



УДК 629.113

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОМОСТИ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ТКВЧ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН****Юсупов Умидбек Болтаевич**

DSc., и.о. профессора Ташкентского государственного транспортного университета

Исраилов Машраб Эркинович

начальник Управления транспорта АО “Навоийского ГМК”

Болтаева Мохинурмагистр Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
факультет “Математика”

Shinalarning haqiqiy TKVCH (soatiga tonna-kilometr) ko'rsatkichini hisoblashda barcha dunyoga mashhur shinalar ishlab chiqaruvchilari va kon-metallurgiya kombinatining shinalar mutaxassislari yagona formuladan foydalanadilar. Ushbu formula faqat shinaga tushadigan o'rtacha yuklamani, avtomobil o'rtacha tezligini, atrof-muhit haroratini va tashish masofasini hisobga oladi. Bu formula boshqa omillarni hisobga olmaydi, masalan: marshrutning bo'ylama qiyaligi, shinalar ichki bosimini, yo'l sharoitlarini, shina rezinasining turi va tarkibini, avtomobilning texnik holatini, yukning kuzovga to'g'ri joylashishini, shinalar protektorining qoldiq balandligini va boshqalar. Ushbu maqolada karer sharoitida, shinalar haqiqiy TKVCHga ko'rsatkichiga ta'sir qiluvchi barcha omillarning tahlili keltirilgan va eksperimental natijalar asosida har bir omilning TKVCHga ta'sirining darajasi aniqlangan.

Kalit so'zlar: shinalarning haqiqiy TKVCH, og'ir yuk ko'taruvchi karer samosvallari, kon-metallurgiya kombinati, marshrutning bo'ylama qiyaligi, transport vositasining texnik holati.

При расчётах фактического ТКВЧ (тонно-километры в час) шин все мировые производители и специалисты шин на горно-металлургических комбинатах пользуются единой формулой. Эта формула учитывает только среднюю нагрузку на шину, среднюю скорость транспортного средства, температуру окружающей среды и расстояние перевозки. При этом не учитываются другие факторы, такие как: продольный уклон маршрута, давление в шинах, дорожные условия, тип и состав резины шин, техническое состояние автомобиля, правильность размещения груза на кузове, остаточная высота протектора шин и др. Для создания конкурентоспособных конструкций шин понадобятся комплексный метод расчета прочностных и тепловых параметров, разработка новых методов проектирования и новых экспериментальных методов. В данной статье представлен анализ всех факторов, влияющих на фактический ТКВЧ в карьерных условиях, и на основе результатов эксперимента определена степень весомости влияния каждого фактора на ТКВЧ шин.

Ключевые слова: фактический ТКВЧ шин, большегрузные карьерные автосамосвалы, горно-металлургический комбинат, продольный уклон маршрута, техническое состояния автомобиля.

When calculating the actual TKPH (ton-kilometers per hour) of tires, all global tire manufacturers and specialists in mining and metallurgical plants use a single formula. This formula takes into account only the average load on the tire, the average speed of the vehicle, the ambient temperature and the transportation distance. It does not take into account other factors, such as: the longitudinal slope of the route, tire pressure, road conditions, the type and composition of tire rubber, the technical condition of the vehicle, the correct placement of the load on the body, the residual tread depth of the tires, etc. To create competitive tire designs, a



comprehensive method for calculating strength and thermal parameters, the development of new design methods and new experimental methods will be needed. This article presents an analysis of all the factors affecting the actual TKPH in quarry conditions, and based on the experimental results, the degree of significance of the influence of each factor on the TKPH of tires is determined.

Key words: actual TKPH of tires, heavy-duty quarry dump trucks, mining and metallurgical plant, longitudinal slope of the route, technical condition of the vehicle.

Введение

В мире производством стандартных, термостойких и устойчивых к порезам моделей крупногабаритных и сверхкрупногабаритных шин технологического транспорта для различных климатических и эксплуатационных условий занимаются крупные шинные компании. Приоритетными в этом направлении приоритетными считаются исследования, направленные на эффективное использование ресурсов за счет правильного подбора шин с учетом условий эксплуатации карьера [1, 3, 4]. При этом особо значимы исследования по совершенствованию метода расчёта фактического ТКВЧ шин большегрузного карьерного автосамосвала, с учетом постоянных изменений маршрутов в карьерах, среднего продольного уклона маршрутов и дорожного покрытия, крепости горной породы, нагрузки на шину, температуры окружающей среды, средней эксплуатационной скорости самосвала путем определения поправочных коэффициентов ТКВЧ шин [2, 5, 9].

Эксплуатация автомобильного транспорта в глубоких карьерах имеет следующие существенные особенности, определяющие в конечном итоге его эффективность [4, 6]: непрерывный, двухсменный режим работы большегрузных карьерных автосамосвалов; сложный профиль технологических дорог (средний продольный уклон расстояния перевозки достигает до 8%, затяжные повороты, наличие серпантинных и мн.др.); преобладающее направление движения с грузом на подъем; постоянное ухудшение условий эксплуатации, глубина карьера увеличивается от 20 до 50 м в год, увеличением крепости добываемой породы по мере углубления карьера; резко

континентальные климатические условия, проявляющиеся в резких амплитудах дневных и ночных, летних и зимних температур, засушливой природе, незначительном количестве выпадаемых атмосферных осадков, низкой относительной влажностью воздуха. Продолжительность дня летом составляет примерно 15 ч, температура воздуха до $+50^{\circ}\text{C}$, зимой – примерно 9 ч и температура до -25°C [7, 10].

Крупногабаритные и сверхкрупногабаритные шины карьерных автосамосвалов относятся к классу внедорожных шин, отличающихся особыми свойствами: многослойностью, большим весом, спецификой деформирования и разрушения, специфическими видами отказов. Эти особенности крупногабаритных шин (КГШ) при возрастающей скорости автомобилей, а также условия эксплуатации высокие температуры в летом, сложный рельеф местности, большие нагрузки и т. д. обусловили концептуальный подход к ним в научном, технологическом и экспериментальном направлениях [1, 6].

На ресурс КГШ в карьерных условиях влияют различные факторы которые можно подразделить на следующие 3 группы [8, 10]:

горно-геологические/географические – тип грунта; климат; температура погоды; количество осадков; влажность; твердость горной породы; местный рельеф; состояние забойных и отваловых дорог; длина расстояния перевозки; количество поворотов; продольный и поперечный уклоны маршрутов;

эксплуатационные – габаритные размеры автотранспорта; нагрузка на оси; средняя и максимальная скорость; типоразмер



шин; различные развесовки по осям; различные типы привода; позиция шины: ось, ведущая, управляемая, спаренная; скорость в поворотах; загрузка машин; нагрузка на шину; место работы: вскрыша или руда;

технологические – техническое состояние автосамосвала; тип трансмиссии; внутреннее давление в шинах; рисунок протектора; тип и модель шин; состав протекторной резины (теплостойкий, износостойкий и стандартный); конструкция шин; монтаж и демонтаж шин, базовый показатель ТКВЧ шин.

Температура окружающей среды 38°C считается оптимальной для эксплуатации крупногабаритных шин по следующим нескольким причинам, связанным с их рабочими характеристиками и тепловым балансом [1, 8].

1. Баланс между охлаждением и нагревом шины. Шины нагреваются вследствие деформации при движении (гистерезис) – энергия превращается в тепло, из-за трения с дорогой – чем выше нагрузка, тем больше выделяется тепла, и в результате скорости – быстрая езда увеличивает нагрев.

Шины охлаждаются от контакта с воздухом – холодный воздух быстрее охлаждает шину и за счёт теплопроводности резины – происходит внутренняя циркуляция воздуха в шине. При температуре окружающей среды 38°C баланс между нагревом и охлаждением остаётся оптимальным, снижая риск перегрева, но не делая резину слишком жёсткой [1, 10].

2. Испытания производителями, большинства шин для карьерной техники посредством тестирования в условиях $30 - 40^{\circ}\text{C}$, так как, на карьерах Центральной Азии, Африки, Южной Америки и Австралии средняя температура летом составляет $35 - 50^{\circ}\text{C}$. При температуре выше 45°C теплоотдача замедляется, что повышает риск разрушения каркаса шины.

3. Влияние температуры на резиновую смесь. При температуре ниже 25°C резина становится жёстче, снижая

сцепление, но уменьшая нагрев. При температуре выше 40°C резина начинает терять эластичность и ускоряется износ. Значение 38°C – это точка, при которой наблюдаются оптимальная гибкость резины, нормальный теплообмен без перегрева и минимальный риск термической усталости.

Когда температура окружающей среды ниже 38°C , охлаждение шин идёт быстро, что приводит к неравномерному износу и риску трещин, шины становятся жёстче, но меньше перегреваются. А когда температура выше 38°C , тогда охлаждение шин недостаточно и вызывает перегрев и разрушение шин. Поэтому температура окружающей среды 38°C является золотой серединой для оптимального температурного режима крупногабаритных шин. При $30 - 40^{\circ}\text{C}$ шины работают стабильно, без перегрева и чрезмерного охлаждения. Для контроля температуры в шине используют датчики и не допускают перегрева выше 110°C . Необходимо поддержание правильного давления, так как не докаченные шины быстрее нагреваются и разрушаются. Важно соблюдение ограничения скорости, так как средняя эксплуатационная скорость выше 20 км/ч вызывает риск перегрева и разрыва шины. Соблюдение нагрузок исключает возможность перегрузки самосвала, и снижение вследствие этого ТКВЧ шин [1, 4].

В настоящее время на Навоийском ГМК имеется более 4000 транспортных средств, из них технологического транспорта – более 470 шт. За 2024 г. на комбинате использовано более 19 000 шин автотранспорта на сумму около 1,4 трлн сум.

По состоянию на январь 2025 г. подвижной парк карьерных самосвалов Навоийского ГМК различных модификаций и грузоподъёмности составил 477 ед., суммарная грузоподъёмность парка – 56 275 т, средняя грузоподъёмность парка – 119 т, средний возраст парка – 5,5 лет. На этих карьерных самосвалах используются шины производства таких крупных шинных компаний, как



BRIDGESTONE, GOODYEAR, LUAN, MICHELIN, TECHKING, ADVANCE, AEOLUS, MAXAM, BELSHINA и NOBLE.

Анализ факторов, влияющих на ТКВЧ шин

ТКВЧ — ключевой показатель, определяющий устойчивость карьерных шин к нагреву при нагрузке. Он зависит от множества факторов, которые условно можно подразделить на внешние условия и эксплуатационные параметры [2, 7].

Основные факторы, влияющие на ТКВЧ крупногабаритных шин:

1. Средняя нагрузка на шину — главная причина износа шин: чем выше нагрузка, тем больше выделяется тепла и снижается ТКВЧ. Неправильное распределение груза может перегружать отдельные шины и ускорять их износ.

2. Высокая скорость автосамосвала повышает температуру шин и увеличивает риск перегрева. Производители указывают предельную скорость для каждой шины, чтобы не превышать её ТКВЧ.

3. Продольный уклон дороги ($6 \leq \alpha \leq 10\%$) уменьшает ТКВЧ шин, так как он способствует увеличению сопротивления качению и снижению скорости движения автомобиля, а также требует повышенной мощности двигателя и увеличивает нагрузку на шины.

4. Температура окружающей среды, жаркий климат повышают температуру шин, а это снижает ТКВЧ. Холодные или прохладные условия эксплуатации повышают срок службы шин: возможность перегрева шин минимальна.

5. Срок службы шин зависит от длины маршрута: при длинных маршрутах шины не успевают остыть, отчего снижается ТКВЧ. Перерывы в работе помогают поддерживать оптимальную температуру.

6. Состояние дороги, например, ровная поверхность минимизирует нагрев шин, что приводит к высокому ТКВЧ. На грунтовой или каменистой

дороге больше трения и ударов по шинам, а это снижает ТКВЧ.

7. Снижение давления в шине увеличивает трение и нагрев шины, деформацию ее боковин и температуру внутри нее, что приводит к ускоренному износу в результате снижается ТКВЧ. Повышенное давление в шине уменьшает пятно контакта, способствует жёсткому ходу, вызывает риск проколов и неравномерный износ протектора. Оптимальное давление обеспечивает максимальный ТКВЧ, равномерный износ протектора и нормальный температурный режим шин.

Отклонение давления в шине на 5 – 10%, может снизить ТКВЧ на 3 – 7%, особенно в тяжёлых условиях (глубинных карьерах). В связи с этим регулярный контроль давления является ключевым фактором продления ресурса шин и поддержания их ТКВЧ на максимальном уровне [3].

8. Тип и состав резины, мягкие смеси обеспечивают лучшее сцепление, но сильнее нагреваются, а жёсткие смеси устойчивее к перегреву, но могут быстрее разрушаться при ударах.

9. Коэффициент теплоотдачи шины зависит от ее конструкции (например, вентильные отверстия, теплоотводящие элементы). Некоторые шины имеют улучшенную терморегуляцию, что повышает их ТКВЧ.

10. Техническое состояние автосамосвалов, отвечающее принятым нормативам, исправная подвеска и амортизаторы уменьшают силу ударов по шинам, а неисправности (перекос осей, изношенная шина) могут перегружать отдельные колёса и снижают ТКВЧ.

В качестве более точных, чем анализ весомости факторов, используются методы регрессионного или корреляционного анализа, основанные на данных эксплуатации и применении экспертных оценок инженеров комбината, производителей шин и водителей автосамосвалов, а также методы анализа статистики отказов шин (механическая повреждаемость, разрыв каркаса, отслоение, поре-



зы, пробои с повреждением слоёв корда каркаса, излом или расслоение каркаса, тепловое разрушение шины, неравномерный или полный износ протектора и др.).

С учетом этих факторов формула расчета фактического ТКВЧ шин в процессе эксплуатации может быть выражена следующим образом:

$$\text{ТКВЧ}_\Phi = \frac{Q_c + Q_v}{2} \cdot V_{\text{ср}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n \quad (1)$$

где Q_c – нагрузка на шину при груженой машине, т.; Q_v – нагрузка на шину при порожней машине, т.; $V_{\text{ср}}$ – средняя эксплуатационная скорость, км/ч; K_1 – корректировочный коэффициент, учитывающий расстояние перевозки (каждый производитель шин имеет свои коэффициенты); K_2 – корректировочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды (каждый производитель шин имеет свои коэффициенты); $K_3 \dots K_n$ – поправочные коэффициенты, учитывающие остальные факторы, влияющие на ТКВЧ шин.

В формуле (1) корректировочные коэффициенты ТКВЧ перемножаются, потому что каждый из них модифицирует базовое значение независимо, но их эффекты суммируются в конечном результате. Каждый коэффициент отвечает за определённый аспект эксплуатации, например:

-температура влияет на скорость нагрева шин. При высокой температуре нагрев от уклона становится ещё сильнее;

-длина маршрута влияет на длительность тепловой нагрузки. При длинном маршруте и жаре эффект перегрева усиливается;

-продольный уклон изменяет нагрузку на шины и, соответственно, их разогрев и др.

Эти факторы не зависят друг от друга, но они влияют на одни и те же параметры – нагрев и износ шин. Перемножение коэффициентов лучше отражает реальное комплексное влияние условий эксплуатации на ТКВЧ, и это служит стандартным подходом в инже-

нерных и экономических расчётах, когда независимые факторы влияют на один результат.

Эксперимент

Экспериментальные исследования проводились на карьере Мурунтау, принадлежащем Навоййскому ГМК. Сначала были изучены условия эксплуатации карьера и установлено следующее:

1. Глубина карьера – 700 м, в среднем – 400м.

2. Марки и модели автосамосвалов: САТ-793D (груз. 218 т, 38 ед.), САТ-789С, D (181 т, 11 ед.), Komatsu 860E (254 т, 10 ед.), Komatsu 830E-1AC (220 т, 11 ед.), БелАЗ-7513 (130 т, 30 ед.), БелАЗ-75307 (220 т, 6 ед.) и БелАЗ-75310 (220 т, 46 ед.).

3. Дорожное покрытие технологических дорог прокладывается на основе породы конкретного карьера: проложена твердая скальная порода, крепость породы по шкале М. Протодяконова около 9÷14.

4. Подъездные пути к экскаваторам и к месту разгрузки от общего расстояния транспортировки – ориентировочно до 20%.

5. Ширина технологических дорог, по паспорту карьера, м: максимальная – 22 ÷ 26 м, средняя – 19 м.

6. Оценка продольных уклонов, %: максимальная – 12, средняя – 5÷6.

7. Плечо перевозки (в одну сторону), м: максимальная – до 14 км; минимальная – до 1 км; средняя – 4,6÷5,8 км.

8. Время работы (цикла), ч: 0,5 ÷ 1,2.

9. Скорость самосвалов, км/ч: максимальная – 40 ÷ 42, средняя – 14÷17.

10. Тип перевозимой породы, коэффициент разрыхления, вес породы, кг/м³: вскрыша – твердая скальная горная порода с плотностью 1,8 ÷ 2,3; руда – твердая скальная горная порода с плотностью 2,3÷2,8.

11. Погрузочное средство (модель, объем ковша): ЭКГ-15, объем ковша – 15м³, ЭГ-20, ЭГ-25, объем ковша – 20 и 25м³.

12. Температура окружающей среды: зимой – максимальная -25⁰С, средняя -0 ÷ -10⁰С, летом – максимальная



+48⁰С, средняя +32 ÷ +40⁰С.

Изучены и проанализированы маршруты (всего 234 шт.) движения большегрузных карьерных автосамосвалов (177 ед.) и место работы экскаваторов (по горизонту) на карьере.

Проанализирована статистика преждевременного выхода из строя (табл.1) и средний пробег крупногабаритных шин, эксплуатируемых в Навоийском ГМК в 2023 и 2024 г.

Таблица 1

Причина выхода из строя шин и их количество, в 2023 – 2024 годах

№ п/п	Типоразмер	Производитель	Причина выхода из строя и их количество			Всего
			Отслоение протектора, боковин, расслоение корда	Ускоренный (агрессивный) износ протектора	Механические повреждения (проколы, порезы, сколы грунтозацепов)	
1	50/80R57	BRIDGESTONE	14	1	3	18
2	46/90R57	GOODYEAR	9	2	2	13
3	46/90R57	LUAN	15	8	47	70
4	40.00R57	MICHELIN	164	8	31	203
5	46/90R57	TECHKING	148	93	230	471
6	37.00R57	MICHELIN	7	0	0	7
7	33.00R51	ADVANCE	6	0	1	7
8	33.00R51	AEOLUS	39	0	1	40
9	33.00R51	MAXAM	7	35	5	47
10	33.00R51	MICHELIN	80	6	5	91
11	33.00R51	NOBLE	2	1	0	3
12	33.00R51	TECHKING	12	0	3	15
13	27.00R49	ADVANCE	26	31	5	62
14	27.00R49	AEOLUS	2	6	1	9
15	27.00R49	GOODYEAR	1	0	3	4
16	27.00R49	MAXAM	1	0	0	1
17	27.00R49	MICHELIN	198	0	8	206
18	27.00R49	NOBLE	22	17	1	40
19	27.00R49	TECHKING	20	25	6	51
20	24.00R35	GOODYEAR	6	0	3	9
21	24.00R35	MAXAM	139	1	98	238
22	24.00R35	MICHELIN	75	0	0	75
23	24.00R35	TECHKING	22	0	4	26
24	45/65R45	MICHELIN	1	0	1	2
25	23.5R25	BRIDGESTONE	0	8	0	8
Итого			1016	242	458	1716

Расчёт весомости факторов, влияющих на ТКВЧ шин, с использованием экспертных оценок. Применение

ние экспертных оценок позволяет учесть опыт специалистов (инженеров по шинам, экспертов по производству



шин, водителей автосамосвалов) и количественно определить влияние каждого фактора на ТКВЧ. Нами была разработана методика оценки весомости факторов, влияющих на ТКВЧ.

В процессе исследования использован метод экспертных оценок, включающий:

1) анкетирование специалистов, чтобы получить субъективные оценки факторов;

2) метод парных сравнений, чтобы ранжировать важность факторов;

3) метод взвешенных коэффициентов, чтобы перевести оценки в числовые значения.

Расчёт весомости факторов проведен в следующем порядке:

Шаг 1: Определение факторов для оценки. Опрашиваем экспертов и выбираем вышеперечисленные 11 факторов (нагрузка на шину, средняя эксплуатационная скорость, температура окружающей среды, длина маршрута, продольный уклон маршрутов, внутреннее давление в шине, состояние дороги, состав резины протектора, коэффициент теплоотдачи шины, техническое состояние самосвала и высота протектора), влияющих на ТКВЧ шин.

Шаг 2: Проведение опроса экспертов. Выбираем группу из 10 экспертов, например: инженеры по шинам и технический персонал производителей шин (табл.2).

Таблица 2

Список экспертов

№	Наименование бренда	Наименование компании дилера	ФИО представителя
1	MICHELIN	TOO «Мишлен Казахстан»	Ирисметов Иззатбек – представитель поставщика, технический эксперт
2	BRIDGESTONE	Marubeni Corp.	Михайленко Максим – технический эксперт
3	GOODYEAR	Loaadi Otr Auto and Components Trading – FZCO	Бердикулов Лазиз – технический эксперт.
4	TECHKING	Techking Tires Limited	Маматов Журабек – технический эксперт
5	LUAN	HAIAN RUBBER GROUP CO	Alex Dong – технический эксперт
6	MAXAM	-	Жоханов Жамшид – технический эксперт
7	AEOLUS, NOBLE, ADVANCE	Ventopro Pte., Ltd	Тян Станислав – технический эксперт
8	BELSHINA	HaulTrucks	Сурудин Артем – представитель поставщика, технический эксперт
9	Инженер по шинам	УАТ ЦРУ	Тожиев Охунжон Гулом угли
10	Инженер по шинам	УАТ СевРУ	Сафаров Ориф Суннатиллаевич

Каждому эксперту дана анкета, где они оценивают влияние факторов в условиях карьера Мурунтау по шкале (0÷10 баллов). Эксперты оценили, насколько каждый фактор влияет на

ТКВЧ шин, где 0 – минимальное влияние; 10 – максимальное влияние. После этого собрали все ответы экспертов и создали обобщенную таблицу (табл.3).



Таблица 3

Оценка экспертов

№	Факторы, влияющие на ТКВЧ шин	Эксперты и их оценки										Средний балл
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Нагрузка на шину	3	5	5	4	6	3	5	3	5	4	4,3
2	Средняя скорость движения	8	7	6	8	9	7	8	7	9	7	7,6
3	Температура окружающей среды	7	7	8	8	8	7	9	8	8	8	7,8
4	Длина маршрута	9	6	7	6	5	8	9	7	7	6	7
5	Продольный уклон дороги	8	8	6	7	9	8	7	7	8	9	7,7
6	Давление в шинах	6	6	7	5	5	5	6	6	4	4	5,4
7	Коэффициент теплоотдачи шин	4	3	2	4	3	2	4	3	2	3	3
8	Состав резины шин	3	3	4	3	5	4	4	3	3	5	3,7
9	Техническое состояние самосвала	5	6	5	4	3	4	6	5	3	4	4,5
10	Состояние технологических дорог	2	5	4	6	7	7	4	5	4	3	4,7
11	Высота протектора	1	2	1	3	2	3	2	3	1	2	2

Шаг 3: Нормализация оценок (взвешенные коэффициенты). Переводим баллы в процентное соотношение

влияния на ТКВЧ шин. Для этого суммируем все средние оценки.

$$S_{\text{ср}} = 4,3 + 7,6 + 7,8 + 7 + 7,7 + 5,4 + 3 + 3,7 + 4,5 + 4,7 + 2 = 57,7 \quad (2)$$

После этого рассчитываем в процентах весомость каждого фактора (табл.4):

$$\theta_i = \frac{\theta_i}{S_{\text{ср}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Таблица 4

Результаты весомости факторов

№	Факторы	Средний балл	Весомость, %
1	Нагрузка на шину	4,3	7,45
2	Средняя скорость движения	7,6	13,17
3	Температура окружающей среды	7,8	13,52
4	Длина маршрута	7	12,13
5	Продольный уклон дороги	7,7	13,34
6	Давление в шинах	5,4	9,36
7	Коэффициент теплоотдачи шин	3	5,20
8	Состав резины шин	3,7	6,41
9	Техническое состояние самосвала	4,5	7,80
10	Состояние технологических дорог	4,7	8,15
11	Высота протектора	2	3,47

В целях изучения значимости факторов, влияющих на фактический ТКВЧ шин самосвалов, работающих в карьере Мурунтау, на основании мнений экспертов можно сделать следующие выводы:

1. В результате исследований, про-

веденных многими учеными, было установлено, что самым важным фактором является нагрузка на шину. Однако в этом эксперименте мнения экспертов оказались иными. Причина этого в том, что на всех автосамосвалах имеется система контроля загрузки: например, на

самосвалах БелАЗ-7513 установлена система СКЗиТ, на автосамосвалах CAT-789 – система VIMS и на Komatsu HD785-7 фиксировалась с параметров датчиков давления на цилиндрах подвески машины (все 4 датчика) [4, 10].

2. Самые важные факторы – температура окружающей среды и длина маршрута – влияют на более 25% на ТКВЧ шин в условиях Мурунтау. Но у каждого производителя имеются поправочные коэффициенты для своих шин,

учитывающие температуру окружающей среды и длину маршрута.

3. Средняя скорость движения и продольный уклон дороги влияют на свыше 26%. Скорость автомобиля – это управляемый фактор, т. е. в прохладные дни можно ездить на большой скорости, а в жаркие дни – на низкой. Продольный уклон маршрутов является неуправляемым фактором, который ещё и год за годом увеличивается, потому что на сегодняшний день глубина карьера достигает до 700 м (рис.1).



Рис 1. Изменение условий эксплуатации на карьере «Мурунтау» АО «НГМК» за 2023 – 2025 годы

Постоянные и временные технологические дороги на карьерах адаптированы к требованиям паспортов (продольный уклон постоянных технологических дорог уменьшен до 8%, а временных дорог до 10%, при движении вниз груженных самосвалов под уклон обеспечивается продольный уклон до -7%) карьерных дорог [24].

4. Внутреннее давление в шине влияет на 9,36%, по мнению экспертов. Это тоже управляемый фактор – в настоящее время на всех карьерных автосамосвалах установлено устрой

ства TPMS (рис.2). TPMS+ от компании PressurePro, PULSE предоставляет пользователям возможность просмотра в кабине давления и температуры воздуха в шинах в режиме онлайн. Состоит из датчиков, антенн, монитора в кабине и контролера. Имеется возможность передачи сигнала через 3G и 4G связь для оповещения оператора или технического специалиста удаленно. Датчики бывают двух видов исполнения: наружного монтажа (на заправочный вентиль) и внутреннего монтажа.



Рис 2. Система контроля давления и температуры в шинах (TPMS)

5.

6. Установлено, что состав резины шин, коэффициент теплоотдачи шин, техническое состояние автосамосвала, состояние технологических дорог и высота протектора является менее значимыми факторами (3÷8%).

Выводы

1. Оптимизация ТКВЧ шин заключается в следующем:

- контрол нагрузки на шину ($\leq$ максимальной рекомендованной) с помощью датчиков давления на цилиндрах подвески машины (все 4 датчика), с параметров которых фиксировалась масса груза;

- ограничении скорости груженого самосвала до 18 км/ч на сложных маршрутах, особенно в летний период;

- поддержании давления в шинах в оптимальном диапазоне ($\pm 5\%$) с помощью клапана динамического выравнивания давления в шинах. Данный клапан превращает 2 спаренных колеса карьерного самосвала в сообщающийся сосуд с одинаковым давлением в обеих шинах. Это способствует равномерному распределению нагрузки на колесо, вне зависимости от рельефа дорожного полотна, угла поворота и прочих внешних факторов, тем самым увеличивая ходимость шин.

- влиянии продольного уклона на перераспределение нагрузки, в результате чего происходит ускоренный износ шин. При проектировании дорог в

карьерах следует учитывать, что оптимальный продольный уклон достигает

8%. При наличии технической возможности необходимо провести спрямление уступов (неравномерности уклона).

2. Экспертные оценки дают возможность количественно определить влияние факторов на ТКВЧ. Этот метод позволяет систематизировать знания специалистов и учитывать множество параметров, которые сложно измерить экспериментально.

3. Основные факторы, влияющие на ТКВЧ шин в условиях карьера Мурунтау: скорость, температура окружающей среды, расстояние перевозки и продольные уклоны маршрутов (влияют на более 52%).

4. Применение данного метода, в комбинации со статистическим анализом отказов шин, позволит определить весомость факторов с еще большей повышенной точностью.

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку весомости факторов, влияющих на ТКВЧ, путем анализа причин выхода шин из строя. Затем проведем корреляционный анализ основных факторов, влияющих на ТКВЧ, и разработаем усовершенствованный метод расчета фактического ТКВЧ крупногабаритных шин.

Список литературы

1. Скорняков Е.С. Крупногабаритные шины автомобилей и тракторов: Монография. Днепропетровск: Пороги, 2000. – 263 с.

2. Горюнов С.В. Разработка методики прогнозирования долговечности



крупногабаритных шин карьерных самосвалов: Дисс. ... канд. техн. наук – М.: Кемерово, 2021. – 124 с.

3. Кулешов А.А., Зырянов И.В., Пацианский С.Ф. Управление ресурсом карьерных самосвалов // Горный журнал. - 2003. - № 1. - С. 52 - 56.

4. Манас Д., Станек М., Манас М., Дрга Т. Измерение износа шин, в сб. ICPM 2007. Международный конгресс по прецизионной обработке, 25–28 сентября 2007 г., Сандомир–Кельце. Т. II. 2007. – С. 153–156.

5. Савчугов В.И. Корректировка нормативов срока службы шин спецтехники: Дисс.... канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 174 с.

6. Устаров Р.М. Прогнозирование пробега автомобильных шин, эксплуатируемых в условиях переменного рельефа: Дисс.... канд. техн. наук. – Махачкала, 2012. – 188 с.

7. Yusupov, U., & Mukhitdinov, A. (2023). Evaluation of the influence of the longitudinal slope of carriage roads on the

tire life. E3S Web of Conferences, 401, 03025.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103025>

8. Mukhitdinov, A., Yusupov, U., Tukhtamishov, S., Urinbayev, Q., Results of the study of the influence of an average longitudinal slope of routes on the life of tires in the quarry, AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 040041, <https://doi.org/10.1063/5.0197301>

9. Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: Монография / Абдирахмонов Ж.А. и др. – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2023. – 545 с.: ил. - Коллектив авторов. ISBN 978-5-00174-887-8. DOI 10.46916/06032023-1-978-5-00174-887-8.

10. Yusupov, U., & Shavkatov, X. (2024). Development of a standard mileage for large-sized tires under moderately severe quarry conditions. BIO Web of Conferences, 141, 04034. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414104034>