



УДК 622.271.3

ВЛИЯНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БЕСПИЛОТНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Дубинкин Д.М.¹, Аксенов В.В.^{1,2}, Тюленев М.А.¹, Марков С.О.¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

² Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН

Аннотация.

При транспортировании вскрышных пород и угля на открытых горных работах наибольшее значение имеет автомобильный транспорт. За последние десятилетия доля его использования, особенно в Кузбассе, приближается к 90%. Тому есть объективные причины, в частности, углубление горных работ на разрезах, снижение объемов участковых грузооборотов и связанная с этим нецелесообразность применения железнодорожного транспорта. Комбинированные и специальные способы транспортирования не получили широкого применения на разрезах, бестранспортная вскрыша также имеет достаточно ограниченную область применения. В связи с этим одной из первоочередных научно-производственных задач является оптимизация работы парка автомобильного транспорта и его глубокая модернизация на основе принципиально нового оборудования – беспилотных карьерных автосамосвалов. На зарубежных карьерах такой вид оборудования пока имеет единичные случаи применения и по этим эпизодам пока невозможно сделать глобальные выводы о рациональности применения беспилотников и о рекомендациях по их использованию в конкретных условиях.

В настоящей статье предпринята попытка на основе имеющегося анализа применения классических автосамосвалов установить зависимости изменения их производительности от некоторых влияющих факторов: вида погрузки горной массы и вместимости ковша применяемого экскаватора. Принято во внимание, что при погрузке беспилотного автосамосвала отпадает необходимость маневрирования транспортным средством, что увеличивает производительность, особенно при небольшом плече откатки. Приведены некоторые результаты расчета производительности, определены направления дальнейших исследований.

Информация о статье

Принята 21 ноября 2020 г.

Ключевые слова:

открытые горные работы,
автосамосвалы, беспилотные
карьерные автосамосвалы,
погрузка горной массы,
производительность
автосамосвала

THE INFLUENCE OF GEOTECHNICAL FACTORS ON THE OUTPUT OF QUARRY AUTONOMOUS HAUL TRUCKS

Dmitry Dubinkin¹, Vladimir Aksenov^{1,2}, Maxim Tyulenev¹, Sergey Markov¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Federal State Budget Scientific Centre «The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Institute of Coal

Abstract.

When transporting overburden and coal at open-pit mining operations, road transport has the greatest importance. In recent decades, the share of its use, especially in Kuzbass, is approaching 90%. There are objective reasons for this, in particular, the deepening of mining operations at open-pit mines,



the reduction of the volume of quarries cargo flow and the associated inexpediency of using rail transport. Combined and special methods of transportation are not widely used at open-pit mines, and transportless technology has a rather limited area of application. In this regard, one of the priorities is to optimize the fleet of road transport and its deep modernization on the basis of fundamentally new equipment – unmanned mine dump trucks. At the foreign quarries, this type of equipment still has single cases of application and according to these episodes it is still impossible to make global conclusions about the rationality of application of unmanned dump trucks and about recommendations on their use in specific conditions.

On the basis of the available analysis of classic dump trucks application, the present article attempts to establish the dependence of their productivity change on some influencing factors: the type of rock mass loading and bucket capacity of the excavator used. It is taken into account that when loading an autonomous dump truck, there is no need to maneuver the vehicle, which increases productivity, especially with a small transport distance. Some results of productivity calculation are given, and directions for further research are defined.

Article info

Received November 21, 2020

Keywords: open pit mining, quarry haul trucks, autonomous quarry haul trucks, loading of rock mass, dump trucks output

Введение

Основываясь на результатах, опубликованных нами ранее, предлагается более детально разобрать составляющие экскаваторного цикла и их влияние на время рейса автосамосвала как важнейшую составляющую его производительности.

Для этого необходимо выделить составляющие рейса автосамосвала и выделить постоянные по времени (или сравнительно постоянные) и переменные элементы.

На наш взгляд, относительно постоянными величинами могут быть приняты время маневрирования и разгрузки автосамосвала на отвале; время маневрирования при установке под погрузку; время ожидания погрузки. Также при установленной средней скорости движения самосвала и известном плече откатки (табл. 1; рис. 1) можно примерно определить время движения транспортного средства. Переменной же величиной будет являться время погрузки автосамосвала.

Таблица 1. Средние скорости движения автосамосвалов

| Расстояние транспортирования, км | Средняя скорость движения, км/ч | Время движения на рейс, мин | Расстояние транспортирования, км | Средняя скорость движения, км/ч | Время движения на рейс, мин |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 0,1-0,2 | 8,2 | 2,2 | 1,61-1,8 | 19,5 | 10,5 |
| 0,21-0,3 | 9,9 | 3,03 | 1,81-2,0 | 20,3 | 11,2 |
| 0,31-0,4 | 11,1 | 3,78 | 2,01-2,3 | 21,2 | 12,2 |
| 0,41-0,5 | 12,2 | 4,43 | 2,31-2,6 | 22,2 | 13,2 |
| 0,51-0,6 | 13,1 | 5,04 | 2,61-2,9 | 23,2 | 14,2 |
| 0,61-0,7 | 13,9 | 5,61 | 2,91-3,2 | 24,0 | 15,2 |
| 0,71-0,8 | 14,6 | 6,16 | 3,21-3,5 | 24,8 | 16,2 |
| 0,81-0,9 | 15,3 | 6,67 | 3,51-3,8 | 25,6 | 17,1 |
| 0,91-1,0 | 15,9 | 7,17 | 3,81-4,2 | 26,4 | 18,2 |
| 1,01-1,2 | 16,7 | 7,80 | 4,21-4,6 | 26,4 | 20,0 |
| 1,21-1,4 | 17,7 | 8,81 | 4,61-5,0 | 26,4 | 21,8 |
| 1,41-1,6 | 18,7 | 9,63 | | | |

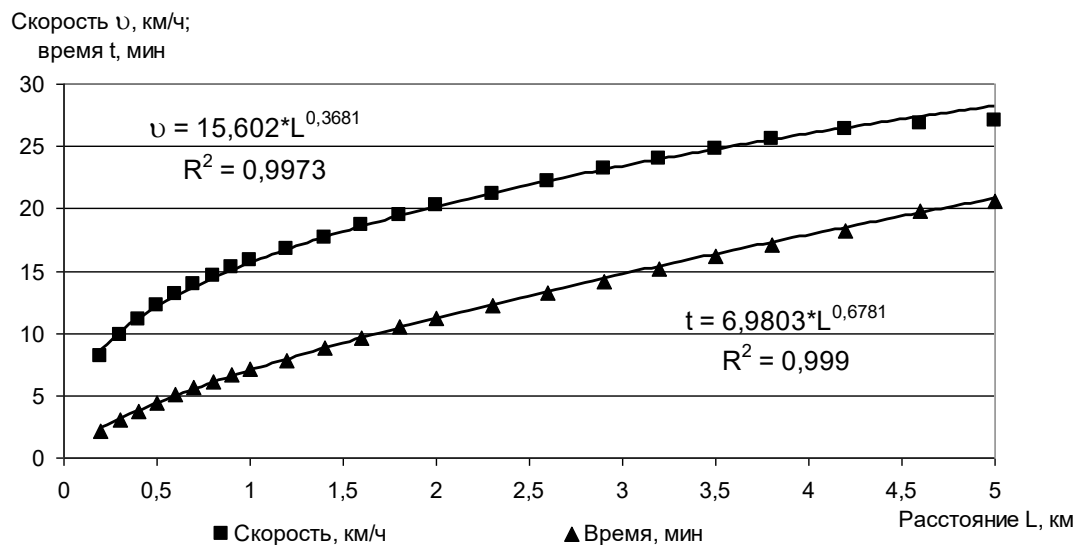


Рис. 1. Зависимости средней скорости движения автосамосвала и времени его рейса от расстояния транспортирования

Разберем известную зависимость времени рейса автосамосвала при перевозке породы:

$$T_{p.n} = t_{п.п} + t_{гр.п} + t_p + t_{пор.п} + t_m + t_{ож}, \text{ мин}, \quad (1)$$

где $t_{п.п}$ – время погрузки автосамосвала породой, мин; $t_{гр.п}$, $t_{пор.п}$ – соответственно время движения автосамосвала в грузовом и порожнем направлениях, мин; t_p – время разгрузки автосамосвала на отвале, мин; t_m – время маневров при погрузке и разгрузке автосамосвала, мин; $t_{ож}$ – время ожидания погрузки автосамосвала в забое, мин.

Время маневров при погрузке и разгрузке в нашем случае целесообразно разделить на составляющие $t_{м.п}$ и $t_{м.р}$, то есть время на маневры при погрузке и разгрузке соответственно. Считая $t_{м.р}$ неизменным (хотя данный постулат требует дальнейшей проверки), выделим составляющую $t_{м.п}$ и проанализируем ее влияние на общее время рейса.

Из классических источников [1-5] известно, что время на маневрирование в забое зависит от, во-первых, схемы проезда самосвалов (сквозная, кольцевая, тупиковая), а во-вторых, от грузоподъемности транспортного средства. При сквозной схеме проезда время для подъезда и установки составляет 0-0,17 минуты, при тупиковой 0,83-1,0. Средние значения, соответственно, 0,08 и 0,91 минуты, разница составляет 0,83 минуты. При времени движения 21,8 минут (плечо откатки 4,61-5 км) изменение схемы подъезда дает 3,8% экономии к общему времени рейса, а, следовательно, увеличивает производительность приблизительно на эту же величину.

При меньшем же расстоянии транспортирования эта величина становится еще больше, например, при расстоянии 0,5 км она составит более 18%.

Для уточнения этой величины выполним проверочный расчет по известной методике, приняв плечо откатки равным 2,5 км и обозначив время рейса обычного и автономного автосамосвалов $T_{p.n}$ и $T'_{p.n}$ соответственно.

Число рейсов автосамосвала в час N_p :

$$N_p = \frac{60}{T_{p.n}} = \frac{60}{13,2} = 4,545. \quad (2)$$

$$N'_p = \frac{60}{T'_{p.n}} = \frac{60}{13,2 - 0,83} = 4,85. \quad (3)$$

Производительность автосамосвала:

– техническая, $\text{м}^3/\text{ч}$:



$$Q_{a.ч} = \frac{q_a \cdot N_p \cdot K_z \cdot K_{pa}}{\rho_n} = \frac{90 \cdot 4,545 \cdot 0,9 \cdot 1,1}{2,5} = 162 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4)$$

$$Q'_{a.ч} = \frac{q_a \cdot N'_p \cdot K'_z \cdot K_{pa}}{\rho_n} = \frac{90 \cdot 4,85 \cdot 0,9 \cdot 1,1}{2,5} = 173 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (5)$$

– эксплуатационная:
сменная, м³/смену:

$$Q_{a.см} = Q_{a.ч} \cdot T_{см} \cdot K_{u.a} = 162 \cdot 8 \cdot 0,8 = 1036,8 \quad (6)$$

$$Q'_{a.см} = Q'_{a.ч} \cdot T_{см} \cdot K_{u.a} = 173 \cdot 8 \cdot 0,8 = 1107,2 \quad (7)$$

годовая, м³/год,

$$Q'_{a.год} = Q'_{a.см} \cdot N_{см} = 1036,8 \cdot 756 = 783820,8 \quad (8)$$

$$Q'_{a.год} = Q'_{a.см} \cdot N_{см} = 1107,2 \cdot 756 = 837043,2 \quad (9)$$

Разница в производительности составила 6,8%.

При расчете использовались следующие значения: K_z – коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала ($K_z = 0,9$); K_{pa} – коэффициент разрыхления породы в кузове автосамосвала ($K_{pa} = 1,1$); ρ_n – плотность перевозимой породы в целике, т/м³ ($\rho_n = 2,5$ т/м³); $T_{см}$ – продолжительность смены ($T_{см} = 8$), ч; $N_{см}$ – число рабочих смен в году ($N_{см} = 756$); $K_{u.a}$ – коэффициент использования автосамосвала в течение смены ($K_{u.a} = 0,7-0,8$).

Следовательно, применение беспилотного самосвала, работающего по сквозной схеме, а точнее, аналогу сквозной схемы, позволит существенно повысить производительность транспорта.

Однако, в отношении коэффициента использования автосамосвала в течение смены нам представляется весьма перспективным его более детальное изучение по следующей причине.

При работе классического автосамосвала мелкие поломки, возникающие на линии, зачастую исправляются непосредственно водителем автосамосвала и отнимают небольшое время. При аналогичной поломке беспилотника (например, выход из строя фары) время на устранение неисправности будет несоизмеримо большим. Также при внезапном изменении условий эксплуатации (попадание крупных камней на проезжую часть и др.) существует вероятность того, что беспилотник прекратит движение до устранения преграды, в то время как классический автосамосвал сможет объехать препятствие. Следовательно, коэффициент использования а/с в течение смены – это отдельный вопрос, требующий, по возможности, полномасштабного натурного эксперимента.

Также необходимо отметить следующее. При использовании сквозной схемы подачи обычных («небеспилотных») автосамосвалов на погрузку требуется значительное расширение рабочей площадки, а именно на величину, равную ширине карьерной автодороги для двухполосного движения транспорта. Эта величина для различных категорий дорог составляет 25-30 метров. Такое расширение весьма негативно скажется на росте текущего коэффициента вскрыши и, соответственно, на росте стоимостных показателей добычи угля. Это происходит из-за снижения угла откоса рабочего борта, уменьшение которого, например, с 20° до 18° при глубине разреза 150 м и длине фронта работ 500 м потребует отработки дополнительных объемов вскрыши в размере около 1,9 млн м³.

Следующим этапом анализа будет определение степени влияния времени погрузки на общее время рейса.

Для этого необходимо изучить условия ведения погрузки горной породы в кузов автосамосвала. Влияющими факторами предлагается выделить угол поворота экскаватора на разгрузку и место установки автосамосвала.

Данные факторы приняты к рассмотрению по причине того, что все остальные составляющие расчетной формулы времени рейса автосамосвала могут быть приняты более или менее постоянными величинами.

Время погрузки автосамосвала породой ($t_{п.п}$), ч,

$$t_{н.п} = t_{н.п} \frac{V_{а.п}}{60 \cdot E \cdot K_{э.п}}, \quad (10)$$

где $V_{а.п}$ – объем породы, перевозимый автосамосвалом за рейс, принимаемый равным вместимости кузова «с шапкой», m^3 ; E – вместимость ковша экскаватора, m^3 ; коэффициент экскавации $K_{э.п}$ зависит от коэффициента наполнения ковша и коэффициента разрыхления породы в ковше экскаватора, то есть от физико-механических свойств разрабатываемой горной породы, и обычно принимается постоянной величиной.

Воспользуемся известной матрицей взаимного расположения экскаватора и автосамосвала, предложенной Литвиным О.И. (рис. 2) [6, 7].

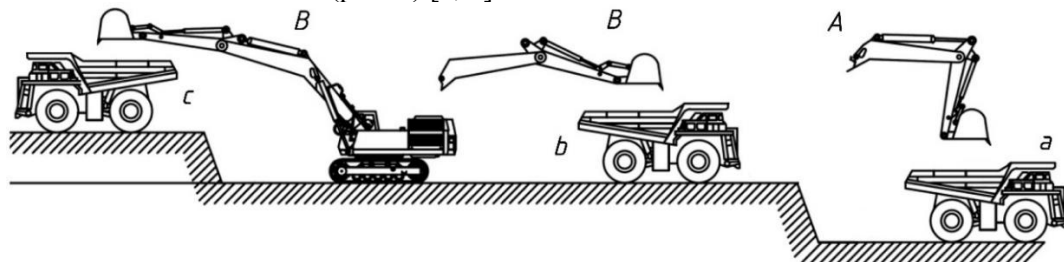


Рис. 2. Варианты взаимного расположения экскаватора и автосамосвала: а – погрузка ниже уровня установки экскаватора; б – погрузка на уровне установки экскаватора; с – погрузка выше уровня установки экскаватора; А – нижнее черпание; В – черпание на уровне установки экскаватора.

Для установления адекватности модели необходимо выполнить расчет времени погрузки автосамосвала экскаватором для «идеальных» условий (вариант Аа) и затем определить величину его снижения для прочих вариантов. Для этой цели изучались технологические схемы выемочно-погрузочных работ с использованием гидравлических и механических экскаваторов, применяемые в реальных условиях. Данные схемы представлены ниже; схемы приведены при работе экскаваторов как нижним, так и верхним черпанием.

На участке «Новобачатский» используются гидравлические экскаваторы обратного действия Hitachi ZX850LSH, Hitachi ZX800H с вместимостью ковшей $4,3 m^3$ и Hitachi ZX350LSH с вместимостью ковша $1,4 m^3$ (табл. 2).

Таблица 2. Технические характеристики экскаваторов

| Показатели | Hitachi ZX850LSH | Hitachi ZX350LSH | Hitachi ZX800H |
|--|------------------|------------------|----------------|
| Вместимость ковша, m^3 | 4,3 | 1,4 | 4,3 |
| Максимальная высота черпания, м | 11,7 | 10,2 | 11,7 |
| Наибольшая глубина копания, м | 7,8 | 7,4 | 7,2 |
| Наибольший радиус копания, м | 12,8 | 11,1 | 12,4 |
| Наибольший радиус копания на уровне стояния, м | 12,3 | 10,7 | 11,9 |
| Наибольший радиус выгрузки, м | 10,0 | 9,1 | 9,8 |

Транспортирование угля осуществляется автосамосвалами КамАЗ-65115, грузоподъемностью 15 т. Технические характеристики автосамосвалов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики углевоза

| | |
|--|-------------------|
| Наименование показателей | КамАЗ-65115 |
| Грузоподъемность, т | 15 |
| Допустимая полная масса, т | 24 |
| Мощность двигателя, кВт (л.с.) | 191 (260) |
| Геометрическая вместимость платформы, m^3 | 10,5 |
| Максимальная скорость, км/час | 80,0 |
| Радиус поворота, м | 9,0 |
| Габаритные размеры, м: длина × ширина × высота | 6,71 × 2,5 × 2,98 |



Схема отработки угольных пластов представлена на рис. 3.

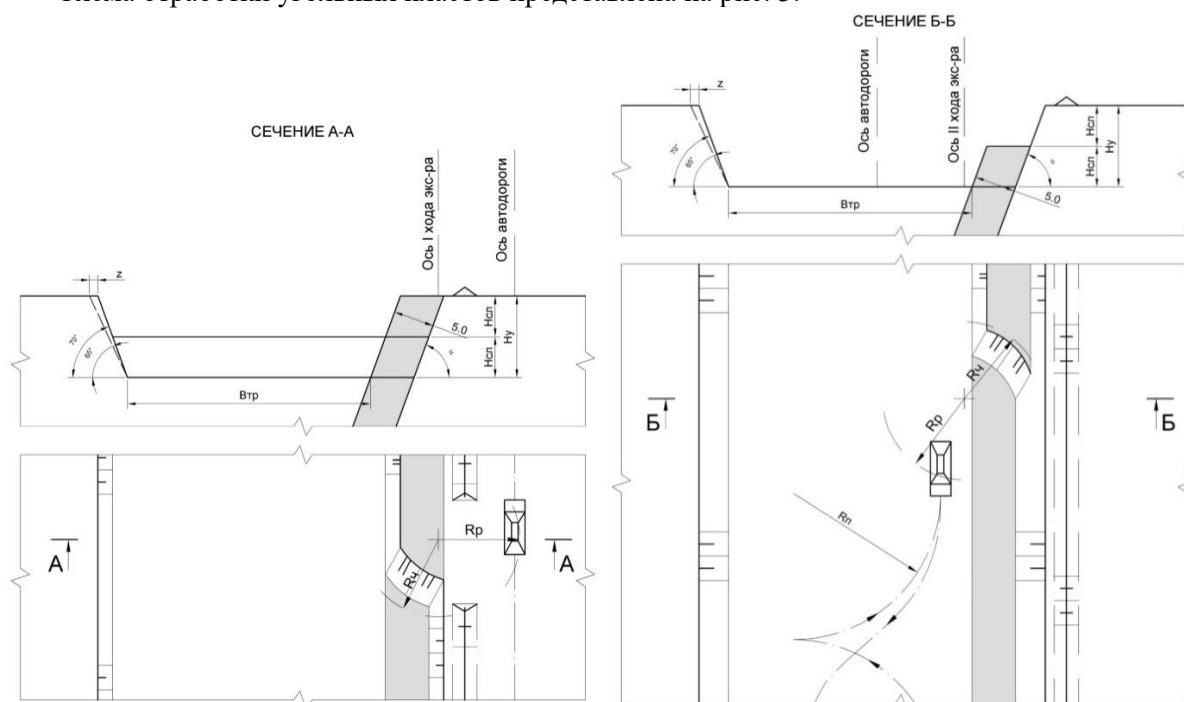


Рис. 3. Схема отработки угольного пласта обратной гидравлической лопатой с погрузкой в автосамосвал

При работе по данной схеме экскаватор отрабатывает угольный пласт двумя слоями. Первый слой отрабатывается нижним черпанием с погрузкой на уровне стояния, второй – верхним черпанием с погрузкой на уровне стояния.

В качестве экскавационного оборудования на участке «Спиченковский» используются экскаваторы типа «механическая лопата» ЭКГ-5А и гидравлические экскаваторы Volvo EC460В. Технические характеристики экскаваторов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики экскаваторов

| Показатели | ЭКГ-5А | Volvo 460 |
|-----------------------------------|--------|-----------|
| Вместимость ковша, м ³ | 5,2 | 2,4 |
| Максимальная высота черпания, м | 10,3 | 11,0 |
| Наибольший радиус черпания, м | 14,5 | 11,8 |
| Мощность двигателя, кВт | 12,7 | 239 |
| Эксплуатационная масса, т | 250 | 47 |

Транспортирование угля осуществляется автосамосвалами БелАЗ-7547, БелАЗ-7548 грузоподъемностью 45 и 42 т соответственно. Технические характеристики углевозов представлены в таблице 5.

Таблица 5. Технические характеристики углевозов

| Наименование показателей | БелАЗ-7547 | БелАЗ-7548 |
|---|--------------------|--------------------|
| Грузоподъемность, т | 45 | 42 |
| Допустимая полная масса, т | 78 | 72,0 |
| Вместимость платформы, м ³ : геометрическая с «шапкой» (2:1) | 19,8 26,5 | 21,0 26,0 |
| Максимальная скорость, км/час | 50,0 | 50,0 |
| Радиус поворота, м | 10,2 | 10,2 |
| Габаритные размеры, м: длина × ширина × высота | 8,09 × 4,62 × 4,39 | 8,09 × 4,62 × 4,39 |

Технологическая схема отработки угольных пластов, применяемая на разрезе Спиченковском, представлена на рис. 4.

При работе по данной схеме экскаватор устанавливается на промежуточную площадку угольного пласта и ведет работу попеременно верхним и нижним черпанием с целью сокращения числа рабочих ходов. Погрузка в этом случае нижняя.

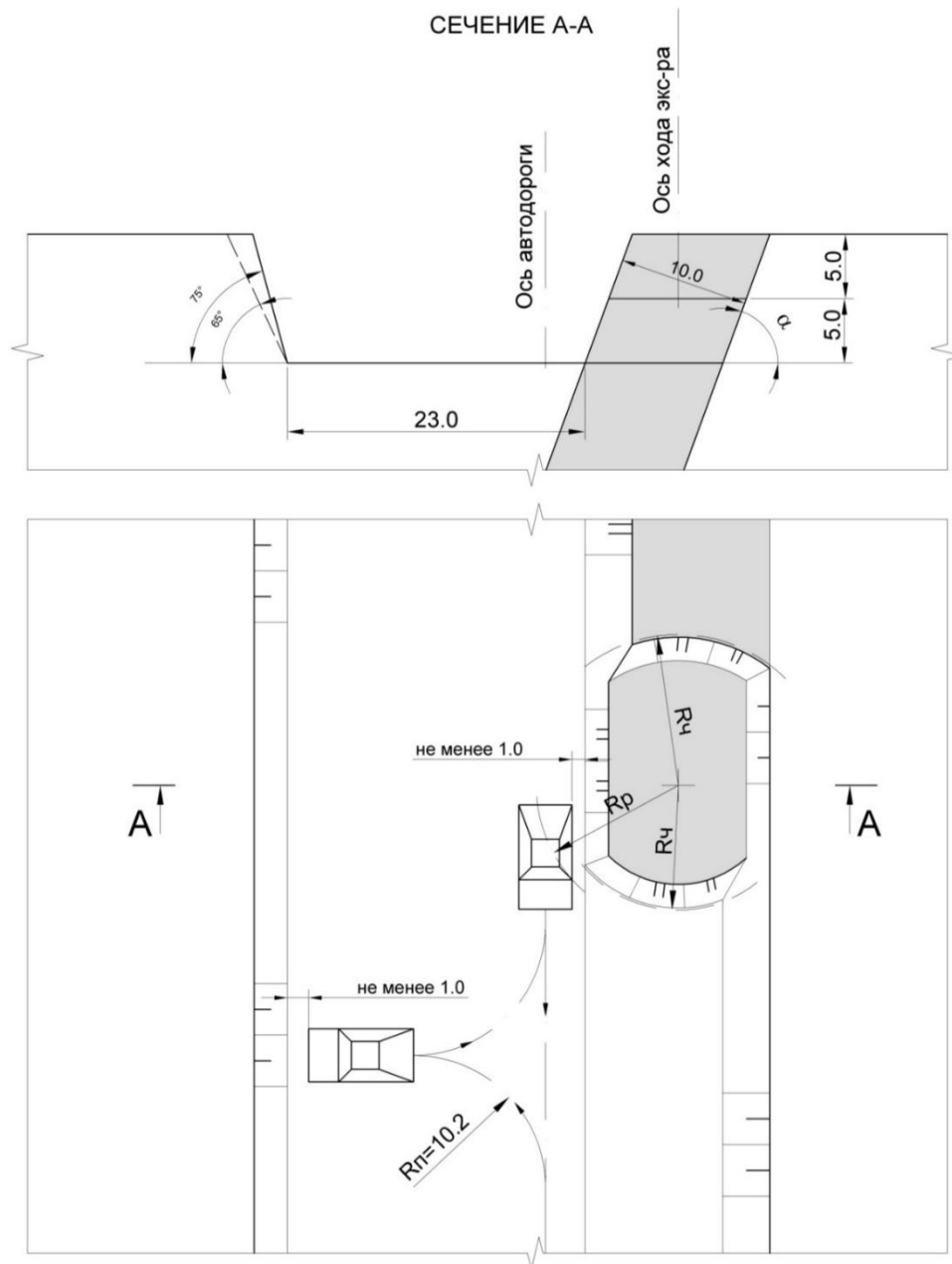


Рис. 4. Схема отработки угольного пласта обратной гидравлической лопатой с погрузкой в автосамосвал

На разрезе «Акташский» в качестве добычного оборудования используются гидравлические экскаваторы обратного действия САТ-330 и мехлопаты ЭКГ-5А вместимостью ковша 1,6 м³ и 5 м³ соответственно. Технологические параметры экскаваторов представлены в таблице 6, а технологические схемы их работы при проходке траншей и одновременной выемке угольного пласта – на рисунках 5 и 6. Поскольку экскаваторы работают в траншее, то черпание – верхнее,

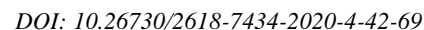


Таблица 6. Технологические параметры экскаваторов

| Наименование показателей | САТ-330 | ЭКГ-5А |
|---|---------|--------|
| Емкость ковша, м ³ | 1,6 | 5,2 |
| Максимальная высота черпания, м | 10,3 | 10,3 |
| Наибольший радиус черпания, м | 11,0 | 14,5 |
| Наибольший радиус черпания на уровне стояния, м | 10,6 | 9,04 |
| Наибольший радиус разгрузки, м | 8,0 | 12,3 |

СЕЧЕНИЕ А-А

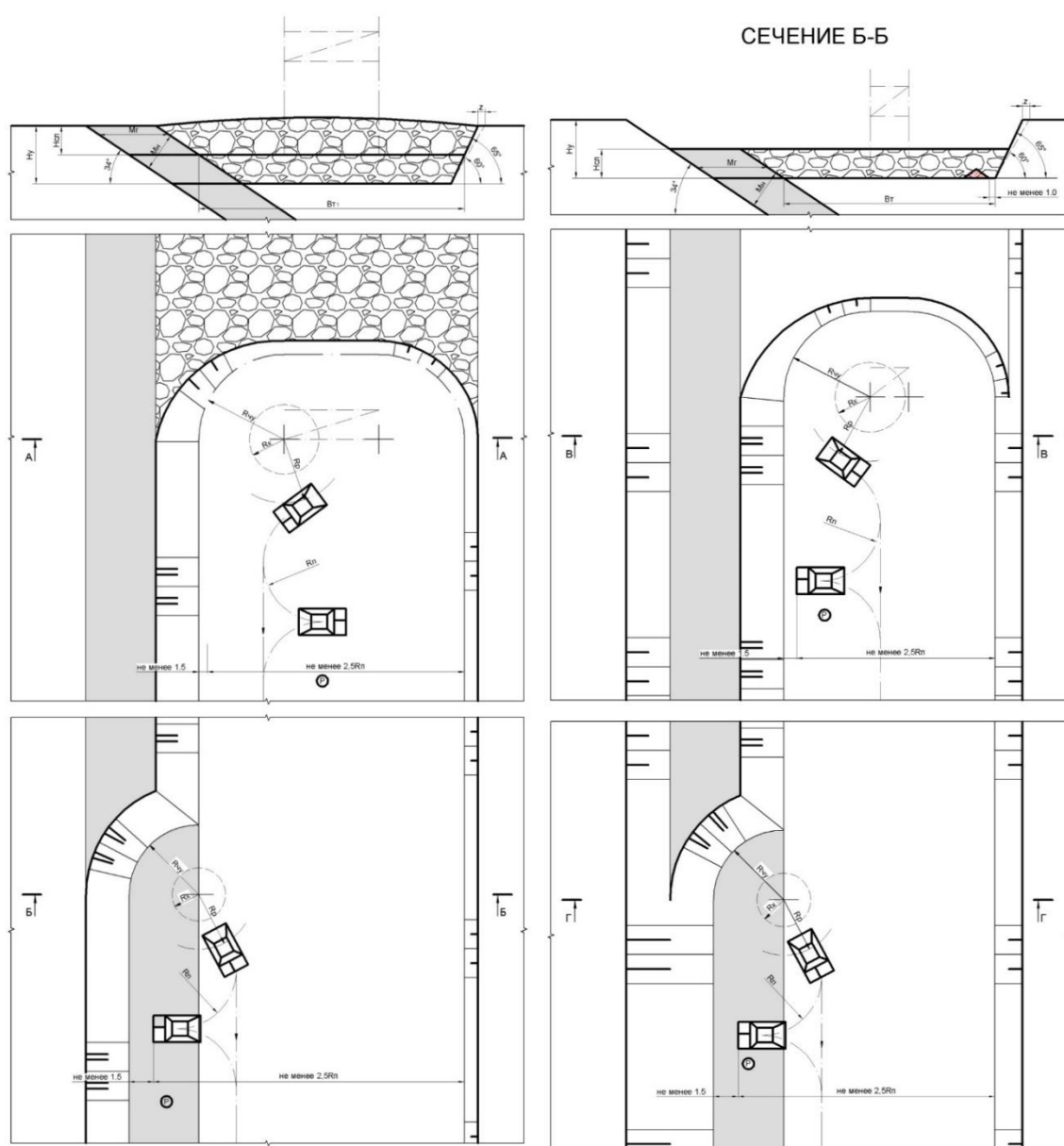


Рис. 5. Схема проходки разрезной траншеи и отработки угольного пласта обратной гидравлической лопатой с погрузкой в автосамосвал

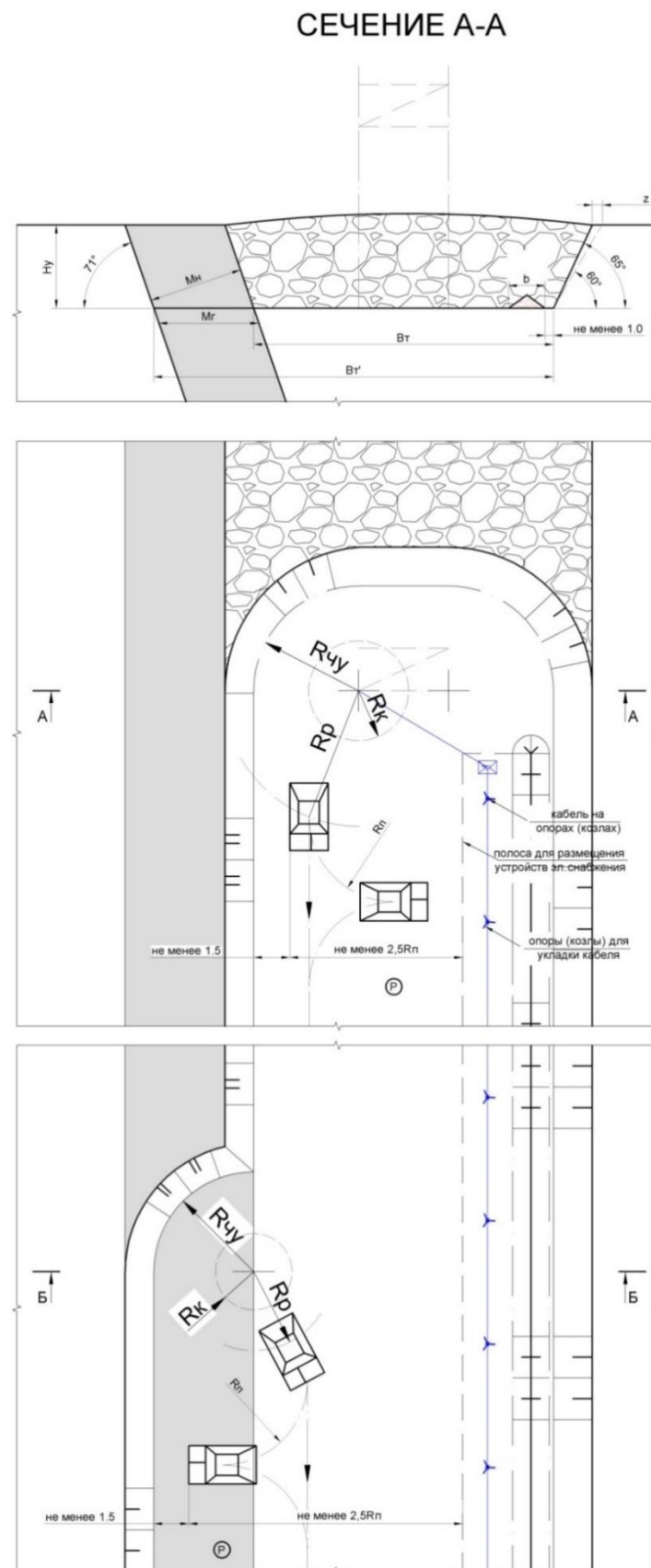


Рис. 6. Схема проходки разрезной траншеи и отработки угольного пласта механической лопатой с погрузкой в автосамосвал



При работе по схеме, представленной на рис. 7, экскаватор несколько теряет в производительности из-за большого угла поворота. Схема предусматривает одновременную отработку двух подступов по развалу. Преимуществом является некоторое упрощение организации горных работ, отсутствие необходимости сооружения карьерных автодорог при отработке каждого слоя.

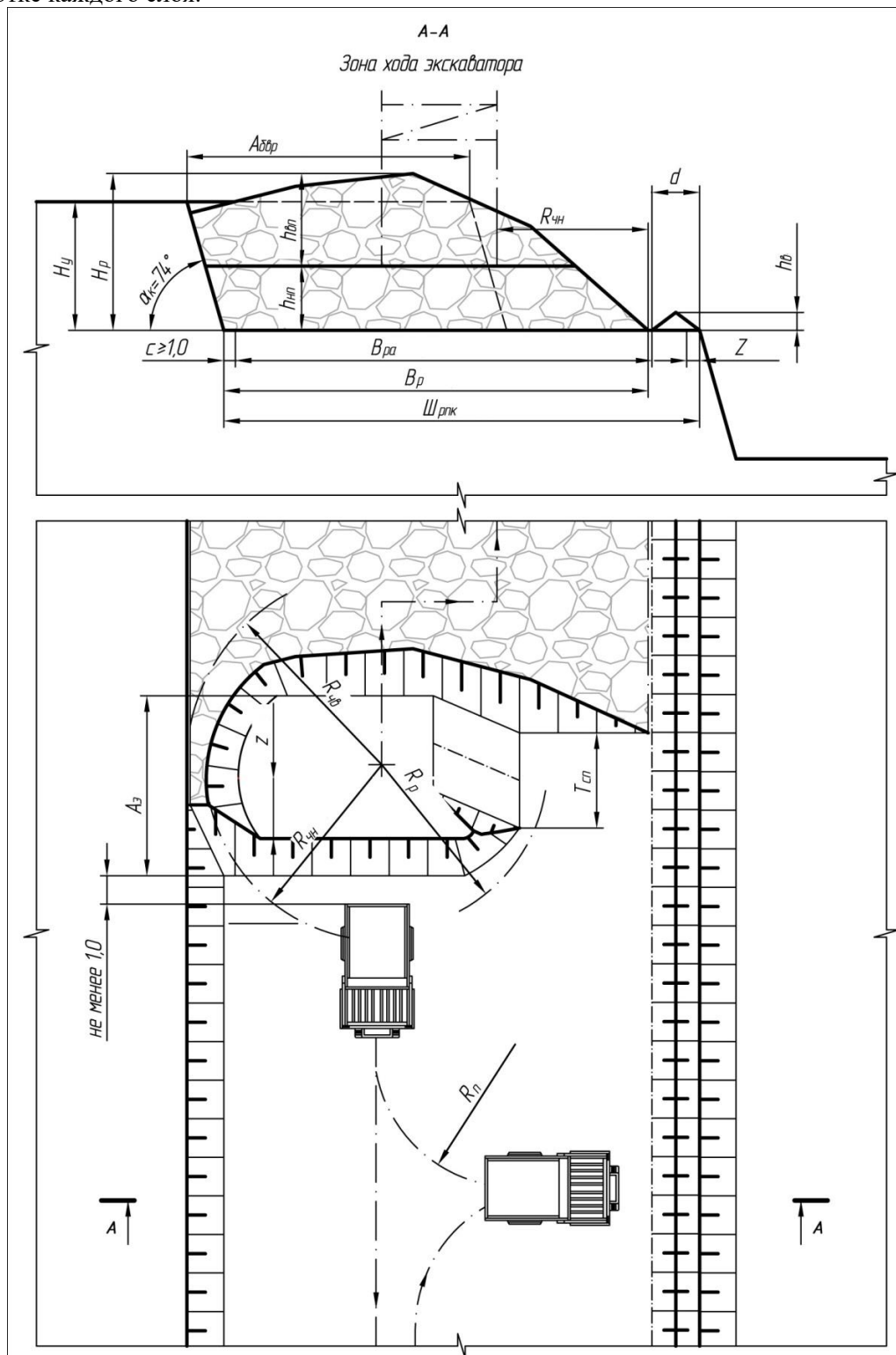


Рис. 7. Технологическая схема отработки развала взорванной горной массы обратной гидравлической лопатой с погрузкой в автотранспорт

Некоторые пояснения к расчету ширины рабочей площадки

При расчетах для применяемых классических автосамосвалов обычно предусматривается применение тупиковой схемы подачи автосамосвалов под погрузку для всех условий отработки. Известно [8-15], что такая схема подачи применяется наиболее часто.

Ширина обрабатываемого блока (заходки) определяется минимальными параметрами разворотной площадки под автосамосвал.

При отработке четвертичных отложений и навалов минимальная ширина рабочей площадки при применении гидравлических экскаваторов определяется из выражения:

$$Ш_{pn} = B_{myn} + Ш_{\theta} + z, \quad (11)$$

где $Ш_{\theta}$ – ширина предохранительного вала, определяемая по формуле

$$Ш_{\theta} = 2 \cdot h_{\theta} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{\theta} \quad (12)$$

где h_{θ} – высота породного вала (принимается не менее половины диаметра колеса применяемого автосамосвала); α_{θ} – угол откоса предохранительного вала (37°); z – ширина призмы возможного обрушения для обрабатываемого ненагруженного уступа.

Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке четвертичных отложений и навалов гидравлическим экскаватором представлена на рисунке 8.

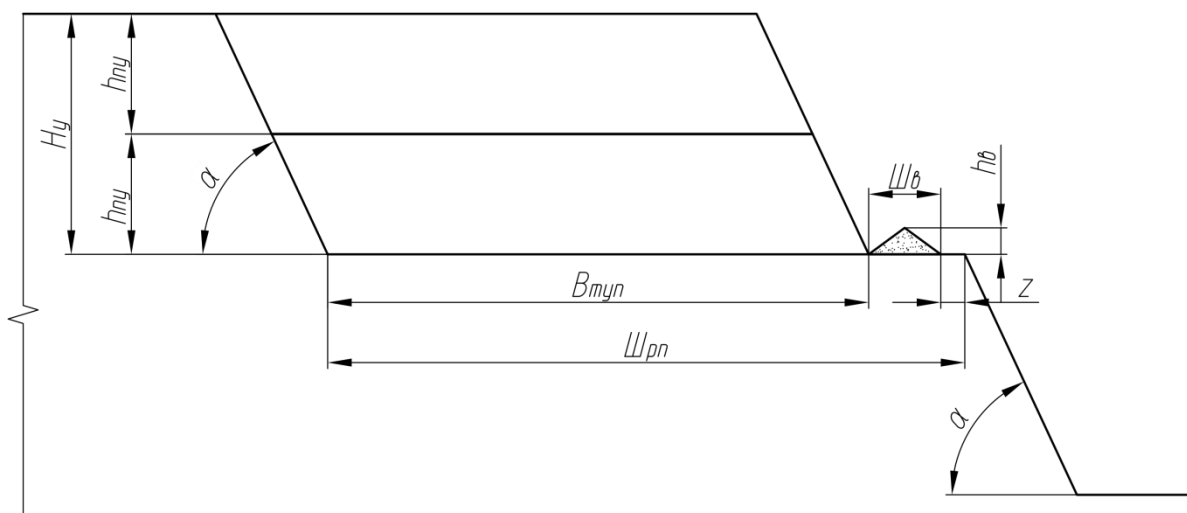


Рис. 8. Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке четвертичных отложений и навалов гидравлическим экскаватором

При отработке четвертичных отложений и навалов минимальная ширина рабочей площадки при применении электрических экскаваторов определяется из выражения:

$$Ш_{pn} = B_{myn} + \Pi + Ш_{\theta} + z, \quad (13)$$

где Π – ширина полосы для размещения дополнительного оборудования (принимается равной 6 м).

Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке четвертичных отложений и навалов электрическим экскаватором представлена на рисунке 9.

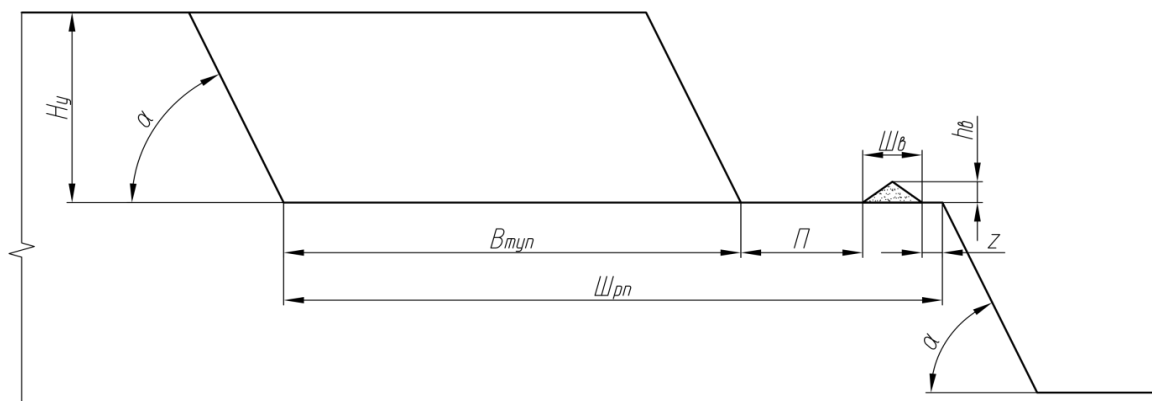


Рис. 9. Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке четвертичных отложений и навалов электрическим экскаватором

Минимальная ширина рабочей площадки при отработке коренных пород боковым забоем гидравлическими экскаваторами с применением буровзрывной подготовки определяется из выражения:

$$W_{pn} = B_p + W_b + z, \quad (14)$$

где B_p – ширина развала.

Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке коренных пород гидравлическим экскаватором представлена на рисунке 10.

При этом, согласно п. 5.50 СНиП 2.05.07-91* «Промышленный транспорт», должно выполняться условие разворота автосамосвалов:

$$B_p \geq B_{myn}, \quad (15)$$

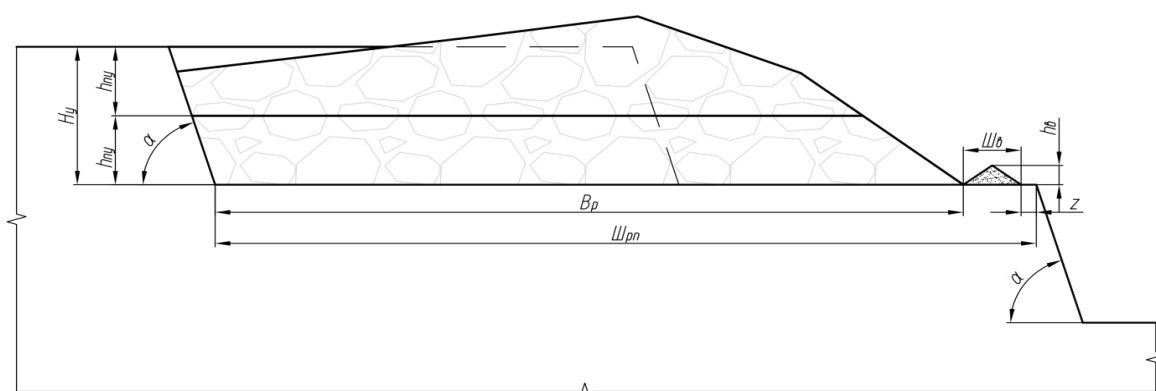


Рис. 10. Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке коренных пород гидравлическим экскаватором

Минимальная ширина рабочей площадки при отработке коренных пород боковым забоем электрическими экскаваторами с применением буровзрывной подготовки определяется из выражения:

$$B_m = B_p + \Pi + W_b + z, \quad (16)$$

Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке коренных пород электрическим экскаватором представлена на рисунке 11.

Так как ширина развала взорванной горной массы изменяется в зависимости от использования разных диаметров взрывных скважин, то и ширина рабочей площадки тоже будет изменяться в зависимости от конкретных условий. В табл. 7, как пример, приведены некоторые

расчетные значения ширины рабочей площадки для различных условий: угол падения пласта принят 60° , ширина развала 49-54 м.

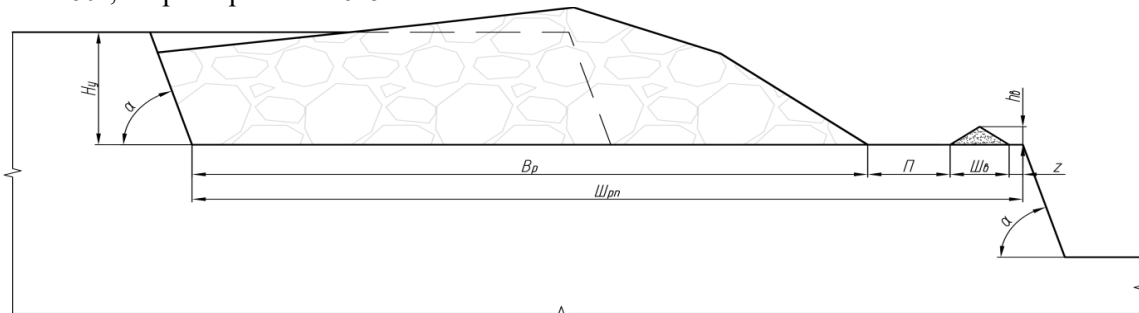


Рис. 11. Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке коренных пород электрическим экскаватором

Минимальная ширина рабочей площадки при отработке угольного пласта боковым забоем определяется из выражения:

$$\text{Ш}_{\text{рп}} = M_z + B_p + \text{Ш}_g + z, \quad (17)$$

где M_z – горизонтальная мощность пласта.

Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке угольного пласта боковым забоем представлена на рисунке 12.

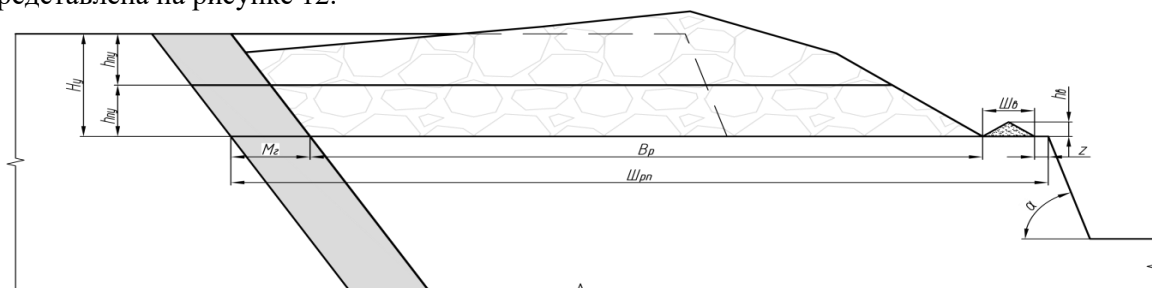


Рис. 12. Схема расчета ширины рабочей площадки при отработке угольного пласта

При работе горнотранспортного оборудования под высоким уступом, на площадке размещается полка улавливания кусков породы шириной 6 м, сопровождающаяся оградительным валом. Схема расчета ширины рабочей площадки при работе под высоким уступом представлена на рисунке 13.

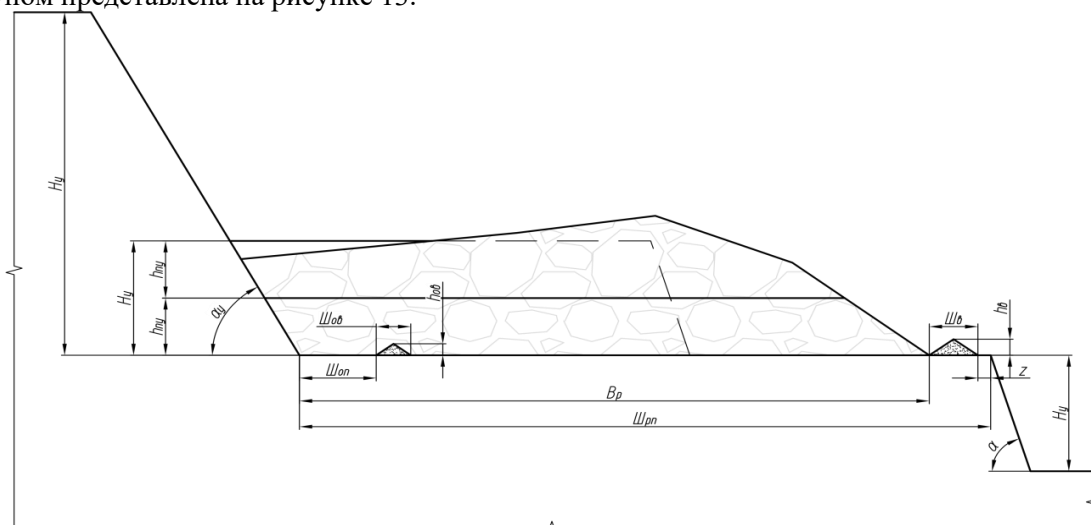


Рис. 13. Схема расчета ширины рабочей площадки при работе под высоким уступом



Таблица 7. Значения ширины рабочей площадки для различных условий

| Наименование показателя | Обозн. | Значение | | |
|--|--------------|-------------|------------|------------|
| Четвертичные отложения | | | | |
| Автосамосвал | - | БелАЗ-75131 | БелАЗ-7558 | БелАЗ-7555 |
| Ширина тупикового разворота | $B_{туп}$ | 32,5 | 27,5 | 22,5 |
| Ширина предохранительного вала, м | B_v | 4,3 | 3,7 | 2,9 |
| Ширина призмы возможного обрушения, м | z | 1,0 | | |
| Для электрических экскаваторов | | | | |
| Полоса для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования, м | Π | 6,0 | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 43,8 | 38,2 | 32,4 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 44,0 | 38,5 | 32,5 |
| Для гидравлических экскаваторов | | | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 37,8 | 32,2 | 26,4 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 38,0 | 32,5 | 26,5 |
| Взорванные выветрелые коренные породы | | | | |
| Ширина развала взорванной горной массы, м | B_p | 54,2 | | |
| Ширина предохранительного вала, м | B_v | 4,3 | 3,7 | 2,9 |
| Ширина призмы возможного обрушения, м | z | 1,0 | | |
| Для электрических экскаваторов | | | | |
| Полоса для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования, м | Π | 6,0 | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпвк}$ | 65,5 | 64,9 | 64,1 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпвк}$ | 65,5 | 65,0 | 64,5 |
| Для гидравлических экскаваторов | | | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпвк}$ | 59,5 | 58,9 | 58,1 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпвк}$ | 59,5 | 59,0 | 58,5 |
| Взорванные невыветрелые коренные породы | | | | |
| Ширина развала взорванной горной массы, м | B_p | 49,2 | | |
| Ширина предохранительного вала, м | B_v | 4,3 | 3,7 | 2,9 |
| Ширина призмы возможного обрушения, м | z | 1,0 | | |
| Для электрических экскаваторов | | | | |
| Полоса для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования, м | Π | 6,0 | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпнк}$ | 60,5 | 59,9 | 59,1 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпнк}$ | 60,5 | 60,0 | 59,5 |
| Для гидравлических экскаваторов | | | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпнк}$ | 54,5 | 53,9 | 53,1 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпнк}$ | 54,5 | 54,0 | 53,5 |
| Навалы | | | | |
| Ширина тупикового разворота | $B_{туп}$ | 32,5 | 27,5 | 22,5 |
| Ширина предохранительного вала, м | B_v | 4,3 | 3,7 | 2,9 |
| Ширина призмы возможного обрушения, м | z | 1,0 | | |
| Для электрических экскаваторов | | | | |
| Ширина приращения, м | d | 5,3 | 4,7 | 3,9 |
| Полоса для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования, м | Π | 6,0 | | |
| Расчетная ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 49,1 | 42,9 | 36,3 |
| Принятая ширина рабочей площадки, м | $\Pi_{рпн}$ | 49,5 | 43,0 | 36,5 |



Согласно п. 246 ФНиП в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом», в случае выявления угрозы подтопления, обрушения или оползания горных выработок во время работы экскаватора или при обнаружении отказавших зарядов ВМ машинист экскаватора обязан прекратить работу, отвести экскаватор в безопасное место и поставить в известность руководителя смены.

Для экстренного вывода экскаватора из забоя настоящей проектной документацией предусматривается наличие полосы для свободного прохода.

Минимальная ширина полосы для свободного прохода экскаватора ($T_{сн}$, м) принимается с учетом конструктивных параметров и обеспечения безопасности его передвижения:

$$T_{сн} = B_э + 2 \times m, \text{ м} \quad (18)$$

где $B_э$ – ширина хода экскаватора, м; m – безопасный зазор между экскаватором и плоскостью откоса уступа, м (принимается 1,0 м).

Расчет минимальной ширины полосы для свободного прохода экскаватора представлен в таблице 8.

Таблица 8. Значения минимальной ширины свободного прохода экскаватора

| Марка экскаватора | Ширина хода экскаватора, м | Безопасный зазор между экскаватором и плоскостью откоса уступа, м | Минимальная ширина свободного прохода, м |
|-------------------|----------------------------|---|--|
| Komatsu PC1250-7 | 4,9 | 1,0 | 6,9 |
| Volvo EC700 | 4,3 | | 6,3 |
| Volvo EC750 | 4,3 | | 6,3 |
| Hyundai 1200 | 4,6 | | 6,6 |
| CAT 336 | 3,3 | | 5,3 |
| CAT 374 | 4,4 | | 6,4 |

Ширина разрезной траншеи

Ширина разрезной траншеи по дну соответствует минимальной ширине автодороги по условию разворота автосамосвала, при тупиковом подъезде к погрузке, с учетом обеспечения безопасности работ и размещения дополнительного оборудования.

Нормальная ширина разрезной траншеи по дну (рис. 14) определяется из выражения

$$B_m = П + B_{мyn}, \quad (19)$$

где $П$ – полоса для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования ($П=6,0$ м, для электрических экскаваторов), м; $B_{мyn}$ – ширина тупикового разворота для автосамосвала, м.

Согласно п. 5.50 СНиП 2.05.07-91* «Промышленный транспорт», для разворота автомобилей в конце тупиковых дорог и для производства маневров в пунктах погрузки и разгрузки следует предусматривать петлевые объезды или площадки, размеры которых определяют расчетом в зависимости от габаритов транспортных средств и перевозимых грузов. Для специализированных автомобилей, включая автомобили особо большой грузоподъемности, диаметр разворотных площадок должен быть не менее 2,5 конструктивных радиусов разворота по переднему наружному колесу

$$B_{мyn} = 2,5 \cdot R_n \quad (20)$$

где R_n – конструктивный радиус разворота автосамосвала по переднему наружному колесу, м.

Некоторые результаты расчета представлены в табл. 9.

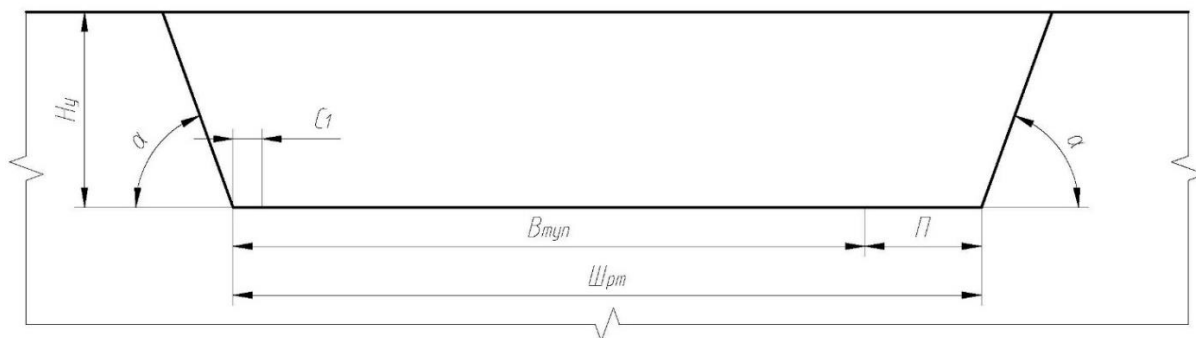


Рис. 14. Схема к определению нормальной ширины разрезной траншеи

Таблица 9. Значения нормальной ширины разрезной траншеи

| Наименование показателя | Обозначение | Значение |
|---|-------------|--|
| Минимальная ширина зоны при тупиковом развороте для автосамосвала с максимальным значением радиуса разворота, м: - БелАЗ-75131 - БелАЗ-7558 - БелАЗ-7555 - Komatsu HD 785 - Cat 777 - Terex TR100 | $B_{туп}$ | 32,5 27,5 22,5 25,3 35,5 30,5 |
| Ширина полосы для размещения устройств электроснабжения и дополнительного оборудования, м | Π | 6,0 |
| Нормальная ширина разрезной траншеи для электрических экскаваторов, м: - БелАЗ-75131 - БелАЗ-7558 - БелАЗ-7555 - Komatsu HD 785 - Cat 777 - Terex TR100 | B_m | 38,5 33,5 28,5 31,3 41,5 36,5 |
| Нормальная ширина разрезной траншеи для гидравлических экскаваторов, м: - БелАЗ-75131 - БелАЗ-7558 - БелАЗ-7555 - Komatsu HD 785 - Cat 777 - Terex TR100 | B_m | 32,5 27,5 22,5 25,3 35,5 30,5 |

Результаты и обсуждение.

При работе гидравлического экскаватора с оборудованием обратной лопаты Liebherr R984C, одной из наиболее распространенных моделей на разрезах Кузбасса и России, производилось хронометражное измерение времени цикла при различных углах поворота экскаватора в забое и различных схемах погрузки. Измерения проводились при работе экскаватора нижним черпанием. Результаты представлены в таблице 10.

Полученные данные дают возможность выполнить анализ влияния условий работы экскаватора на время погрузки транспортного средства.



Таблица 10. Продолжительность экскаваторного цикла для Liebherr R984C при различных видах погрузки горной массы

| продолжительность цикла $t_{ц.п}$, с | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка на уровне стояния | 34,8 | 36,5 | 38,5 | 40,7 | 47,2 | 50,6 | 55,9 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 26,9 | 29,5 | 32,2 | 35 | 42,5 | 46,3 | 52 |
| | погрузка выше уровня стояния | 44,3 | 45,5 | 47 | 48,7 | 54 | 56,9 | 61,6 |

Определим время погрузки для угла поворота 45° .

$$t_{п.п} = t_{ц.п} \frac{V_{а.п}}{60 \cdot E \cdot K_{э.п}} = 26,9 \frac{53,3}{60 \cdot 7,2 \cdot 0,7} = 4,74 \text{ мин}, \quad (21)$$

$$t_{п.п} = t_{ц.п} \frac{V_{а.п}}{60 \cdot E \cdot K_{э.п}} = 34,8 \frac{53,3}{60 \cdot 7,2 \cdot 0,7} = 6,13 \text{ мин}, \quad (22)$$

$$t_{п.п} = t_{ц.п} \frac{V_{а.п}}{60 \cdot E \cdot K_{э.п}} = 44,3 \frac{53,3}{60 \cdot 7,2 \cdot 0,7} = 7,81 \text{ мин}. \quad (23)$$

После аналогичных расчетов для других углов поворота экскаватора получены следующие результаты (табл. 11).

Таблица 11. Время погрузки экскаватором Liebherr R984C автосамосвала грузоподъемностью 90 т

| продолжительность погрузки $t_{п.п}$, мин | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 4,74 | 5,2 | 5,68 | 6,17 | 7,49 | 8,16 | 9,17 |
| | погрузка на уровне стояния | 6,13 | 6,43 | 6,79 | 7,17 | 8,32 | 8,92 | 9,85 |
| | погрузка выше уровня стояния | 7,81 | 8,02 | 8,28 | 8,58 | 9,52 | 10,03 | 10,86 |

Определим время рейса, считая плечо откатки равным 2,5 км. Тогда время движения составит 13,2 минуты. Используется погрузка на уровне стояния, то есть промежуточная с точки зрения производительности.

Принимаем прочие величины, влияющие на годовую производительность автосамосвала, постоянными: $t_p = 1$ мин, $t_m = 0,91$ мин (тупиговая схема подъезда), $t_{ож} = 0,5$ мин.

Тогда $T_{р.п} = 13,2 + 1 + 0,91 + 0,5 + t_{п.п} = 15,61 + t_{п.п}$, а результаты этого расчета приведены в табл. 12:

Таблица 12. Время рейса автосамосвала грузоподъемностью 90 т при различных видах его погрузки экскаватором Liebherr R984C

| время рейса $T_{р.п}$, мин, при плече откатки 2,5 км | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 20,35 | 20,81 | 21,29 | 21,78 | 23,1 | 23,77 | 24,78 |
| | погрузка на уровне стояния | 21,74 | 22,04 | 22,4 | 22,78 | 23,93 | 24,53 | 25,46 |
| | погрузка выше уровня стояния | 23,42 | 23,63 | 23,89 | 24,19 | 25,13 | 25,64 | 26,47 |



Часовая и годовая производительность автосамосвала грузоподъемностью 90 т для тех же условий приведены в табл. 13 и 14 соответственно:

Таблица 13

| часовая произво- дительность автосамосвала $Q_{a,ч}$, м ³ /ч | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 105,08 | 102,76 | 100,44 | 98,18 | 92,57 | 89,96 | 86,29 |
| | погрузка на уровне стояния | 98,36 | 97,02 | 95,46 | 93,87 | 89,36 | 87,17 | 83,99 |
| | погрузка выше уровня стояния | 91,31 | 90,49 | 89,51 | 88,40 | 85,09 | 83,40 | 80,79 |

Таблица 14

| годовая произво- дительность автосамосвала $Q_{a,год}$, тыс.м ³ /год | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 508,42 | 497,18 | 485,98 | 475,04 | 447,90 | 435,27 | 417,53 |
| | погрузка на уровне стояния | 475,92 | 469,44 | 461,89 | 454,19 | 432,36 | 421,79 | 406,38 |
| | погрузка выше уровня стояния | 441,78 | 437,85 | 433,09 | 427,71 | 411,72 | 403,53 | 390,87 |

Графическая интерпретация полученных значений представлена на рис. 15.

Анализ рисунка показывает, что при наиболее экономичном угле поворота на погрузку, равном 45°, разница в годовой производительности будет самой существенной: почти 15%.

Следует отметить, что полученные результаты справедливы только для конкретных моделей горной техники.

Следующим этапом нами предлагается оценить влияние вместимости ковша экскаватора на время погрузки.

При этом необходимо оценивать технико-экономические показатели работы комплекса [16-19]. Если затраты на работу машиномены комплекса не покроют рост производительности, то данный комплекс использовать нецелесообразно. Данный вопрос требует дальнейшего, более подробного изучения и выполнения подробного технико-экономического анализа [20-22]. Также следует учесть классические рекомендации по соотношению вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала [23-28].

Рассмотрим более мощную модель того же производителя – Liebherr R9350 с вместимостью ковша для разработки скального грунта 15,3 м³. Время цикла и прочие составляющие примем такие же, как в предыдущем расчете, поскольку в первую очередь на текущий момент можно получить только качественную картину изменения итоговой производительности автосамосвала. Время погрузки приведено в табл. 15.

Определим время рейса, считая плечо откатки равным 2,5 км. Тогда время движения, согласно рис. 1, составит 13,2 минуты. Как и в предыдущем расчетном блоке, используется погрузка на уровне стояния, то есть промежуточная с точки зрения производительности, а прочие величины, влияющие на годовую производительность автосамосвала, приняты постоянными: t_p = 1 мин, t_m = 0,91 мин (тупиковая схема подъезда), $t_{ож}$ = 0,5 мин.

Результаты расчета времени рейса представлены в табл. 16.

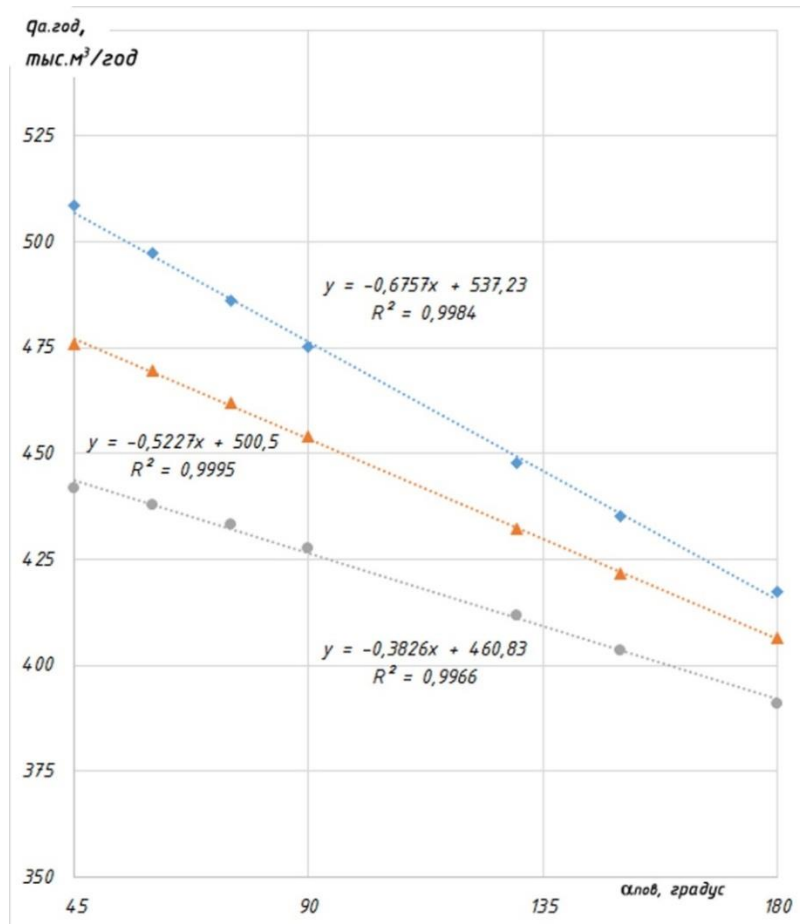


Рис. 15. Зависимости годовой производительности автосамосвала грузоподъемностью 90 т при плече откатки 2,5 км и погрузке экскаватором Liebherr R984: сверху вниз – погрузка ниже уровня стояния, на уровне стояния и выше уровня стояния соответственно

Таблица 15. Время погрузки экскаватором Liebherr R9350 автосамосвала грузоподъемностью 90 т

| | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| продолжительность погрузки $t_{п.п.}$, мин (экскаватор Liebherr R 9350) | погрузка ниже уровня стояния | 2,23 | 2,45 | 2,67 | 2,9 | 3,53 | 3,84 | 4,31 |
| | погрузка на уровне стояния | 2,89 | 3,03 | 3,19 | 3,38 | 3,91 | 4,2 | 4,64 |
| | погрузка выше уровня стояния | 3,67 | 3,77 | 3,9 | 4,04 | 4,48 | 4,72 | 5,11 |

Таблица 16

| время рейса $T_{р.п.}$, мин, при плече откатки 2,5 км | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 17,84 | 18,06 | 18,28 | 18,51 | 19,14 | 19,45 | 19,92 |
| | погрузка на уровне стояния | 18,5 | 18,64 | 18,8 | 18,99 | 19,52 | 19,81 | 20,25 |
| | погрузка выше уровня стояния | 19,28 | 19,38 | 19,51 | 19,65 | 20,09 | 20,33 | 20,72 |



Часовая и годовая производительность автосамосвала для тех же условий представлена в табл. 17 и 18 соответственно, а графическая интерпретация полученных значений – на рис. 16.

Таблица 17

| часовая произво- димость автосамосвала $Q_{a.ч}, \text{м}^3/\text{ч}$ | вид погрузки | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | горной массы | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 119,86 | 118,41 | 116,98 | 115,53 | 111,72 | 109,94 | 107,35 |
| | погрузка на уровне стояния | 115,59 | 114,72 | 113,74 | 112,61 | 109,55 | 107,95 | 105,6 |
| | погрузка выше уровня стояния | 110,91 | 110,34 | 109,61 | 108,82 | 106,44 | 105,18 | 103,20 |

Таблица 18

| годовая произво- димость автосамосвала $Q_{a.год},$ $\text{тыс.м}^3/\text{год}$ | вид погрузки | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | горной массы | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 579,96 | 572,89 | 566,00 | 558,96 | 540,57 | 531,95 | 519,40 |
| | погрузка на уровне стояния | 559,27 | 555,07 | 550,34 | 544,84 | 530,04 | 522,28 | 510,93 |
| | погрузка выше уровня стояния | 536,64 | 533,87 | 530,31 | 526,54 | 515,00 | 508,92 | 499,34 |

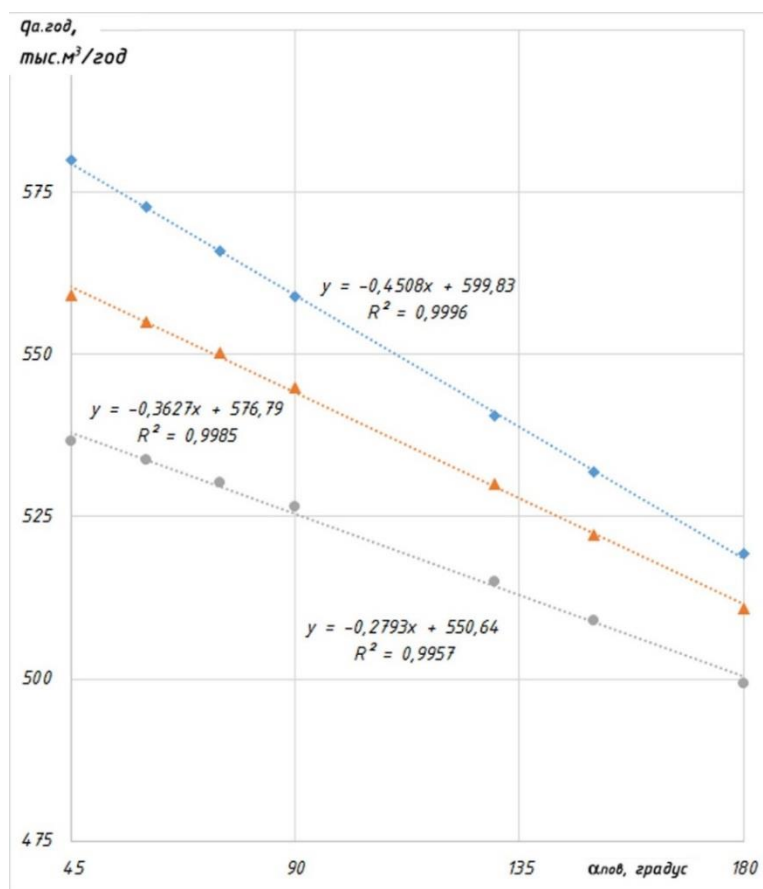


Рис. 16. Зависимости годовой производительности автосамосвала грузоподъемностью 90 т при плече откатки 2,5 км и погрузке экскаватором Liebherr R9350: сверху вниз – погрузка ниже уровня стояния, на уровне стояния и выше уровня стояния соответственно



При рассмотрении других моделей экскаваторов с соразмерными вместимостями ковша были получены подобные семейства зависимостей. Опустим промежуточные выкладки и приведем здесь только графические зависимости (рис. 17-а, б).

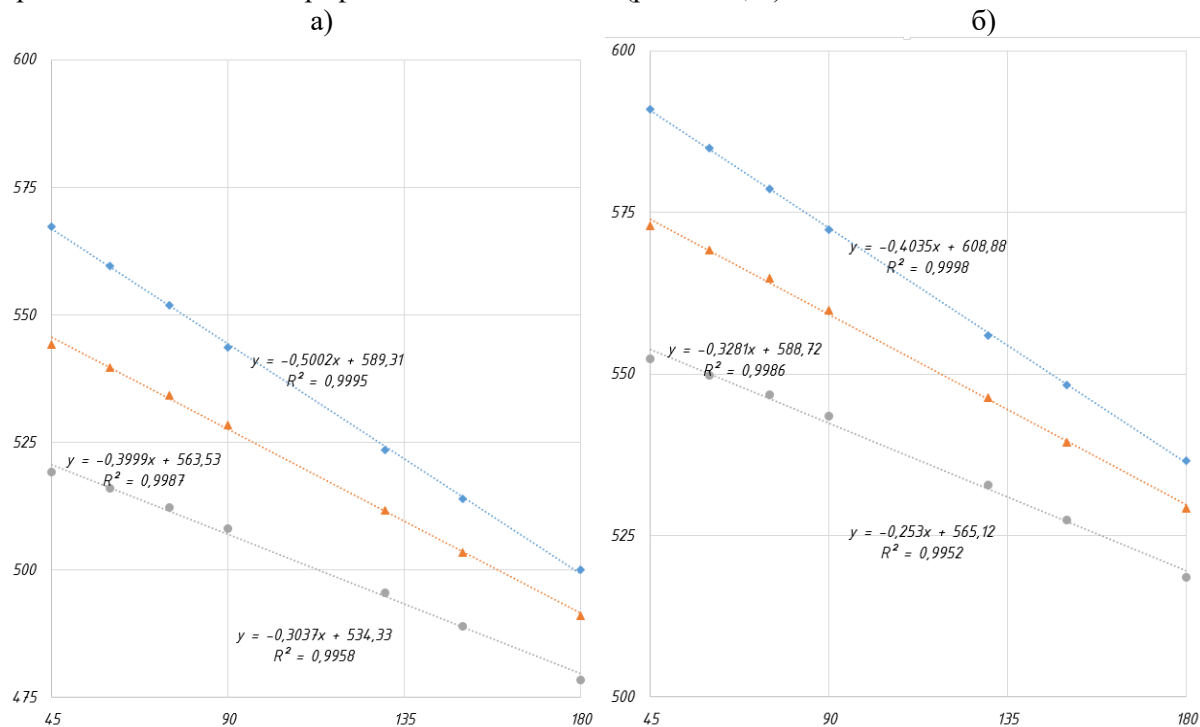


Рис. 17. Зависимости годовой производительности автосамосвала грузоподъемностью 90 т при плече откатки 2,5 км и погрузке экскаватором с вместимостью ковша 13 м³ (а) и 18 м³ (б): сверху вниз – погрузка ниже уровня стояния, на уровне стояния и выше уровня стояния соответственно

Полученные результаты позволяют вывести общие зависимости для линейных уравнений, представленных на рисунках.

Для погрузки ниже уровня установки экскаватора (как и для других видов погрузки) уравнение годовой производительности автосамосвала можно описать как $q_{a, \text{год}} = ax + b$, где x – средний угол поворота экскаватора при погрузке, а a и b – коэффициенты уравнения (табл. 19).

Таблица 19. Значения коэффициентов уравнения годовой производительности автосамосвала

| вместимость ковша, м³ | a | b |
|-----------------------|---------|--------|
| 7,2 | -0,3826 | 460,83 |
| 13 | -0,3037 | 534,33 |
| 15,3 | -0,2793 | 550,64 |
| 18 | -0,253 | 565,12 |

Установлено что эти коэффициенты имеют зависимость от вместимости ковша экскаватора с высокой корреляционной сходимостью (рис. 18-а, б). Такие результаты анализа позволяют утверждать, что, например, производительность автосамосвала грузоподъемностью 90 тонн при нижней погрузке его экскаваторами с различной вместимостью ковша, а также плече откатки 2,5 км и при прочих равных условиях адекватно описывается зависимостями вида, м³/год:

$$q_{a, \text{год}} = (0,0121 \cdot E - 0,4669) \cdot \alpha_{\text{пов}} + 0,0318 \cdot E^3 - 1,8177 \cdot E^2 + 39,392 \cdot E + 259,57.$$

Очевидно, что при других условиях погрузки коэффициенты в уравнении поменяются, но общий характер останется неизменным.



Данный вывод может являться исходным положением при разработке упрощенной методики расчета производительности как классических, так и беспилотных автосамосвалов.

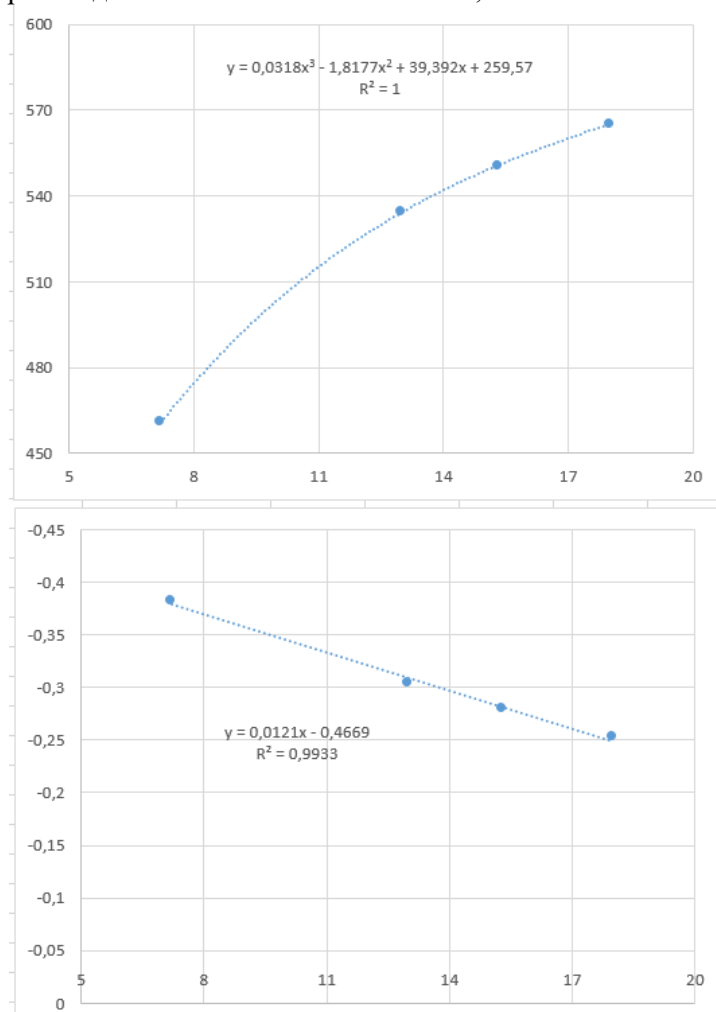


Рис. 18. Зависимости коэффициентов линейного уравнения b и a от вместимости ковша применяемого экскаватора

Далее был выполнен анализ влияния изменения вместимости кузова автосамосвала при прочих неизменных условиях с целью выявления общих зависимостей.

Для анализа были приняты четыре модели карьерных автосамосвалов «БелАЗ» с вместимостью кузова 53,3; 65,6; 78,5 и 100 м³; вместимость ковша экскаватора была принята неизменной и составила 18 м³.

Результаты расчета представлены в табл. 20-21.

Таблица 20. Время погрузки экскаватором Liebherr R9350 (E = 18 м³) автосамосвала БелАЗ-75170 с вместимостью кузова 65,6 м³

| | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| продолжительность погрузки t _{п.п.} , мин (экскаватор Liebherr R 9350) | погрузка ниже уровня стояния | 2,33 | 2,56 | 2,79 | 3,04 | 3,69 | 4,02 | 4,51 |
| | погрузка на уровне стояния | 3,02 | 3,17 | 3,34 | 3,53 | 4,1 | 4,39 | 4,85 |
| | погрузка выше уровня стояния | 3,84 | 3,95 | 4,08 | 4,23 | 4,69 | 4,94 | 5,35 |



Таблица 21

| время рейса Т _{р.п.} , мин, при плече откатки 2,5 км | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 17,94 | 18,17 | 18,4 | 18,65 | 19,3 | 19,63 | 20,12 |
| | погрузка на уровне стояния | 18,63 | 18,78 | 18,95 | 19,14 | 19,71 | 20 | 20,46 |
| | погрузка выше уровня стояния | 19,45 | 19,56 | 19,69 | 19,84 | 20,3 | 20,55 | 20,96 |

Часовая, сменная и годовая производительность автосамосвала для тех же условий представлена в табл. 22, 23 и 24 соответственно, а графическая интерпретация полученных значений – на рис. 19.

Таблица 22

| часовая произво- дительность автосамосвала Q _{а.ч.} , м ³ /ч | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 119,20 | 117,69 | 116,22 | 114,66 | 110,80 | 108,94 | 106,28 |
| | погрузка на уровне стояния | 114,78 | 113,87 | 112,84 | 111,72 | 108,49 | 106,92 | 104,52 |
| | погрузка выше уровня стояния | 109,94 | 109,33 | 108,60 | 107,78 | 105,34 | 104,06 | 102,03 |

Таблица 23

| сменная произво- дительность автосамосвала Q _{а.см.} , м ³ /смену | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 762,87 | 753,21 | 743,79 | 733,82 | 709,11 | 697,19 | 680,21 |
| | погрузка на уровне стояния | 734,61 | 728,74 | 722,20 | 715,03 | 694,36 | 684,29 | 668,90 |
| | погрузка выше уровня стояния | 703,64 | 699,68 | 695,06 | 689,81 | 674,18 | 665,97 | 652,95 |

Таблица 24

| годовая произво- дительность автосамосвала Q _{а.год.} , тыс.м ³ /год | вид погрузки горной массы | угол поворота экскаватора, градусов | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 45 | 60 | 75 | 90 | 130 | 150 | 180 |
| | погрузка ниже уровня стояния | 576724 | 569424 | 562306 | 554768 | 536084 | 527072 | 514236 |
| | погрузка на уровне стояния | 555364 | 550928 | 545986 | 540566 | 524933 | 517321 | 505690 |
| | погрузка выше уровня стояния | 531950 | 528958 | 525466 | 521493 | 509676 | 503476 | 493627 |

Общая картина примерно одинакова. По сути, всё завязывается на угол поворота экскаватора на погрузку и в меньшей степени – на время на маневрирование автосамосвала. Поэтому при проектировании технологических схем всегда стремятся обеспечить минимальное значение этого угла. Однако при работе, например, экскаваторов-мехлопат при проходке траншей такое условие недостижимо в силу объективных причин.

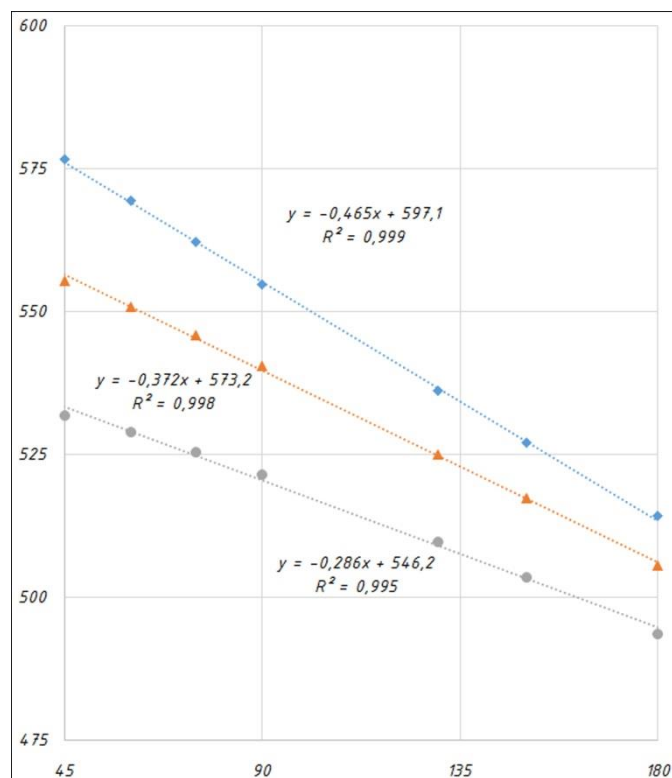


Рис. 19. Зависимости годовой производительности автосамосвала с вместимостью кузова 65,6 м³ при плече откатки 2,5 км и погрузке экскаватором Liebherr R9350 с вместимостью ковша 18 м³: сверху вниз – погрузка ниже уровня стояния, на уровне стояния и выше уровня стояния соответственно.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Основным фактором, влияющим при прочих равных условиях на производительность автосамосвала, особенно при небольшом плече откатки, будет являться время погрузки, зависящее, в свою очередь, от продолжительности экскаваторного цикла, вида черпания и погрузки. При увеличении среднего угла поворота экскаватора с 45 до 180 градусов производительность автосамосвала снижается на величину от 2 до 15%.
2. Необходим более глубокий анализ коэффициента использования автосамосвала во время смены при работе беспилотных транспортных средств вследствие особенностей их эксплуатации.
3. Применение беспилотных карьерных автосамосвалов должно обеспечить рост производительности транспорта в связи с отсутствием необходимости маневрирования в забое (исключается применение тупиковой и кольцевой схем подачи транспорта под погрузку).
4. Структура технологических схем выемочно-погрузочных работ при использовании беспилотных самосвалов вместо классических не изменится; прогнозируется возможное уменьшение ширины рабочей площадки из-за исключения ограничения по радиусу разворота автосамосвалов.
5. Для разработки рекомендаций по расчету производительности экскаваторно-автомобильных комплексов, оснащенных беспилотными автосамосвалами, необходим подробный технико-экономический анализ взаимоприменяемости выемочного и транспортного оборудования для обеспечения, с одной стороны, максимальной производительности комплекса, и минимизации затрат на работу комплекса – с другой.
6. При использовании на открытых горных работах беспилотных транспортных средств потребуются корректировка Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» [29].



Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-20 19-034 от 22.11.2019г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Список источников

1. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – М. : Недра, 1985. – 549 с.
2. Ржевский, В.В. Научные основы проектирования карьеров. – М.: Недра, 1977. – 598 с.
3. Мельников, Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 414 с.
4. Шешко, Е.Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей. – М.: Углетехиздат, 1953. – 116 с.
5. Анистратов, Ю.И. Технология открытых горных работ. – М. : Недра, 1995. – 284 с.
6. Литвин, О.И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 119 с.
7. Litvin O. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out / O. Litvin, V. Makarov, A. Strelnikov, E. Tyuleneva // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article no. 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024
8. Хохряков, В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1991. – 336 с.
9. Томаков, П.И. Структуры комплексной механизации карьеров с техникой циклического действия. – М.: Недра, 1976. – 232 с.
10. Холодняков, Г.А. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов / Г.А. Холодняков, Е.В. Логинов, В.Д. Туан // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – №1. – С. 357-363.
11. Штейнцайг, Р.М. Методика выбора рациональной технологии отработки забоя карьерным гидравлическим экскаватором: Науч. тр. / ИГД им. А.А. Скочинского. – Люберцы, 1979. – 28 с.
12. Мельников Н.Н. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Н.Н. Мельников, Д.Г. Неволин, Л.С. Скобелев / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Апатиты: Кольский научный центр РАН. – 1992. – С. 77-86.
13. Мерзляков, В.Г. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России / В.Г. Мерзляков, Б.В. Слесарев, В.М. Штейнцайг // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №5. – С. 15-20.
14. Сытенков, В.Н. Анализ областей применения канатных и гидравлических экскаваторов при открытой разработке месторождений / В.Н. Сытенков, А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Рациональное освоение недр. – 2014. – №3. – С. 30-37.
15. Слесарев, Б.В. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных гидравлических экскаваторов / Б.В. Слесарев, П. Булес // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-2. – С. 42-51.
16. Шестаков, И.Г. Использование гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» в сложных горно-геологических условиях / И.Г. Шестаков, С.В. Косых // Вологодские чтения. – 2012. – № 80. – С. 168-170.
17. Kolesnikov, V.F. Methods and schemes of opening-up the quarry fields at various bedding conditions of deposits / The 8th Russian-Chinese Symposium “Coal in the 21st century: mining, processing and safety”. Atlantis Press, 2016. – pp. 104-107.
18. Колесников, В.Ф. Технология ведения выемочных работ с применением гидравлических экскаваторов / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, А.В. Стрельников // Кемерово : Кузбассвуиздат. – 143 с.
19. Стрельников, А.В. Обоснование структур слоевых технологических схем разработки угленасыщенных зон разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами: дис... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 152с.
20. Bhaveshkumar P.P., Prajapati J.M.: Kinematics of mini hydraulic backhoe excavator, International



Journal of Mechanisms and Robotic Systems, 1(4), 261-282, 2013.

21. Conigliaro, R.A., Kerzhner, A.A. and Paredis, C.J.J. (2009). Model-Based Optimisation of a Hydraulic Backhoe using Multi-Attribute Utility Theory. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 1, 0565. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0565>

22. Moore, R. and Paredis, C.J.J. (2010). Variable Fidelity Modeling as Applied to Trajectory Optimization for a Hydraulic Backhoe. Proceedings of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. August 30 –September 2 2009, San Diego. pp. 79-90. <https://doi.org/10.1115/DETC2009-87522>

23. Zhang, J.-R. Wang, A.-L., Song, S.-T. and Cui D.-M. (2011). An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2011, 2. 007

24. Nam, B.X. and Drebenstedt, C. (2009). Use of hydraulic backhoe excavator in surface mining, Innovative Entwicklung und Konzepte in der Tagebautechnik. Freiberg, TU Bergakademie. pp. 175-189.

25. Томаков, П.И. Гидравлические обратные лопаты для разработки сложноструктурных месторождений Кузбасса / П.И. Томаков, А.С. Ненашев, Б.Н. Рыбаков // Обзор ЦНИЭИУголь. – М., 1984. – 49 с.

26. Анистратов, Ю.И. Проектирование карьеров / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов // М., «Гемос-Лимитед». – 2003. – С. 173.

27. Дубинкин Д.М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 59-64.

28. Дубинкин Д.М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 8-15.

29. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» (утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 ноября 2017 г. № 488).

References

1. Rzhavskiy, V.V. Otkrytye gornye raboty. Ch. 2. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya. – М. : Nedra, 1985. – 549 s.

2. Rzhavskiy, V.V. Nauchnye osnovy proektirovaniya kar'erov. – М.: Nedra, 1977. – 598 s.

3. Mel'nikov, N.V. Kratkiy spravochnik po otkrytym gornym rabotam: 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Nedra, 1982. – 414 s.

4. Sheshko, E.F. Osnovy teorii vskrytiya kar'ernykh poley. – М.: Ugletekhizdat, 1953. – 116 s.

5. Anistratov, Yu.I. Tekhnologiya otkrytykh gornykh rabot. – М. : Nedra, 1995. – 284 s.

6. Litvin, O.I. Obosnovanie ratsional'nykh tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva vskryshnykh rabot obratnymi gidravlicheskim lopatami na razrezakh Kuzbassa: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2012. – 119 s.

7. Litvin O. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out / O. Litvin, V. Makarov, A. Strelnikov, E. Tyuleneva // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article no. 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024

8. Khokhryakov, B.C. Otkrytaya razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. – М.: Nedra, 1991. – 336 s.

9. Tomakov, P.I. Struktury kompleksnoy mekhanizatsii kar'erov s tekhnikoy tsiklichnogo deystviya. – М.: Nedra, 1976. – 232 s.

10. Kholodnyakov, G.A. Malootkhodnaya otkrytaya razrabotka poleznykh iskopaemykh s pomoshch'yu gidravlicheskh ekskavatorov / G.A. Kholodnyakov, E.V. Loginov, V.D. Tuan // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). – 2017. – №1. – S. 357-363.

11. Shteyntsayg, R.M. Metodika vybora ratsional'noy tekhnologii otrabotki zaboya kar'ernym gidravlicheskim ekskavatorom: Nauch. tr. / IGD im. A.A. Skochinskogo. – Lyubertsy, 1979. – 28 s.

12. Mel'nikov N.N. Tekhnologiya primeneniya i parametry kar'ernykh gidravlicheskh ekskavatorov / N.N. Mel'nikov, D.G. Nevolin, L.S. Skobelev / Otv. red. N.N. Mel'nikov. – Apatity: Kol'skiy nauchnyy tsentr RAN. – 1992. – S. 77-86.

13. Merzlyakov, V.G. Opyt primeneniya kar'ernykh gidravlicheskh ekskavatorov Komatsu Mining Germany na predpriyatiyakh Rossii / V.G. Merzlyakov, B.V. Slesarev, V.M. Shteyntsayg // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2013. – №5. – S. 15-20.



14. Sytenkov, V.N. Analiz oblastey primeneniya kanatnykh i gidravlicheskiy ekskavatorov pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy / V.N. Sytenkov, A.R. Ganin, T.V. Donchenko, D.A. Shibanov // Ratsional'noe osvoenie nedr. – 2014. – №3. – S. 30-37.
15. Slesarev, B.V. Issledovanie usloviy i parametrov ekskavatsii moshchnykh kar'ernykh gidravlicheskiy ekskavatorov / B.V. Slesarev, P. Bules // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). – 2015. – № S1-2. – S. 42-51.
16. Shestakov, I.G. Ispol'zovanie gidravlicheskiy ekskavatorov tipa «obratnaya lopata» v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh / I.G. Shestakov, S.V. Kosykh // Vologdinskiye chteniya. – 2012. – № 80. – S. 168-170.
17. Kolesnikov, V.F. Methods and schemes of opening-up the quarry fields at various bedding conditions of deposits / The 8th Russian-Chinese Symposium “Coal in the 21st century: mining, processing and safety”. Atlantis Press, 2016. – pp. 104-107.
18. Kolesnikov, V.F. Tekhnologiya vedeniya vyemochnykh rabot s primeneniem gidravlicheskiy ekskavatorov / V.F. Kolesnikov, A.I. Koryakin, A.V. Strel'nikov // Kemerovo : Kuzbassvuzizdat. – 143 s.
19. Strel'nikov, A.V. Obosnovanie struktur sloevykh tekhnologicheskikh skhem razrabotki uglasnykh zonn razrezov Kuzbassa obratnymi gidravlicheskiy lopatami: dis... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2012. – 152s.
20. Bhaveshkumar P.P., Prajapati J.M.: Kinematics of mini hydraulic backhoe excavator, International Journal of Mechanisms and Robotic Systems, 1(4), 261-282, 2013.
21. Conigliaro, R.A., Kerzhner, A.A. and Paredis, C.J.J. (2009). Model-Based Optimisation of a Hydraulic Backhoe using Multi-Attribute Utility Theory. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 1. 0565. <https://doi.org/10.4271/2009-01-0565>
22. Moore, R. and Paredis, C.J.J. (2010). Variable Fidelity Modeling as Applied to Trajectory Optimization for a Hydraulic Backhoe. Proceedings of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. August 30 –September 2 2009, San Diego. pp. 79-90. <https://doi.org/10.1115/DETC2009-87522>
23. Zhang, J.-R. Wang, A.-L., Song, S.-T. and Cui D.-M. (2011). An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2011, 2. 007
24. Nam, B.X. and Drebenstedt, C. (2009). Use of hydraulic backhoe excavator in surface mining, Innovative Entwicklung und Konzepte in der Tagebautechnik. Freiberg, TU Bergakademie. pp. 175-189.
25. Tomakov, P.I. Gidravlicheskie obratnye lopaty dlya razrabotki slozhnostrukturnykh mestorozhdeniy Kuzbassa / P.I. Tomakov, A.S. Nenashev, B.N. Rybakov // Obzor TsNIEUgol'. – M., 1984. – 49 s.
26. Anistratov, Yu.I. Proektirovanie kar'erov / Yu.I. Anistratov, K.Yu Anistratov // M., «Gemos-Limited». – 2003. – S. 173.
27. Dubinkin D.M. Obosnovanie neobhodimosti sozdaniya tyazhelykh platform dlya otkrytykh gornyykh rabot // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – 2020. – № 4 (150). – S. 59-64.
28. Dubinkin D.M. Sovremennoe sostoyanie tekhniki i tekhnologiy v oblasti avtonomnogo upravleniya dvizheniem transportnykh sredstv ugol'nykh kar'erov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – 2019. – № 6 (146). – S. 8-15.
29. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri razrabotke ugol'nykh mestorozhdeniy otkrytym sposobom» (utv. Priказom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 20 noyabrya 2017 g. № 488).

Авторы

Дубинкин Д.М.,

канд. техн. наук, доцент кафедры
металлорежущих станков и инструментов,
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический
университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аксенов В.В.,

докт. техн. наук, главный научный сотрудник
e-mail: 55vva42@mail.ru

Authors

Dmitry M. Dubinkin,

PhD, Associate Professor, Department of Metal
Cutting Machine Tools and Instruments
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
28 Vesennaya str., Kemerovo, Russia, 650000

Vladimir V. Aksenov,

Dr.Sc. (Tech.), Chief researcher
e-mail: 55vva42@mail.ru



Федеральный исследовательский центр угля и
углехимии Сибирского отделения Российской
академии наук, Институт угля
650003, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

Federal State Budget Scientific Centre «The Federal
Research Center of Coal and Coal-Chemistry of
Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences», Institute of Coal
10 Leningradsky Av., Kemerovo, Russia, 650003

Тюленев М.А.,

канд. техн. наук, профессор кафедры открытых
горных работ
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Maxim A. Tyulenev,

PhD, Professor of Open Pit Mining Department
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Марков С.О.,

канд. техн. наук, доцент кафедры
маркшейдерского дела и геологии
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Sergey O. Markov,

PhD, Associate Professor of Department of
Surveying and Geology
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический
университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
28 Vesennyya str., Kemerovo, Russia, 650000

Библиографическое описание статьи

Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Тюленев М.А.,
Марков С.О. Влияние горнотехнических
факторов на производительность беспилотных
карьерных автосамосвалов // Техника и
технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С.
42-69.

Cite this article

Dubinkin D., Aksenov V., Tyulenev M., Markov S.
The influence of geotechnical factors on the output of
quarry autonomous haul trucks, *Journal of mining
and geotechnical engineering*, 4(11):42.