

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ УСТУПОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСКАВАТОРНОЙ БАЗЫ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

И. В. Зырянов, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), зам. директора по научной работе, д-р техн. наук, Мирный, Россия, e-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru

А. Н. Акишев, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), нач. отдела, канд. техн. наук, Мирный, Россия, e-mail: AkishevAN@alrosa.ru

И. Б. Бокий, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), зав. лабораторией, канд. физ.-мат. наук, Мирный, Россия, e-mail: BokiyaIB@alrosa.ru

В.Г. Золотин, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), старший научный сотрудник, канд. техн. наук, Мирный, Россия, e-mail: ZolotinVG@alrosa.ru

И.С. Крицкий, ООО «Нефтегазкомплектмонтаж», производитель работ, Московская обл., г. Солнечногорск, Россия, e-mail: I.Kritskiy94@mail.ru.

Цель работы – повышение экономической эффективности разработки карьеров АК «АЛРОСА» (ПАО) за счет уменьшения объема вскрышных работ путем укрепления уступов в условиях криолитозоны.

Идеей работы является технология укрепления в условиях криолитозоны крупнообъемных участков с неустойчивым состоянием массива пород, потенциально склонного к возможности реализации масштабных плоскостных или комбинированных обрушений уступа, группы уступов или и участков бортов карьера в зонах геологических нарушений (даек). Глубина укрепления определяется предполагаемым положением поверхности скольжения и глубиной зоны оттайки массива.

Технология предусматривает повышение устойчивости уступа путем установки анкерно-тросово-сетчатой завесы и теплогидроизоляции поверхности. Для бурения и установки анкеров предлагается применение бурового оборудования в качестве навесного оборудования для существующей экскаваторной базы – дооснащение обычного экскаватора с ковшом навесным оборудованием специальной конструкции (буровым лафетом) для получения многофункциональной установки с возможностью выполнения работ как экскаваторным ковшом, так и навесным буровым оборудованием, с отличной проходимостью и с огромным радиусом действия для бурения во всех направлениях и под разными углами без перемещения экскаватора.

Ключевые научно-технические и технологические задачи:

1. Снижение ширины берм, укрепление уступов и транспортных съездов.
2. Снижение объемов вскрышных работ и себестоимости добычи полезного ископаемого.
3. Увеличение объемов добычи (без разноса бортов карьеров). Освободившееся в результате снижения объемов вскрышных работ добычное и транспортное оборудование направляется на ведение добычных работ, что обеспечивает прирост объемов добычи и рост дисконтированной прибыли. Вместе с этим происходит увеличение бюджетных поступлений за счет роста НДС и налога на прибыль предприятия.

4. Применение укрепления уступа и участков бортов карьера в зонах геологических нарушений позволяет горнодобывающему предприятию повысить эффективность и безопасность открытой разработки путём соблюдения проектных параметров бортов карьера, защиты карьерного оборудования и персонала от падения кусков породы с откосов уступов в рабочее пространство карьера, а также снизить или исключить затраты на ликвидацию последствий аварии от обрушения горных пород.

Ценность реализации работы в научном плане будет заключаться в:

- увеличении знаний о ранних этапах процессов образования участков деформаций в прибортовых массивах;
- увеличении знаний о деформировании массива под воздействием природных и техногенных нагрузок с учетом фактора времени;
- развитие способов защиты уступов бортов карьеров в условиях криолитозоны;
- развитие методов оценки устойчивости бортов карьеров и обоснованного выбора соответствующих коэффициентов запаса устойчивости уступов карьеров в перекрывающих

породах криолитозоны.

Ценность реализации работы в технологическом плане:

– разработка технологии обеспечения устойчивости откосов уступов с одновременным уменьшением ширины берм.

1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных факторов, определяющих экономическую эффективность открытой разработки месторождений, является результирующий угол наклона борта карьера в предельном положении, который определяется инженерно-геологическими и геокриологическими условиями месторождения, а также технологией их формирования.

Углубка карьеров ведется поуступно, при этом высота рабочих уступов обычно принимается равной 10 - 15 м, что соответствует оптимальной производительности бурового и погрузочного оборудования, используемого в России. При постановке на предельный контур карьера рабочие уступы обычно сдваиваются ($h = 30$ м) или страиваются ($h = 45$ м).

При принятии решений о предельной глубине карьера и соответствующего ей среднего коэффициента вскрыши следует иметь в виду, что независимо от величины предельного (по устойчивости) угла погашения борта, его реальное значение при принятых технологиях разработки и транспортной схеме не может превысить значения технологического угла α_6 :

$$\alpha_6 = \arctg \frac{H}{(n-1)h_y \operatorname{ctg} \alpha_y + (n_i - 1)b_6 + \Sigma b_T + \Sigma b_{oc}}, \quad (1.1)$$

где: H – проектная глубина карьера; h_y и α_y – соответственно принятые высота и угол погашения сдвоенного (строенного) уступа; n – общее число уступов в карьере; b_6 – ширина промежуточной бермы, между рабочими уступами при их сдваивании на предельном контуре; Σb_T – суммарная ширина транспортных берм (съездов), оставляемых по борту; Σb_{oc} – суммарная ширина берм очистки, оставляемых через 60 - 120 м по высоте борта для перехвата и удерживания отдельных камней и камнепадов, скатывающихся с верхних уступов.

Особенность геокриологических условий кимберлитовых месторождений Якутии является их расположение в зоне сплошного распространения мощных толщ мерзлых пород, что повышает устойчивость бортов карьеров и, менее выражено, устойчивость уступов. Поэтому достаточно часто возникает ситуация, когда технологически достижимый угол борта α_{6T} окажется существенно меньше геомеханически достижимого угла. В этом случае имеет смысл увеличить крутизну уступов ниже зоны выветривания, а также уменьшить ширину предохранительных берм путем проведения работ по укреплению уступов и борта анкерованием.

Скважины под анкера бурятся при постановке каждого слоя в конечное положение, горизонтальной строчкой с промежутком $m \approx 4$ м. Промежуток является функцией от блочности массива – $m = f(l_6)$. Забуриваются скважины в нижнюю бровку, угол наклона скважин – перпендикулярно плоскостям ослабления, поверхности скольжения.

Глубина скважин определяется предполагаемым положением поверхности скольжения, которую необходимо перебурить и прикрепить к ней определенный вес массива. Крепь устанавливается по мере выбуривания скважин. Между анкерами скважин натягивается трос. Верхняя часть уступа, во избежание осыпей, затягивается сеткой (рис.1).

Установленное крепление позволит получить устойчивый откос строенного уступа в конечном положении высотой 45 м с углом наклона до 80° .

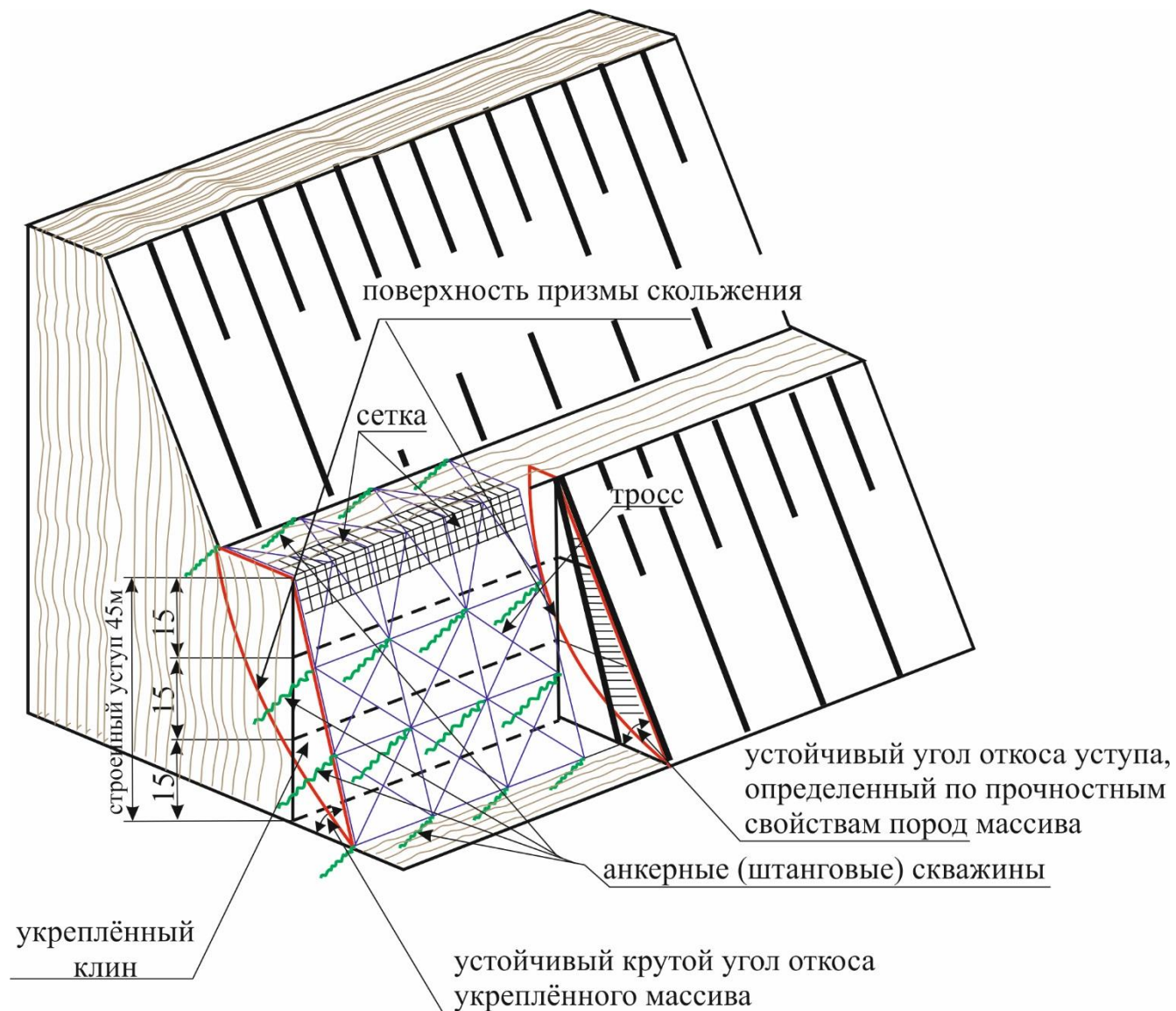


Рисунок 2. – Фрагмент закрепленной части борта карьера, поставленной в крутое конечное положение.

Однако основным недостатком данной системы является технология установки анкеров с применением ручного труда промышленных альпинистов, что приводит к увеличению трудозатрат. Для устранения указанного недостатка и повышения безопасности труда, целесообразно снижение доли ручного труда и соответственно количества задействованного персонала путем автоматизации процесса бурения и установки анкеров.

Для решения данной задачи необходимо применение буровых установок с возможностью бурения ниже уровня земли.

Так как приобретение нового бурового оборудования является весьма затратным мероприятием, необходимо рассматривать возможность модернизации существующего оборудования путем установки навесного бурового лафета.

2 ТЕХНОЛОГИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ УСТУПОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Применение бурового оборудования типа ExcaDrill (финской компании Junttan) в качестве навесного оборудования для экскаваторной базы позволяет использовать существующее оборудование (рис. 2). Требуется меньше пяти минут, чтобы сменить ковш экскаватора на навесное буровое оборудование. Один и тот же экскаватор может выполнять различные виды работ: бурение, раскопку, погрузку, работы по сносу и т.д. Это делает экскаватор универсальной машиной и значительно экономит ресурсы компании. Один оператор может выполнять все перечисленные операции.



Рисунок 2 – Бурение шпуров с помощью навесного лафета

Эффективное бурение навесными установками ExcaDrill достигается благодаря большой досягаемости стрелы и хорошей маневренности экскаватора. Благодаря такой гибкости и универсальности, оборудование ExcaDrill позволяет бурить десятки шпуров без перемещения экскаватора и под разными углами, даже вертикально кверху.

При бурении автоматическая система оборудования отслеживает сопротивление и плотность породы, а при необходимости сама регулирует настройки бурения, что позволяет делать шпуров прямее и значительно уменьшает износ бурового инструмента.

Линейка установок ExcaDrill включает шесть моделей, обеспечивающих диаметр бурения от 30 до 127 мм. Глубина при этом достигает 29 м. На практике комплекс ExcaDrill на экскаваторе – это полноценная буровая установка с кабиной. Установка ExcaDrill подходит для буровых работ как выше, так и ниже уровня земли. Удаление буровой мелочи из скважины происходит с помощью сжатого воздуха или воды.

Преимущества использования установки ExcaDrill

- Экскаватор превращается в многофункциональную установку с возможностью выполнения работ как экскаваторным ковшом, так и навесным буровым оборудованием
- Оператор экскаватора без специальной подготовки может выполнять работы по бурению, так как все модели оснащены автоматической системой бурения AutoDrill
- Простота и легкость установки ExcaDrill на нескольких экскаваторах позволяет быстро перемещать буровую установку на различные площадки
- С помощью установки ExcaDrill можно бурить более эффективно благодаря широкому радиусу действия и хорошей маневренности экскаватора
- Соотношение коэффициента готовности буровой установки ExcaDrill к моточасам экскаватора составляет более 60%, что существенно выше, чем может быть достигнуто любыми традиционными буровыми установками
- Благодаря специальной конструкции навесного оборудования ExcaDrill, экскаватор с навесным буровым оборудованием может работать на самых сложных рельефах местности.

Опции

- Установки ExcaDrill могут быть оснащены видеокамерами, установленными на

стреле экскаватора, что позволяет производить слежение за процессом бурения с близкого расстояния

- Все модели могут быть оснащены лазерным устройством, обеспечивающим высокую точность глубины бурения

- Установка может быть оснащена механизмом смены штанг карусельного типа.

Характеристики разных моделей ExcaDrill приведены в табл. 1.

Таблица 1. – Характеристики и стоимость разных моделей ExcaDrill

Модель Exca Drill	Диаметр бурения, мм	Компрессор, м ³ /мин	Гидроперфоратор «Doofor»	Масса экскаватора, т	Масса буровой установки, кг
22A	30-41	1,3	DF430X	9-21	950
25A	30-45	2,6	DF500X	13-21	950
28A	38-51	2,6	DF500S	13-21	1000
38A	45-76	5,0	DF550S	21-35	2500
45A	51-102	6,0	DF600S	23-40	2600
51A	76-127	6,0	DF700S	30-45	2850

3 ТЕХНОЛОГИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ УСТУПОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРОВ

Анкера подбираются в зависимости от типов грунтов, вида и величины нагрузок и глубины заделки.

Грунтовые буроинъекционные анкера работают на сжатие, растяжение и изгиб и имеют широкий спектр применения:

- укрепление откосов и горных массивов;
- реконструкция дорожной и железнодорожной транспортной инфраструктуры;
- реконструкция тоннелей, причальных сооружений;
- укрепление шпунтовых и бетонных стен котлованов, подземных гаражей;
- укрепление устьев рек;
- укрепление опор мачт линий электропередач и телефонных сетей, ветряных генераторов или горнолыжных подъемников;
- реконструкция и ремонт зданий и сооружений.

Технология инъектирования (рис. 3) заключается в бурении с промывкой и последовательном нагнетании густого цементного раствора.

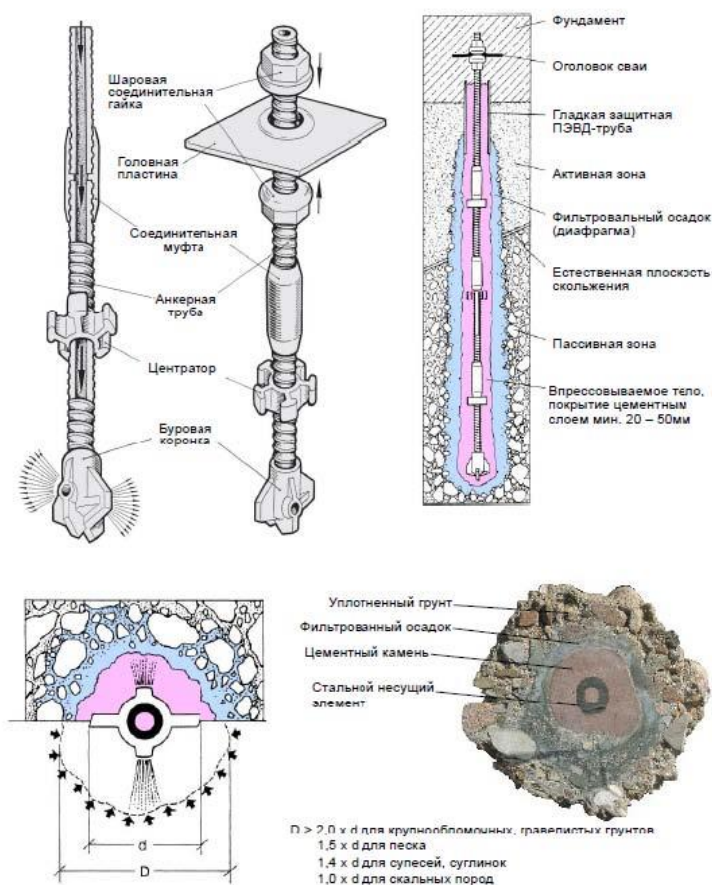


Рисунок 3. – Технология укрепления массива буроинъекционными анкерами

Цементный раствор просачивается в окружающий сваю грунт, укрепляет стенки буровой скважины и соединяет сваю и грунтом. Обычно, диаметр сваи получается в зависимости от грунта до двойного диаметра буровой коронки. За счет того, что поверхность стенок микросвай получается очень неровной, создается прочное сцепление с грунтом. Буровая штанга остается в скважине в качестве армирующего элемента, что позволяет данному виду свай воспринимать сжимающие и растягивающие нагрузки.

Центратор, кроме придания стабильности направления при бурении обеспечивает равномерное гарантированное покрытие слоем цементного раствора, что создает антикоррозийную защиту анкера.

4 ТЕХНОЛОГИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ УСТУПОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРОВ

Гидроизоляция поверхности уступа может осуществляться разными способами. Возможно применение защитных покрытий на основе одно- или поликомпонентных быстросохнущих битумно-латексных эмульсий (или резино-битумных мастик), нанесённых холодным распылением (рис.4), которые образуют на обрабатываемой поверхности водонепроницаемую эластичную полимерную мембрану. Такие покрытия обладают значительной адгезией, механической прочностью, эластичностью. Эти свойства сохраняются в широком диапазоне температур от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$



Рисунок 4. – Нанесение водонепроницаемой эластичной полимерной мембраны Rapidflex

Материал может наноситься на поверхность сложного рельефа, в т.ч. и вертикальные стены. Образование битумно-полимерной пленки происходит в момент распада эмульсии на изолируемой поверхности. После отделения технологической воды, материал обретает свойства и физико-механические показатели качественной бесшовной гидроизоляции.

Основные преимущества жидкой резины “Rapidflex”:

1. Стабильность. Равномерность нанесения мелкодисперсного материала в виде однородной мембраны.
2. Эластичность. Мембрана может удлиняться более, чем на 1000%;
3. Отличная адгезия. Покрытие "намертво цепляется" к основанию на каждом квадратном миллиметре. Снять с бетона, кроме, как отскоблить, невозможно.
4. Технологичность. Возможность нанесения на поверхность любой геометрической формы и конфигурации.
5. Скорость работ. 3-4 человека выполняют гидроизоляцию до 1000 м^2 , даже стен, за 8-12 часов.
6. Мобильность. Оборудование Технопрок Б-21 позволяет наносить Rapidflex на расстоянии до 80 м по горизонтали и до 40 м во вертикали, в т.ч. в труднодоступных местах.
6. Безопасность. Rapidflex нетоксичен, наносится без нагрева, экологически безвреден, взрыво- и пожаробезопасен.

Для снижения трудоемкости и повышения темпов гидроизоляции управление напылением можно осуществлять при помощи навесного бурового оборудования, контроль осуществлять с помощью видеокамеры для стрелы экскаватора.

Также для гидроизоляции и снижения растепления поверхности уступа возможно применение полимерных гидроизоляционных мембран, армированных синтетической сеткой. Благодаря армированию, такая мембрана отличается повышенной прочностью на разрыв, что является важным параметром для систем с механическим креплением.

ПВХ мембрана Пластфоил состоит из двух слоев поливинилхлорида, армированных полиэфирной тканью (рис. 5):

- верхний ПВХ слой имеет устойчивый к ультрафиолету состав, а также обладает повышенной механической прочностью и придает материалу хорошие противопожарные свойства. Именно этот верхний слой определяет долговечность и износостойкость ПВХ мембраны;

- нижний слой – ПВХ компонент темного цвета, имеет схожий с верхним химический состав, однако имеет меньшее количество химических добавок, так как в меньшей степени подвержен техногенному воздействию окружающей среды;

- армирующий слой мембраны Пластфоил – полиэфирная ткань имеющая отличные прочностные и эластичные характеристики, а также обладает отличной химической стойкостью.

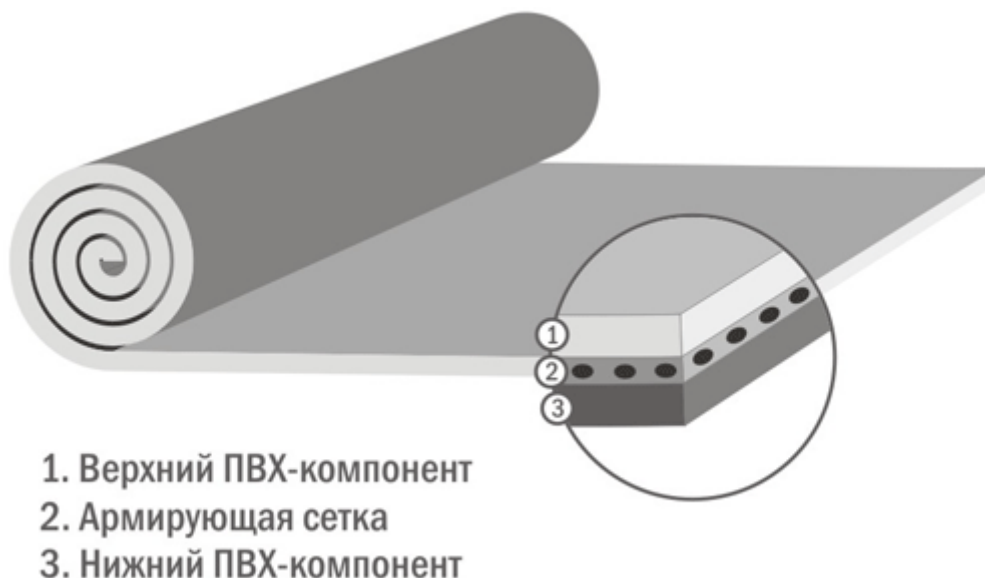


Рисунок 5 – Структура ПВХ мембраны PLASTFOIL (ПЛАСТФОИЛ) Polar

Формирование теплозащитного экрана можно осуществить путем нанесения полиуретановой пены (ППУ) или пеноизола на сетку, предназначенную для препятствования вывалам камней. В данном случае сетка выступит каркасом для теплозащитного экрана, а пена будет выполнять функцию теплоизолятора и одновременно защищать сетку и тросы от атмосферной коррозии, тем самым продлевая срок ее эксплуатации.

Пеноизол во многом схож с пенополиуретаном, но имеет принципиально отличный химический состав.

Экономическая целесообразность применения способов обеспечения устойчивости уступов и бортов карьера в основном достигается экономией затрат при реализации данных мероприятий по сравнению с затратами на ликвидацию последствий аварий в результате деформаций, а также сокращением объемов вскрыши:

$$C = [C_B \times (S_{BC} - S_{BP}) - C_V \times (L_1 + L_2)] \times L + C_L \quad (2)$$

где C_B — стоимость 1 м³ вскрыши, руб.; S_{BP} и S_{BC} — площади прирастаемой и сокращаемой вскрыши, соответственно, м²; C_V — стоимость стабилизации 1 м² площади откоса (с учетом тепло- и гидроизоляции), руб.; L_1 и L_2 — длина откоса борта и бермы, соответственно, подлежащих стабилизации, м; L — протяжённость участка, подлежащего стабилизации, м; C_L — затраты на ликвидацию последствий аварии в результате обрушения пород, руб.

5 ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕРАБОЧИХ УСТУПОВ С УЧЕТОМ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ПОДОТКОСНОГО МАССИВА.

При отработке месторождения возникло необходимость изменения параметров нерабочих уступов в связи с учетом разрывных нарушений подоткосного массива (табл. 2).

Применение предлагаемой технологии укрепления откосов уступов позволит выйти на проектные параметры отработки карьера.

Таблица 2.

Параметры НУ Абс. отм.	Северо-восточный участок борта		Восточный участок борта		Юго-западный участок борта	
	Проектные параметры	Рекомендуемые параметры	Проектные параметры	Рекомендуемы параметры	Проектные параметры	Рекомендуемы параметры
-170- -80 м	Ширина съезда	Ширина съезда				
+55м до -35м	Ширина съезда	Ширина съезда	Ширина съезда	Ширина съезда	Ширина съезда	Ширина съезда
-95-80м	Угол уступа	Угол уступа 65°			Угол уступа 80°	Угол уступа
-80 +130м	Угол уступа Ширина бермы-12 м	Угол уступа 70° Ширина бермы-	Угол уступа 80° Ширина бермы-	Угол уступа 75° Ширина бермы-17 м	Угол уступа 80° Ширина бермы-	Угол уступа 75° Ширина бермы-
-80м	Угол уступа 80°	Угол уступа 65°				
-80 - +160 м	Угол уступа 80° Ширина бермы-12 м	Угол уступа 75° Ширина берм -				

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

Одним из основных факторов, определяющих экономическую эффективность открытой разработки месторождений, является результирующий угол наклона борта карьера в предельном положении, который определяется инженерно-геологическими и геокриологическими условиями месторождения, а также технологией их формирования.

В соответствии с Правилами охраны труда, углы откоса уступов и бортов определяются проектом, то вполне возможно заложить углы наклона бортов круче расчетных, определенных в соответствии с естественными физико-механическими свойствами пород, при этом искусственно повысив прочностные свойства пород массива – коэффициент сцепления, путем проведения работ по упрочению массива пород методом анкерного крепления.

В этом случае будет достигнуто увеличение угла наклона уступов и уменьшение ширины предохранительных берм. Экономический эффект от предлагаемой технологии будет получен за счет уменьшения объема вскрышных работ и рассчитан по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) * (1 - k_6),$$

где Z_1, Z_2 – затраты по базовому варианту и варианту новой техники;
 $k_6 = 0,20$ – коэффициент, учитывающий отчисления в бюджет (налог на прибыль).

Результаты расчета по мероприятию сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения

№№ п/п	Наименование показателя	Ед.изм.	Базовый вариант	Вариант новой техники
Исходные данные				
1	Объем вскрыши	тыс.м ³	37 200	30 200
2	Сокращение объема вскрыши	тыс.м ³		7 000
3	Грузооборот	тыс.ткм	558 000	453 000
4	Снижение грузооборота	тыс.ткм		105 000
5	Площадь искусственного укрепления откосов уступов	тыс. п.м.		4,0
		тыс. м ²		60,0
6	Себестоимость 1м ³ вскрыши (условно-переменная часть)	руб/м ³	113,28	113,28
7	Себестоимость 1ткм (условно-переменная часть)	руб/ткм	8,56	8,56
8	Себестоимость 1м ² укрепления уступа	руб		8 000,0
Расчетные данные				
1	Затраты на вскрышные работы	тыс. руб.	4 214 016	3 421 056
2	Затраты на транспортировку вскрыши	тыс. руб.	4 776 480	3 877 680
3	Затраты на укрепление откосов	тыс. руб.	0	480 000
	Всего затраты	тыс. руб.	8 990 496	7 778 736
	Балансовая прибыль	тыс. руб.		1 211 760
	Отчисления в бюджет (налог на прибыль - 20%)	тыс. руб.		242 352
	Экономический эффект	тыс. руб.		969 408

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Галустьян Э.Л. Совершенствование конструкции нерабочих бортов карьеров // Горный журнал, № 1-2, 1996. – С. 93-95.

2. Галустьян Э.Л. Типизация бортов карьеров по критерию оптимальности углов их наклона // Горный журнал, № 2, 1999. – С. 29-33.

3. Еремин Г.М. Отстройка крутонаклонных и вертикальных откосов и способы их крепления в нарушенных зонах. ГИАБ №5, 2005. – С.320-325

<http://tokyoro.ru>

<https://www.junttan.com>

<http://avanta-yug.ru/kategorii/burovye-navesnye-ustanovki.html>

<https://www.ischebeck.ru/ru.home/ru.geotechnical-solutions/ru.the-vision.html>

<http://www.alcomp.ru/proectirovanie/ustrojstvo-gruntovykh-ankerov>

<http://www.technoproc.ru/produkcija/materialy/rapidfleks.html>

<http://koronacolor.ru/catalog>

http://plastfoil.ru/katalog_produkcii/plastfoil_polar

<http://uteplimvse.ru/vidy/zhidkij/polynor.html>

http://tehnoproc.pulscen.ru/goods/4926669-podzemnaya_gidroizolyatsiya_fundamenta