

**КӨЛІК, КӨЛІКТІК ИНЖЕНЕРИЯ
TRANSPORT, TRANSPORT ENGINEERING
ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ**

УДК 622.68

DOI 10.52167/1609-1817-2024-130-1-17-29

Қ.Т. Есбосынов¹, Ғ.Б. Бақыт², Е.Е. Баубекөв², Ғ.К. Есжанова²

¹Қарагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, Казахстан

²Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

E-mail: gaba_b@bk.ru

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ**

Аннотация. В научной статье рассмотрены вопросы сложности трасс карьерных автодорог, дана методика определения рационального уклона постоянных и временных дорог на разрезе. Для планирования работы автотранспорта на карьерах большое значение имеет изучение распределения скоростей движения в зависимости от характеристик дорожных трасс. Установление этих закономерностей позволяет также более точно рассчитывать скорости движения карьерных автосамосвалов методом математического моделирования.

Исследование рациональных параметров карьерных автодорог для автосамосвалов проводилось непосредственно в условиях рудника «Донской» Донского горно-обогатительного комбината АО «ТНК «Казхром» Республики Казахстан.

Ключевые слова. Ширина проезжей части, дорожные покрытия, сопротивление качению дорог, величина уклона автодорог, коэффициент сцепления колеса, пропускная способность дорог.

Введение.

Разрезы рудника «Донской» Донского горно-обогатительного комбината относятся к карьерам глубинного типа. Режим работы транспортных средств на всех трассах одинаков: груженные автосамосвалы движутся на подъем, порожные – на спуск. Сложность дорожной трассы можно оценить следующими основными параметрами [1]:

- протяженностью - L ;
- высотой подъема груза - H ;
- средневзвешенным уклоном - $i_{ср}$;
- величиной руководящего уклона i_p и сочетаниями уклонов;
- длиной отдельных элементов трассы и их сочетаниями;
- величиной радиусов поворотов и их количеством на 1 км протяженности трассы - R_n и n_R .

Сложность дорожных условий определяется, кроме сложности трассы, состоянием дорожного покрытия.

В таблице 1 приведены средние расстояния транспортирования автосамосвалами различных типов за период 2019-2022 гг.

Только в отдельные месяцы расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами с электромеханической трансмиссией несколько превышало 4 км; в основном же оно колеблется в диапазоне 3-4 км. Расстояние транспортирования автосамосвалами БелАЗ-7547 составляет в среднем 2,4-2,7 км, достигая в отдельные месяцы – 3 км. Снижение расстояния транспортирования автосамосвалами БелАЗ-7547 в 2022 г. объясняется увеличением объемов перегрузок вскрыши на перегрузку [1].

Руководящий уклон принят равным 8,0 %, однако на отдельных участках превышает это значение.

Таблица 1 – Средние расстояния транспортирования автосамосвалами различных типов за период 2019-2022 гг.

А/с Месяцы	БелАЗ-7547				БелАЗ-75131			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
I	2,92	2,93	2,81	2,52	3,44	3,77	3,68	4,18
II	2,97	2,98	2,82	2,61	2,99	3,61	3,59	4,15
III	2,75	2,86	2,88	2,65	2,94	3,67	3,83	4,23
IV	2,77	2,76	2,45	2,41	2,97	3,51	3,01	4,24
V	2,54	2,59	2,26	2,30	2,95	3,38	4,29	3,70
VI	2,56	2,66	2,22	2,45	2,69	2,86	3,17	3,51
VII	2,66	2,62	2,15	2,36	3,0	3,21	3,35	4,10
VIII	2,37	2,65	2,42	2,08	3,02	-	3,65	3,35
IX	2,48	2,58	2,36	2,30	3,73	-	3,74	3,47
X	2,52	2,69	2,44	2,26	3,30	3,55	3,12	3,44
XI	2,69	2,80	2,58	2,11	3,17	3,75	3,50	3,80
XII	2,79	2,84	2,46	-	3,23	3,93	3,79	-
Сред. знач.	2,69	2,80	2,58	2,11	3,17	3,75	3,50	3,80

На рисунках 1 и 2 приведены результаты числового анализа характерной трассы, выполненного с помощью электронной вычислительной машины. Гистограммы выражают собой вероятность появления определенных сочетаний длин смежных элементов профиля и сочетаний уклонов. Числовой анализ показывает, что по элементной структуре трасса сложная. Такой анализ позволяет в дальнейшем прогнозировать скорости движения автосамосвалов на маршруте [2].

Что касается извилистости трасс, то на разрезах в плане они не сложные: число поворотов на 1 км трассы составляет всего 1-2, что значительно меньше, чем на ряде других крупных карьеров.

Дорожные покрытия постоянных и временных дорог выполнены из щебня и хорошо укатаны. Сопротивление качению постоянных дорог составляет в среднем 300-400 Н/т, временных от 50 до 70 Н/т в летний период. Зимой сопротивление качению дорог несколько меньше за счет лучшей их укатанности (снежное покрытие).

Ширина проезжей части определяется автосамосвала и величинами, зависящими от скорости движения: зазором между встречными машинами (2 ш) и расстоянием от оси колеса машины до кромки проезжей части (n) (рисунок 3).

По рекомендациям, изложенным в работе [3]:

$$m = n = 0,5 + 0,005v, \quad (1)$$

где V - расчетная скорость движения, км/ч.

На основании опыта эксплуатации карьерных автосамосвалов на карьерах и проведенных исследований можно принять $m = 1,0$ м, а $n = 1,2$ без учета скорости движения автосамосвала.

С учетом скорости движения:

$$m = 1,0 + 0,005v, \quad (2)$$

$$n = 1,2 + 0,005v, \quad (3)$$

Тогда ширина проезжей части дороги определится из выражений:

- однополосный

$$B_1 = c + 2n, \quad (4)$$

- двухполосный

$$B_2 = 2 * (n + c + k + m). \quad (5)$$

Величины, приведенные в формулах 4 и 5, показаны на рисунках 3 и 4.

Рассчитанная по данным формулам ширина проезжей части дорог для автосамосвалов БелАЗ-7547 при скорости движения 40 км/ч будет равна, м:

Временные дороги (срок службы до 1 года):

Однополосные – 6,5 м,

Двухполосные – 14,0 м.

Постоянные дороги:

Однополосные – 7,0 м,

Двухполосные – 15,0 м.

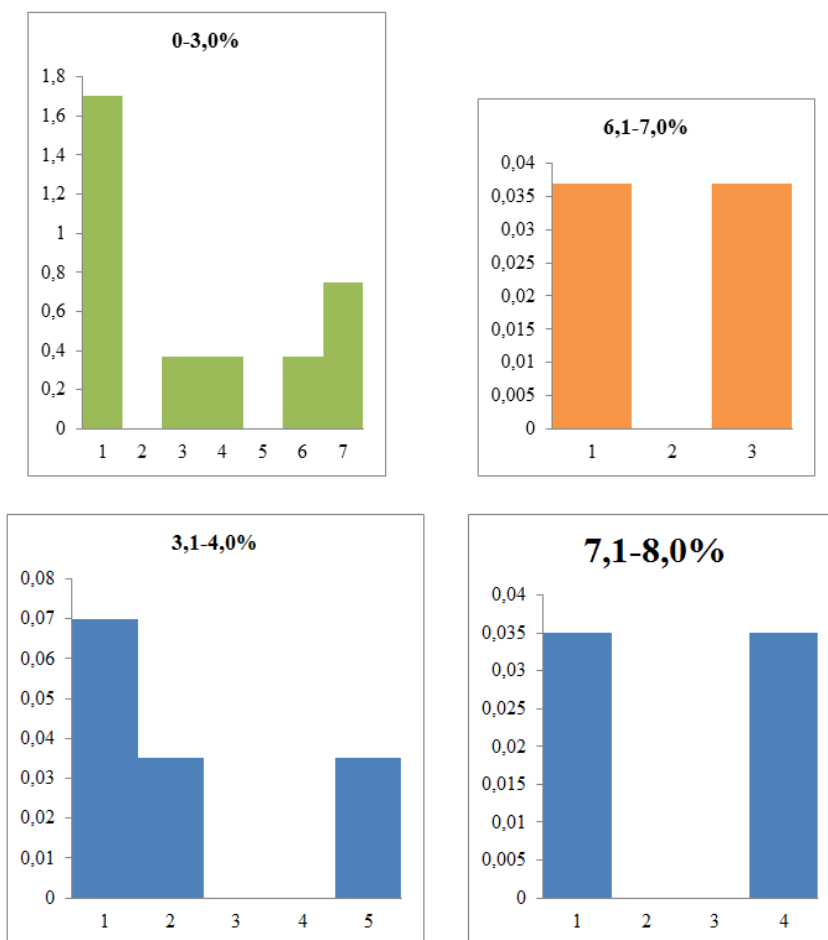


Рисунок 1 - Гистограммы распределения сочетаний длин участков

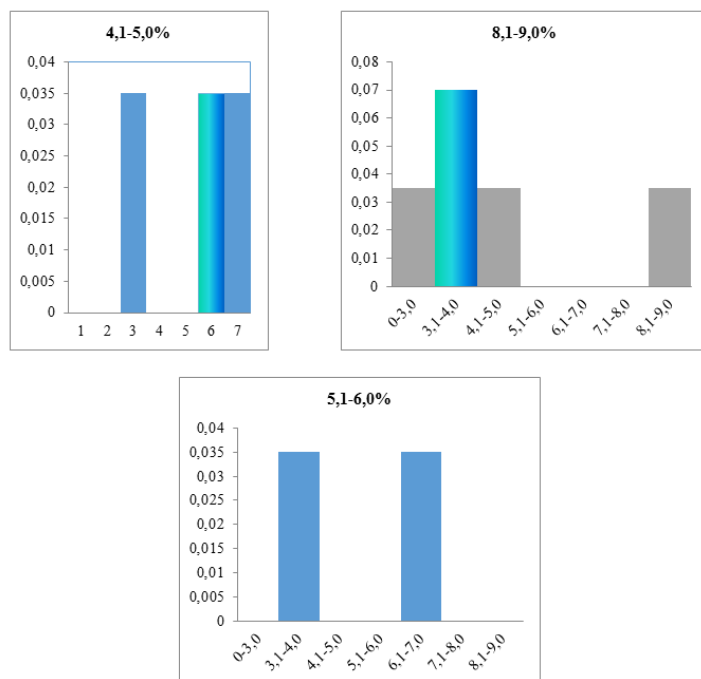


Рисунок 2 - Гистограммы распределения сочетаний уклонов участков

Ширина земляного полотна дорог больше ширины проезжей части на ширину двух обочин. Ширину каждой обочины рекомендуется принимать равной 1,5 м на постоянных дорогах и 1,0 м – на временных [4].

Тогда ширина земляного полотна автодорог для автосамосвалов БелАЗ-7547 при скорости движения 40 км/ч будет равна, м:

Временные дороги (срок службы до 1 года):

Однополосные – 8,5 м,

Двухполосные – 16,0 м.

Постоянные дороги:

Однополосные – 10,0 м,

Двухполосные – 18,0 м.

Таким образом, для эффективной эксплуатации дорогостоящих мощных автосамосвалов БелАЗ-7547 на разрезе Донской необходимо расширить некоторые участки дорог до указанной величины. Это уширение можно выполнить за счет более полного использования коэффициента заложения (крутизны) откосов до предела, допустимого физико-механическими свойствами пород.

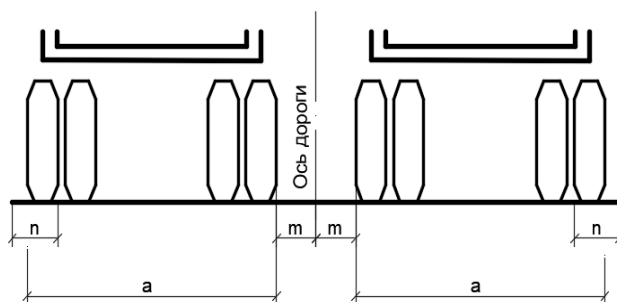


Рисунок 3 - Схема к определению ширины проезжей части при двухполосном движении

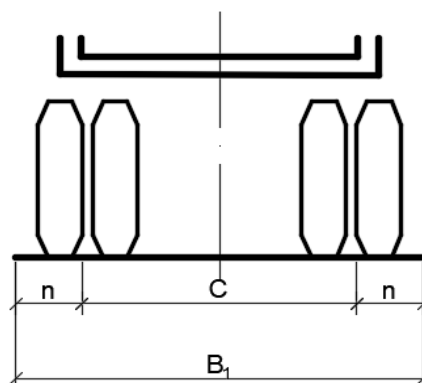


Рисунок 4 - Схема к определению ширины проезжей части при однополосном движении

При прохождении кривых автосамосвал занимает большую ширину проезжей части, чем на прямолинейном участке дороги. Поэтому криволинейные участки дорог следует уширять [5].

Уширение однополосной и двухполосной дороги на кривых определяется по формулам [6]:

$$B_1 = \frac{l^2}{R} + \frac{0,1v}{\sqrt{R}},$$
$$B_2 = \frac{l^2}{2R} + \frac{0,05v}{\sqrt{R}},$$
(6)

где l – расстояние от задней оси автосамосвала до переднего бампера, м;

R – радиус кривой, м;

V – расчетная скорость движения, км/ч.

В карьерных условиях, где используются автосамосвалы большой длины (6-8 м) и сравнительно малые скорости движения, решающее влияние на величину уширения проезжей части имеет длина машин и вписывание их в кривые малых радиусов. Влияние скорости на уширение проезжей части определяется величиной уширения примерно 0,1 м на каждые 5 км/ч [7]. Величина уширения дорог на кривых для автосамосвалов БелАЗ-7547 при расчетных радиусах поворота составит:

Временные дороги ($R = 22$ м):

Однополосные – 1,5 м,

Двухполосные – 3,0 м.

Постоянные дороги ($R = 55$ м):

Однополосные – 0,8 м,

Двухполосные – 1,5 м.

По условиям вписывания автосамосвалов уширение проезжей части должно осуществляться практически на всех кривых с радиусом менее 300 м, в т.ч. и на временных дорогах.

Материалы и методы.

Величина уклона автодорог является одним из важнейших параметров, определяющих безопасность движения автосамосвалов, приведенные затраты на транспортирование 1 т горной массы и себестоимость транспортирования.

Автосамосвалы БелАЗ-7547 являются скоростными машинами с хорошими тяговыми качествами, способными преодолевать в нормальных условиях уклоны до 100-120%. Однако скорость их движения на таких уклонах, по замерам, не превышает 10-8 км/ч. На разрезе автосамосвалы на спуск идут порожняком, поэтому торможение их происходит не в самом тяжелом режиме (при спуске с грузом). Наличие у самосвала двух систем торможения – механической и электродинамической – обеспечивает безопасное движение машин под уклон. Однако на разрезе Донской процесс движения автосамосвалов осложняется климатическими особенностями Западного Казахстана – возникновением гололеда в различные сезоны года, снижением видимости в осенне-зимний период [4, 7].

Определению рационального уклона карьерных автодорог по экономическим критериям посвящена работа [2].

Исследование выполнено методом экономико-математического моделирования. При разработке экономико-математической модели для выбора оптимального уклона приняты типичные дорожные трассы и условия работы автотранспорта на открытых горных разработках, использованы все изученные к настоящему времени технологические и экономические зависимости, в том числе и износ авторезины при изменении уклона.

Исследования показали, что по экономическим критериям зона оптимальных минимальных уклонов автодорог для самосвалов с колесной формулой 4x2 находится в пределах 8,0-12,0%.

Завод-изготовитель автосамосвалов семейства БелАЗ не рекомендует эксплуатацию машин при уклонах более 8,0%. Следовательно, прежде чем переходить на более крутые уклоны, нужно либо переходить на колесную формулу 4x4, либо значительно усовершенствовать тормозную систему у автосамосвалов с колесной формулой 4x2, в частности у БелАЗ-7547 [5, 8].

Однако и тот и другой путь на данном этапе весьма проблематичен. Чтобы их реализовать, потребуется определенное время. Поэтому следует брать за основу другой критерий при выборе величины уклона безопасности движения машин. При принятой на разрезе Донской максимальной скорости автосамосвалов по карьерным дорогам 40 км/ч и при коэффициенте сцепления колеса с дорогой $f = 0,2$ тормозной путь автосамосвала БелАЗ-7547 при движении под уклон 8,0% составит [6]:

$$L_T = L_{p,b} + L_g = 0,278vt_{p,b} + \frac{(1+\gamma)v^2}{254(\varphi + \omega_0 \pm i)} =$$
$$0,278 \cdot 40 \cdot 1,5 + \frac{(1+0,12)40^2}{254(0,2+0,03-0,08)} = 63,6 \text{ м}$$

где $L_{p,b}$ - путь, проходимый автосамосвалом за время реакции водителя и приведения тормозов в действие.

При ухудшении условий сцепления колеса с дорогой (появление гололеда) тормозной путь составит (при $f = 0,15$) 78,2 м. Такой большой тормозной путь недопустим при работе автосамосвалов в карьере, так как при этом резко снижается пропускная способность карьерных автодорог. Поэтому в целях повышения безопасности работ и пропускной способности дорог, на разрезе Донской при использовании автосамосвалов БелАЗ-7547 следует рекомендовать величину руководящего уклона дорог, равную $i_p = 7,0\%$ [9]. Дальнейшее уменьшение величины уклона нерационально из-за увеличения объемов горных работ, протяженности трассы и пр. Кроме того, в условиях действующего карьера варьировать величиной уклона на постоянных дорогах практически невозможно.

Результаты.

Целью исследования являлось установление характеристик нагрузочных режимов электромеханической трансмиссии большегрузных автосамосвалов на типичном маршруте карьера в зависимости от условия движения – характеристик дорожной трассы и степени весовой загрузки автосамосвала. Нагрузочные режимы трансмиссии определяется следующими параметрами: частотой оборотов вала дизеля (n_d), напряжением главного генератора (u_r), токама правого (I_p) и левого (I_l) тяговых двигателей и суммой этих токов (I_d), мощностью трансмиссии ($N_{тр} = I_d u_r$). Для оценки нагрузочных режимов трансмиссии важно знать не только абсолютные значения этих параметров, но по и их распределения во времени рейса или по длине маршрута, исходя из поставленной цели, решались следующие задачи [3, 7]:

- 1) Разработка методики исследований и измерительно-регистрающей аппаратуры.
- 2) Выбор типичного маршрута, позволяющего осуществлять движение испытуемого автосамосвала в общем транспортном потоке карьера.
- 3) Обеспечение различной весовой загрузки автосамосвала мерными грузами.
- 4) Проведение натурных экспериментов в необходимом объеме.

В качестве основного метода исследования принят производственный эксперимент. Методикой экспериментальных исследований предусматривалась функция массы перевозимого груза. При этом использовались бетонные блоки массой от 1,8 до 2,5 т. Погрузка их в автосамосвал сопровождалась взвешиванием каждого блока динамометром. Кроме того, автосамосвал при некоторых экспериментальных заездах грузился рядовой горной массой; после проведения эксперимента автосамосвал тщательно взвешивался на стационарных механических весах, при этом масса груза определялась как среднее из 3-4 взвешиваний.

Экспериментально исследования осуществлялись при помощи комплекта специальной измерительно-регистраемой аппаратуры на базе осциллографа К-12-22. Частота вращения коленчатого вала двигателя карьерного автосамосвала фиксировалась на фотобумаге осциллографа с помощью блока выпремления и преобразования сигнала, снимаемого со штатного датчика двигателя. Токи тяговых двигателей измерялись с помощью встроенных шунтов 1000x75x0,5. Напряжение генератора измерялось по стандартной схеме [8].

Градуировка датчиков осуществлялась после настройки и балансировки измерительных каналов и закрепления гальванометра. Частота вращения коленчатого вала дизеля контролировалось по показаниям штатного датчика. Для градуировки измерительных каналов токов тяговых двигателей использовался миллиамперметр. Значения напряжения главного генератора фиксировались с помощью тестера.

Ошибка измерительной цепи складывается из погрешностей датчика и записывающего устройства (паспортные данные), ошибки масштаба (градировочная ошибка) и ошибки, возникающей при обработке осциллограмм.

Суммарная относительная ошибка составляла для каналов, измеряющих частоту вращения коленчатого вала дизеля - 8,9%, ток - 4,2%, направление - 9,6%.

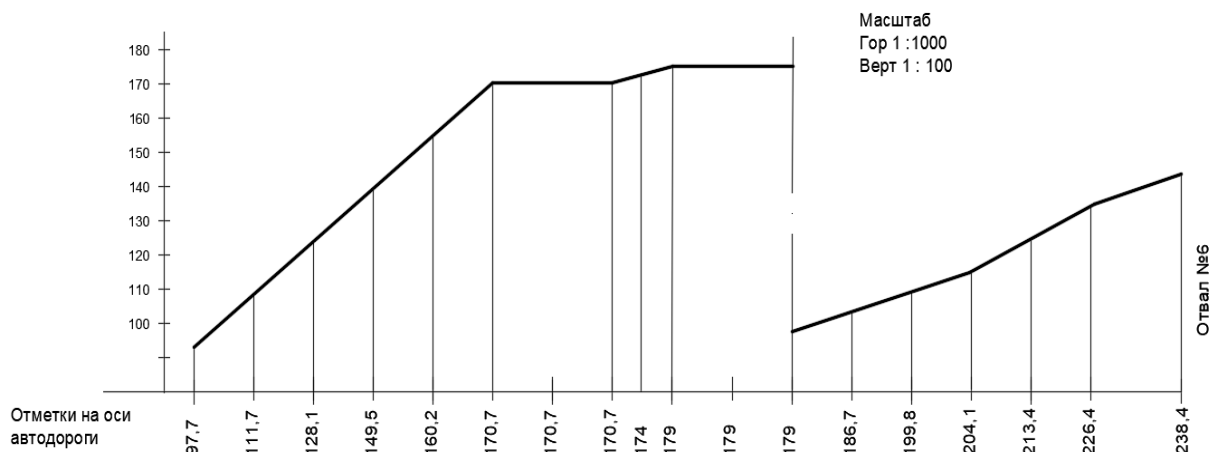
Объектом исследования являлся карьерный автосамосвал БелАЗ-7547 с двигателем «Пилстик» БРАЧ, шасси №7. Пробег с начала эксплуатации 57 тыс.км.

Экспериментальные заезды выполнялись в августе 2022 г. На маршруте «экскаватор №40 – отвал №6» по северному борту разреза Донской. Длина маршрута = 3,7 км, высота подъема груза $H = 141$ м, средневзвешенный уклон $i_{ср.в.} = 3,8\%$, сложность продольного профиля дороги на маршруте $s = 6,4$. Среднее число поворотов на 1 км дороги $n_{п.} = 0,24$, а число перекрестов и примыкание дорог $n_{пр.} = 1,2$. Покрытие дороги на

всем протяжении щебеночное, укатанное, розное, обработанное пылеподавляющим раствором [10]. Продольный профиль маршрута показан на рисунке 5.

Исследуемые параметры электромеханической трансмиссии различной весовой загрузки карьерного автосамосвала изменялись в широких пределах (таблица 2).

При движении порожняком значения указанных параметров варьировали в диапазоне: оборота двигателя в мин. - от 700 до 1400, сумма токов тяговых двигателей - от 0 до 700 А, напряжение главного генератора - от 0 до 500 В, мощность трансмиссии - от 0 до 350 кВт.



Уклоны и расстояния	2,0	5,4	7,0	4,5	5,2	0	3,2	2,4	0	3,1	4,3	2,1	3,7	6,4	2,5
	200	300	300	230	200	300	100	200	330	240	300	200	240	200	460

Рисунок 5 - Продольный профиль маршрута «экскаватор №4 – отвал №2»

Таблица 2 – Пределы изменения параметров электромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала БелАЗ-7547

Масса груза, G, т	Параметры электромеханической трансмиссии			
	Число оборотов двигателя $n_{дв}$, об / мин	Сумма токов правого и левого тяговых двигателей, $I_{дв}$, А	Напряжение главного генератора $U_{г}$, В	Мощность трансмиссии, $N_{тр}$, кВт
60	880 - 1500	0 - 990	0 - 695	0 - 500
70	800 - 1500	0 - 900	0 - 650	0 - 500
80	900 - 1500	0 - 1000	0 - 690	0 - 500
85	860 - 1500	0 - 1000	0 - 650	0 - 500

По материалам экспериментальных заездов построены гистограммы распределения параметров электромеханической трансмиссии для различных масс транспортируемого груза. Одна из таких гистограмм показана на рисунке 6.

Проверка соответствия полученного после вычислений на электронно-вычислительной машине закона распределения исследуемой статистической величины тому или иному известному закону распределения (нормальному, логарифмически-нормальному и Вейбулла) производилось по критерию Пирсона χ^2 – квадрат [8]. В ходе проверки установлено, что все параметры трансмиссии груженого карьерного автосамосвала распределяются по закону Вейбулла.

Плотность вероятности $f(x)$ определялась по известной формуле:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}, \quad (8)$$

где x - значения исследуемого параметра.

При движении карьерного автосамосвала порожняком распределения суммы токов правого и левого тяговых двигателей ($\sum I_{дв}$), напряжения тягового генератора (U_r) и мощность трансмиссии ($N_{тр}$) соответствуют закону Вейбулла, а числом оборотов двигателя ($n_{дв}$) – логарифмически-нормальному закону. Плотность вероятности в последнем случае определялась по формуле [11]:

$$f(x) = \frac{1}{bx\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \delta)^2}{2b^2}\right), \quad (9)$$

где x - значения исследуемого параметра.

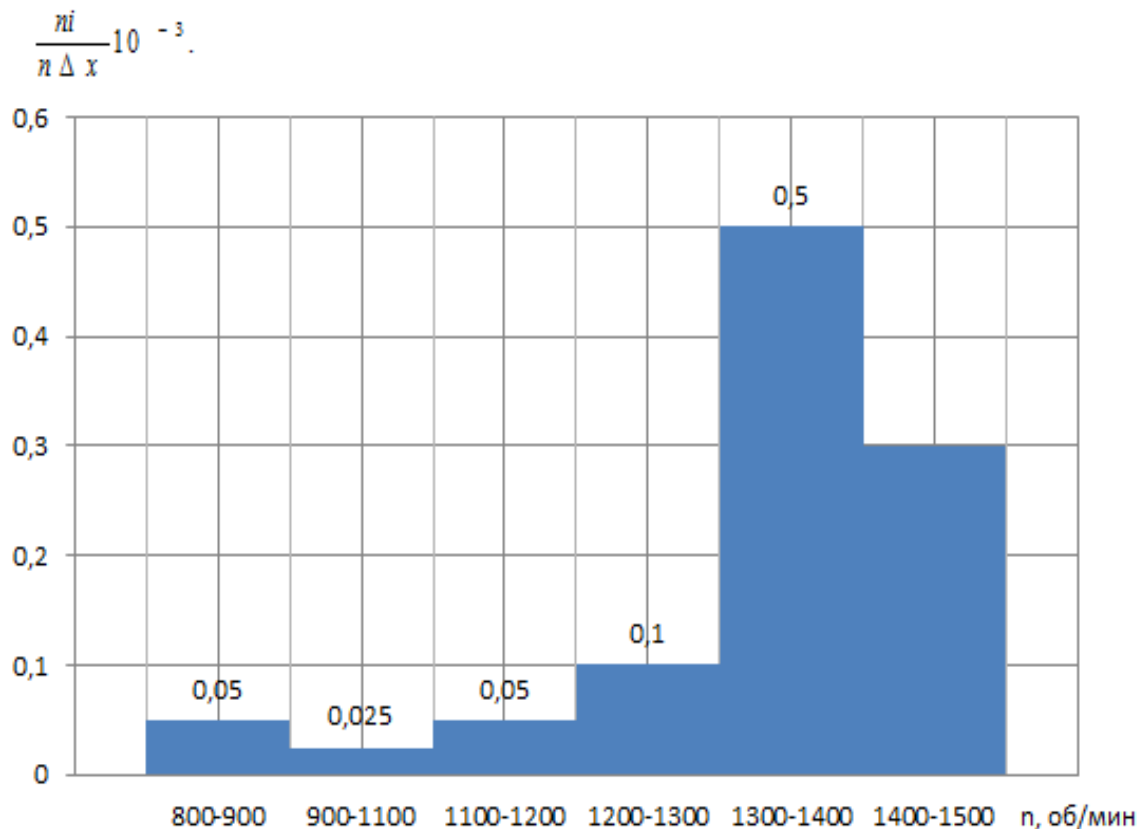


Рисунок 6 - Гистограмма распределения числа оборотов двигателя при $G = 74$ т

С целью определения нагрузочных режимов тяговых электродвигателей были проведены специальные экспериментальные заезды с грузом 82 т. На горизонтальной площадке со щебеночным неукатанным покрытием [11]. Заезды проводились при температуре наружного воздуха 9° С и влажном состоянии покрытия. Радиус поворота закреплялся по переднему внешнему колесу.

Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения токов тяговых двигателей карьерного автосамосвала БелАЗ-7547 при движении на поворотах

№ п/п	Параметры	Ед. изм.	Радиус поворота 16 м.		Радиус поворота 29 м.	
			левый	правый	левый	правый
1.	Скорость движения автосамосвала	км/ч	14,5	13,4	19,7	19,5
2.	Средний ток левого двигателя	А	417,2	189	324,4	284,3
3.	Среднеквадратическое отклонение	А	43,0	36,5	48,9	36,7
4.	Средний ток правого двигателя	А	215,2	389,4	275,0	301,5
5.	Среднеквадратическое отклонение	А	19,5	48,9	35,2	34,1
6.	Разность токов внутреннего и внешнего двигателей	А	201,9	199,9	49,4	17,1
7.	Увеличение тока на внутреннем двигателе по сравнению с внешним	%	93	104	17	115

Из таблицы видно, что при относительно малых радиусах поворота ($R=16\text{м}$) разность токов внутреннего и внешнего двигателей (по отношению к центр поворота) практически одинакова при левом и правом поворотах. С увеличением радиуса поворота R до 20 м картина меняется: при левом повороте эта разница почти в три раза больше, чем при правом. Причинность этого явления требует дополнительного изучения.

В результате экспериментальных исследований установлены фактические скорости движения груженых карьерных автосамосвалов БелАЗ-7547 на типичном маршруте карьера. Значения скорости фиксировались через каждые 7,21 м пути, что соответствует длине окружности колеса.

Выводы.

Рациональную ширину карьерных автодорог в условиях разреза Донской следует принимать для двухполосных дорог равной 18 и 16 м соответственно для постоянных и временных дорог и 10 и 8,5 м – для однополосных постоянных и временных дорог. На криволинейных участках действующих автодорог необходимо сделать уширение в соответствии с приведенными в отчете рекомендациями. Рациональный уклон постоянных и временных дорог на разрезе следует принимать по условиям безопасности к обеспечению достаточно высокой пропускной способности автодорог равным $i = 7,0\%$.

Проведенными экспериментальными исследованиями установлены пределы изменения значений основных нагрузочных параметров электромеханической трансмиссии карьерных автосамосвалов БелАЗ-7547 в зависимости от массы перевозимого груза для карьеров глубинного типа.

Установлены эмпирические зависимости между массой перевозимого груза и параметрами распределения Вейбулла для всех параметров электромеханической трансмиссии в реальных условиях эксплуатации, что позволяет моделировать различные нагрузочные режимы трансмиссии.

Экспериментально установлено аномальное явление в режиме работы правого и левого тяговых двигателей, заключающееся в неодинаковом влиянии радиуса поворота на соотношение их токов.

Результаты проведенного исследования позволяют оценить соответствие конструктивных параметров трансмиссии большегрузных карьерных автосамосвалов условиям их эксплуатации, и могут быть использованы заводом-изготовителем при конструктивных расчетах и совершенствовании карьерных автосамосвалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кабикенов С.Ж., Интыков Т.С. Көлік техникасын пайдаланудың негіздері. - Қарағанды: ҚарМТУ баспасы, 2015. - 261 б.
- [2] Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. - СПб.: Наука, 2006. - 387 с.
- [3] Кулецкий В.Н., Рыбинский А.Б., Горохов А.В. и др. Подход к управлению технической готовностью карьерного автотранспорта (Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) отдельные статьи (специальный выпуск). – М.: Горная книга, 2015. - №5 - 24 с.
- [4] Карпунин М.Г., Любинецкий Я.Г., Майданчик Б.И. Жизненный цикл и эффективность машин. - М.: 2016. - 141 с.
- [5] Main products, catalog - 2016/2017. г. Жодино, Минская область, Республика Беларусь, 2016.
- [6] Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 75 т и более. - М.: 1991. - 86 с.
- [7] Yesbossynov K., Buyalich G., Kabikenov S., Sembayev N., Jailaubekov M. Mathematical Interpretation of Open-Pit Dump Trucks Diesel Engine Durability, E3S Web of Conferences 174, 03004 (2020) Vth International Innovative Mining Symposium, doi.org/10.1051/e3sconf/202017403004.
- [8] Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. Career vehicles of the CIS countries in the 21st century. - SPb.: Nauka, 2006. - 387 p.
- [9] Dižo J., Blatnický M., Melnik R., Kravchenko O. A Mathematical Model of Operation of a Semi-Trailer Tractor Powertrain. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina 2022, 24(3):B267-B274 DOI: 10.26552/com.C.2022.3.B267-B274.
- [10] Rabinovich, E., Gritsuk, I. V., Zuiev, V., Evgeny, E. Y., Golovan, A., Zybtshev, Y., Volkov, V., Gerlici, J., Kravchenko, K., Volska, O., Rudnichenko, N. Evaluation of the powertrain condition based on the car acceleration and coasting data. SAE Technical Papers [online]. 2018. ISSN 0148-7191, eISSN 2688-3627. Available from: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1771>.
- [11] Abdrashitov R., Ablyazov V., Alexandrova T. Theory and practice of regional engineering // Publishing house «Polytechnic», Saint Petersburg, 1998. - 278.

REFERENCES*

- [1] Kabikenov S.Zh., Intykov T.S. Kөлік tehnikasyn pajdalanudyң negizderi. - Қарағанды: ҚарМТУ баспасы, 2015. - 261 б.
- [2] Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyrjanov I.V. Kar'ernyj avtotransport stran SNG v XXI veke. - SPb.: Nauka, 2006. - 387 s.
- [3] Kuleckij V.N., Rybinskij A.B., Gorohov A.V. i dr. Podhod k upravleniju tehnicheskoy gotovnost'ju kar'ernogo avtotransporta (Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) otdel'nye stat'i (special'nyj vypusk). – М.: Gornaja kniga, 2015. - №5 - 24 s.
- [4] Karpunin M.G., Ljubineckij Ja.G., Majdanchik B.I. Zhiznennyj cikl i jeffektivnost' mashin. - М.: 2016. - 141 s.
- [5] Main products, catalog - 2016/2017. g. Zhodino, Minskaja oblast', Respublika Belarus', 2016.
- [6] Polozhenie o tehnicheskom obsluzhivanii, diagnostirovanii i remonte kar'ernyh samosvalov BelAZ gruzopod#emnost'ju 75 t i bolee. - М.: 1991. - 86 s.

[7] Yesbossynov K., Buyalich G., Kabikenov S., Sembayev N., Jailaubekov M. Mathematical Interpretation of Open-Pit Dump Trucks Diesel Engine Durability, E3S Web of Conferences 174, 03004 (2020) Vth International Innovative Mining Symposium, doi.org/10.1051/e3sconf/202017403004.

[8] Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. Career vehicles of the CIS countries in the 21st century. - SPb.: Nauka, 2006. - 387 p.

[9] Dižo J., Blatnický M., Melnik R., Kravchenko O. A Mathematical Model of Operation of a Semi-Trailer Tractor Powertrain. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina 2022, 24(3):B267-B274 DOI: 10.26552/com.C.2022.3.B267-B274.

[10] Rabinovich, E., Gritsuk, I. V., Zuiev, V., Evgeny, E. Y., Golovan, A., Zybtssev, Y., Volkov, V., Gerlici, J., Kravchenko, K., Volska, O., Rudnichenko, N. Evaluation of the powertrain condition based on the car acceleration and coasting data. SAE Technical Papers [online]. 2018. ISSN 0148-7191, eISSN 2688-3627. Available from: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1771>.

[11] Abdrashitov R., Ablyazov V., Alexandrova T. Theory and practice of regional engineering // Publishing house «Polytechnic», Saint Petersburg, 1998. - 278.

Кайратбек Есбосынов, докторант, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, kairatbek_6d071300@mail.ru

Ғабит Бақыт, PhD, қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, gaba_b@bk.ru

Ермек Баубеков, т.ғ.д., қауымдастырылған профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, baubekov3@mail.ru

Гульчат Есжанова, ф.ғ.к., ассистент профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, gulchat.eszhanova@mail.ru

КАРЬЕРЛІК ЖОЛДАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУДІҢ НЕГІЗГІ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аңдатпа. Ғылыми мақалада карьерлік автожолдар трассаларының күрделілігі мәселелері қарастырылған, қимадағы тұрақты және уақытша жолдардың ұтымды еңісін анықтау әдістемесі берілген. Карьерлерде автокөліктің жұмысын жоспарлау үшін жол трассаларының сипаттамаларына байланысты қозғалыс жылдамдығының таралуын зерттеу үлкен маңызға ие. Осы заңдылықтарды белгілеу сонымен қатар математикалық модельдеу әдісімен карьерлік автосамосвалдардың қозғалыс жылдамдығын дәлірек есептеуге мүмкіндік береді.

Автосамосвалдарға арналған карьерлік автожолдардың ұтымды параметрлерін зерттеу Қазақстан Республикасының «Қазхром» ТҰК «АҚ Дон тау-кен байыту комбинатының «Донской» кеніші жағдайында тікелей жүргізілді.

Түйінді сөздер. Жүріс бөлігінің ені, жол жамылғылары, жолдардың айналуына төзімділік, автожолдардың көлбеу шамасы, доңғалақтың ілінісу коэффициенті, жолдардың өткізу қабілеті.

Kairatbek Yesbossynov, doctoral student, A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, kairatbek_6d071300@mail.ru

Gabit Bakyt, PhD, associate professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, gaba_b@bk.ru

Yermek Baubekov, doctor of technical sciences, associate professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, baubekov3@mail.ru

Gulchat Eszhanova, candidate of philological sciences, assistant professor, Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan, gulchat.eszhanova@mail.ru

MAIN RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF CARRIAGE ROADS

Abstract. The scientific article considers the issues of complexity of quarry road routes, gives a method for determining the rational slope of permanent and temporary roads at the section. For planning the work of motor transport at quarries, the study of the distribution of travel speeds depending on the characteristics of road routes is of great importance. Establishment of these regularities also allows to calculate more accurately the speeds of quarry dump trucks by the method of mathematical modeling.

The study of rational parameters of open pit roads for dump trucks was conducted directly in the conditions of the mine «Donskoy» of Donskoy Mining and Processing Plant of JSC «TNC «KazChrome» of the Republic of Kazakhstan.

Keywords. The width of the carriageway, road surfaces, rolling resistance of roads, the slope of roads, the coefficient of wheel adhesion, road capacity.
