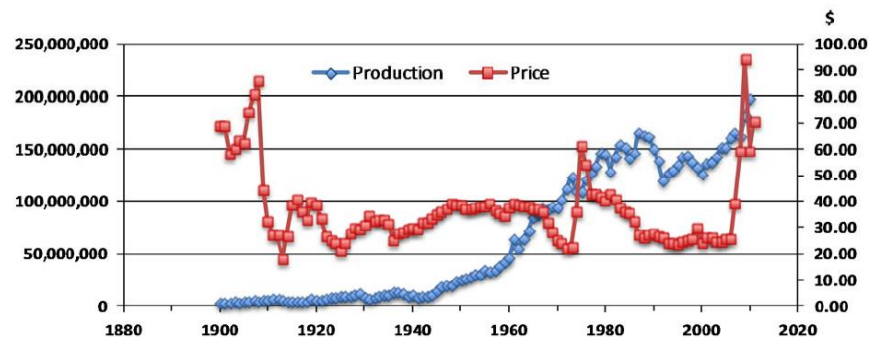


г) динамика цен на золото, \$

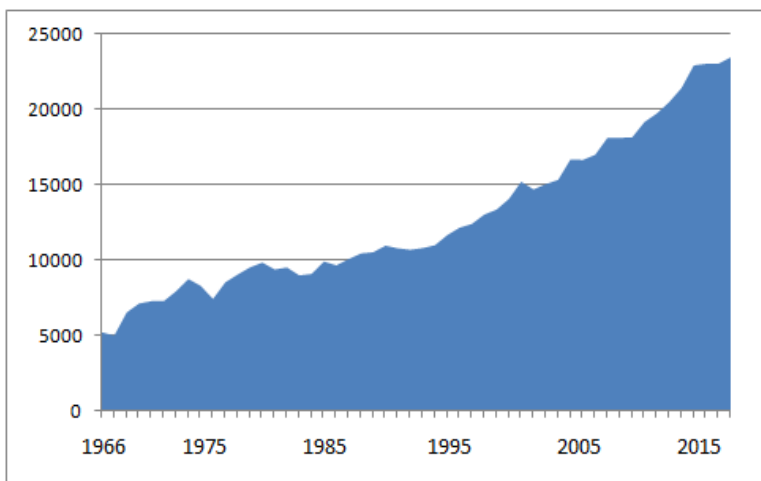
Изменение спроса на минеральные ресурсы



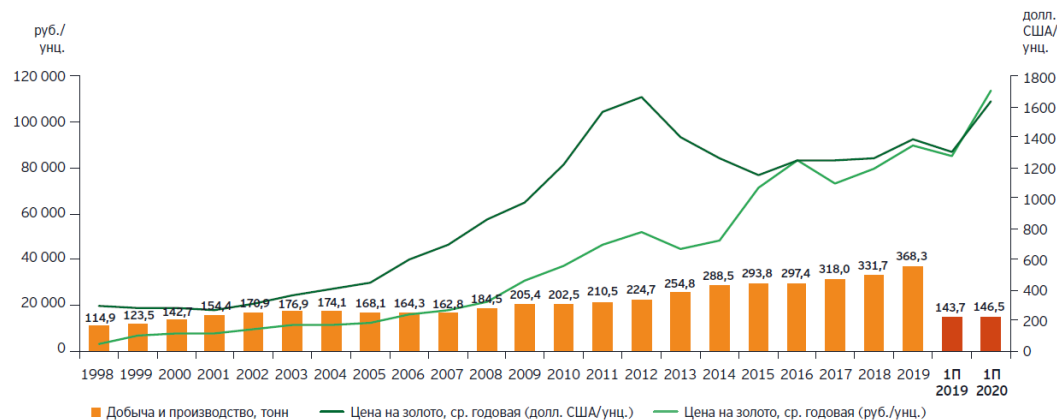
а) производство и потребление угля в мире, млн.т;



б) производство и цена фосфоритовой руды, млн.т;

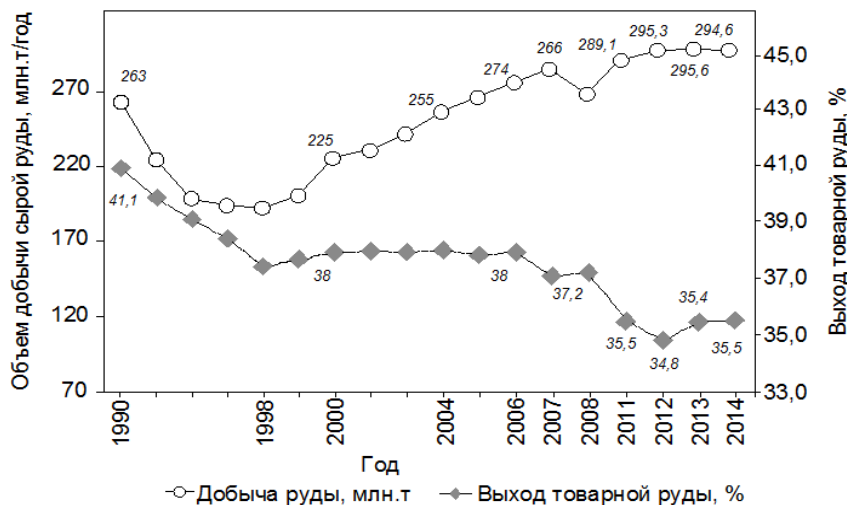


в) производство и потребление меди в мире, тыс.т;



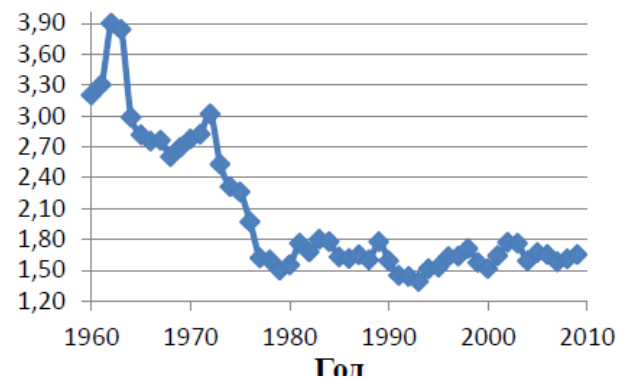
г) производство и потребление золота в мире, млн.т;

Снижение качества минерального сырья

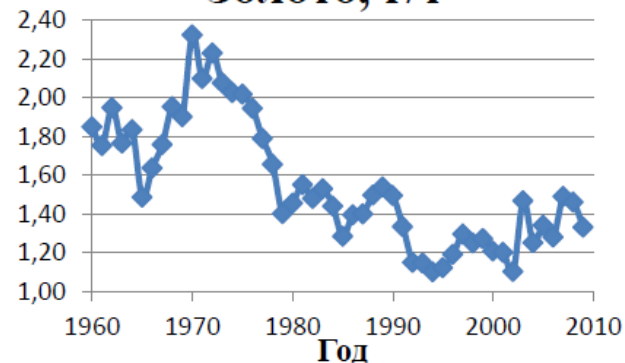


Динамика добычи сырой железной руды и выхода товарной руды в процентах по Российской Федерации за 1990-2014гг. (ИГД УрО РАН)

Медь, %



Золото, г/т



Содержание меди и золота в руде

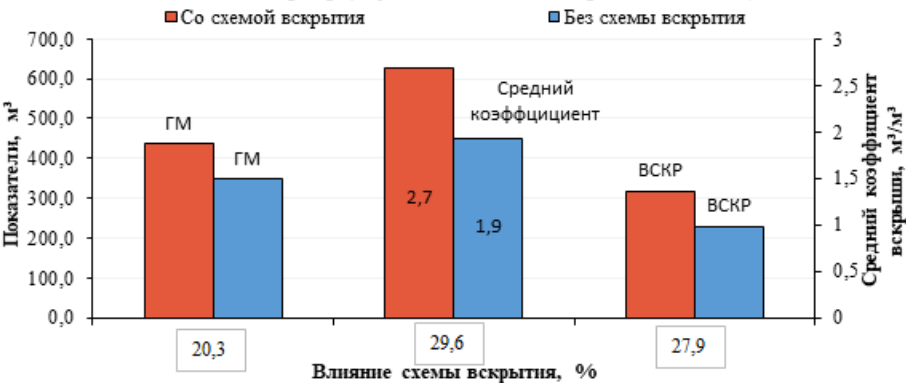


Параметры глубоких карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения

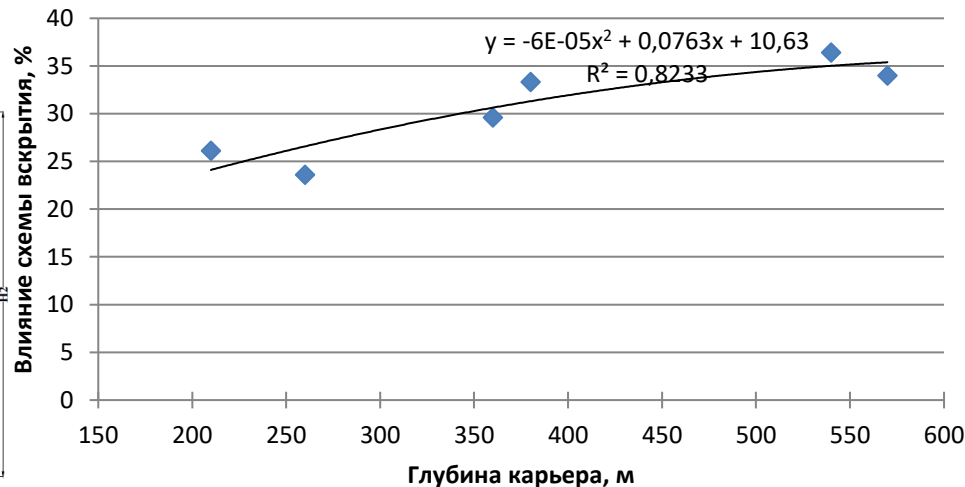
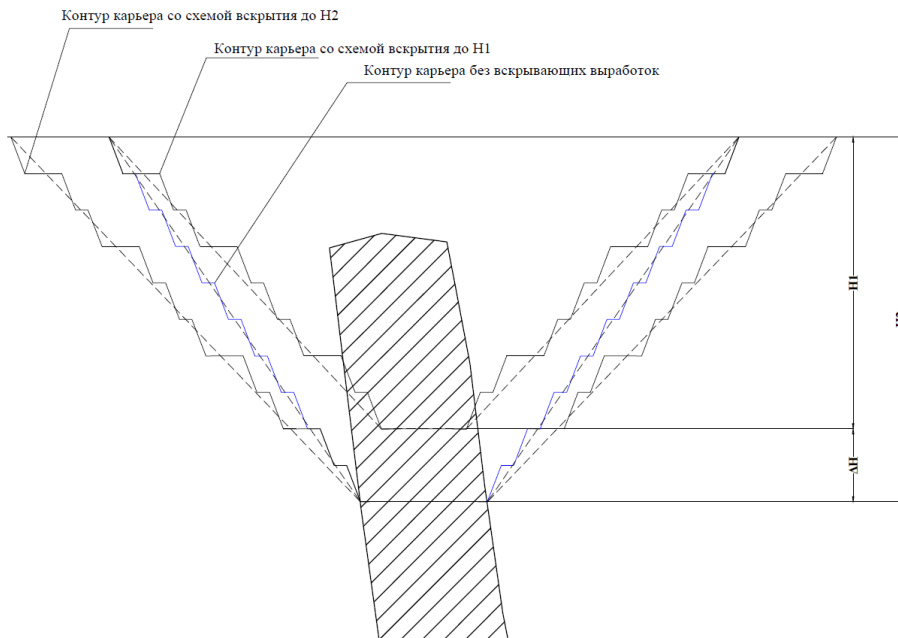
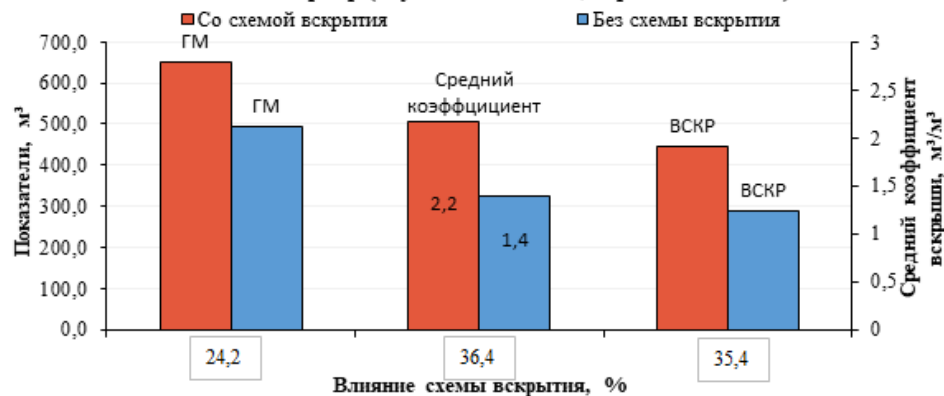
Карьер (месторождение)	Местонахождение	Вид добываемого полезного ископаемого	Годовая производительность по руде/горной массе, млн.т	Текущая глубина, м	Проектная глубина/перспектив ная глубина, м
Кумтор	Кыргызская республика	Золоторудное	8,6/108	510	650
Мурунтау	Узбекистан	Золоторудное	30/66,3	600	650/1000
Удачный	Россия, Якутия	Алмазы	6/22,5	610	630
Юбилейный	Россия, Якутия	Алмазы	6,1/н.д.	320	720
Горевский	Россия, Красноярский кр.	Свинцово-цинковое	2,5/н.д.	130	500
Восточный	Россия, Красноярский кр.	Золоторудное	8/72	450	710/830
Титимухта	Россия, Красноярский кр.	Золоторудное	2,4/н.д.	260	350
Ковдорское	Россия, Кольский п-ов	Магнетитовые, апатитовые руды	18,7/48,7	450	660/860
Качарское	Казахстан	Железная руда	23/138	442	767
Лебединское	Россия, Белгородская обл.	Железная руда	53,7/96,27	412	600
Михайловское	Россия, Курская обл.	Железная руда	46,5/123,4	350	400
Малый Куйбас	Россия, Челябинская обл.	Железная руда	2,4/23	250	310/370
Киембаевское	Россия, Оренбургская обл.	Хризотил-асбест	9,4/28,2	245	390
Джетыгаринское	Казахстан	Хризотил-асбест	4,1/11,3	290	634
Михеевское	Россия, Челябинская обл.	Медно-порфиновые руды	18/35,1	210	540
Томинское	Россия, Челябинская обл.	Медно-порфиновые руды	28/52	100	540
Удоканское	Россия, Забайкальский край	Медная дуда	47/245	-	950
Ак-Суг	Россия, Республика Тыва	Медно-молибденовая- порфировая	24/104	-	700
Светлинское	Россия, Челябинская обл.	Золоторудное	7,2/36,9	240	312/600



Михеевский карьер (глубина на конец отработки 360 м)



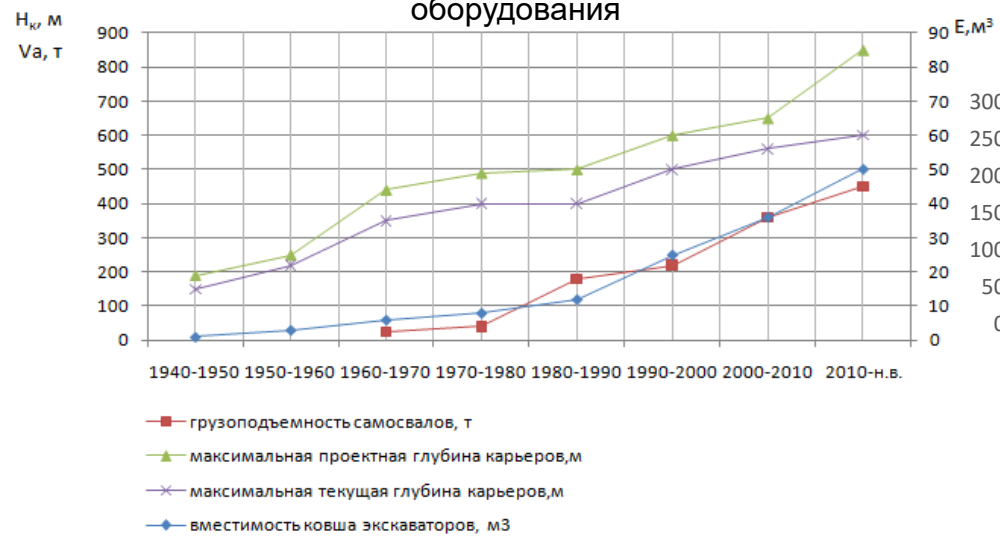
Михеевский карьер (глубина на конец отработки 540 м)



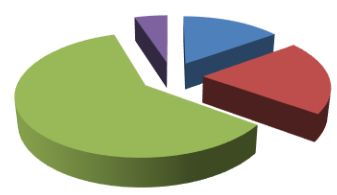
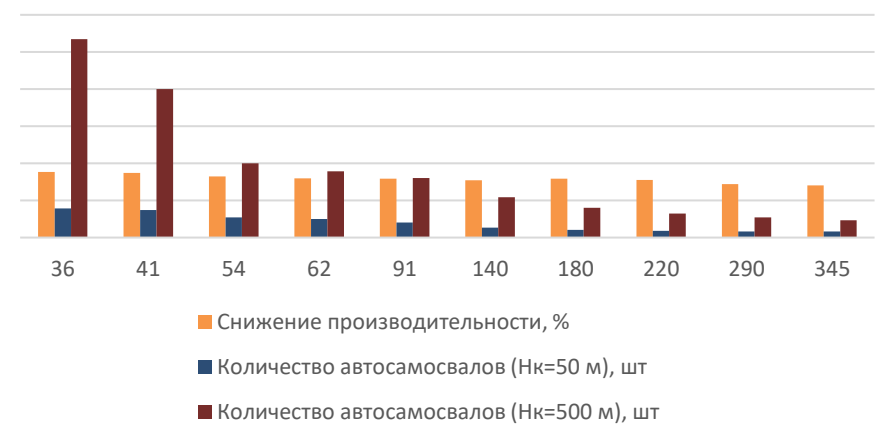
Результаты оценки влияния схемы вскрытия на средний коэффициент вскрыши



Динамика изменения глубины карьеров и параметров применяемого оборудования

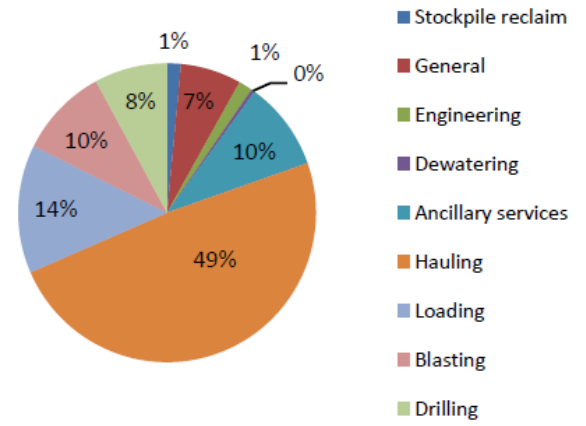


Изменение количества автосамосвалов по грузоподъемности с глубиной карьера



- а)
- Подготовка к выемке (15-40%)
 - Выемочно-погрузочные работы (20-40%)
 - Транспортирование горной массы (45-70 %)
 - Отвалообразование (5-15%)

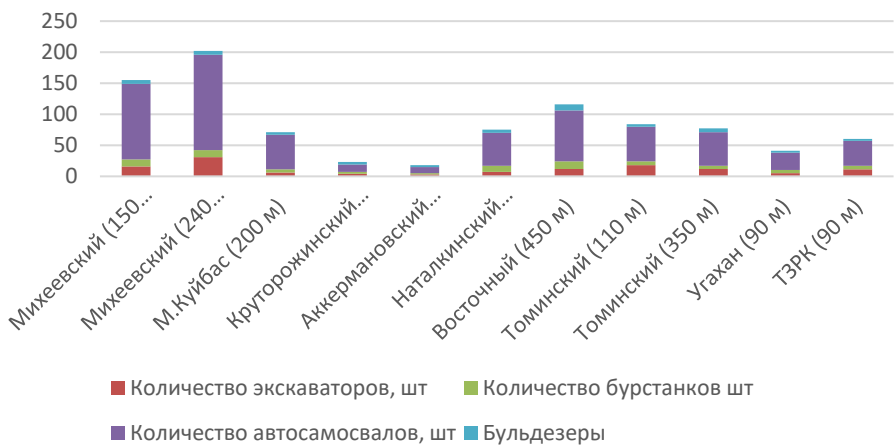
б)



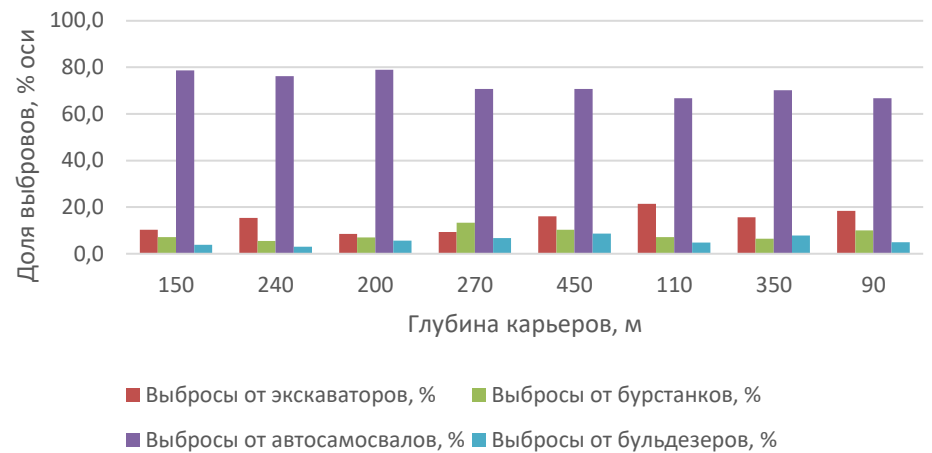
Структура затрат на производство основных технологических процессов при разработке наклонных и крутопадающих месторождений: а – по данным отечественной практики; б – по данным зарубежных исследований (Tutton, Streck, Paricheh)



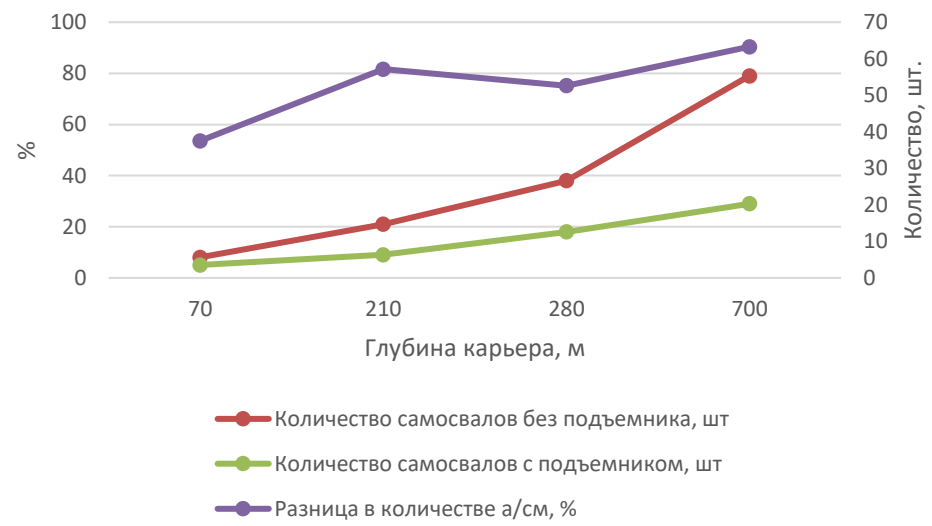
Количество оборудования по основным процессам

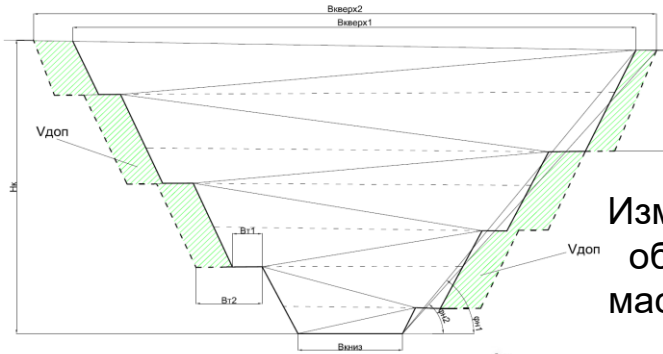
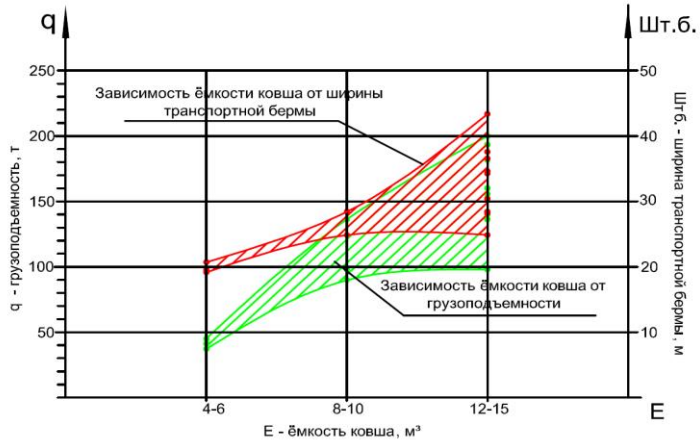


Выбросы загрязняющих веществ от работы оборудования в карьере

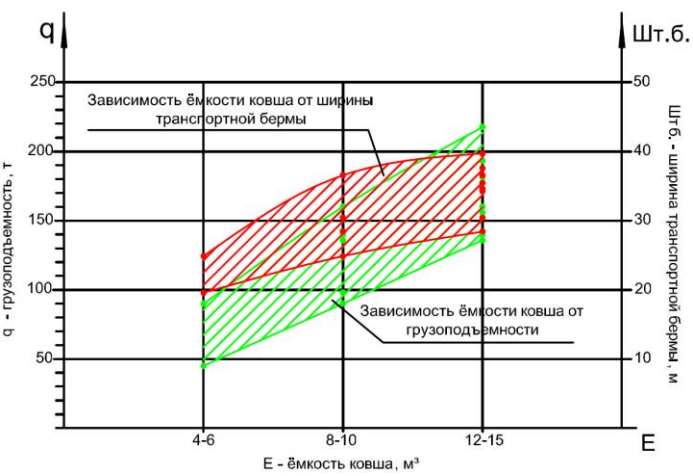
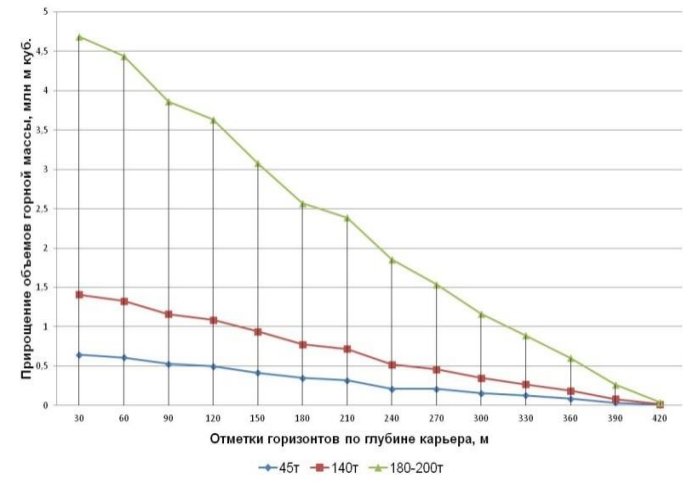


Изменение количества а/см

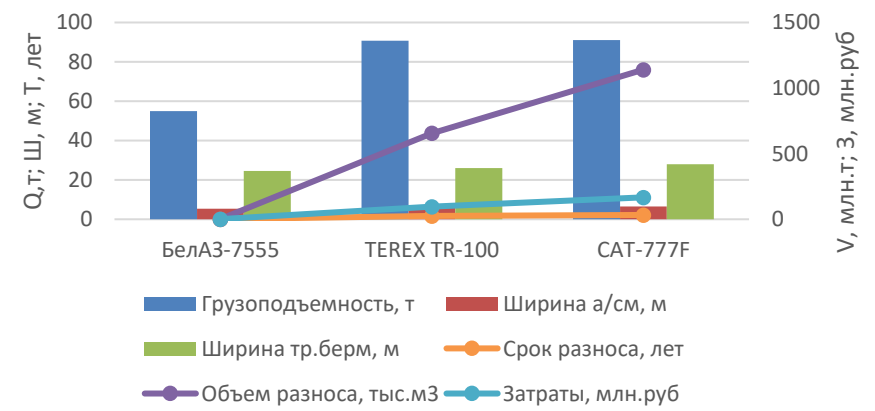




Изменение погоризонтных объемов выемки горной массы по глубине карьера



Замена а/см на Кiemбаевском месторождении



Зависимость параметров транспортных коммуникаций в карьере от применяемого в карьере оборудования
 а) при плотности разрабатываемых пород 2,7 т/м³;
 б) при плотности разрабатываемых пород 3,5 т/м³

Развитие теории и практики вскрытия месторождений и транспортирования горной массы

10

Проблемы	Авторы
Вскрытия карьерных полей	Академики Мельников Н.В., Ржевский В.В., проф. Арсентьев А.И., Боголюбов Б.П., Бунин Ж.В., Зотов А.П., Зурков П.Э., Колесников В.Ф., Кулешов Н.А., Новожилов М.Г., Размыслов Ю.С., Супрун В.И., Шешко Е.Ф., Шилин А.Н., Шпанский О.В., Щелканов В.А., Юматов Б.П. и др.
Выбора и эксплуатации карьерного транспорта	Академики Мельников Н.Н., член-корр. Яковлев В.Л., проф. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Васильев М.В., Гавришев С.Е., Галиев С.Ж., Галкин В.А., Галкин В.И., Довженок А.С., Зырянов И.В., Кулешов А.А., Лель Ю.И., Потапов М.Г., Решетняк С.П., Смирнов В.П., Спиваковский А.О., Фаддеев Б.В., Ханзин М.Л. и др.
Обоснования проектных параметров горнотехнических систем при открытом способе разработки месторождений	Академики Мельников Н.Н., Трубецкой К.Н., член-корр. Пешков А.А., проф. Виницкий К.Е., Истомин В.В., Коваленко В.С., Корнилков С.В., Косолапов А.И., Кумачев К.А., Майминд В.Я., Пикалов В.А., Саканцев Г.Г., Саканцев М.Г., Соколовский А.В., Томаков П.И., Федотенко В.С., Фомин С.И., Холодняков Г.А., Хохряков В.С., Хронин В.В. и др.
Обоснования проектных параметров горнотехнических систем при открыто-подземном способе разработки месторождений	Академики Агошков М.И., член-корр. Каплунов Д.Р., проф. Андросов А.Д., Голик В.И., Казикаев Д.М., Калмыков В.Н., Мельник В.В., Пивень Г.Ф., Рыльникова М.В., Савич И.Н., Славиковский О.В., Соколов И.В., Щелканов В.А. и др.
Устойчивости развития ГДП и ГТС	Академик Трубецкой К.Н., член-корр. Каплунов Д.Р., Яковлев В.Л., проф. Агафонов В.В., Гавришев С.Е., Пыталев И.А., Рыльникова М.В., докт. техн. наук Струков К.И., Юн А.Б., докт. экон. наук Каплан А.В., докт. экон. наук Череповицин А.Е. и др.

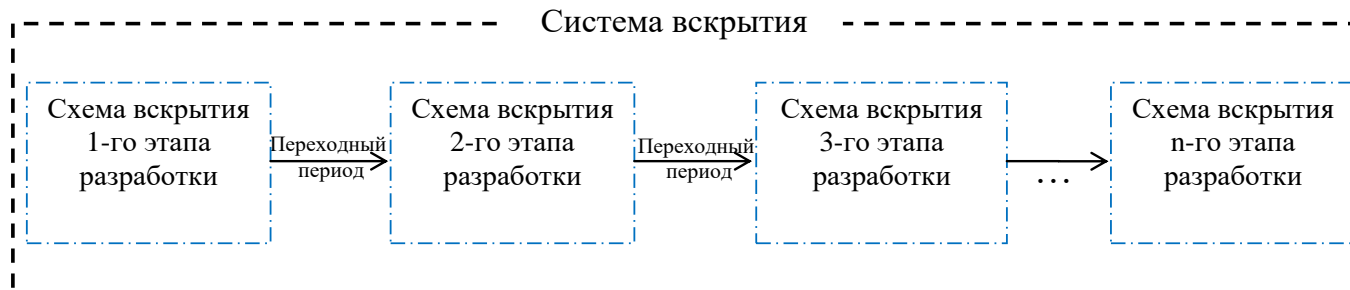


Способ вскрытия – это комплекс вскрывающих горных выработок и сооружений на карьере, характеризуемый их структурой, конструкцией, количеством, пространственным положением, динамичностью (1953-1985 гг.).

Схема вскрытия – это совокупность горных выработок и сооружений с транспортными коммуникациями, обеспечивающими в данный период времени грузотранспортную связь рабочих горизонтов карьера с пунктами приема и перегрузки горной массы в карьере и на поверхности. Схема вскрытия характеризуется видом, числом и пространственным положением трасс и вскрывающих выработок при определенном положении горных работ или, иначе, при развитии горных работ в любой календарный период строительства и эксплуатации карьера (1973-1991 гг.).

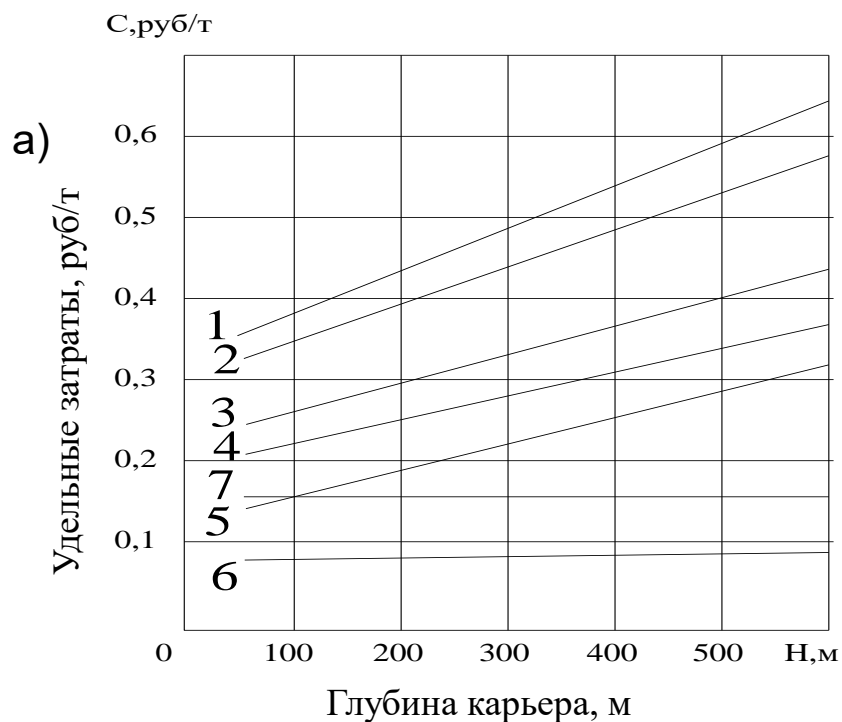
Система вскрытия (генеральная схема вскрытия, система вскрывающих трасс) – это порядок и последовательность поэтапного создания и изменения (развития) схемы вскрытия за период существования карьера, обеспечивающие вскрытие рабочих горизонтов до его рабочей глубины (1985 г.).

Под **переходным периодом** понимается время перехода предприятия с одного порядка и способа отработки месторождения на другой (время осуществления переходного процесса) (член кор. РАН Яковлев В.Л).



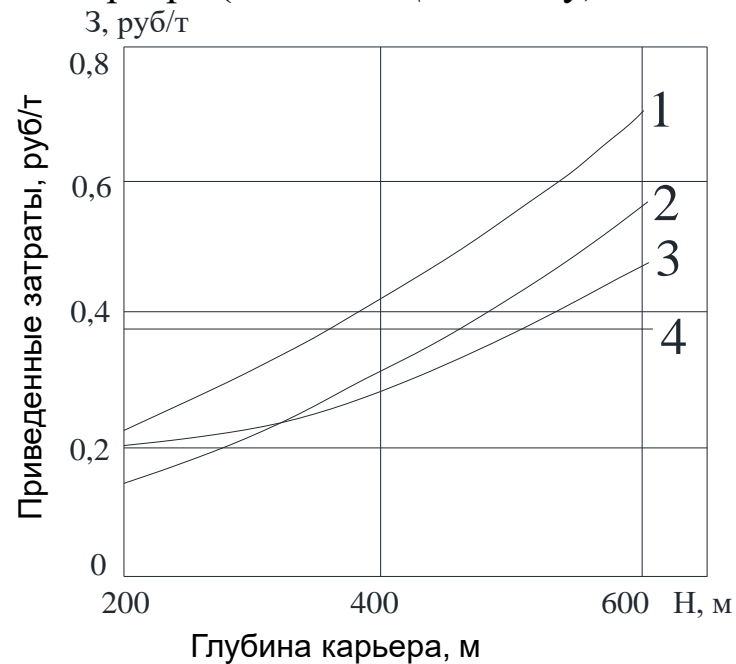


Зависимости затрат на транспортирование 1 т
полезного ископаемого от глубины карьера
(по М.В. Васильеву)



1, 2, 3 – автотранспорт, 4 – железнодорожный, 5 –
автомобильно–железнодорожный, 6 –
автомобильно-конвейерный, 7-автомобильно-
скиповой

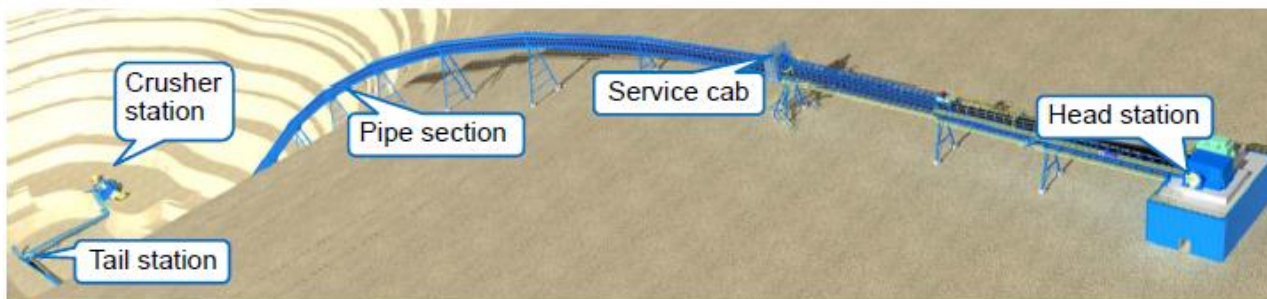
Зависимости приведенных затрат на
транспортирование 1 т руды от глубины
карьера (по В.А. Щелканову)



1 – скиповой подъем в вертикальном стволе, 2 –
автомобильно-конвейерный транспорт по борту
карьера, 3 – автомобильно-конвейерный
транспорт в наклонном стволе, 4 –
автомобильно-железнодорожный транспорт в
тоннелях



Схема скиповой канатно-рельсовой а) и подвесной б) транспортной системы фирмы «ТиссенКрупп»



Размещение конвейера «Chevron-MegaPipe Conveyor» в карьере



Крутонаклонный конвейерный подъемник с прижимной лентой



Карьерный конвейер без формирования опор на борту карьера



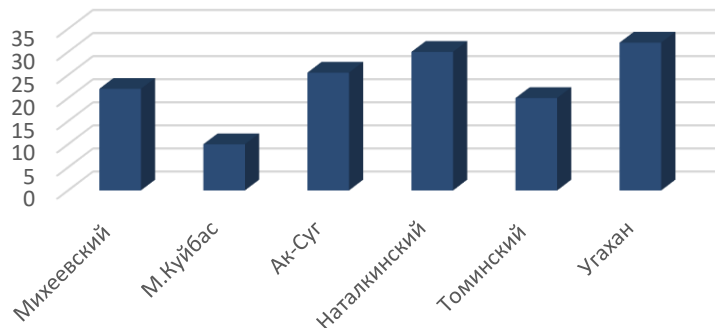
Цель работы – развитие методологии формирования системы вскрытия для обеспечения устойчивого развития горнотехнической системы на всех этапах освоения крутопадающих месторождений.

Идея работы – устойчивое развитие горнотехнической системы обеспечивается целенаправленным поэтапным изменением системы вскрытия карьера в соответствии с установленными зависимостями показателей эффективности от совокупности влияющих факторов.

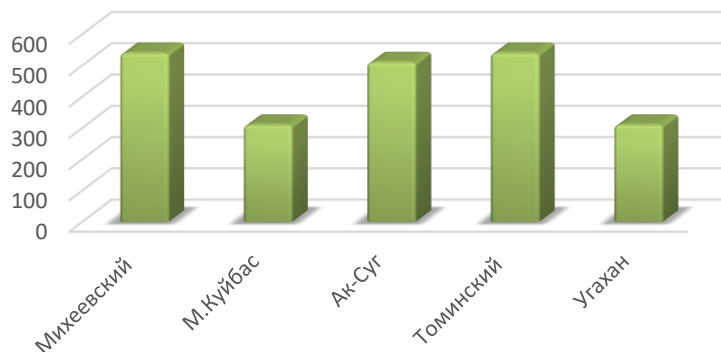
Задачи исследования:

- анализ практического опыта и теоретических исследований по изменению схемы вскрытия, видов и типов карьерного транспорта при разработке месторождений;
- обоснование структуры и параметров системы вскрытия на карьерах;
- обоснование условий применения систем вскрытия карьеров при их проектировании для различных этапов разработки;
- разработка методики оценки системы вскрытия и эффективности принятых решений;
- обоснование параметров системы вскрытия, обеспечивающих устойчивое развитие горнотехнической системы в переходные периоды и последующие этапы разработки;
- разработка практических рекомендаций по совершенствованию системы вскрытия карьеров для обеспечения устойчивого развития горнодобывающих предприятий.

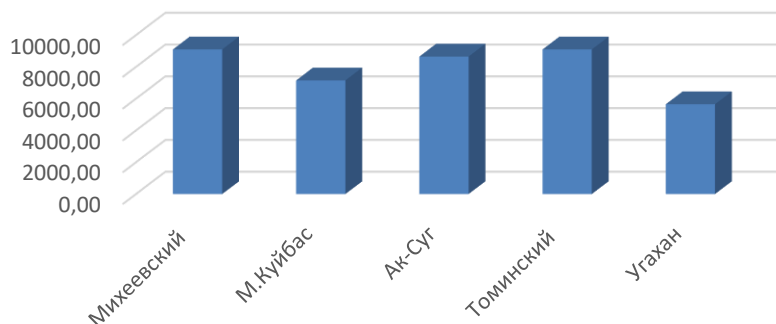
Средняя скорость понижения горных работ



Глубина карьера на момент окончания этапа разработки, м



Среднее расстояние транспортирования горной массы на момент окончания этапа разработки, км



Факторы, определяющие продолжительность этапа разработки месторождения

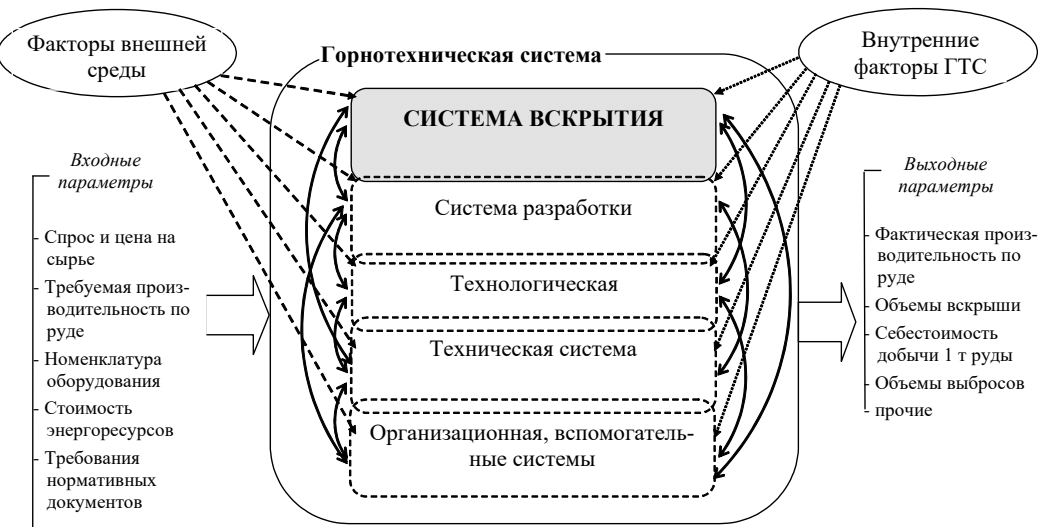
Наименование фактора	Рекомендуемая продолжительность этапа разработки, лет
Запасы месторождения (для относительно небольших месторождений, проектируемых к разработке одним этапом)	до 15
Период консервации запасов во временно-нерабочем борту карьера	6-10
Нормативный срок амортизации карьерного горнотранспортного оборудования	3-23
Расчетная ставка дисконтирования (при значениях E от 20 до 10%)	8-25
Обеспеченность запасами, риски и эффективность инвестирования в проект	17-23
Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов	до 20

Предлагаемое условие определения продолжительности этапа разработки месторождения

$$T_{\text{э}min}(T_{\text{э}1}, T_{\text{э}2}); \begin{cases} T_{\text{э}1, min} \leq T_{\text{э}} \leq T_{max} \\ T_{\text{э}2, min} \leq H_{\text{э}} \leq h_{max} \end{cases}$$

Система вскрытия в структуре горнотехнической системы

Элементы, параметры и показатели системы

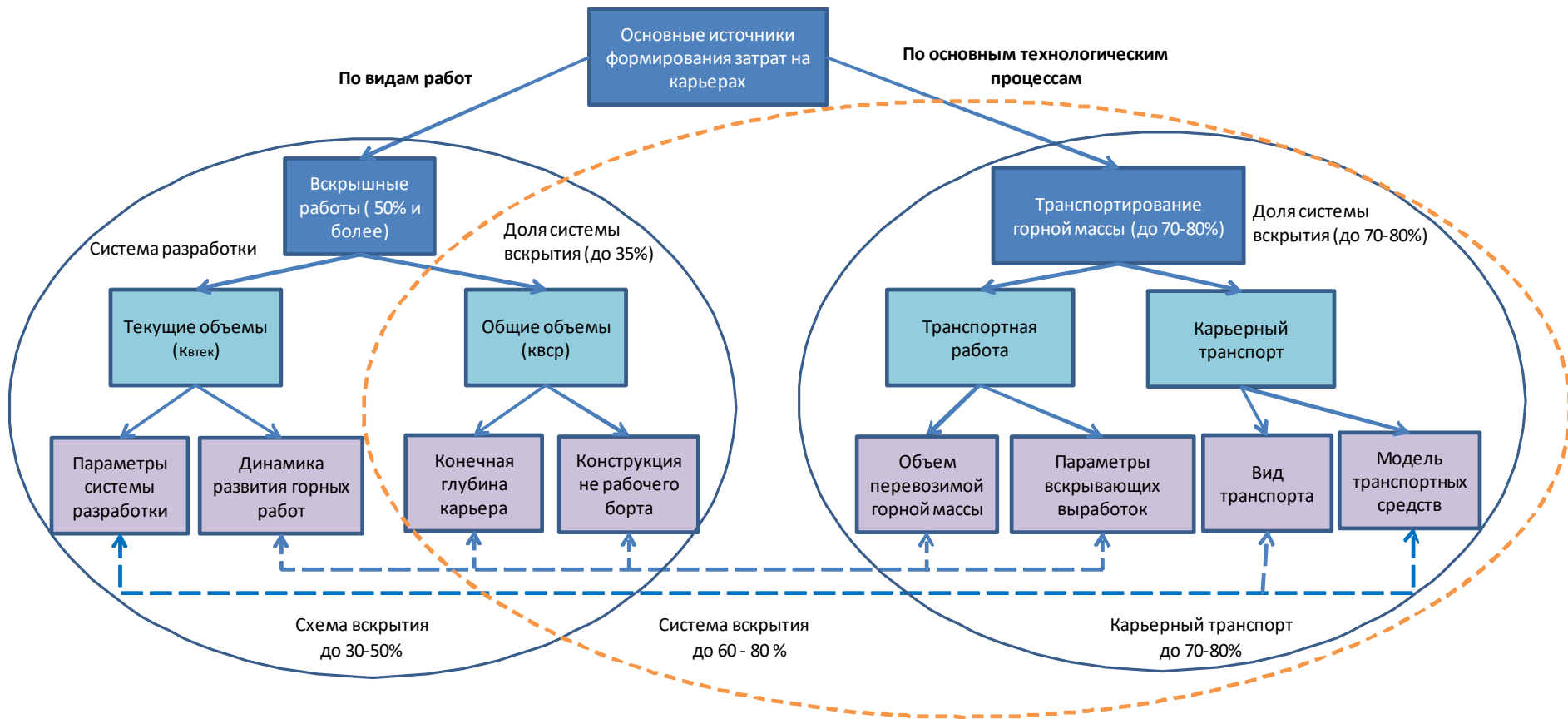


- контур ГТС
 - системы ГТС
 ↔ - связи между системами ГТС
--- - воздействие внешней среды на системы ГТС
 -----> - влияние внутренних факторов на системы ГТС

Под **системой вскрытия** предлагается понимать сложную технико-технологическую подсистему ГТС, предназначенную для формирования и осуществления грузопотоков полезного ископаемого, вскрышных пород, оборудования и материалов, и состоящую из вскрывающих выработок, транспортных средств и устройств, внутрикарьерных пунктов перегрузки горной массы, а также задействованного персонала. Система вскрытия характеризуется числом и назначением ее элементов, параметрами связей между ними и продолжительностью функционирования элементов системы вскрытия в неизменном виде.

Под **устойчивым развитием системы вскрытия** предлагается понимать ее проектирование и формирование, основанное на применении современных транспортных средств и устройств с соответствующим размещением и развитием вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, предполагающее их использование не только на текущем, но и на последующих этапах разработки месторождения и направленных на достижения разумного баланса между экономическим, социальным и экологическим развитием предприятия и потребностями потребителей сырья.

Основные виды затрат определяющие эффективность ГТС при открытом способе разработки





Первое защищаемое положение:

Эффективность функционирования горнотехнических систем (ГТС), устойчивость их развития на всех этапах освоения крутопадающих месторождений, а также необходимость, сроки проведения и параметры реконструкции горного предприятия определяются типом и степенью соответствия горнотехническим условиям применяемых систем вскрытия, являющимися наиболее затратными в структуре ГТС, а также возможностью использования данных проектных решений на последующих этапах разработки: открытым, открыто-подземным и подземным способами.



Система принципов устойчивого функционирования и развития

Наименование	Группа, влияющих факторов	Принципы, обеспечивающие устойчивое функционирование системы			Принципы, обеспечивающие устойчивое развитие системы	
		Технические	Технологические	Экономические	Экологические	Социальные
Общесистемные принципы	- Целостность	✓	✓	✓	✓	✓
	- Структурность	✓	✓	✓	✓	✓
	- Взаимозависимость	✓	✓	✓	✓	✓
	- Иерархичность	✓	✓	✓	✓	✓
	- Управляемость.	✓	✓	✓	✓	✓
Принципы, направленные на развитие ГДП	- Принципы развития	✓	✓	✓		
	- Принципы управления качеством	✓	✓			
	- Принципы устойчивого развития геотехнологий		✓	✓	✓	✓
	- Методические принципы планирования работ	✓	✓			
	- Принципы экологического контроля рисков территорий				✓	✓
	- Принципы функционирования и развития структурных подразделений			✓	✓	✓
	- Принципы проектирования	✓	✓	✓	✓	
	- Принципы проектирования развития предприятия	✓		✓	✓	
	- Принцип повторного использования пространства и техногенного сырья			✓	✓	✓
	- Принципы системного потока		✓	✓	✓	
	- Принципы геометаллургии	✓	✓	✓	✓	
	- Принципы экономической, экологической и социально-культурной устойчивости			✓	✓	✓
	- Принципы деятельности в горнодобывающей отрасли	✓	✓	✓	✓	✓
- Принципы методологического подхода к решению проблем освоения недр	✓	✓	✓	✓		
Принципы, направленные на развитие ГТС	- Принципы комплексного освоения	✓	✓	✓	✓	
	- Принципы полного цикла освоения месторождения	✓	✓	✓	✓	✓
	- Принципы организации ГТС	✓	✓	✓		
	- Принципы проектирования ГТС	✓	✓	✓		
	- Принципы обеспечения устойчивости объектов	✓	✓			
	- Принцип управления	✓	✓	✓		
	- Принцип развития геотехнологии					
- Принципы принятия решений при выборе технологии разработки	✓	✓	✓			
Принципы, направленные на развитие подсистем ГТС, в частности системы вскрытия	- Принципы формирования технологических схем	✓	✓	✓		
	- Принципы формирования грузопотоков, принцип формирования схемы вскрытия	✓	✓	✓		
	- Принципы эксплуатации транспорта	✓	✓	✓		
	- Принцип замещения дизельных видов электрическим	✓		✓	✓	
	- Принципы определения момента перехода на новый вид транспорта при разработке глубоких карьеров	✓	✓	✓		
	- Принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров	✓	✓	✓		



Уровень	Характеристика	Схема структуры	Количество групп принципов		
Горнодобывающее предприятие (ГДП)	Включает один или несколько карьеров (шахт), перерабатывающий комплекс, персонал по каждой структурной единице и общий управленческий аппарат		Общесистемные принципы - 5	Устойчивость ГДП - 14	Устойчивость ГТС - 8
Горнотехническая система (ГТС)	Отдельный карьер (шахта), оснащенный необходимым оборудованием и персоналом для производства работ				
Система вскрытия (подсистема ГТС)	Подсистема горнотехнической системы, предназначенная для формирования и транспортирования грузопотоков полезного ископаемого, вскрышных пород, оборудования и материалов				

Общесистемные принципы

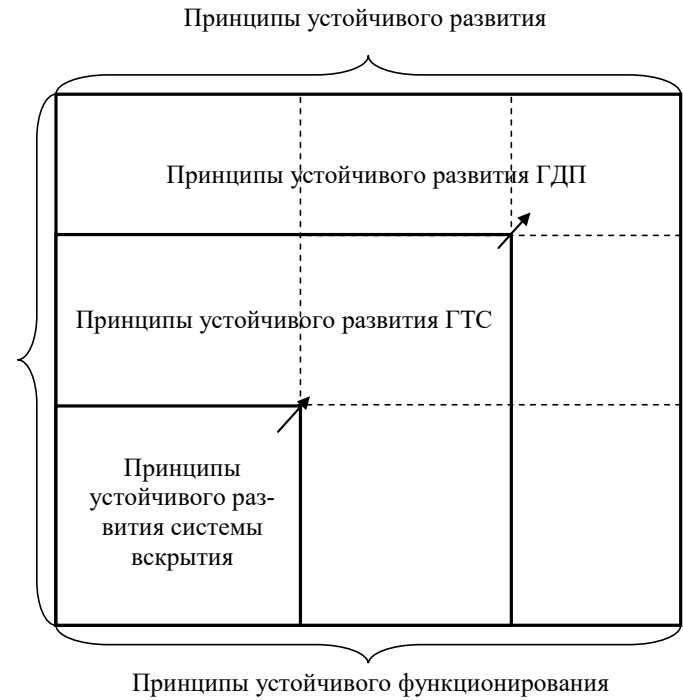


Схема концепции проектирования и реализации принципов устойчивого развития ГТС

Критерий оценки эффективности системы вскрытия

Параметры оценки системы вскрытия

Группа факторов	Группа параметров	Параметры и показатели		
Технический	Вид транспорта	C1	Один вид	C11
			Комбинированный транспорт	C12
Технологический	Производительность транспортного комплекса	C2	Количество транспортных средств	C21
			Производительность транспортного средства	C22
			Количество перегрузочных пунктов в карьере	C23
			Производительность перегрузочного пункта	C24
	Приведенная транспортная работа	C3	Расстояние транспортирования	C31
			Высота подъема горной массы	C32
			Объем перевозок	C33
	Объем вскрываемых выработок	C4	Глубина вскрываемой части карьера	C41
			Ширина (сечение) выработки	C42
			Протяженность (уклон) выработки	C43
Экономический	Период использования системы вскрытия	C5	Продолжительность формирования системы вскрытия	C51
			Продолжительность этапа разработки	C52
			Число этапов разработки	C53
	Экономическая эффективность	C6	Капитальные затраты	C61
			Эксплуатационные затраты	C62
			Совокупный доход	C63
Социальный	Социальная эффективность	C7	Рост производительности труда	C71
			Условия работы персонала	C72
			Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования	C73
Экологический	Экологическая эффективность	C8	Объемы выбросов загрязняющих веществ	C81
			Объем образующихся отходов	C82

Сравнение и выбор вариантов системы вскрытия и эффективность ее применения предлагается определять на основе комплексного критерия эффективности системы вскрытия, в котором составляющие значения параметров и их весовые коэффициенты по рассматриваемым вариантам. В общем виде данный критерий имеет следующий вид:

$$K_{\text{эсв}} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot w_i \rightarrow \max$$

где i – влияющий фактор; n – количество учитываемых факторов; C_i – приведенное значение i -го параметра к максимальным (минимальным) из рассматриваемых значений; w_i – весовой коэффициент i -го фактора.

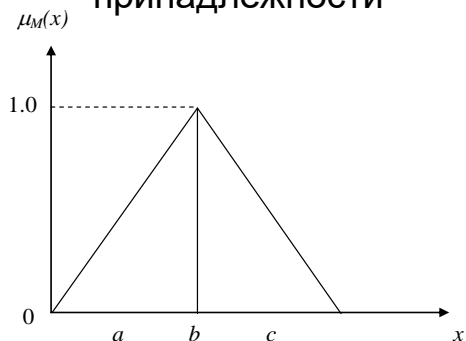
Для ранжирования параметров и показателей системы вскрытия использовался метод нечеткой аналитической иерархии – fuzzy АНР

Матрица принятия решения выглядит следующим образом:

$$K_{\text{эсв}} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ A_1 & \left(\begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) \\ \vdots & & & & \\ A_m & & & & \end{matrix}$$

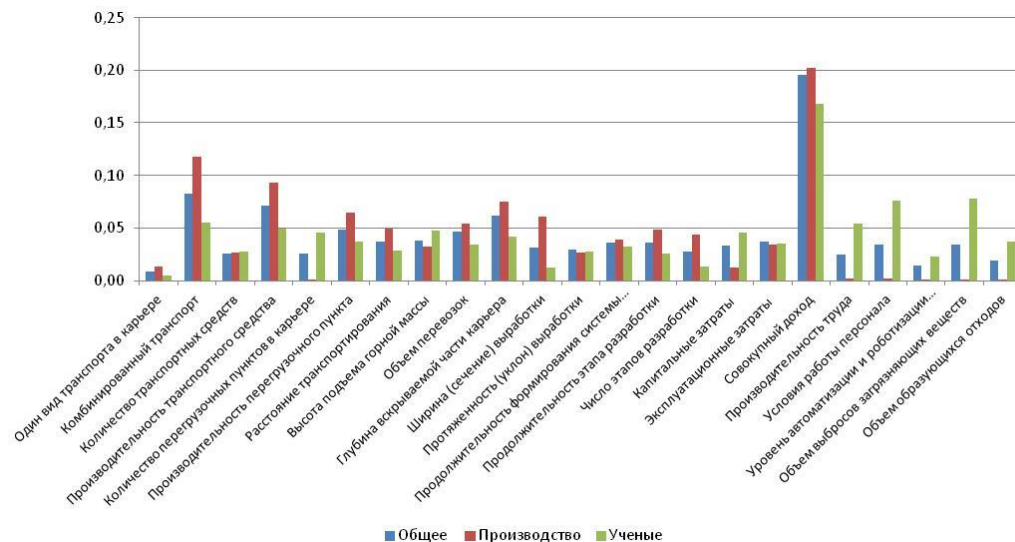
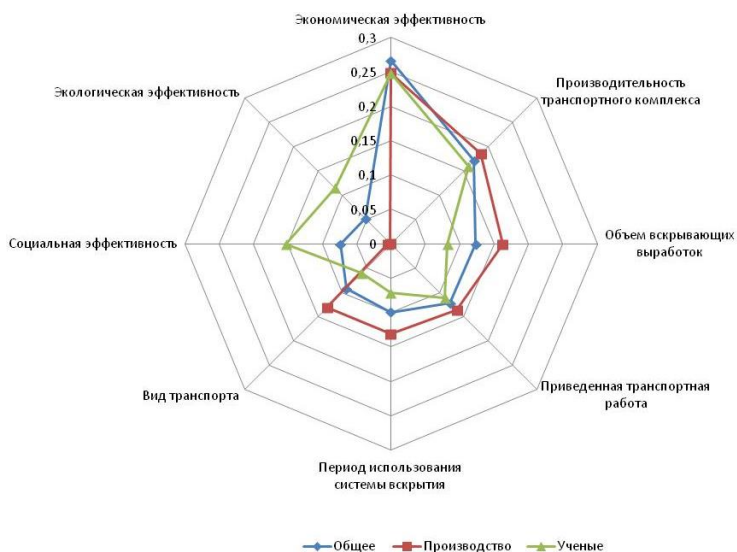


Треугольная функция принадлежности



Нечеткие числа и лингвистической переменные оценки системы вскрытия

Нечеткое число	Лингвистическая переменная	Шкала нечетких чисел
1	Равная важность	(1,1,3)
2	Умеренное превосходство	(1,3,5)
3	Значительное превосходство	(3,5,7)
4	Сильное превосходство	(5,7,9)
5	Абсолютное превосходство	(7,9,10)



Ранжирование групп параметров системы вскрытия

Ранжирование индикаторов системы вскрытия

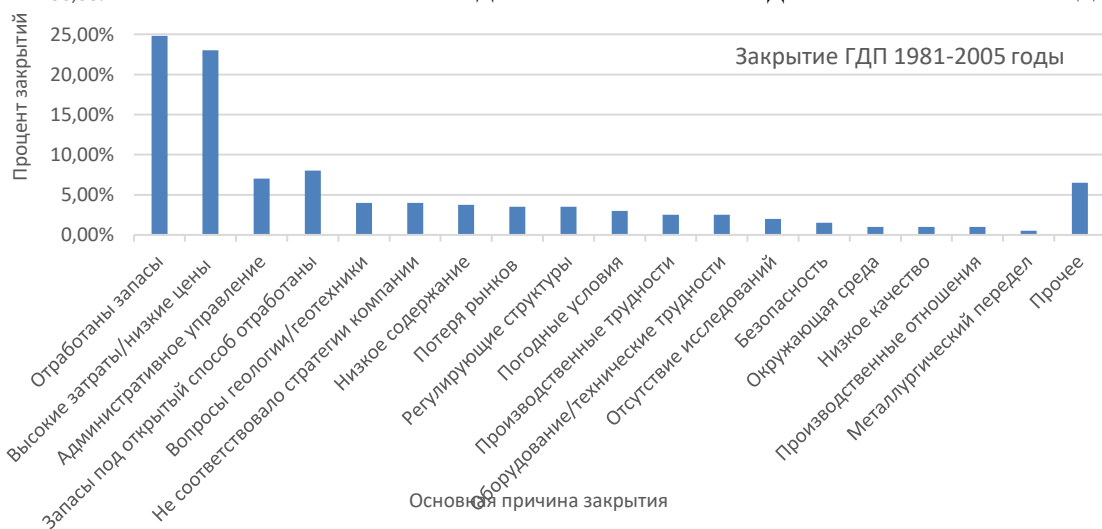
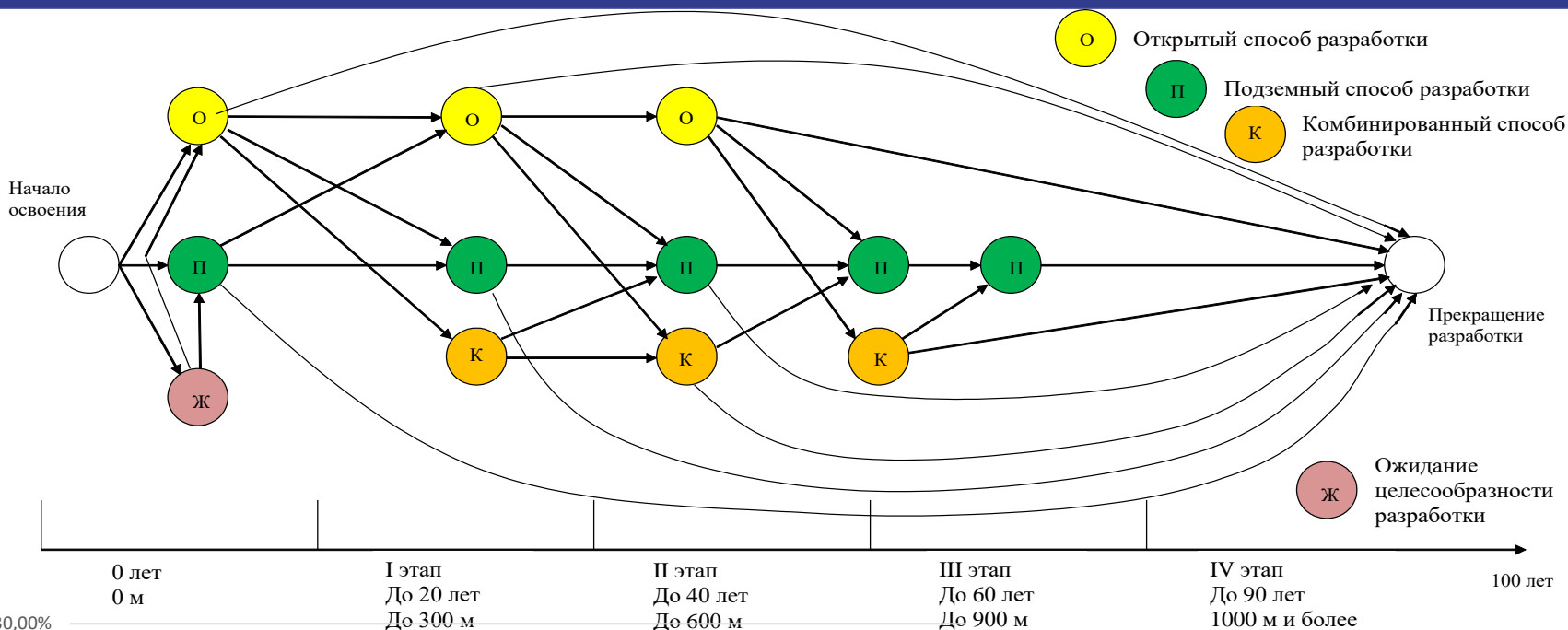


Второе защищаемое положение:

Оценку вариантов системы вскрытия целесообразно производить на основе разработанного, с использованием многокритериального метода нечёткой аналитической иерархии, комплексного критерия эффективности, учитывающего качественные и количественные значения ее параметров и влияние веса каждого параметра на эффективность системы в целом.

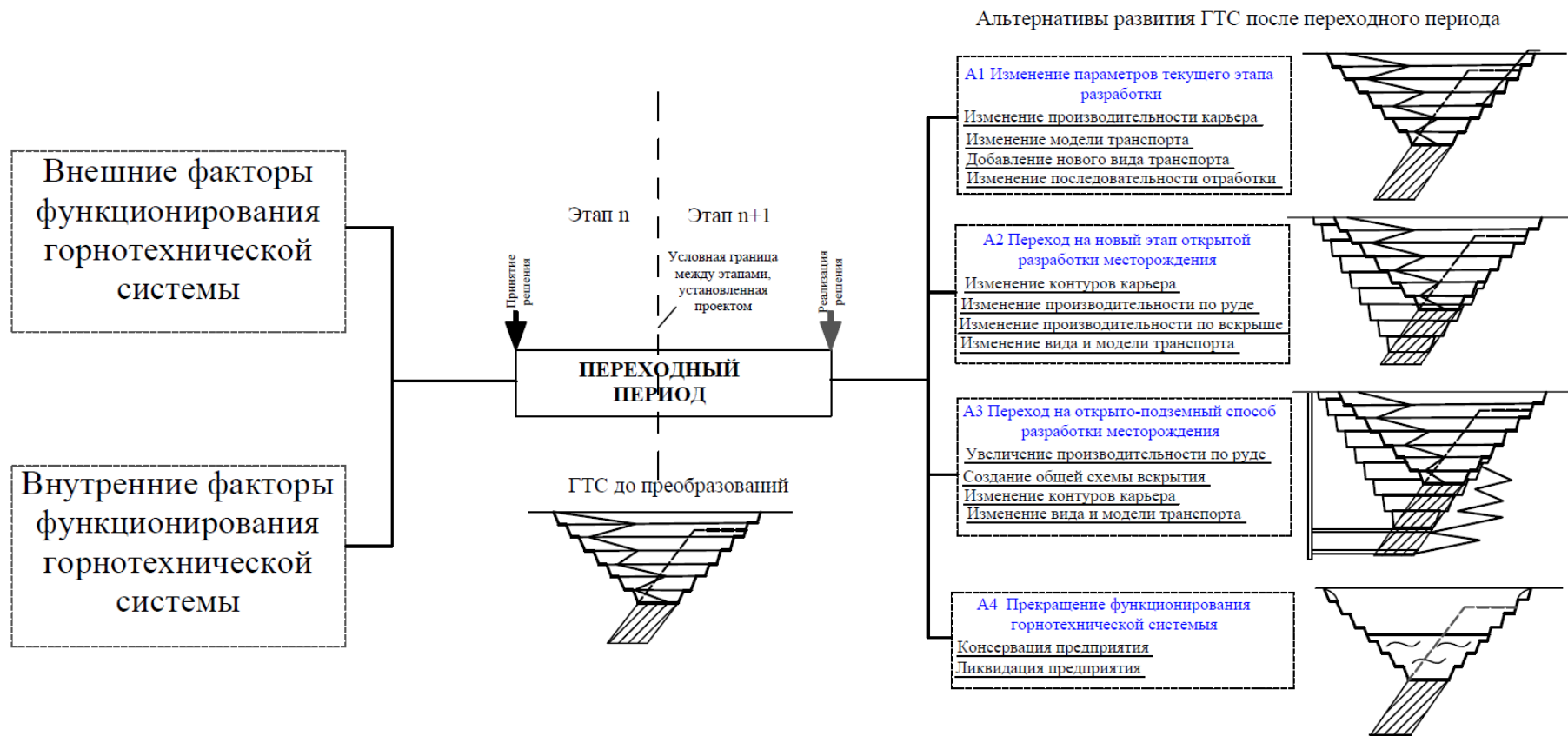


Жизненный цикл ГТС при разработке крутопадающих месторождений



Причины закрытия горнодобывающих предприятий в мире (David Laurence)

Возможные стратегии развития ГТС



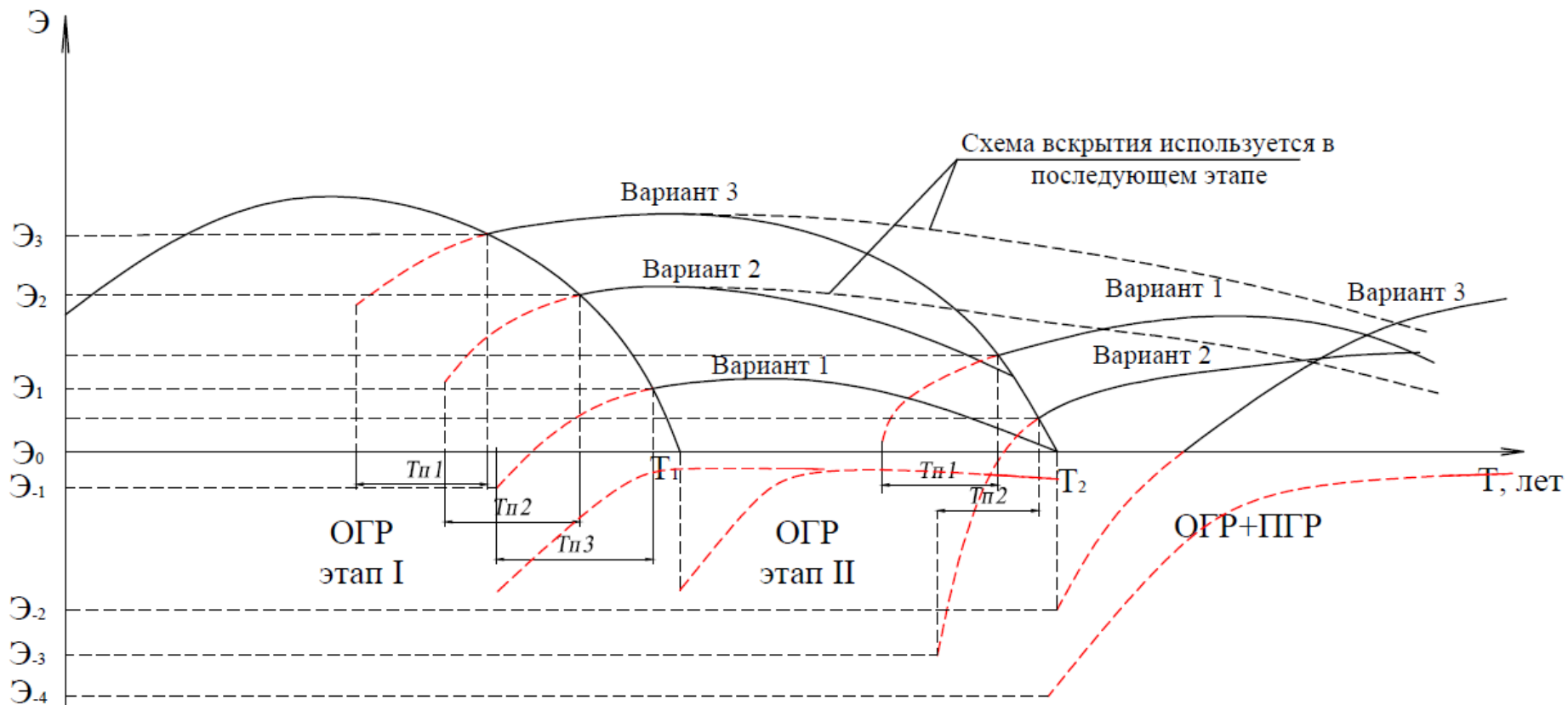
Переходный период для горнотехнической системы (ГТС) и подсистем – промежуток времени, с момента принятия решения об изменении горно-технической системы до момента начала ее устойчивого функционирования с принятыми проектными показателями.

Начало переходного периода – момент принятия решения об изменении системы, отраженное в техническом задании на проектирование.

Окончание переходного периода – момент времени, в который система начала функционировать с требуемыми показателями, установленными проектом.



Гипотеза закономерного изменения эффективности системы вскрытия по этапам развития ГТС





Рекомендуемые глубины перехода на подземный и открыто-подземный способ разработки

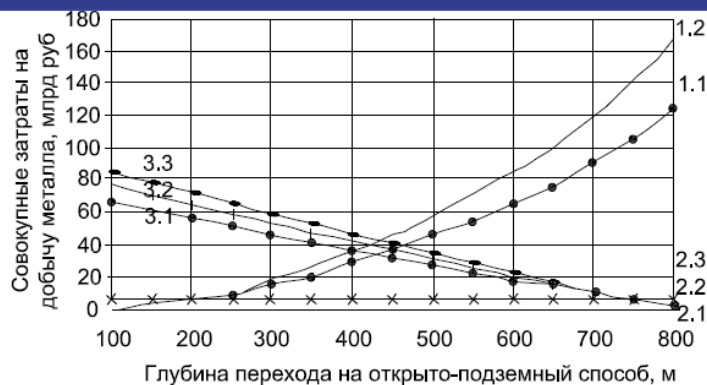


Рис. 1. Зависимость совокупных затрат на добычу металла от глубины перехода на открыто-подземный способ разработки: 1-открытый способ разработки с внутренним (1.1) и внешним (1.2) отвалообразованием; 2-открыто-подземный способ с тросовым креплением (2.1), с обрушением (2.2), с закладкой (2.3); подземный способ с открытым очистным пространством (3.1), с обрушением (3.2), с закладкой (3.3). (Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова).

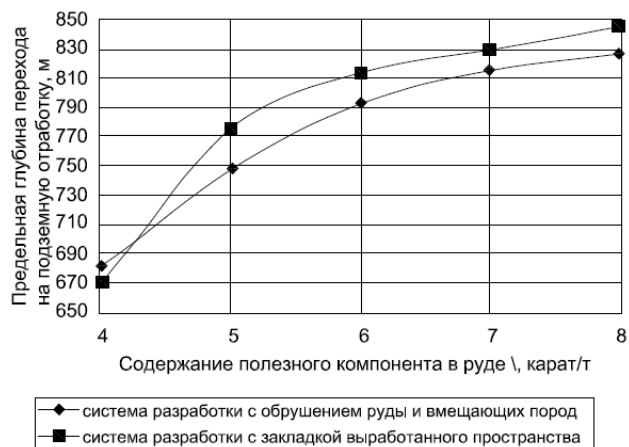


Рис.2. Зависимости предельной глубины перехода на подземные горные работы от содержания полезного компонента в руде при различных системах подземной разработки. (М.Х. Пешкова, И.Е. Кузьмина).

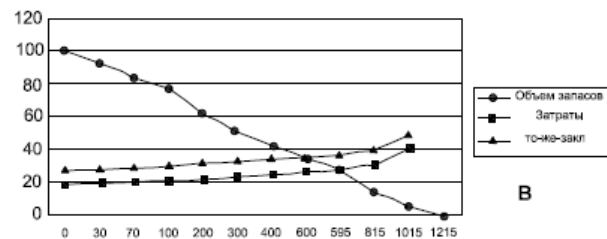
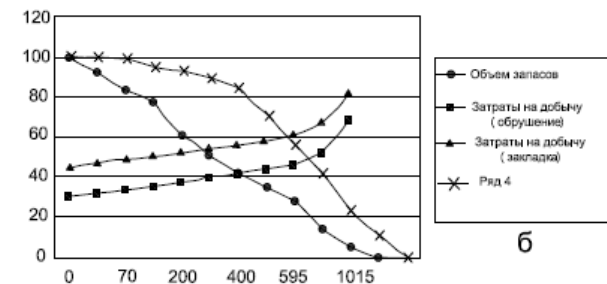
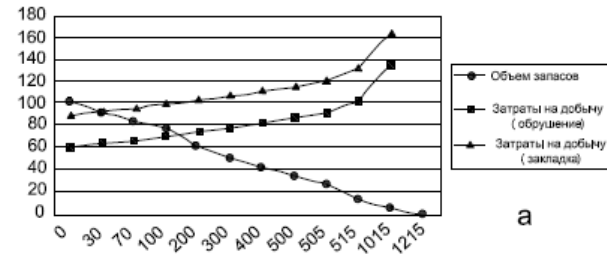
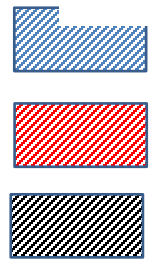
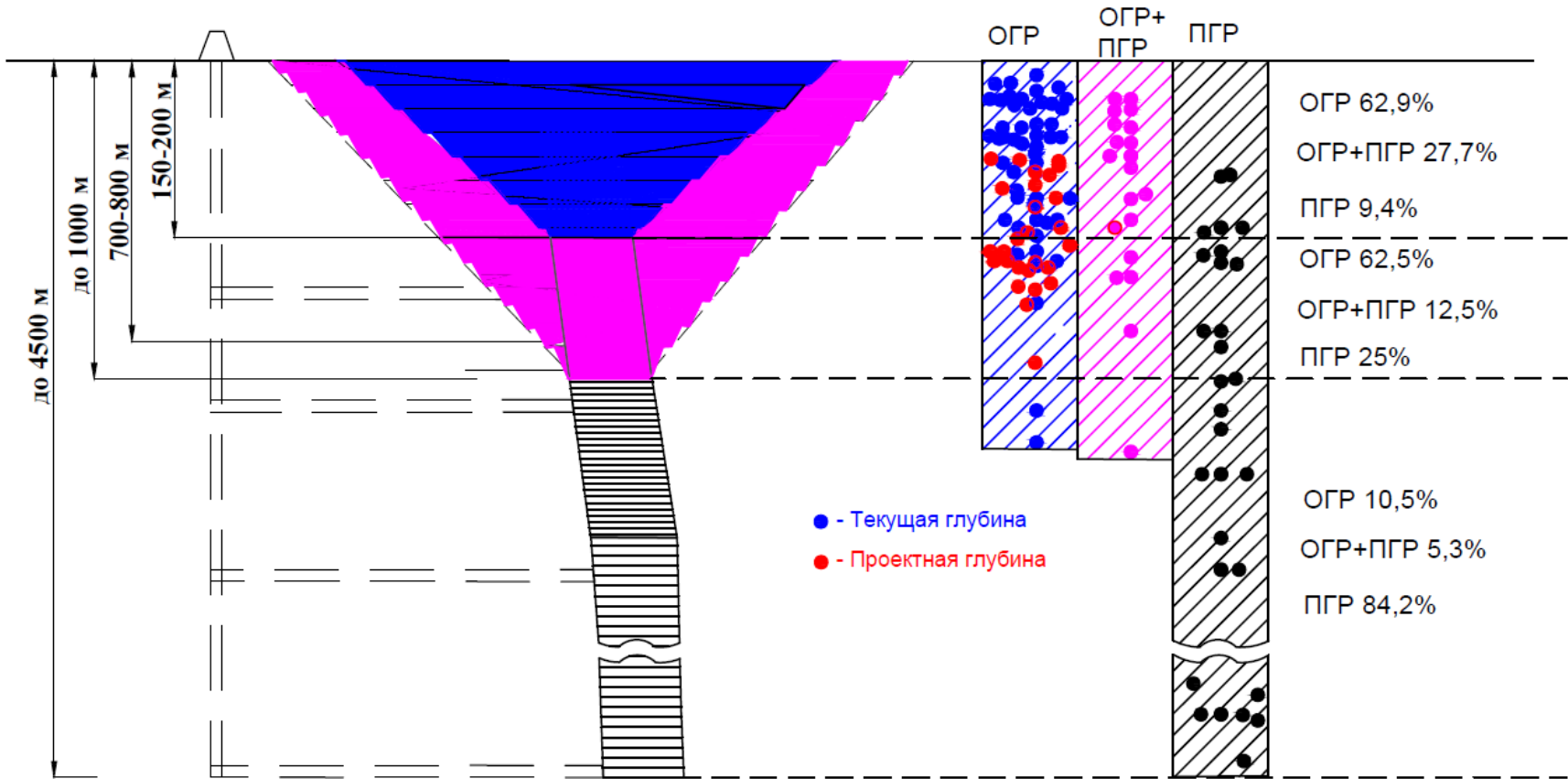


Рис.3. Изменение глубины перехода к подземной разработке в зависимости от ценности запасов месторождения: а - ценность руды - 150дол/т; б - 300дол/т; в - 500 дол/т. (И.Н.Савич).



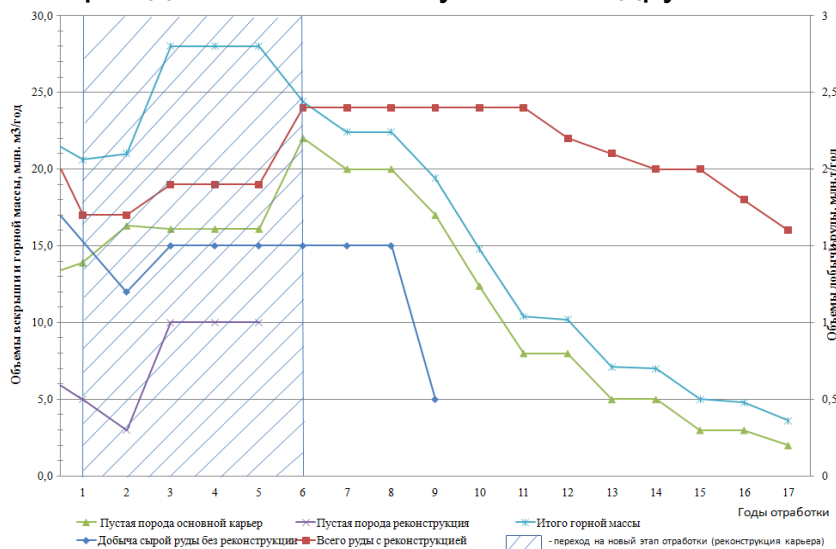
Стратегии обработки крутопадающих месторождений



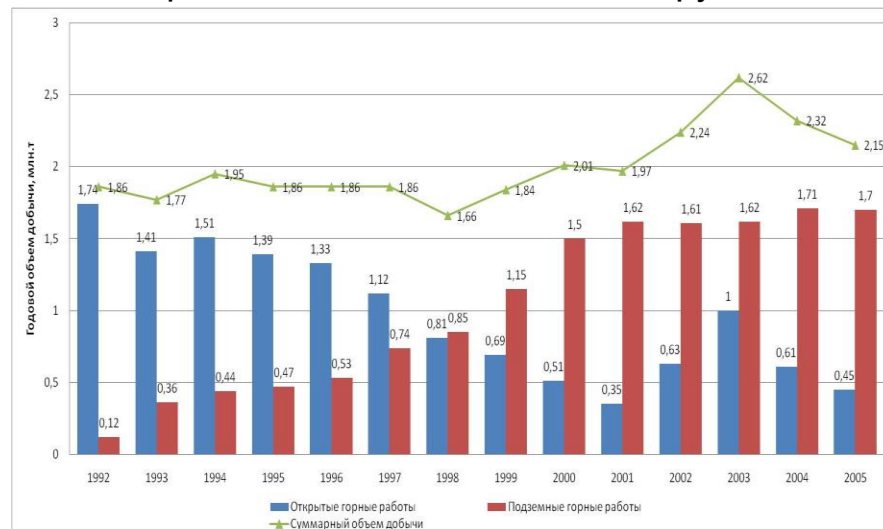
- зона обработки открытым способом (вскрытие наклонными траншеями, автомобильный транспорт)
- зона обработки открытым, открыто-подземным или подземным способом (вскрытие наклонными и крутыми траншеями, подземными выработками, комбинированный транспорт)
- зона обработки подземным способом (вскрытие подземными выработками, скиповой и комбинированный транспорт)



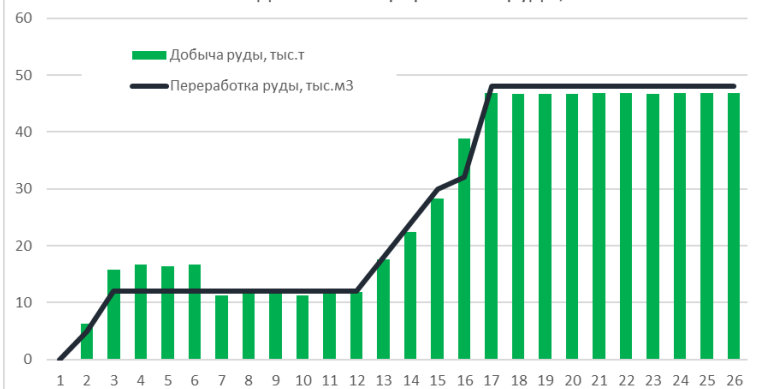
Переход с одного этапа разработки месторождения «Малый Куйбас» на другой



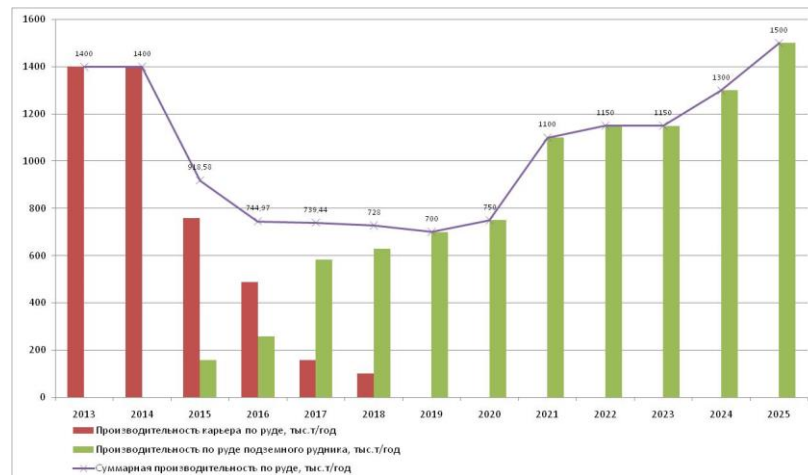
Переход с одного способа разработки месторождения «Учалинское» на другой



Объемы добычи и переработки руды, тыс.т



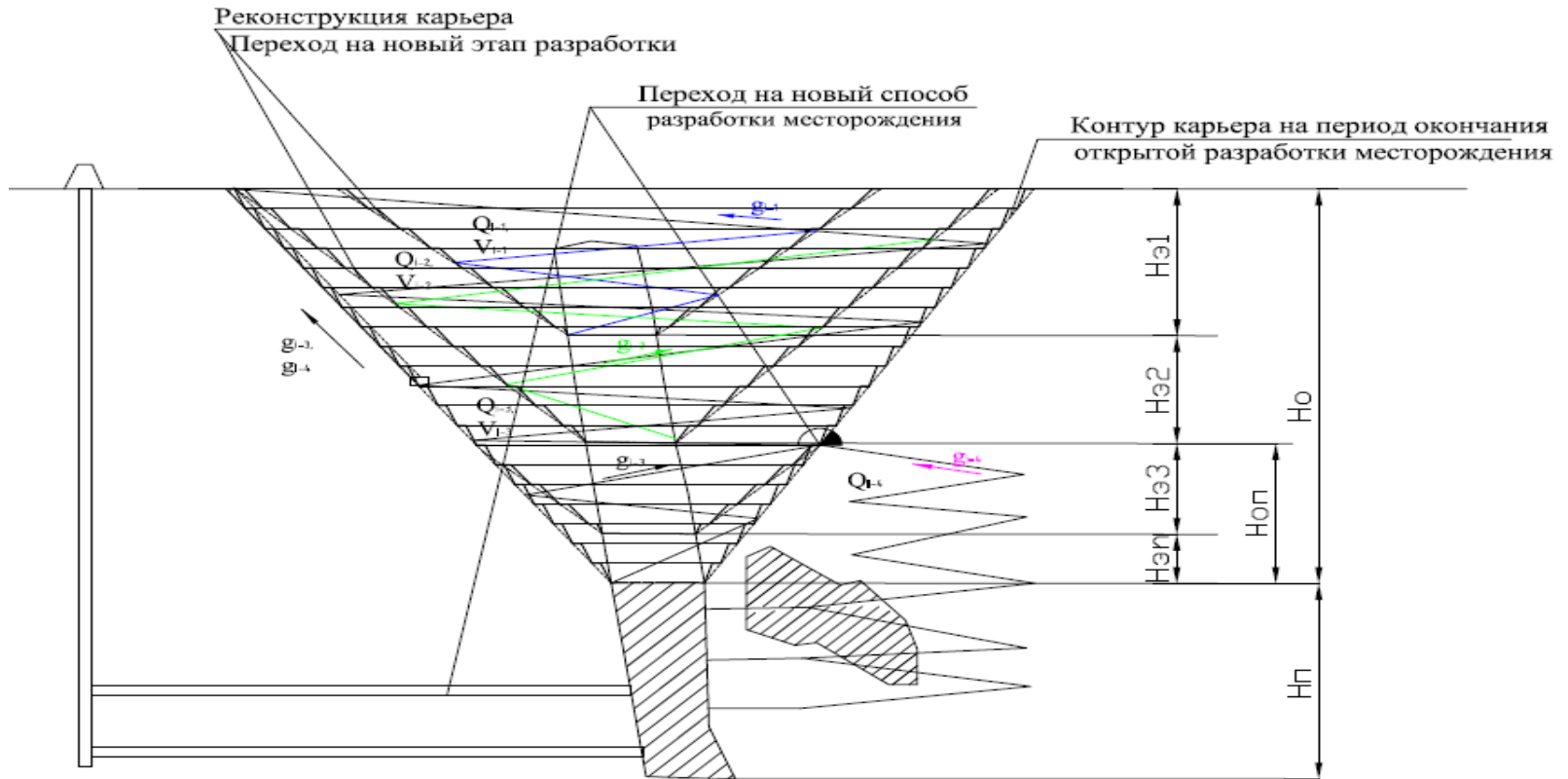
Проектирование этапов разработки месторождения «Удоканское» (ООО «НТЦ-Геотехнология»)



Переход с одного способа разработки месторождения «Юбилейное» на другой



Выделение этапов и переходных периодов при разработке крутопадающего месторождения



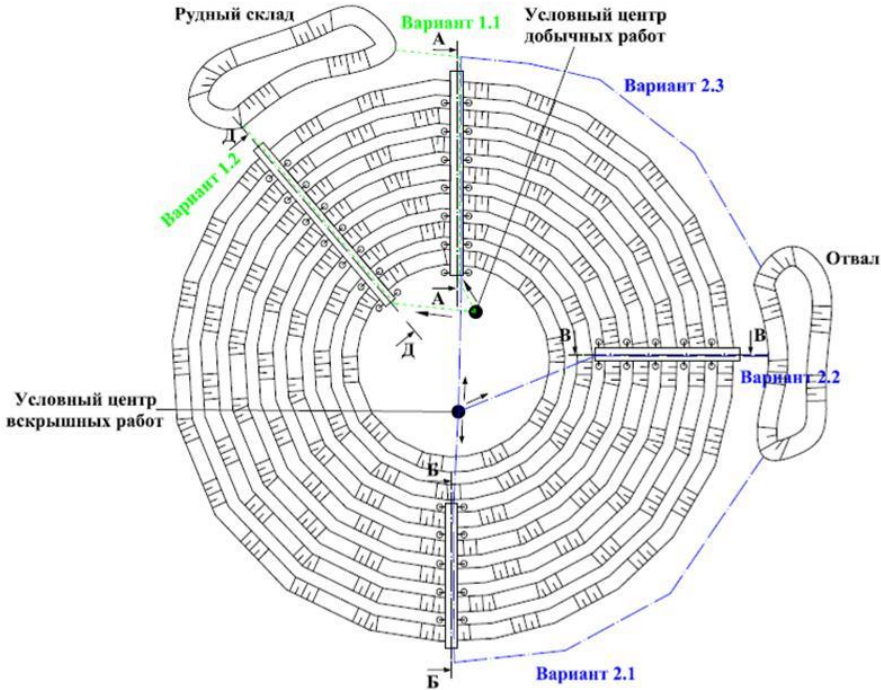
$H_э$ – глубина этапа разработки месторождения, $H_{гр}$ – глубина ведения горных работ на момент окончания очередного этапа разработки, $H_{опр}$ – предельно допустимая глубина карьера, $H_{п}$ – глубина отработки месторождения подземным способом, Q_i, V_i – производительность по руде и по вскрыше в i -м этапе соответственно, g_i, g_j – грузопотоки по вскрывающим выработкам в i -м этапе разработки



Третье защищаемое положение:

Период реконструкции характеризуется осложнением функционирования ГТС, высоким риском несвоевременного выхода на проектные показатели, снижением экономических показателей вплоть до закрытия предприятия. Выбор параметров и срока начала нового этапа разработки месторождения определяется значениями комплексного критерия, позволяющего оценить и сформировать стратегию устойчивого развития ГТС, базирующуюся на разработанных вариантах систем вскрытия включающих применение перспективных видов и моделей транспортных средств, варианты перехода на циклично-поточную технологию (ЦПТ) и проектируемых не только для текущего, но и для последующих этапов разработки.

Схема определения оптимального варианта схемы вскрытия при минимизации транспортной работы о объема вскрывающих выработок

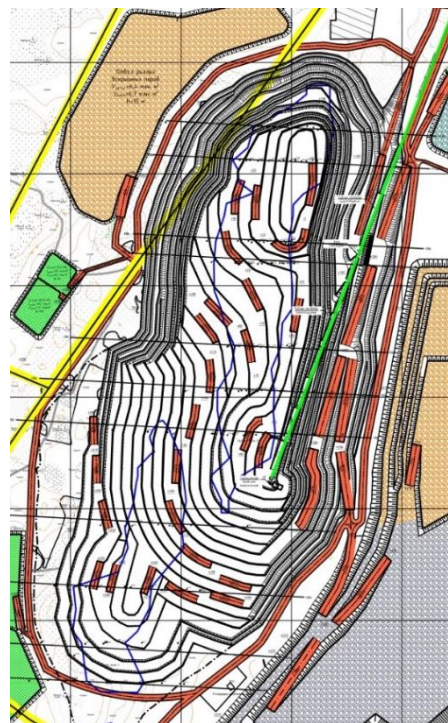


Оптимальные условия функционирования системы вскрытия соответствуют:

- по *транспортной работе* – перемещение горной массы по кратчайшему расстоянию: вскрыша - от условного центра вскрышной зоны до отвала, полезное ископаемое - от условного центра добычной зоны до рудного склада на поверхности или перерабатывающего производства. При использовании комбинированных видов транспорта кратчайшее расстояние будет при транспортировании всей горной массы карьерным подъемником поперек борта карьера.
- по *объемам вскрывающих выработок* – проведение крутых траншей под углом равным углу нерабочего борта карьера.
- по *времени применения схемы вскрытия* – использование схемы вскрытия в течение всего этапа разработки.
- по *затратам* – система вскрытия, из возможных и рассматриваемых к применению, которая будет предусматривать наименьшую величину приведенных затрат

ВАРИАНТЫ ПОЛОЖЕНИЙ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗВИТИИ ЦПТ НА МИХЕЕВСКОМ КАРЬЕРЕ

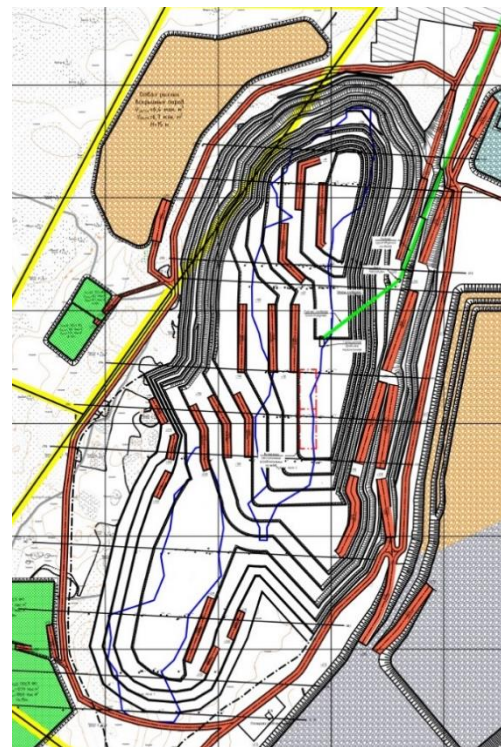
Варианты 1,2



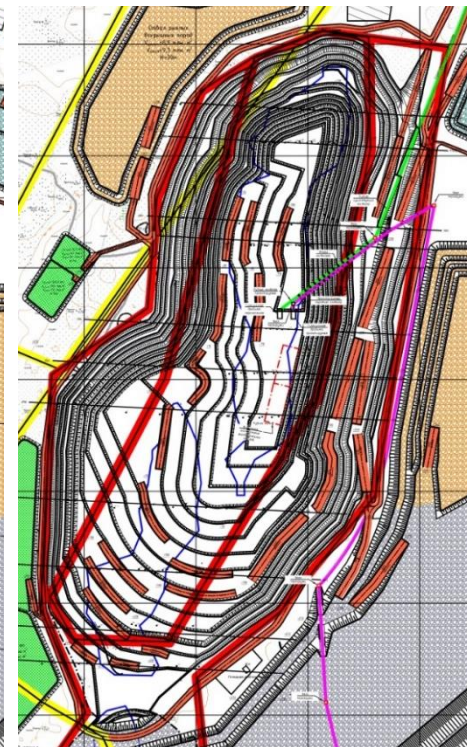
Вариант 3



Вариант 4

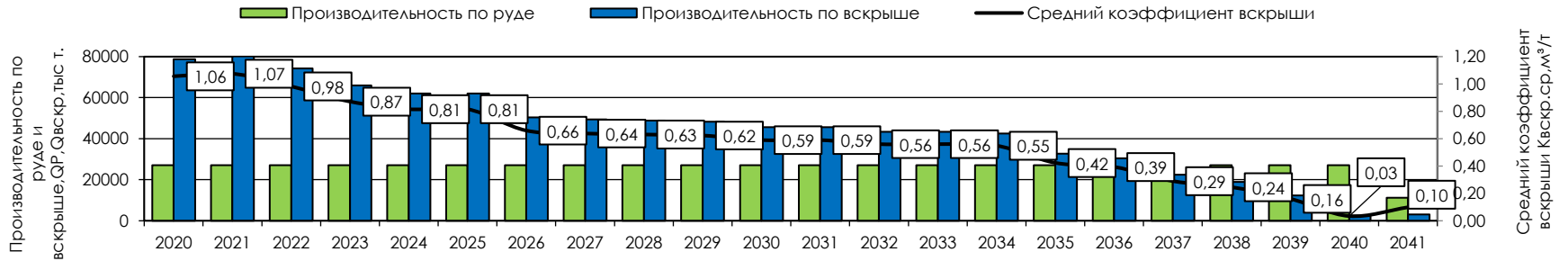


Вариант 5,6

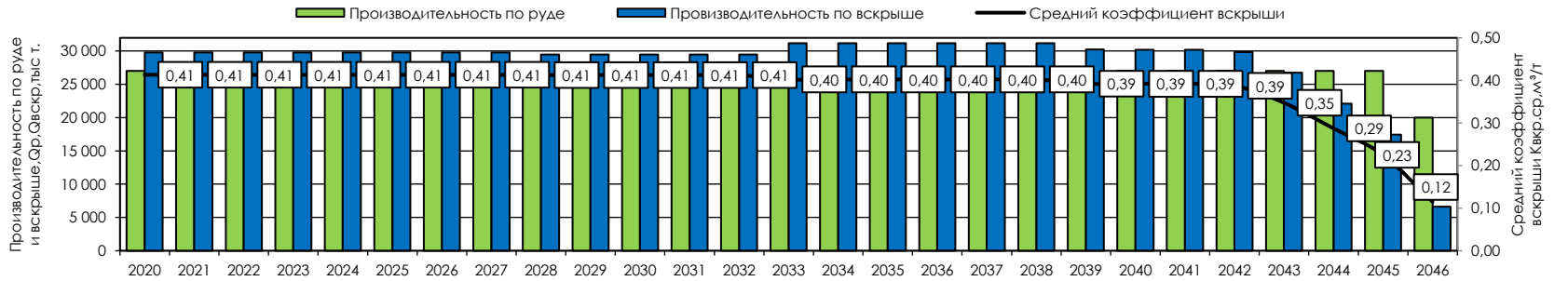


Графики изменения показателей функционирования карьера по рассматриваемым вариантам

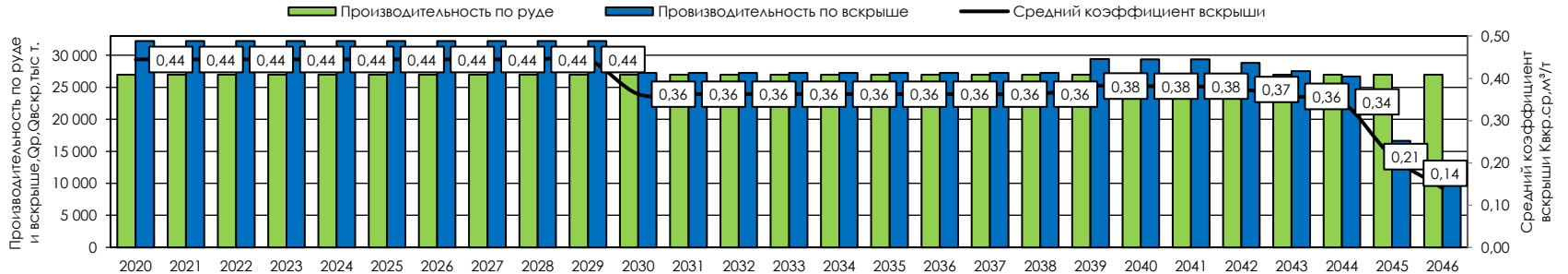
Базовый ВАРИАНТ. (1,2)



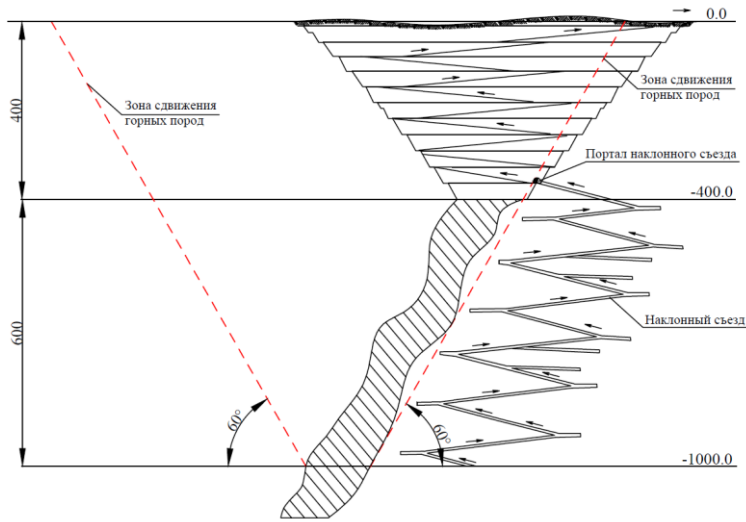
Предлагаемый 3,4 ВАРИАНТ.



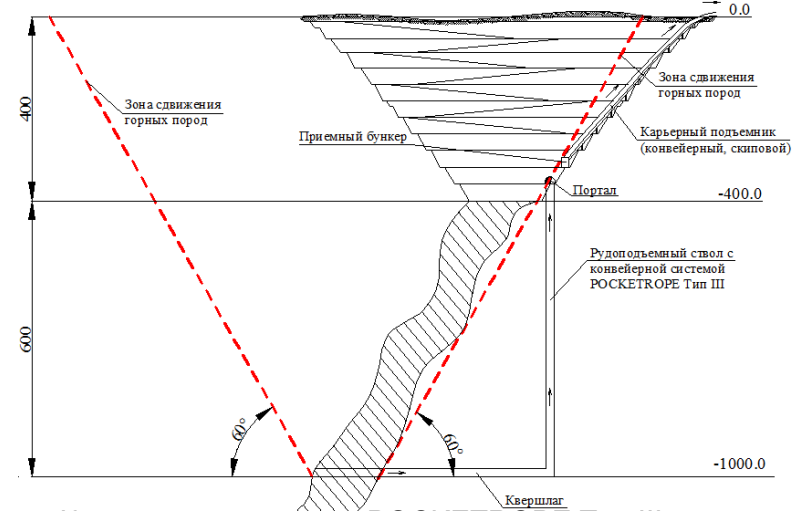
Предлагаемый 5,6 ВАРИАНТ.



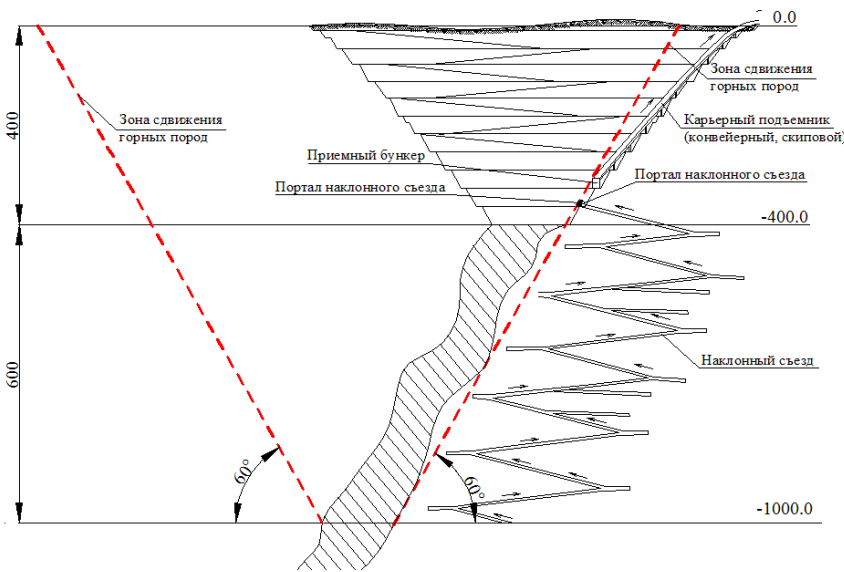
Технологические схемы вскрытия с циклической, циклично-поточной и поточной схемой транспортирования горной массы при открыто-подземной разработке месторождений



ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → автосамосвал в карьере

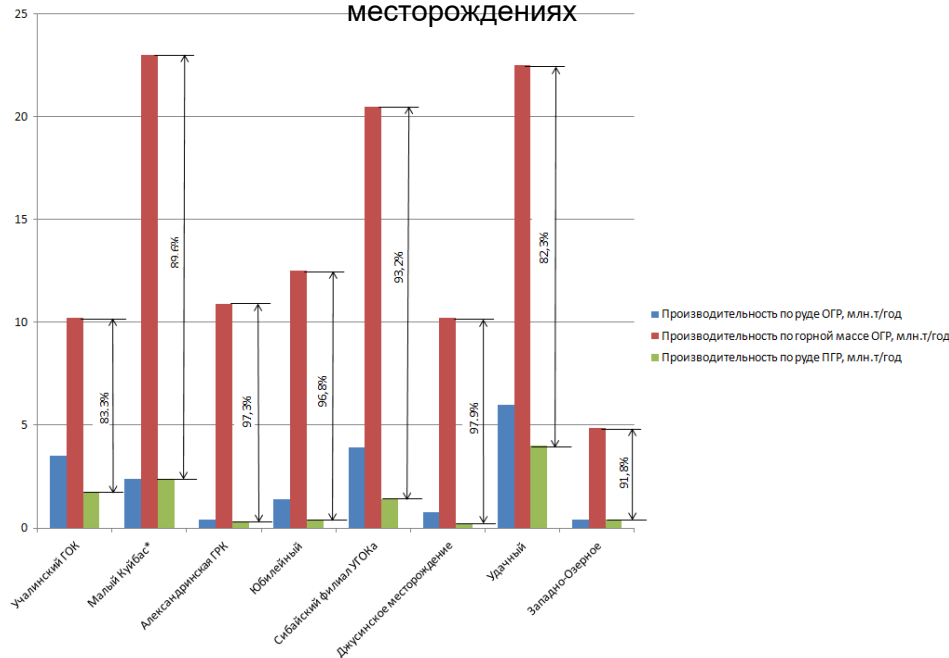


6 - Конвейерная система РОCKETROPE Тип III → перегрузочный пункт → карьерный конвейерный подъемник



1.1, 1.2, 3 - ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → карьерный скиповой подъемник

Производительность карьеров и подземных рудников на месторождениях

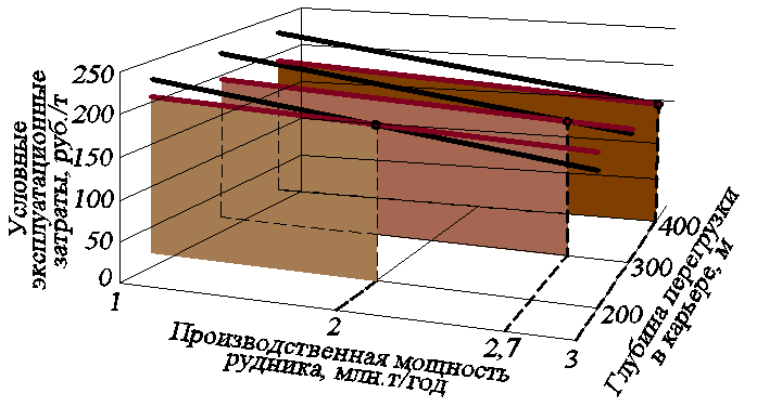
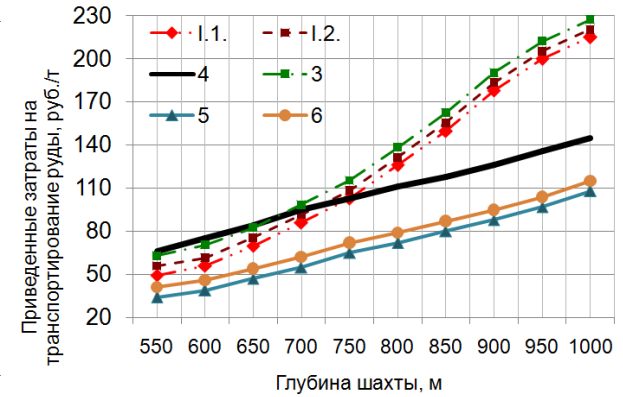
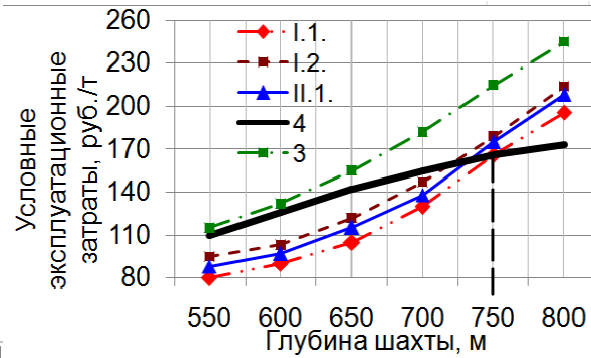
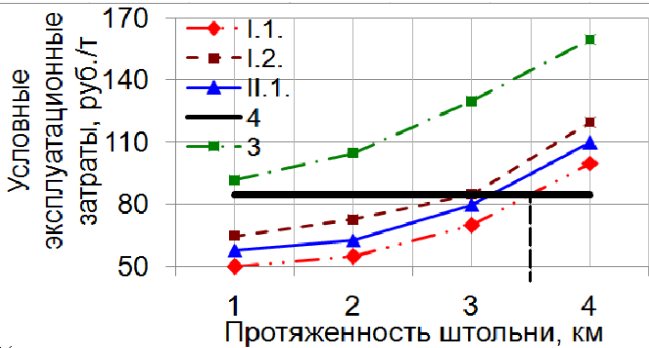


Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды от:

а) глубины шахты

б) протяженности штольни

в) глубины шахты



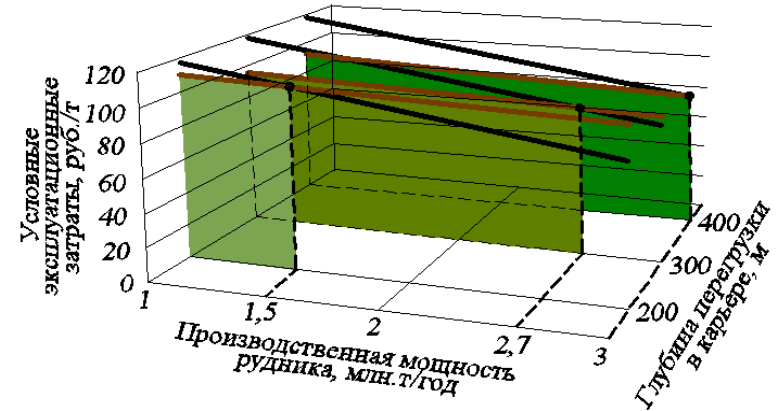
— условные эксплуатационные затраты на добычу 1 т руды при вскрытии законтурных запасов с поверхности, руб.;

— условные эксплуатационные затраты на добычу 1 т руды при вскрытии законтурных запасов с борта карьера, руб.;

область эффективного применения карьерного пространства и подъемника для вскрытия законтурных запасов, расположенных ниже уровня дна карьера, при глубине перегрузки в карьере до:

■ - 200 м; ■ - 300 м; ■ - 400 м;

Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере



— условные эксплуатационные затраты на добычу 1 т руды при вскрытии законтурных запасов с поверхности, руб.;

— условные эксплуатационные затраты на добычу 1 т руды при вскрытии законтурных запасов с борта карьера, руб.;

область эффективного применения карьерного пространства и подъемника для вскрытия законтурных запасов, расположенных выше уровня дна карьера, при глубине перегрузки в карьере до:

■ - 200 м; ■ - 300 м; ■ - 400 м;

Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу Руды от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере

Область применения транспортных схем с использованием подземных автосамосвалов в сочетании с карьерными автосамосвалами и подъемниками

Параметр	Технология		
	Сочетание циклической технологии в подземном руднике и циклической в карьере	Сочетание циклической технологии в подземном руднике и циклично-поточной в карьере	Сочетание поточной технологии в подземном руднике и поточной в карьере
Предельная глубина эффективного применения технологической схемы	до 600 м	до 750 м	до 1000 м и более
Максимальная глубина подъема по подземному наклонному съезду	до 200 м	до 350 м	-
Максимальная производственная мощность рудника	до 2 млн т/год	до 3 млн т/год	до 60 млн т/год и более

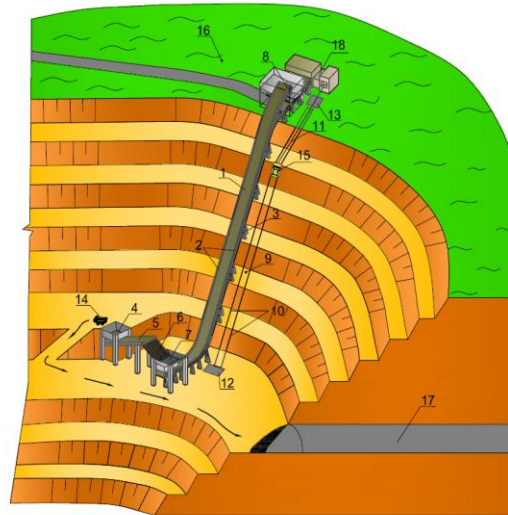
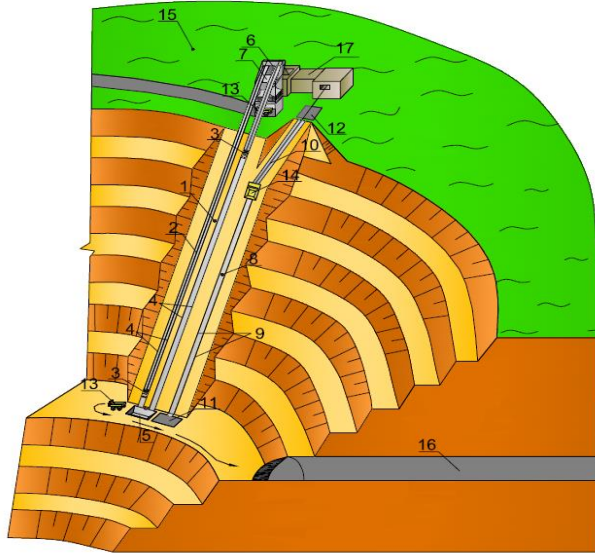


Четвертое защищаемое положение:

Эффективность применения схем ЦПТ с использованием карьерных подъемников на высокопроизводительных карьерах, отрабатывающих крутопадающие месторождения, обеспечивается переходом на высокоуступную технологию и повышением интенсивности отработки отдельных участков рабочей зоны в предполагаемых местах размещения карьерных подъемников и перегрузочных пунктов. На этапе открыто-подземного способа разработки использование системы вскрытия с карьерными подъемниками позволяет вовлечь в разработку запасы, удаленные от борта карьера до 3,5 км, ниже уровня дна карьера – до 750 м, а также увеличить производственную мощность подземного рудника в 1,5 раза по сравнению вариантом использования циклической технологии транспортирования руды.

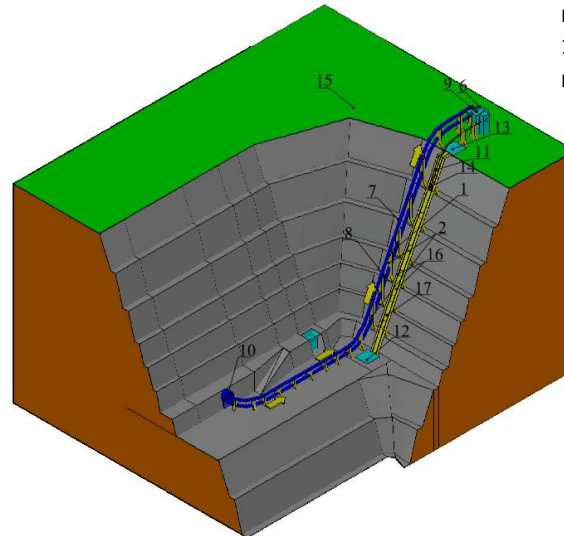
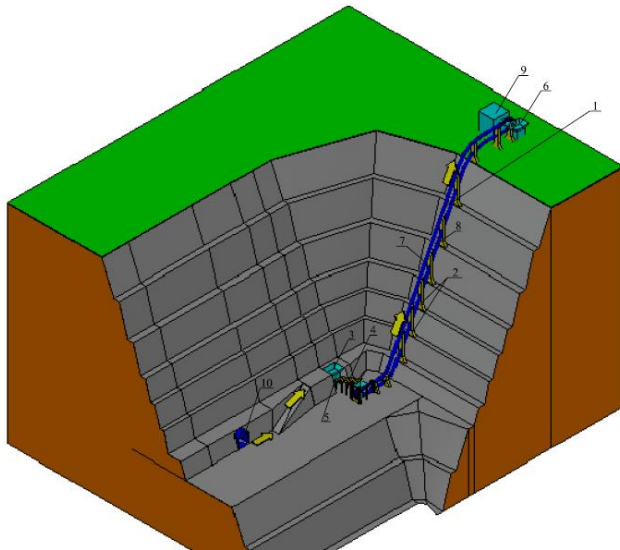


Карьерная вскрывающая выработка для подземного рудника



а – при использовании скипового карьерного подъемника, б – при использовании подъемника с прижимной лентой, в и г – при использовании шевронного трубчатого конвейера «Chevron-MegaPipe Conveyor»

На рис 10 а и б - 1 – карьерный подъемник; 2 – тяговая часть подъемника; 3 – транспортируемая горная масса; 4 – трасса подъемника; 5 – погрузочный бункер; 6 – разгрузочная башня; 7 – разгрузочный бункер; 8 – подъемное устройство; 9 – направляющие для шахтного оборудования; 10 – стальной канат подъемного устройства; 11 – площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 12 – площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 13 – автосамосвал с породой из рудника; 14 – самоходное транспортное оборудование; 15 – поверхность; 16 – подземная выработка

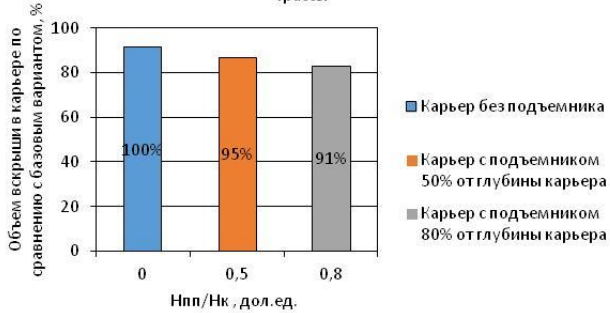


в и г - 1 - конвейерная лента; 2 – опоры; 3 - погрузочный бункер; 4 - ленточный питатель; 5 – дробилка; 6 - разгрузочный бункер; 7 - верхняя ветвь; 8- нижняя ветвь; 9 - общий электропривод; 10 - подземная выработка

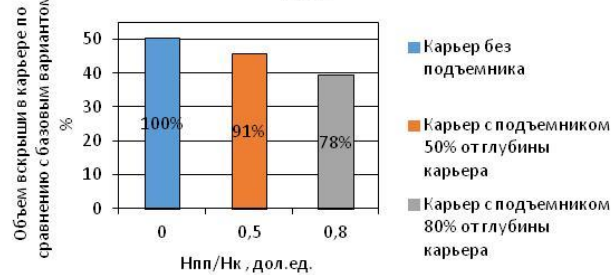


Зависимости объема вскрышных работ в карьере для различных вариантов расположения вскрывающей выработки по глубине и формы карьера в плане

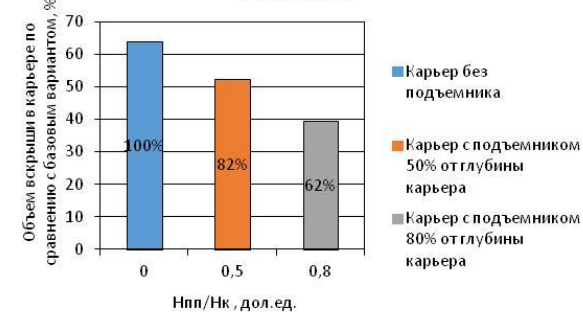
Глубина карьера 300м вытянутой формы со спиральной формой трассы



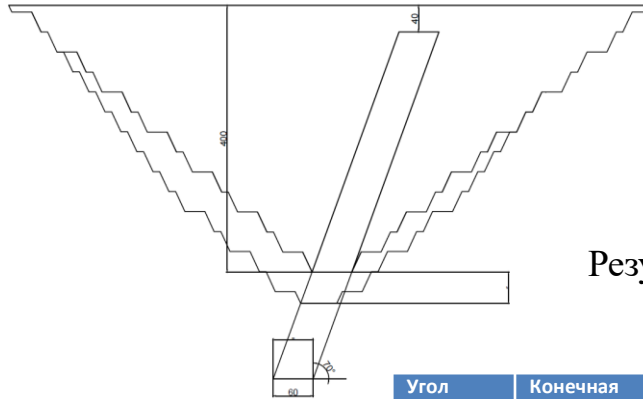
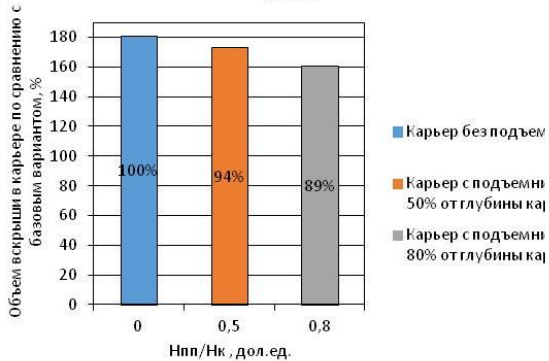
Глубина карьера 300м округлой формы со спиральной формой трассы



Глубины карьера 300м округлой формы с комбинированной формой трассы

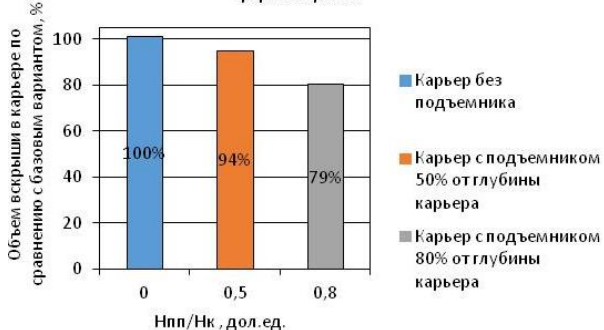


Глубина карьера 400м вытянутой формы со спиральной формой трассы



Результаты моделирования по определению приращения глубины карьера

Глубина карьера 400м округлой формы со спиральной формой трассы

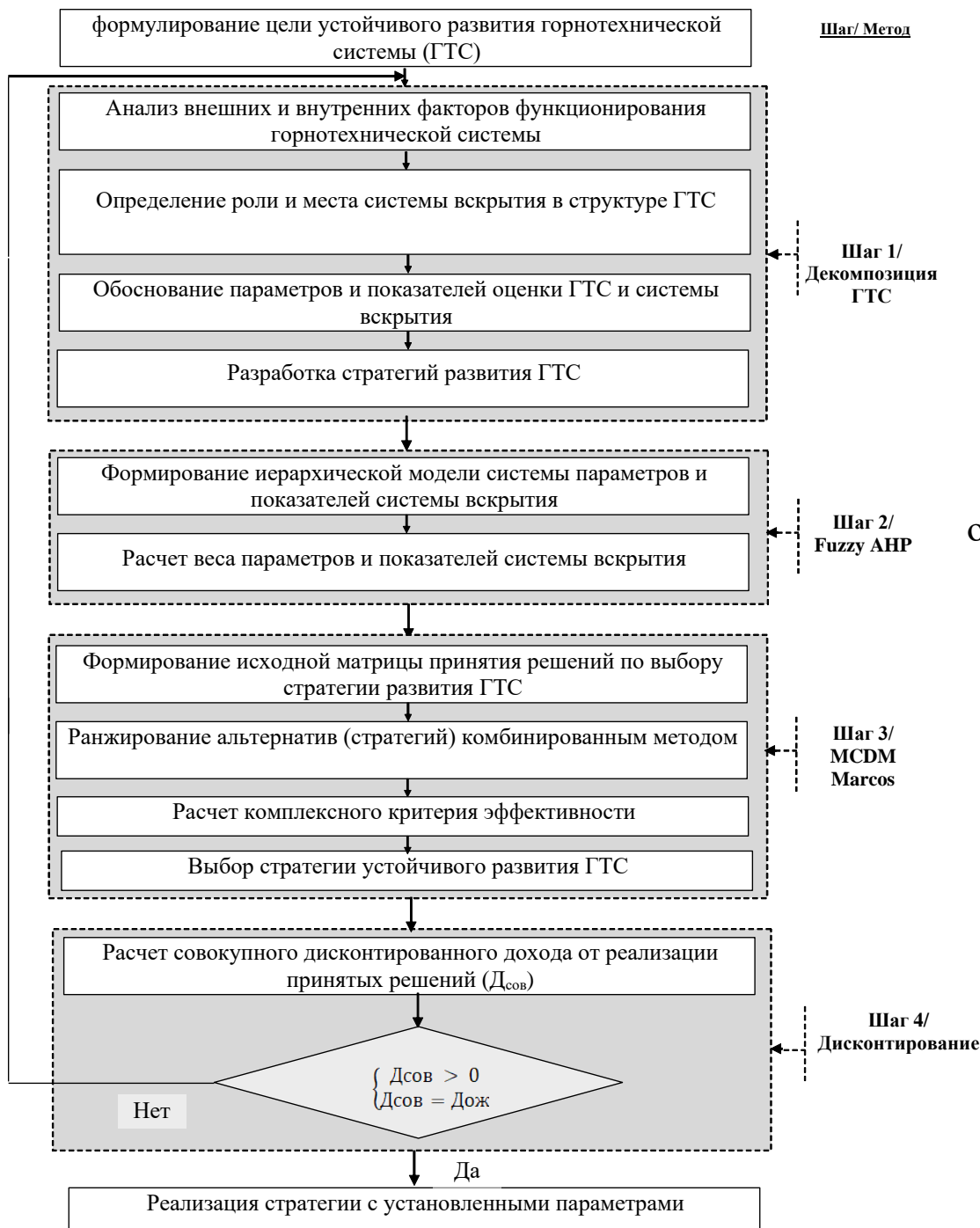


Угол откоса уступа	Конечная глубина карьера, м	Конечная глубина карьера после отработки берм, м	Глубина расположения перегрузочного пункта, м	Прирост глубины, м	Прирост глубины, %
65°	400	447	300	47	12 %
65°	600	690	510	90	15 %
60°	400	460	310	60	15 %
60°	600	690	510	90	15 %
70°	400	460	310	60	15 %
70°	600	690	510	90	15 %
65°	400	507	360	107	27 %
65°	600	750	570	150	25 %
60°	400	520	370	120	30 %
60°	600	750	570	150	25 %
70°	400	520	370	120	30 %
70°	600	750	570	150	25 %



Пятое защищаемое положение:

Использование карьера при переходе к открыто-подземному способу разработки с применением схемы вскрытия с карьерными подъемниками в сочетании с внутрикарьерными перегрузочными пунктами позволяет увеличить глубину карьера до 30%, без разноса бортов карьера по поверхности и обеспечить добычу руды в процессе строительства подземного рудника.

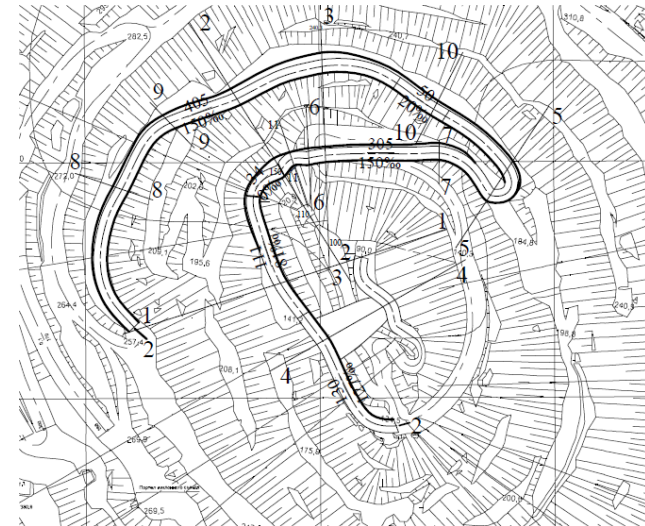
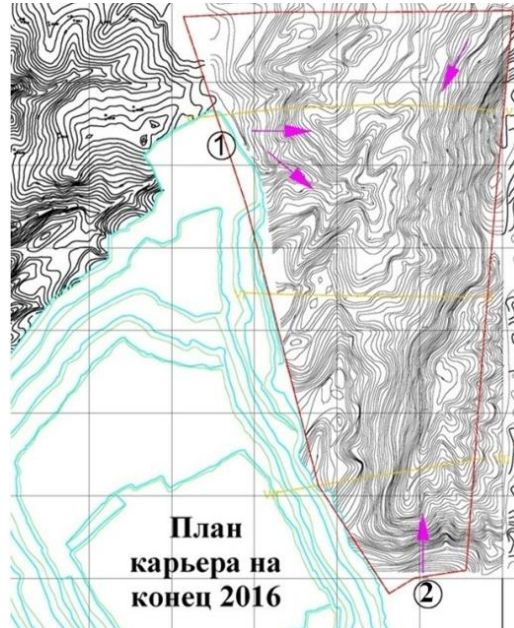
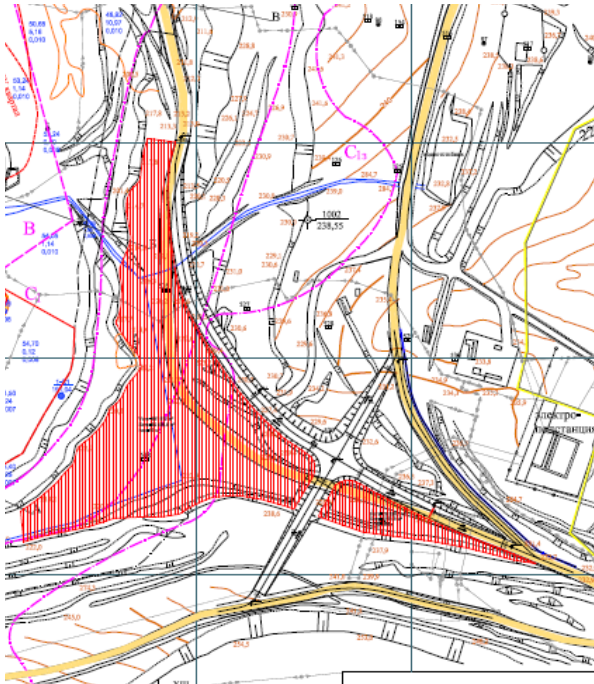


Алгоритм методики пошаговой оценки системы вскрытия и выбора стратегии устойчивого развития ГТС



Результаты практической апробации разработанной методики

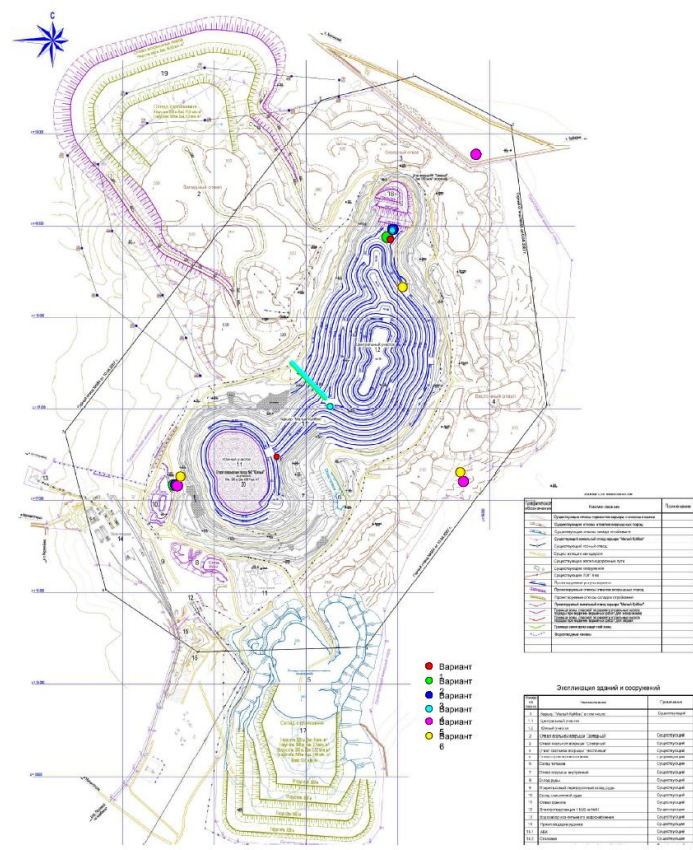
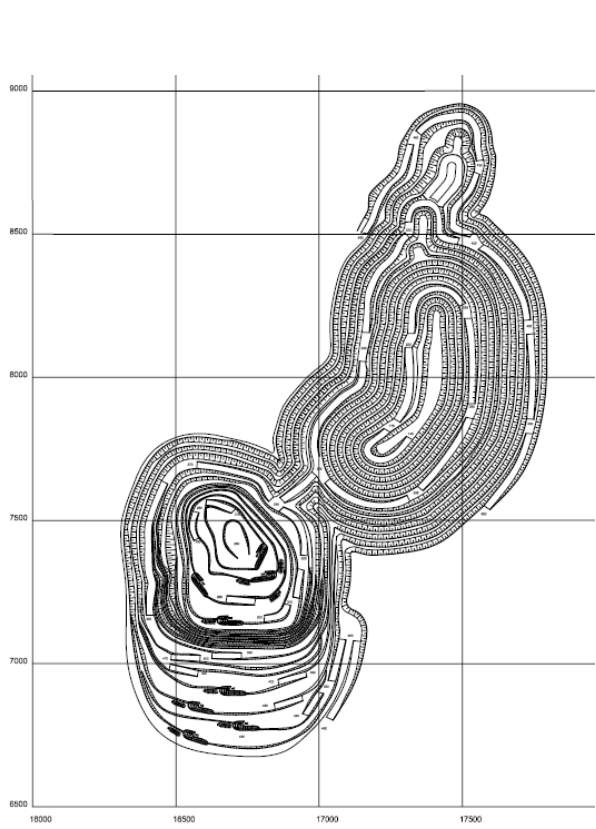
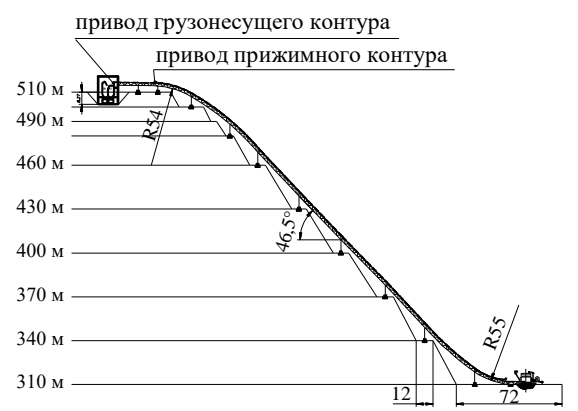
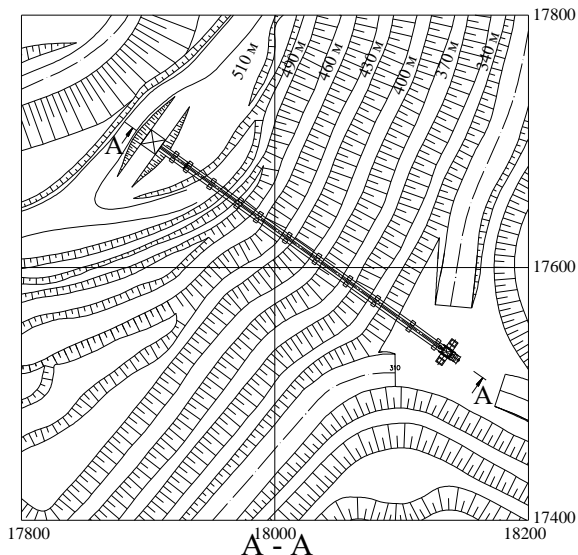
43



Горнодобывающее предприятие (карьер)	Реализуемая стратегия	Ожидаемый совокупный доход, млн.руб
Аккермановский рудник	Изменение параметров этапа разработки	234,2
Круторожинский карьер	Переход на новый этап ОГР	324,13
Юбилейный карьер	Переход на открыто-подземный способ разработки	338,78



Варианты выбора стратегии развития ГТС на месторождении «Малый Куйбас»

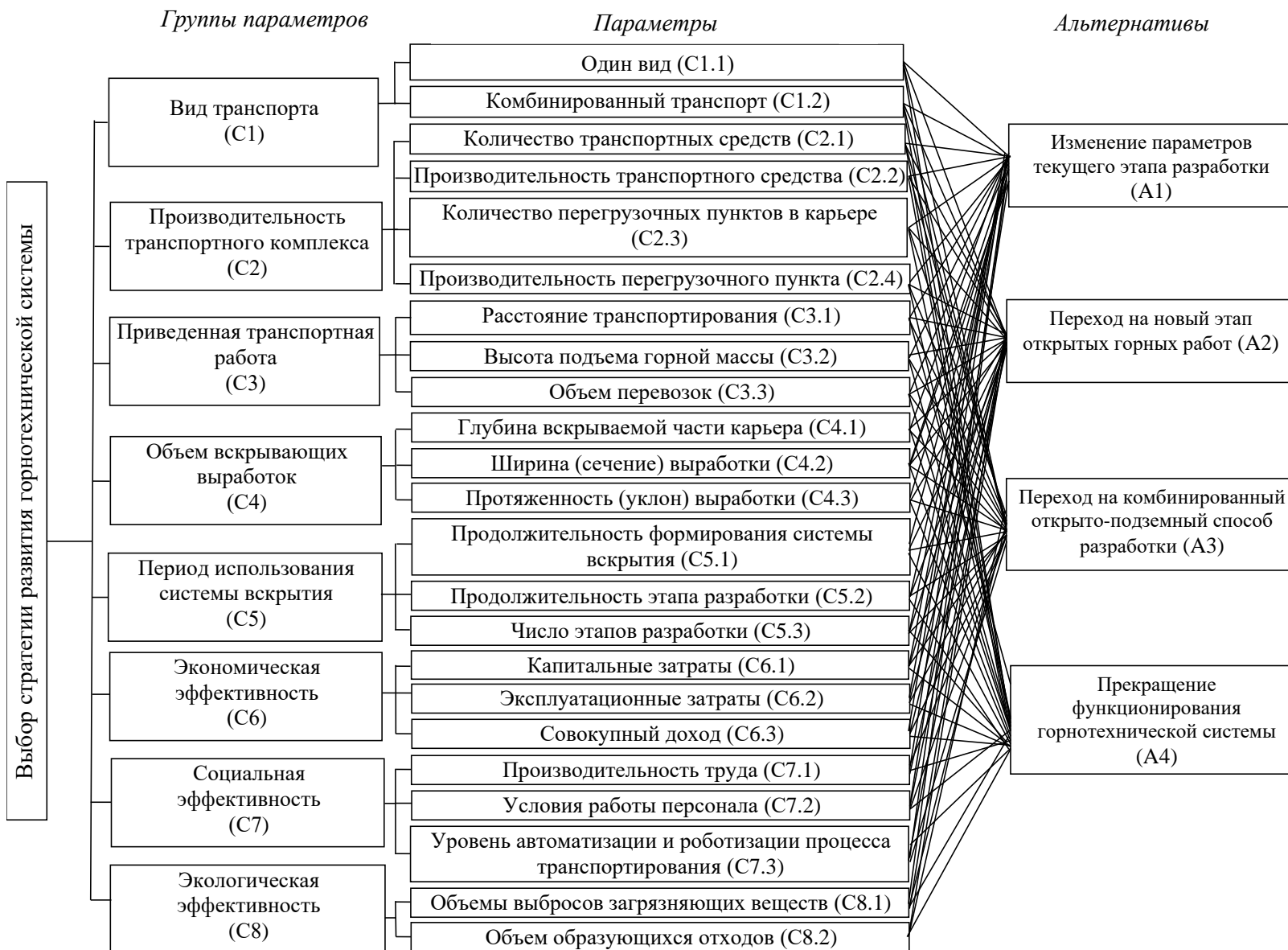


№	Наименование	Классификация
1	Вариант 1	Средний
2	Вариант 2	Средний
3	Вариант 3	Средний
4	Вариант 4	Средний
5	Вариант 5	Средний
6	Вариант 6	Средний

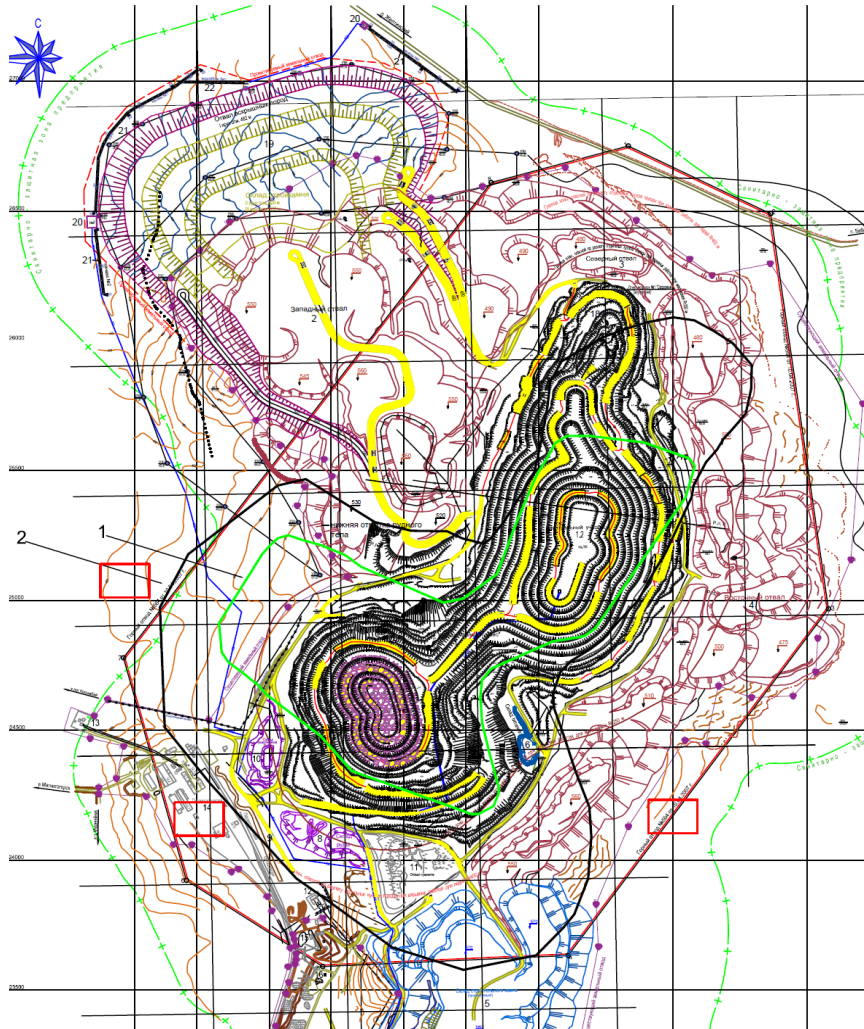
№	Наименование	Классификация
1	Вариант 1	Средний
2	Вариант 2	Средний
3	Вариант 3	Средний
4	Вариант 4	Средний
5	Вариант 5	Средний
6	Вариант 6	Средний



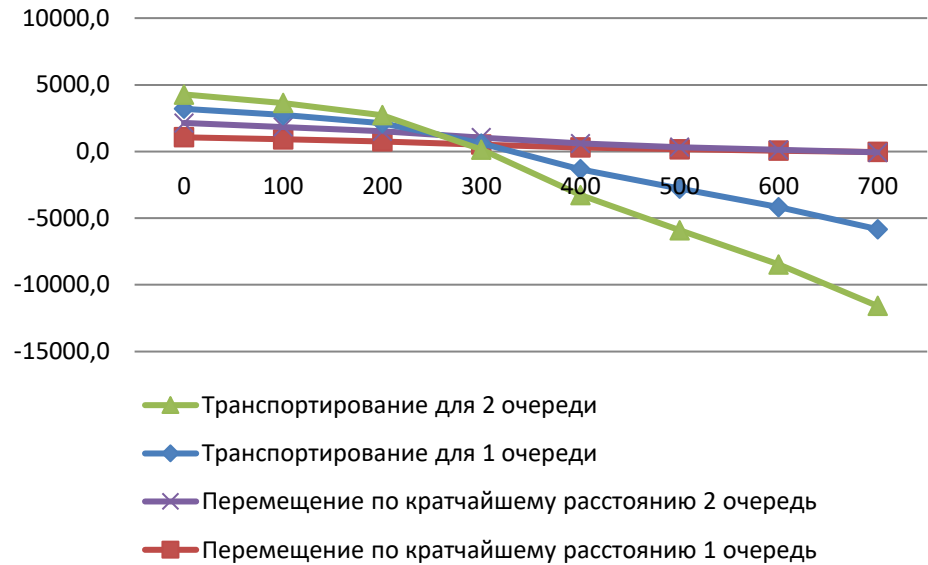
Иерархичная структура выбора стратегии развития ГТС



Параметры и показатели		Стратегии развития ГТС (альтернативы Ai)			
		Изменение параметров текущего этапа разработки (A1)	Переход на новый этап ОГР (A2)	Переход на комбинированный способ разработки (A3)	Прекращение функционирования ГДП (A4)
Один вид	C ₁₁	1	2	1	4
Комбинированный транспорт	C ₁₂	4	5	5	1
Количество транспортных средств	C ₂₁	47	55	5	2
Производительность транспортного средства, млн.т/год	C ₂₂	0,48	0,53	0,32	0,7
Количество перегрузочных пунктов в карьере	C ₂₃	2	3	4	1
Производительность перегрузочного пункта, млн.т/год	C ₂₄	3	4	5	1
Расстояние транспортирования	C ₃₁	4,1	7,3	1,5	2,0
Высота подъема горной массы, м	C ₃₂	470	550	290	470
Объем перевозок, млн.т/год	C ₃₃	22,0	24,0	2,7	0,5
Глубина вскрываемой части карьера	C ₄₁	210	180	100	0,1
Ширина (сечение) выработки,	C ₄₂	27	29	21	19
Протяженность (уклон) выработки, м	C ₄₃	3400	2925	1625	500
Продолжительность формирования системы вскрытия	C ₅₁	10	15	6	1
Продолжительность этапа разработки	C ₅₂	10	15	25	30
Число этапов разработки	C ₅₃	1	2	1	1
Капитальные затраты, млн. руб	C ₆₁	265,58	1623,9	10572	37
Эксплуатационные затраты, млн.р/год	C ₆₂	217,3	312,4	722,92	52
Совокупный доход, млн.руб	C ₆₃	103	918,69	1110,92	130,5
Производительность труда, тыс.т/чел год	C ₇₁	19,23	19,1	5,12	5,8
Условия работы персонала	C ₇₂	4.	3	2	5
Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования	C ₇₃	4	3	3	1
Объемы выбросов загрязняющих веществ	C ₈₁	3	4	2	1
Объем образующихся отходов	C ₈₂	3	4	2	1



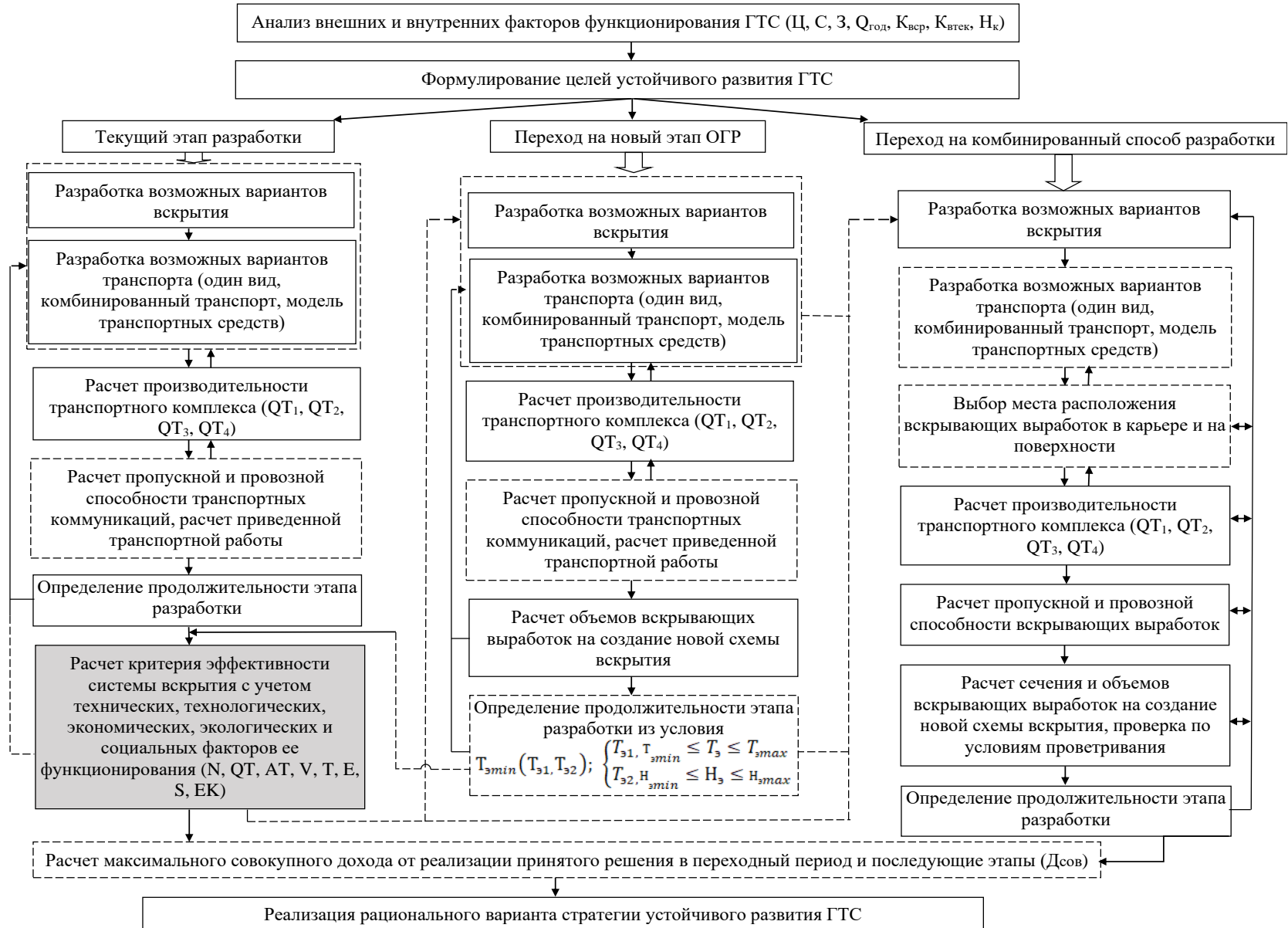
Зависимость экономической эффективности
способа вскрытия от шага переноса отвала



Расчет коэффициента ранговой
корреляции Спирмена (Spearman rank correlation
coefficient)

	SAW	TOPSIS	COPRAS	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	MARCOS	AV
SAW	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
TOPSIS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
COPRAS	0.98	0.98	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.983
MOORA	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.992
ARAS	0.97	0.97	0.99	0.98	1.00	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.977
WASPAS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MAIRCA	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
EDAS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MABAC	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MARCOS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
Total average											0.991

Развитие методологии формирования системы вскрытия по вариантам переходных периодов



- традиционная методология;
 - добавлено в традиционную методологию;
 - дополнено в традиционной методологии



Шестое защищаемое положение:

Развитие методологии формирования системы вскрытия включающей декомпозицию ГТС, обоснование параметров системы вскрытия, их ранжирование, использование комбинированных многокритериальных методов для принятия решения, расчет совокупного дисконтированного дохода от реализации принятых решений, обеспечивает выбор оптимального варианта стратегии устойчивого развития ГТС при освоении крутопадающих месторождений.



В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, решена актуальная научно-техническая проблема обеспечения устойчивости развития горнотехнической системы карьеров, отрабатывающих крутопадающие месторождения, при увеличении глубины ведения горных работ и изменении факторов внешней среды развитием методологии формирования системы вскрытия с выделением сроков и параметров этапов ее функционирования, имеющая важное народнохозяйственное значение для развития горнодобывающей промышленности России.

Научная новизна

1. Дополнена методология формирования системы вскрытия крутопадающих месторождений: уточненным понятием и структурой системы вскрытия, качественными и количественными параметрами, влияющими на выбор системы вскрытия; комплексным критерием оценки системы вскрытия; комбинированным многокритериальным подходом к выбору стратегии устойчивого развития ГТС на основе оценки системы вскрытия.
2. Обоснован комплексный критерий оценки эффективности системы вскрытия, расчет которого основан на применении нечеткого метода анализа иерархий, позволяющего учитывать не только количественные, но и качественные значения параметров, а также влияние весовых коэффициентов каждого параметра на достижение требуемого результата преобразований.
3. Разработана методика пошагового выбора рациональной стратегии устойчивого развития ГТС на основе оценки вариантов системы вскрытия, включающая: обоснование параметров системы вскрытия, их ранжирование, разработку стратегий развития ГТС, выбор соответствующей альтернативы, расчет совокупного дисконтированного дохода при реализации принятых решений.



Спасибо за внимание