

УДК 622.646:004.94

**Глебов Игорь Андреевич**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

**Лель Юрий Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
Уральский государственный  
горный университет,  
620144 г. Екатеринбург,  
пер. Университетский, 9  
e-mail: [lcl49@mail.ru](mailto:lcl49@mail.ru)

**ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОЙ  
СКОРОСТИ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЯ ПРИ  
ВСКРЫТИИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ  
НЮРБИНСКОГО КАРЬЕРА АК «АЛРОСА»\****Аннотация:*

Предложена инновационная технология вскрытия и разработки Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» до глубины 750 м, соответствующей глубине разведанных запасов. Технология включает два этапа: переход на глубине 370 м с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами (21 – 25 %) при использовании полноприводных самосвалов CAT-745C грузоподъемностью 41 т и переход на глубине 530 м на вскрытие законтурным автомобильным тоннелем спиральной формы, проходимым за зоной сдвижения. Приведены основные параметры инновационной схемы вскрытия. Предлагаемая технология позволяет увеличить углы откосов нерабочих бортов карьера с 45 – 48 град до 57 – 75 град, уменьшить объемы вскрыши до 3 – 8 раз и эффективно доработать запасы полезного ископаемого. Особое внимание уделено обоснованию необходимой скорости проходки тоннеля, оказывающей определяющее влияние на эффективность предлагаемой схемы вскрытия. Разработана методика расчета необходимой скорости проходки, учитывающая скорость углубки карьера, уклон автодорог, вертикальное расстояние между порталами тоннеля, углы наклона рабочего и нерабочего бортов карьера и направления углубки. Установлено, что в условиях Нюрбинского карьера необходимая скорость проходки должна быть не менее 19,7 м/мес. Применение современного проходческого оборудования на базе комбайна избирательного действия AM-105 фирмы «Фест Альпине» обеспечивает максимальную скорость проходки до 60 – 70 м/мес. Установлено, что при уменьшении уклона тоннеля с 20 до 5 % необходимая скорость проходки возрастает в 2,4 – 3,0 раза и приближается к максимально возможной по техническим условиям. Это обуславливает необходимость и эффективность применения полноприводных автосамосвалов и повышенных уклонов при тоннельном вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров.

*Ключевые слова:* карьер, схема вскрытия, уклон автосъезда, полноприводные автосамосвалы, угол наклона борта карьера, тоннель, квершила, скорость проходки, проходческий комбайн

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.02.040

**Glebov Igor A.**

Junior Research Worker,  
Institute of Mining of UB RAS,  
620075, Ekaterinburg,  
Mamin-Sibiryak st., 58  
e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

**Lel Yuri I.**

Doctor of Engineering, Professor,  
Ural State Mining University,  
620144, Ekaterinburg,  
University lane, 7  
e-mail: [lcl49@mail.ru](mailto:lcl49@mail.ru)

**JUSTIFICATION FOR THE REQUIRED SPEED  
OF TUNNEL PENETRATION  
WHILE OPENING DEEP HORIZONS  
OF THE NYURBA QUARRY BY JC «ALROSA»***Abstract:*

An innovative opening and development technology for Nyurba quarry of JC «ALROSA» to a depth of 750 m, the depth of known reserves, has been offered. The technology includes two stages: modifying the traditional scheme of opening at the depth of 370 m to a circuit opening steeply inclined ramp (21-25%) while using all-wheel drive dump trucks CAT-745C with lifting capacity of 41 t and transition at the depth of 530 m to the opening by a spiral-shaped road tunnel, made outside of displacement area. The main parameters of the innovative opening scheme are given. The proposed technology allows to increase the angles of slopes of non-working sides of the quarry from 45-48 degrees to 57-75 degrees, to reduce the volume of overburden to 3-8 times and to refine effectively the mineral reserves. Particular attention has been paid to the justification of the required speed of tunnel penetration which has a decisive impact on the effectiveness of the proposed opening scheme. The method of calculation of the required speed of penetration, taking into account the speed of the pit recess, slope of roads, the vertical distance between the portals of the tunnel, the inclination angles of the working and non-working quarry sides and the direction of the recess. It has been defined that in the conditions of the Nyurba quarry the required speed of penetration should be not less than 19.7 m/month. The use of modern heading equipment on the basis of selective action heading machine AM-105 of the company «Fest Alpine» provides a maximum rate of penetration up to 60-70 m/month. It has been determined that by reduction of the tunnel incline from 20% to 5% the necessary speed of penetrating increases 2.4-3.0 times and approaches the maximum possible under specifications. This coases the need and efficiency of the use of all-wheel drive dump trucks and increased slope at the tunnel opening of deep horizons of kimberlite open pits.

*Keywords:* quarry, scheme of opening, slope of the road, all-wheel drive dump trucks, angle of inclination of the quarry side, tunnel, crosscut, speed of penetration, heading machine.

\* Исследование выполнено совместно с сотрудниками института «Якутнипроалмаз» (к.т.н. А.Н. Акишев, к.т.н. И.Б. Бокий, д.т.н. О.В. Зотеев, д.т.н. И.В.Зырянов, А.И.Агафонов, А.В.Решетов)

Эффективное освоение георесурсного потенциала месторождений алмазов связано с поисками нестандартных технических, организационных и управленческих решений, а также с разработкой новой методической и нормативной базы для проектирования сверхглубоких карьеров.

В последние годы прослеживается тенденция отхода от традиционного комбинированного открыто-подземного способа разработки коренных месторождений алмазов. Это связано с увеличением потенциала открытых горных работ за счет внедрения новых технологических решений по вскрытию месторождений и горнотранспортного оборудования с новыми техническими возможностями. Так, если раньше переход на подземную разработку планировался с глубины 500 – 600 м, то в настоящее время потенциал открытых горных работ позволяет эффективно осваивать карьеры до глубины 850 – 1000 м. Это обстоятельство позволяет пересмотреть концепцию отработки коренных месторождений алмазов и в ряде случаев отказаться от дорогостоящего и экономически неэффективного подземного способа отработки подкарьерных запасов [1 – 3].

Целью исследования является разработка экономически эффективной схемы вскрытия глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров, которая позволит сократить необходимый разнос бортов и отработать подкарьерные запасы без применения традиционного открыто-подземного способа отработки.

В качестве примера рассмотрим проектирование и разработку месторождения трубки «Нюрбинская». Открытые горные работы на месторождении трубки «Нюрбинская» были начаты в 2000 г. С 2002 г. работы велись по проекту, предусматривающему разработку карьера до глубины 305 м. В дальнейшем в связи с доразведкой месторождения проектная глубина карьера неоднократно пересматривалась. С 2008 г. работы велись по проекту, предусматривающему отработку карьера до глубины 450 м. В 2015 г. Институтом «Якутнипроалмаз» разработаны рекомендации по горнотехническим параметрам и порядку отработки карьера до глубины 570 м. Согласно разработанным рекомендациям, с глубины 370 м (гор. -120 м) предусматривается переход на вскрытие крутонаклонными автосъездами с соответствующим вводом в эксплуатацию полноприводных автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. До глубины 370 м горная масса вывозится на поверхность автосамосвалами САТ-777D, САТ-777F, TEREXTR-100 грузоподъемностью 91 т. С нижних горизонтов горная масса доставляется шарнирно-сочлененными самосвалами САТ-745С грузоподъемностью 41 т на перегрузочный пункт, расположенный на гор. -80 м.

Главные преимущества шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) в рассмотренном варианте заключаются в использовании крутонаклонных съездов ( $i = 21 - 25 \%$ ) и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4×2, что позволяет увеличить углы наклона нерабочих бортов карьера с 45 – 48 до 57 – 63 град, сократить дополнительный объем выемки вскрыши от размещения транспортных коммуникаций и отработать карьер до глубины 570 м [4]. При обосновании варианта вскрытия была проведена оценка устойчивости нерабочих уступов и бортов в целом. Установлено, что расчетные значения коэффициента запаса устойчивости бортов ( $K_p = 1,77 - 1,92$ ) больше минимально допустимых значений ( $K_d = 1,3$ ).

Предварительный расчет глубины перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами  $H_{п1}$ , м при известной конечной глубине карьера  $H_2$ , м рекомендуется проводить по формуле [5]:

$$H_{п1} = H_1 \frac{(H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin(\gamma_1 - \varphi)}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}, \quad (1)$$

где  $H_1$  – конечная глубина карьера при традиционной схеме вскрытия с использованием автосамосвалов с колесной формулой 4×2, м;

$\gamma_1$  – угол откоса нерабочего борта карьера при использовании автосамосвалов с колесной формулой 4x2, град;

$\gamma_2$  – угол откоса нерабочего борта карьера при использовании полноприводных автосамосвалов, град;

$\varphi$  – угол откоса рабочего борта, град.

Высота нерабочего борта карьера ( $H_{н.б.1}$ , м) при переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами:

$$H_{н.б.1} = H_1 - \frac{(H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1)}. \quad (2)$$

Окончательное решение по оптимальной глубине перехода принимается по экономическим критериям, учитывающим сокращение объема вскрышных работ, объемы перевозок разными моделями самосвалов, себестоимости вскрышных работ и автотранспорта, а также динамику этих показателей. Подробно методика, разработанная авторами, изложена в работе [6].

После отработки Нюрбинского карьера до глубины 570 м предполагался переход на традиционную схему комбинированного открыто-подземного способа разработки. В 2017 г. авторами совместно с сотрудниками Института «Якутнипроалмаз» предложена схема вскрытия глубоких горизонтов Нюрбинского карьера законтурным автомобильным тоннелем спиральной формы, позволяющая отработать месторождение до глубины 750 м, соответствующей глубине разведанных запасов, и отказаться от комбинированного способа разработки (рис. 1).

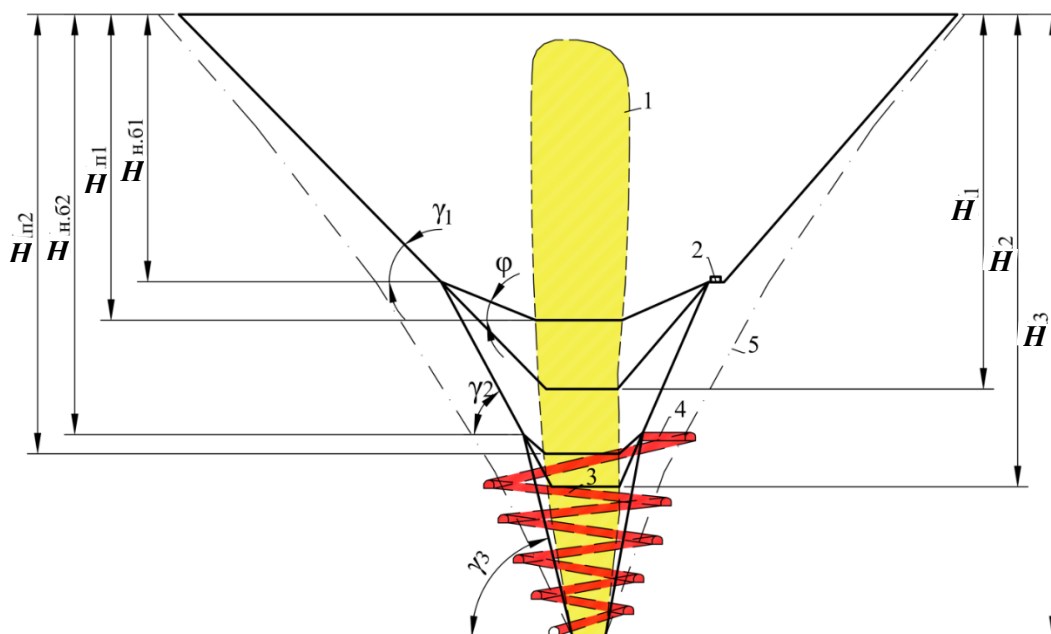


Рис. 1 – Инновационная схема вскрытия глубоких горизонтов карьера «Нюрбинский»:

1 – рудное тело; 2 – перегрузочный пункт; 3 – тоннельные автосъезды; 4 – квершлаг; 5 – граница зоны действия открытых горных работ (поверхность скольжения);  $H_1$  – конечная глубина карьера при традиционной схеме вскрытия с использованием автосамосвалов с колесной формулой 4x2, м;  $H_2$  – конечная глубина карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами и использовании полноприводных автосамосвалов, м;  $H_3$  – конечная глубина карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $H_{п1}$  – глубина перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами, м;  $H_{п2}$  – глубина перехода на тоннельное вскрытие, м;  $H_{н.б.1}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами, м;  $H_{н.б.2}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $\gamma_1$  – угол откоса нерабочего борта карьера при традиционной схеме вскрытия, град;  $\gamma_2$  – угол откоса нерабочего борта карьера при вскрытии крутонаклонными съездами, град;  $\gamma_3$  – угол откоса нерабочего борта карьера при тоннельном вскрытии, град;  $\varphi$  – угол откоса рабочего борта, град.

Таблица 1

**Основные параметры инновационной схемы вскрытия Ньюбинского карьера  
АК «АЛРОСА»**

Параметры	Значения
Конечная глубина карьера, м	750
Глубина и год перехода с традиционной на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами, м/год	370/2024
Глубина и год перехода с крутонаклонной на схему вскрытия законтурными тоннелями, м/год	530/2034
Высота нерабочего борта при переходе с традиционной на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами, м	330
Высота нерабочего борта при переходе с крутонаклонной на схему вскрытия законтурными тоннелями, м	510
Руководящий уклон автотранспортных коммуникаций, %: - в зоне традиционной схемы вскрытия - в зоне крутонаклонного вскрытия - в зоне тоннельного вскрытия	8 – 9 21 – 25 20
Коэффициент развития трассы, доли ед.	1,083
Угол откоса нерабочего борта во вмещающих породах, град в том числе: - в зоне традиционной схемы вскрытия - в зоне крутонаклонного вскрытия - в зоне тоннельного вскрытия	54 – 63 45 – 48 57 – 63 75
Объем в контуре карьера (по состоянию на 1.01.2017): - руда, млн. т - вскрыша, млн. м <sup>3</sup>	9,7 44,9
Средний эксплуатационный коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	4,7
Годовая производительность карьера по руде, млн. т/год: - 2018 – 2024 гг. - 2025 – 2033 гг. - 2034 – 2040 гг.	0,87 – 1,05 0,40 0,23
Модели и грузоподъемность автосамосвалов: - в зоне традиционной схемы вскрытия - в зонах крутонаклонного и тоннельного вскрытия	CAT – 777D (91т) CAT – 745C (41т)
Высота рабочего уступа, м	15
Высота нерабочего уступа, м	30 – 45
Средняя скорость углубки карьера, м/год Угол откоса рабочего борта, град Общая протяженность вскрываемых подземных выработок, м В том числе: - тоннель, м - горизонтальные квершлагги, м	25 16 – 18 2700 1300 1100
Необходимая скорость проходки тоннеля, м/мес	≥ 19,7

Переход на тоннельное вскрытие осуществляется с глубины 530 м (гор. -280 м). Соединение подземного автомобильного съезда, проходимого за зоной сдвижения, с рабочими горизонтами осуществляется квершлаггами, которые проходятся в нерабочих бортах и погашаются по мере понижения горных работ. При такой схеме вскрытия угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия не зависит от ширины и уклона транспортных коммуникаций, а определяется только условиями устойчивости. С учетом

разницы значений расчетного и допустимого коэффициентов запаса устойчивости бортов на Нюрбинском карьере угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия может быть увеличен до 75 град. Тоннельное вскрытие обеспечивает снижение гидродинамического давления грунтовых вод на борт карьера, что также будет способствовать увеличению угла откоса нерабочего борта карьера. Наличие тоннеля дает возможность размещать в пределах массива аппаратуру наблюдения за его состоянием. Кроме того, из тоннеля может быть установлено анкерное крепление, предотвращающее обрушение прибортового массива [7]. Применение ШСС и крутых уклонов автосъездов позволяет значительно сократить капитальные вложения на проходку подземных выработок, что является основным ограничением при практической реализации указанного способа вскрытия.

Исходя из производительности карьера по горной массе, грузооборота и интенсивности движения автотранспорта был рассмотрен однопутный тоннель с разминировкой автосамосвалов в нишах. Расстояние между разминировочными нишами 0,45 км.

Таким образом, предполагаемая инновационная схема вскрытия Нюрбинского карьера включает два этапа (табл. 1):

1. На первом этапе в 2024 г. осуществляется переход с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами при использовании полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов.

2. На втором этапе в 2034 г. осуществляется переход с крутонаклонной схемы вскрытия на схему вскрытия законтурным автомобильным тоннелем.

При рассмотрении инновационной схемы вскрытия большое значение имеет вопрос обоснования необходимой скорости проходки тоннеля. Для непрерывного функционирования схемы вскрытия время погашения соединительного квершлага на верхнем горизонте должно соответствовать времени ввода в эксплуатацию нового квершлага на нижнем горизонте карьера. Таким образом, скорость проходки тоннеля должна быть согласована с временем формирования борта карьера в конечное положение на отметке портала. Расстояние по вертикали между порталами тоннеля в верхней зоне тоннельного вскрытия принято 30 м, что соответствует высоте нерабочего уступа 15 м в нижней зоне [8].

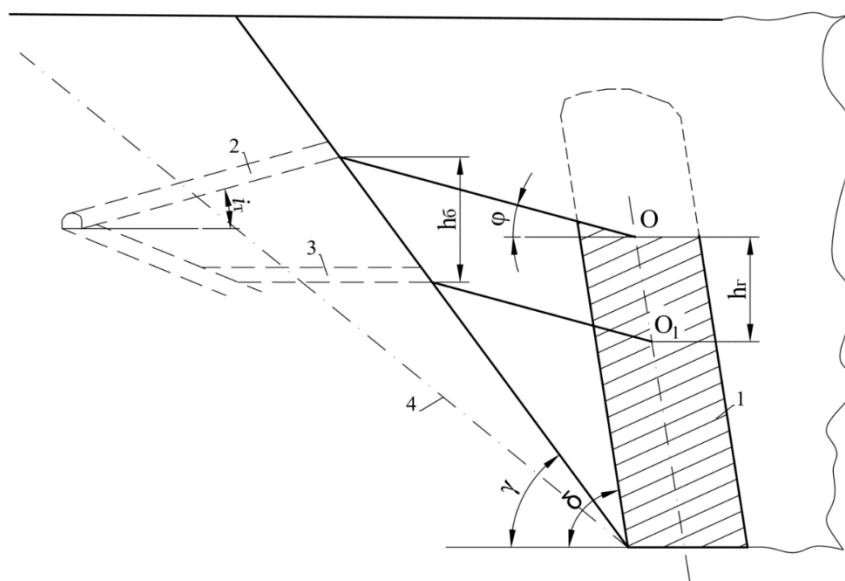


Рис. 2 – Схема к расчету необходимой скорости проходки тоннеля:

1 – рудное тело; 2 – тоннель; 3 – квершлаг; 4 – граница зоны действия открытых работ;  $h_r$  – вертикальная скорость углубки карьера, м/год;  $h_b$  – вертикальная скорость формирования нерабочего борта карьера, м/год;  $\sigma$  – угол направления углубки, град;  $\gamma$  – угол откоса нерабочего борта карьера, град;  $\phi$  – угол откоса рабочего борта карьера, град;  $i_r$  – уклон автодороги в тоннеле, доли ед.

Должно соблюдаться следующее условие (рис. 2)

$$(T_T + T_{KB}) \geq T_6, \quad (3)$$

где  $T_6$  – продолжительность формирования нерабочего борта карьера на высоту  $h_{\Pi}$ , лет;  
 $h_{\Pi}$  – расстояние по вертикали между порталами тоннеля, м;  
 $T_T$  – продолжительность строительства тоннеля на глубину  $h_{\Pi}$ , лет;  
 $T_{KB}$  – продолжительность строительства квершлага, обеспечивающего выход в рабочую зону карьера, лет.

$$T_6 = \frac{h_{\Pi}}{h_6}, \quad (4)$$

где  $h_6$  – вертикальная скорость формирования нерабочего борта карьера, м/год.

$$h_6 = h_T \frac{\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\sigma}{\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma}, \quad (5)$$

где  $h_T$  – вертикальная скорость углубки карьера, м/год;  
 $\varphi$  – угол откоса рабочего борта карьера, град;  
 $\sigma$  – угол направления углубки, град;  
 $\gamma$  – угол откоса нерабочего борта карьера, град.

$$T_T = \frac{l_T}{v_T}, \quad (6)$$

где  $l_T$  – длина тоннеля при вскрытии на глубину  $h_{\Pi}$ , м;  
 $v_T$  – скорость проходки тоннеля, м/год.

$$l_T = \frac{h_{\Pi} k_{p.T}}{i_T}, \quad (7)$$

где  $i_T$  – уклон автодороги в тоннеле, доли ед.;  
 $k_{p.T}$  – коэффициент развития трассы, доли ед.

$$T_{KB} = \frac{l_{KB}}{v_T}, \quad (8)$$

где  $l_{KB}$  – длина квершлага, м.

После подстановки соотношений (2 – 6) в неравенство (1) получается

$$v_T \geq \frac{h_T (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\sigma) (h_{\Pi} + i_T l_{KB})}{h_{\Pi} (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma) i_T}. \quad (9)$$

Выражение (9) определяет требования к скорости проходки законтурного тоннеля.

Рассчитаем  $v_T$  для условий Нюрбинского карьера. Исходные данные (см. табл. 1):  $h_T = 25$  м/год;  $\gamma = 75$  град;  $\varphi = 16$  град;  $\sigma = 85 - 90$  град;  $i_T = 0,20$ ;  $l_{KB} = 100$  м;  $k_{p.T} = 1,083$ ;  $h_{\Pi} = 30$  м. Получим  $v_T \geq 237$  м/год или  $v_T \geq 19,7$  м/мес.

При строительстве железнодорожных тоннелей на Сарбайском карьере ССГПО скорость строительства составляла 180 м/год (15 м/мес) на один забой. При проведении исследования были рассмотрены современные технологии проходки и крепления автодорожных тоннелей в горнотехнических условиях, аналогичных условиям кимберлитовых карьеров. Рассматривались две технологии проходки тоннеля и квершлагов – буровзрывная и с помощью проходческих комбайнов. Исходя из физико-механических свойств вмещающих горных пород Нюрбинского карьера предпочтительным является комбайновый способ, обеспечивающий лучшие технико-экономические показатели и большую скорость проходки. В качестве проходческого оборудования выбран комбайн избирательного действия АМ-105 фирмы «Фест Альпине», технические характеристики которого приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Технические характеристики комбайна АМ-105

Технические характеристики	Значение
Площадь сечения выработки в проходке, м <sup>2</sup>	10 – 36
Коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова	≤ 8
Угол наклона выработки, град	±18
Установленная мощность, кВт	487
Мощность привода исполнительного органа, кВт	300
Масса комбайна, т	90
Длина комбайна, м	11,2
Техническая производительность, м <sup>3</sup> /мин	0,5

Для установки анкерной крепи применяется машина для торкретирования Sprau-мес 7110. Вывозка породы при проходке тоннеля осуществляется технологическими автосамосвалами САТ-745С (41 т). Расчеты показывают, что использование принятой технологии при проходке однопутного тоннеля с площадью сечения 29,7 м<sup>2</sup> (рис. 3) обеспечивает максимальную скорость проходки 60 – 70 м/мес, что в 3 – 3,5 раза выше необходимой [9, 10].

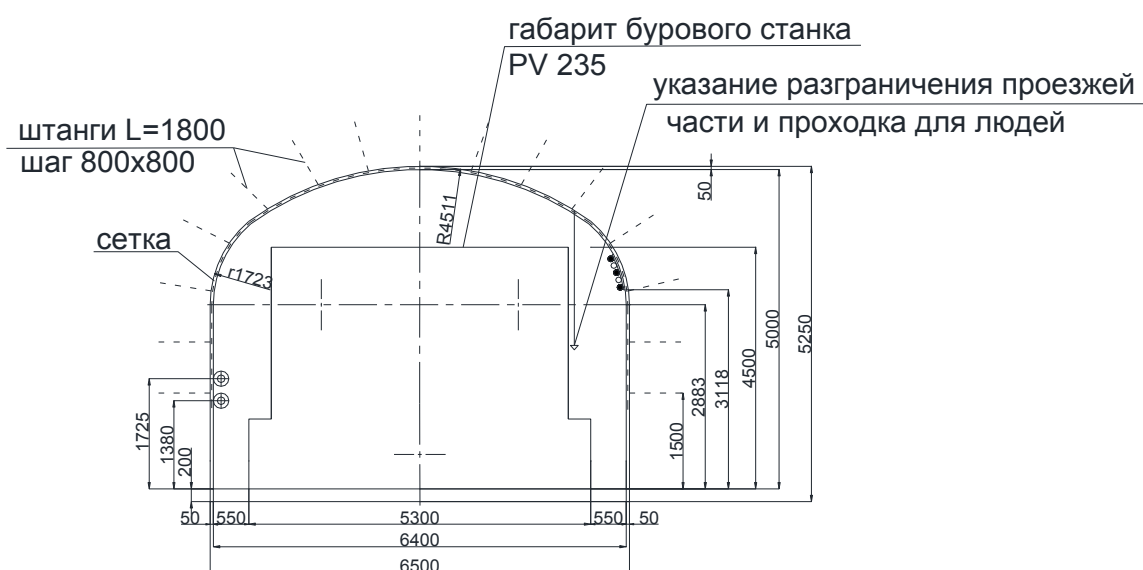


Рис. 3 – Поперечный разрез однопутного тоннеля

Таким образом, необходимая скорость проходки тоннеля определяется скоростью углубки карьера, уклоном автодорог и вертикальным расстоянием между порталами, зависит от углов наклона рабочего и нерабочего бортов карьера и направления углубки. Наибольшее влияние на значение необходимой скорости оказывают первые три фактора:  $h_r$ ,  $i_r$  и  $h_p$ .

При уменьшении уклона тоннеля с 20 до 5 % необходимая скорость проходки возрастает в 2,4 – 3,0 раза и приближается к максимально возможной по техническим

условиям (рис. 4). Это обуславливает необходимость и эффективность применения полноприводных автосамосвалов и повышенных уклонов при тоннельном вскрытии глубоких горизонтов карьеров.

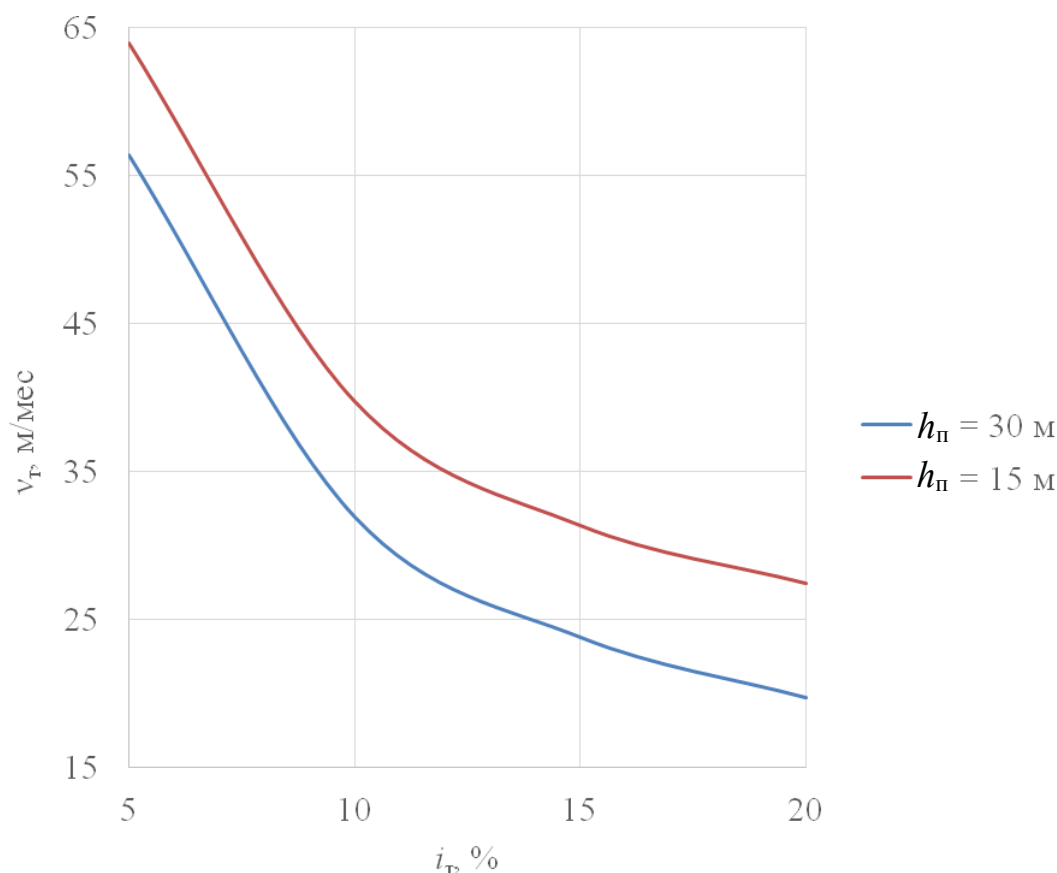


Рис. 4 – Зависимость необходимой скорости проходки тоннелей ( $v_T$ ) от уклона автодорог ( $i_T$ ):  $h_{\Pi}$  – вертикальное расстояние между порталами

#### Выводы

В результате проведенных исследований предложена инновационная технология вскрытия и разработки Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» до глубины 750 м, позволяющая отказаться от дорогостоящего комбинированного открыто-подземного способа разработки. Технология включает два этапа: переход с глубины 370 м с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами при использовании шарнирно-сочлененных самосвалов и переход с глубины 530 м на вскрытие законтурным тоннельным автосъездом спиральной формы. Технология позволяет увеличить углы откосов нерабочих бортов карьера с 45 – 48 до 57 – 75 град, уменьшить объемы вскрыши до 3 – 8 раз по сравнению с традиционными способами вскрытия и эффективно доработать запасы. Предложены аналитические выражения для расчета необходимой глубины перехода на новые схемы вскрытия. Установлено, что при тоннельном вскрытии большее значение имеет обоснование необходимой скорости проходки тоннеля. Разработана методика расчета необходимой скорости проходки, учитывающая скорость углубки карьера, уклон автодорог, вертикальное расстояние между порталами тоннеля, углы наклона рабочего и нерабочего бортов карьера и направления углубки. Установлено, что в условиях Нюрбинского карьера необходимая скорость проходки должна быть не менее 19,7 м/мес. Такая скорость обеспечивается применением современного проходческого оборудования на базе комбайна избирательного типа АМ-105 фирмы «Фест Альпине».



Основные результаты исследования, проведенного в соавторстве с сотрудниками Института «Якутнипроалмаз», удостоены диплома II степени в номинации «Инновационный проект» открытого конкурса инновационных проектов АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2017 г.

### Литература

1. Мельников Н.Н. Новая концепция разработки месторождения глубокими карьерами / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.В. Лукичев // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 7 - 11.
2. Комплексные исследования и внедрение инновационных геотехнологий добычи и глубокой переработки кимберлитов / В.А. Чантурия, К.Н. Трубецкой, Д.Р. Капунов и др. // Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 10 - 13.
3. Еремин Г.М. О концепции разработки рудного тела на всю его мощность сверхглубоким карьером при крутых бортах с применением подземных выработок / Г.М. Еремин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 11. – С. 192 - 197.
4. Зырянов И.В. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» / И.В. Зырянов, А.И. Цымбалова // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 22 - 25.
5. Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» / А.Н. Акишев, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин, О.В. Мусихина, И.А. Глебов // Известия вузов. – 2017. – № 7. – С. 4 - 12.
6. Технологические схемы перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров / Ю.И. Лель, А.В. Глебов, Д.Х. Ильбульдин, О.В. Мусихина, С.А. Дунаев // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 4 - 12.
7. In-the-wall haulage for open-pit mining / Hustrulid W.A., Seegmiller B., Stephanson O. // Mining Engineering. – 1987. – V. 39. – № 2. – P. 119 - 123.
8. Акишев А.Н. Формирование рабочей зоны глубоких кимберлитовых карьеров / А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Б.Н. Заровняев, Г.В. Шубин и др. - Новосибирск: Наука, 2015. – 204 с.
9. Носенко А.С. Строительство транспортных тоннелей с применением комбайновой технологии / А.С. Носенко, А.А. Домницкий, Е.А. Шемшура // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 63 - 70.
10. Макаров В.В. Эффективность и комплексная оценка строительства тоннельных автодорожных систем / В.В. Макаров, Е.А. Хрулев, А.А. Миробян // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2016. – №1 (26). – С. 134 - 142.