



УДК 622.684

## АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 240 Т

Дубинкин Д.М.<sup>1</sup>, Садовец В.Ю.<sup>1</sup>, Карташов А.Б.<sup>2</sup>, Газизуллин Р.Л.<sup>2</sup>, Киселев П.И.<sup>2</sup>,  
Попов И.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана



### Информация о статье

Поступила:

20 апреля 2022 г.

Рецензирование:

17 мая 2022 г.

Принята к печати:

26 мая 2022 г.

### Ключевые слова:

горные машины, карьерный  
автосамосвал, автономный  
карьерный самосвал, тяговый  
привод, открытые горные  
работы

### Аннотация.

В статье проведен анализ отечественных тяговых приводов для автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т. Отмечены производители комплектов тягового электрооборудования, которыми являются ООО «Сибэлектропривод», ЗАО «ПФТК ЗТЭО», ООО «Русэлпром» и АО «Силовые машины». Приведены характеристики тяговых электродвигателей каждого производителя. Представлены зависимости крутящего момента от оборотов ротора рассматриваемых электродвигателей в совокупности с изолиниями КПД электродвигателя. По методике построения динамической характеристики машины оцениваются тяговые и скоростные свойства автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т. Предварительно по предложенной методике были построены динамические характеристики разрабатываемого самосвала с различными вариантами комплекта тягового электрооборудования. Установлено, что для различных типов привода разница КПД для типового режима достигает 4,45%, что является существенным при рассмотрении затрат на эксплуатацию самосвала в масштабах его жизненного цикла. В результате анализа сделан вывод о том, что автосамосвал с КТЭО ООО «Русэлпром» удовлетворяет предъявляемым требованиям в полном объеме, а в типовом режиме движения по разрезу на подъём электродвигатель обеспечивает наибольший КПД 97,05% в сравнении с рассмотренными вариантами привода.

**Для цитирования:** Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю., Карташов А.Б., Газизуллин Р.Л., Киселев П.И., Попов И.П. Анализ и перспективность применения отечественного тягового привода автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2(17). – С. 22-36. – DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-22-36

### Введение

Организация транспортировки горной массы внутри карьера – важная задача, выполнение которой напрямую влияет на экономические показатели работы предприятий. В настоящее время наиболее распространенным средством транспортировки являются автосамосвалы с электромеханической трансмиссией (ЭМТ), которые нашли широкое применение в отрасли с 1960-х годов [1-3].

Ранее наиболее эффективными считались самосвалы, ЭМТ которых включала синхронные тяговый генератор и тяговые электродвигатели постоянного тока [4-6]. Недостатком такой конфигурации являлись её значительные габариты, масса и стоимость в случае применения на машинах большой грузоподъемности. Развитие микропроцессорных систем управления и



полупроводниковых приборов позволило осуществить переход на асинхронные электродвигатели, которые являются более надежными, и имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД) в сравнении с электродвигателями постоянного тока [5-7]. Несмотря на принципиальную схожесть электромеханических трансмиссий различных производителей, каждая из них имеет индивидуальные особенности, которые необходимо учитывать при разработке автосамосвала. В этой связи выбор и обоснование комплекта ЭМТ при разработке карьерного автосамосвала является нетривиальной задачей.

ЭМТ по сути является силовой установкой транспортной машины. В соответствии с существующими методиками, выбор силовой установки и параметров трансмиссии, как правило, обосновывается удовлетворением заданных тяговых и скоростных параметров машины [8]. При этом для карьерных самосвалов также крайне важно учитывать энергоэффективность привода, чтобы обеспечить наибольшую рентабельность перевозки, которая в значительной степени определяется коэффициентами полезного действия применяемых в составе привода электромашин.

Данная работа посвящена анализу и перспективности применения отечественного тягового привода автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т.

### Обзор основных КТЭО и их характеристик

На сегодняшний день на отечественном рынке комплектов тягового электрооборудования (КТЭО) для карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 240 тонн представлены следующие основные производители: ООО «Сибэлектропривод» (Рисунок 1), ЗАО «ПФТК ЗТЭО» (Рисунок 2), ООО «Русэлпром» (Рисунок 3) и АО «Силовые машины» (Рисунок 4), характеристики тяговых электродвигателей (ТЭД) которых представлены в таблице 1 [9-12].

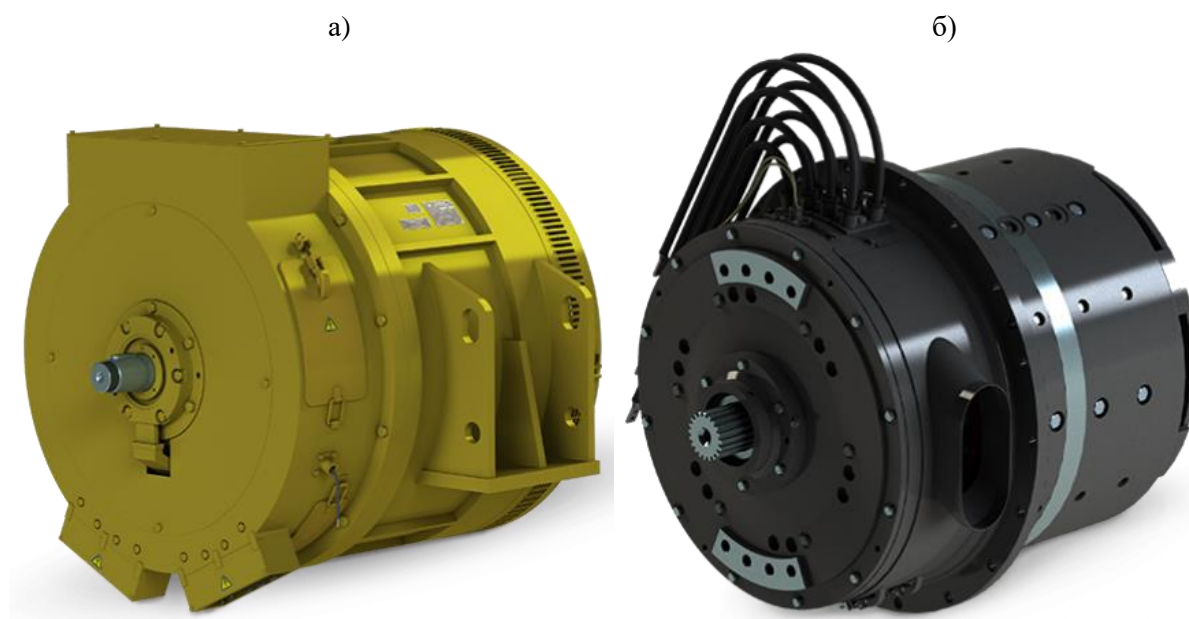


Рис. 1. КТЭО ООО «Сибэлектропривод»

а – генератор синхронный тяговый типа ГСН 1600/8;

б – электродвигатель тяговый типа ЭДП-800

Figure 1. Traction electrical equipment kit (TEEK) of Sibelectroprivod Ltd.

а – synchronous traction generator of GSN 1600/8 type;

б – traction motor of EDP-800 type



Рис. 2. КТЭО ЗАО «ПФТК ЗТЭО»  
а – генератор синхронный тяговый ГСТ-1600;  
б – электродвигатель асинхронный тяговый ДАТ-700

Fig. 2. TEEK of PFTK ZTEO CJSC  
a – synchronous traction generator GST-1600;  
b – asynchronous traction motor DAT-700

Таблица 1. Характеристики электродвигателей КТЭО

Table 1. Characteristics of traction electrical equipment kit electric motors

Производитель	ООО «Сибэлектропривод»	ЗАО «ПФТК ЗТЭО»	ООО «Русэлпром»	АО «Силовые машины»
Характеристика				
Максимальный крутящий момент ТЭД в длительном режиме, Нм	26810	28270	30320	26740
Максимальный крутящий момент ТЭД в пиковом режиме, Нм	33960	39570	45470	30480
Максимальная мощность ТЭД в длительном режиме, кВт	1600	1480	1400	1400
Максимальная мощность ТЭД в пиковом режиме, кВт	2027	2072	2100	1596
Номинальная частота вращения ротора, об/мин	570	500	441	500
Максимальная частота вращения ротора, об/мин	2000	3000	2890	2870
КПД при номинальной частоте вращения ротора, %	92	95	95	95

КТЭО у отечественных компаний представлен различными комплектами. Так ООО «Сибэлектропривод» поставляет только тяговые электродвигатели и генераторы. На сайте ЗАО «ПФТК ЗТЭО» для карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т представлены только тяговый электродвигатель и генератор. Полные комплекты со шкафом управления и комплектом монтажных частей поставляют только ООО «Русэлпром» и АО «Силовые машины».

Электродвигатель, помимо информации о КПД при номинальной частоте вращения ротора, характеризуется картой эффективности [13], получаемой экспериментально либо путем



моделирования в специализированном программном обеспечении. Карта КПД – трёхмерная диаграмма, которая даёт наглядное представление об эффективности электродвигателя на каждом режиме эксплуатации [13]. На графике карту КПД электродвигателя возможно изобразить в виде линий равного КПД, называемых изолиниями.

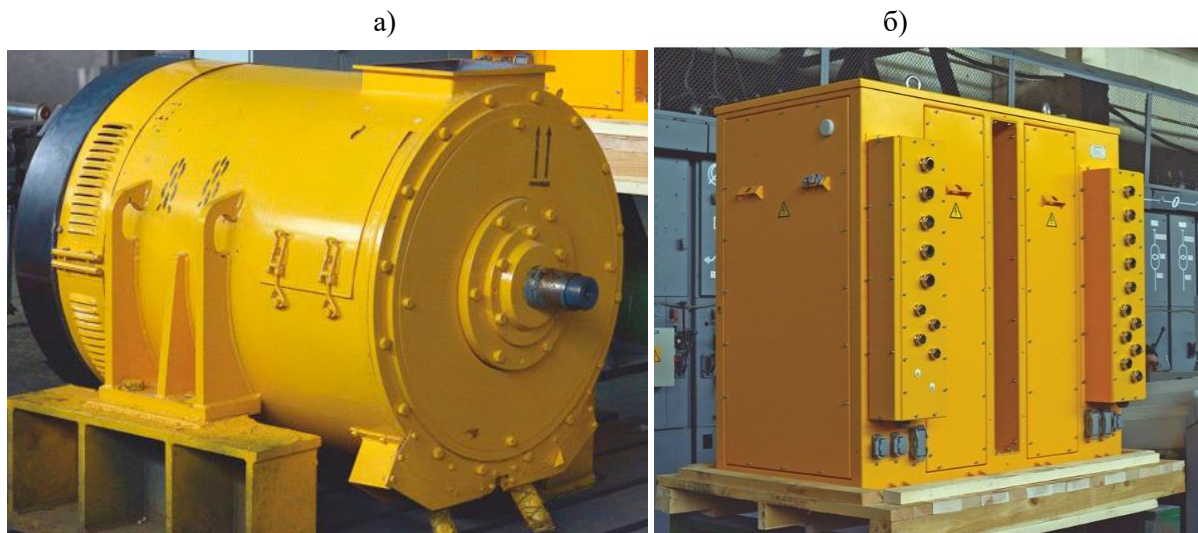


Рис. 3. КТЭО ООО «Русэлпром»  
а – генератор СГТМ-1400-8УХЛ2;  
б – шкаф управления ШПСУ КТЭО Б-240  
Figure 3. TEEK of Ruselprom Ltd.  
a – generator SGTM-1400-8UHL2;  
b – TEEK B-240 control cabinet

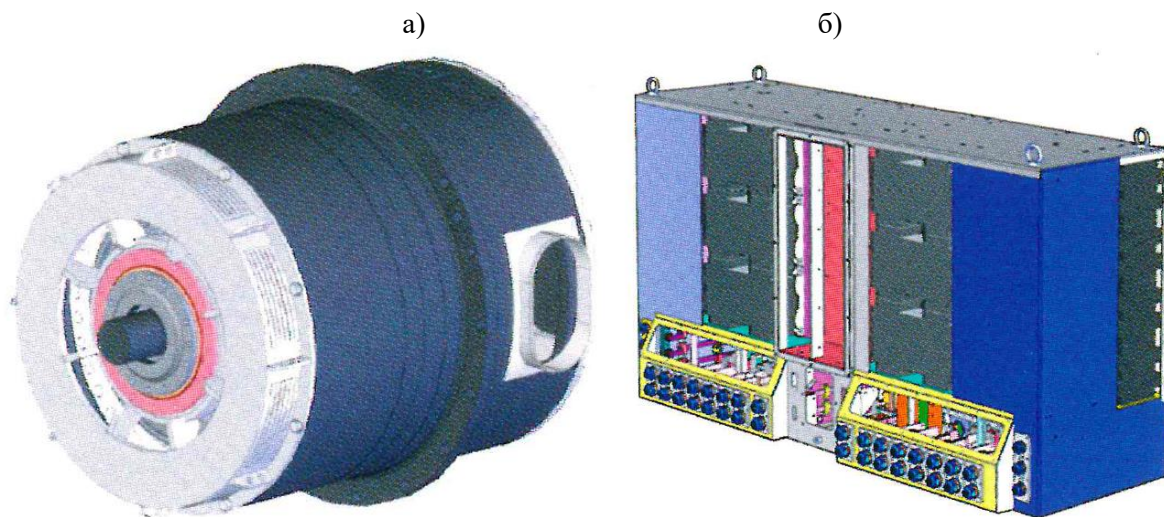


Рис. 4. КТЭО АО «Силовые машины»  
а – тяговый асинхронный двигатель ТАД-7 УХЛ2;  
б – шкаф управления  
Figure 4. TEEK of Power Machines, JSC  
a – traction asynchronous motor TAD-7 UHL2;  
b – control cabinet

На рисунках 5-8 представлены зависимости крутящего момента от оборотов ротора рассматриваемых электродвигателей в совокупности с изолиниями КПД электродвигателя.



Значения изолиний КПД рассматриваемых электродвигателей получены путем математического моделирования на основе допущения и применимости типовой карты эффективности.

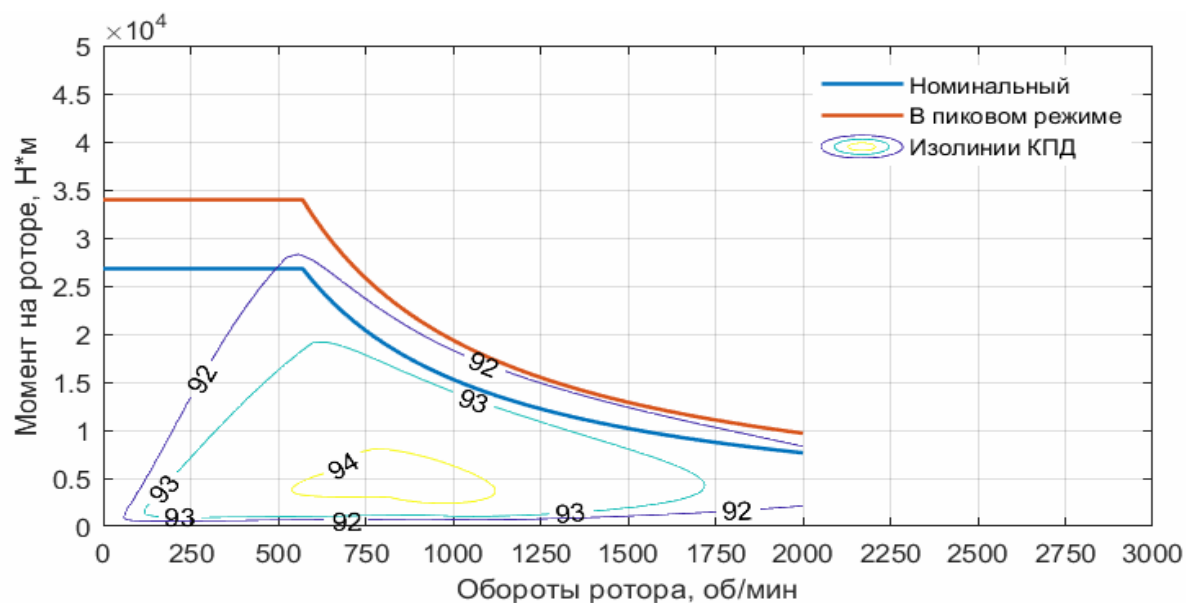


Рис. 5. Характеристики электродвигателя ООО «Сибэлектропривод» с наложенными картами эффективности

Fig. 5. Characteristics of electric motors Sibelectroprivod LLC with superimposed efficiency maps

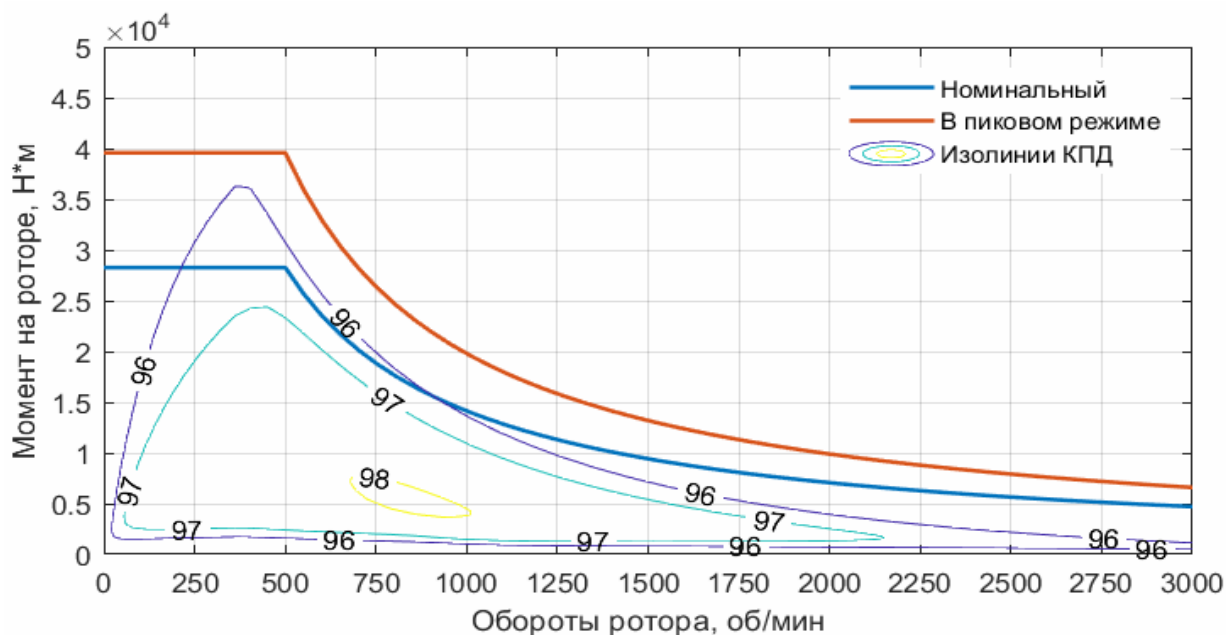


Рис. 6. Характеристики электродвигателя ЗАО «ПФТК ЗТЭО» с наложенными картами эффективности

Fig. 6. Characteristics of electric motors PFTK ZTEO CJSC with superimposed efficiency maps

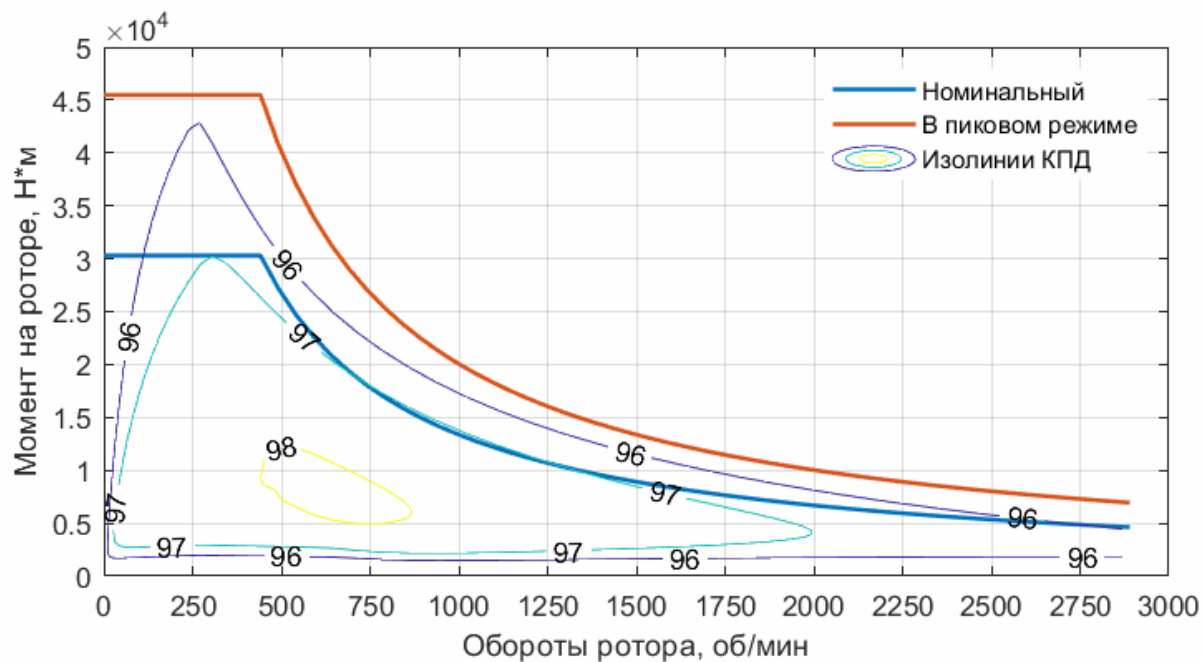


Рис. 7. Характеристики электродвигателя ООО «Русэлпром» с наложенными картами эффективности

Fig. 7. Characteristics of electric motors Ruselprom LLC with superimposed efficiency maps

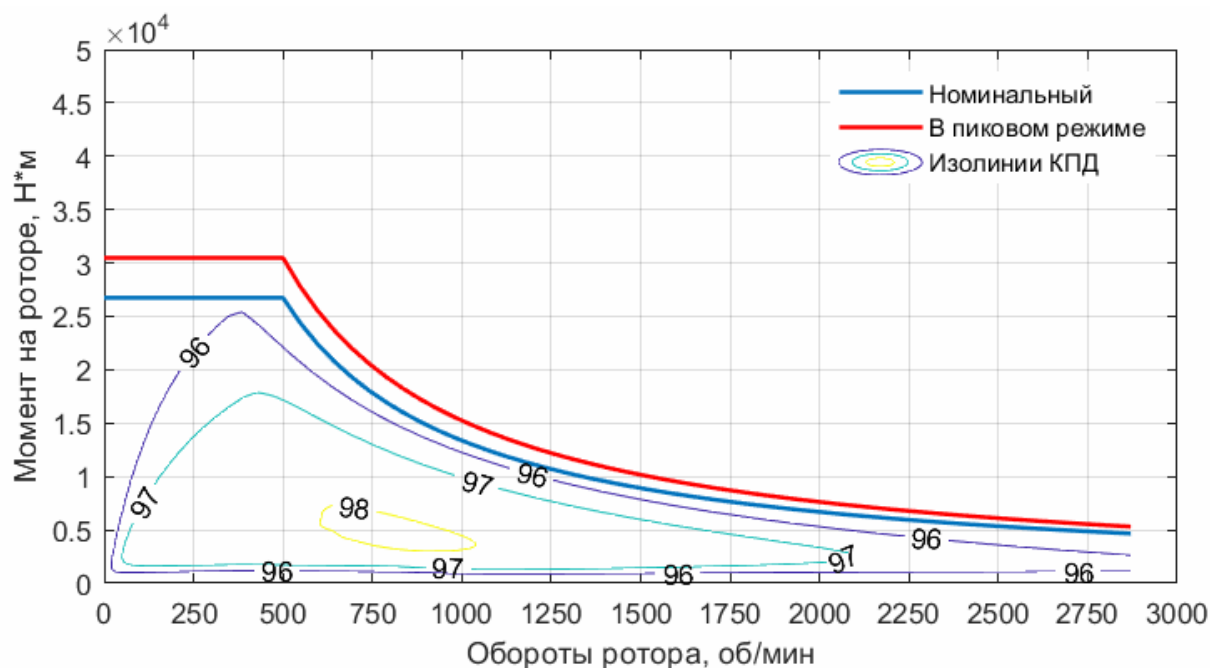


Рис. 8. Характеристики электродвигателя АО «Силовые машины» с наложенными картами эффективности

Fig. 8. Characteristics of electric motors Power Machines JSC with superimposed efficiency maps



## Методика построения динамической характеристики машины

Выполняя транспортную работу, водитель определяет скорость движения исходя из эксплуатационных условий. Выбор скорости ограничен диапазоном, который определяется мощностью силовой установки, а также текущими условиями взаимодействия колес с опорной поверхностью. Чем тяжелее дорожные условия, тем более узок диапазон скоростей, с которыми возможно осуществлять движение [14-18].

Для оценки тяговых и скоростных свойств разрабатываемого самосвала был принят подход, предполагающий построение динамической характеристики: зависимости динамического фактора от скорости движения. Динамический фактор – это безразмерная величина, характеризующая потенциальные возможности машины по преодолению дорожных сопротивлений или сообщения ему ускорения в тех или иных дорожных условиях [15].

Скорость движения машины  $v_x$  определяется в соответствии с выражением:

$$v_x = \frac{\pi n_{\text{дв}} r_0}{30 u_{\text{тр}}} \quad (1)$$

где  $n_{\text{дв}}$  – частота вращения вала силовой установки;  $r_0$  – радиус качения колеса без скольжения;  $u_{\text{тр}}$  – передаточное отношение трансмиссии.

В случае карьерного автосамосвала для привода колес применяются два индивидуальных электродвигателя, соединенные индивидуально с левым и правым колесами задней оси через редуктор. В этой связи передаточное число трансмиссии принимается постоянным и равным передаточному числу редуктора мотор-колеса.

Динамический фактор оценивается, как отношение свободной силы тяги на колесах, определяемой как разность полной окружной силы на колесах и силы воздушного сопротивления, к силе веса машин [12]:

$$D_{\phi} = \frac{P_{\text{св}}}{m_m g} = \frac{P_{\text{км}} - P_w}{m_m g}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{св}} = P_{\text{км}} - P_w$  – свободная сила тяги на колесах;  $P_{\text{км}}$  – полная окружная сила тяга на колесах;  $P_w$  – сила сопротивления воздуха.

Полная окружная сила определяется в соответствии с выражением:

$$P_{\text{км}} = \frac{M_{\text{эд}} u_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{r_0}, \quad (3)$$

где  $M_{\text{эд}}$  – момент на валу тягового электродвигателя;  $\eta_{\text{тр}}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

Сила воздушного сопротивления определяется в соответствии с выражением:

$$P_w = 0,5 c_x \rho_w F_{\text{лоб}} v_x^2, \quad (4)$$

где  $c_x$  – коэффициент скоростных потерь;  $\rho_w$  – плотность воздуха;  $F_{\text{лоб}}$  – проекция лобовой площади машины.

Целесообразно оценивать динамический фактор совместно с преодолеваемыми сопротивлениями, характеризуемыми углом преодолеваемого уклона и коэффициентом сопротивления качению колес, которые в осях динамической характеристики определяются согласно зависимости:

$$D_{\phi} = f_{\text{ш}} \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – угол преодолеваемого уклона;  $f_{\text{ш}}$  – коэффициент сопротивления качению колес.



Проанализировав динамическую характеристику, возможно оценить диапазон изменения скоростей движения (исходя из преодоления сопротивления качению колес без уклона), максимальный угол преодолеваемого уклона и другие режимы и таким образом оценить тяговые и скоростные свойства машины.

## Методика выбора КТЭО для автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 т

Рассмотрим методику выбора КТЭО, исходя из анализа тяговых, скоростных и энергетических характеристик для автономного карьерного самосвала грузоподъемностью 240 тонн, параметры которого представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные для тягово-динамического расчёта  
Table 2. Initial data for traction-dynamic calculation

Название параметра	Значение
Полная масса самосвала $m_m$ , кг	405 000
Колея передних колёс $l_{kp}$ , м	6,260
Высота самосвала $H_a$ , м	6,720
Радиус качения колеса без скольжения $r_0$ , м	1,617
Максимальная скорость самосвала $v_{max}$ , км/ч	60
Передаточное число редуктора $u_{тр}$	28,38
КПД трансмиссии $\eta_{тр}$ , %	95
Коэффициент полной аэродинамической силы $c_x$	1

В работе предлагается подход, согласно которому возможно проводить совместную оценку тяговых, скоростных и энергетических свойств КТЭО в составе самосвала.

Для проведения такой оценки необходимо «наложить» карты КПД тяговых электродвигателей на графики динамических характеристик путем введения изолиний равного КПД и таким образом дополнительно принимать во внимание КПД привода во всем диапазоне режимов движения.

Предлагается оценивать следующие режимы движения:

- преодоление максимального сопротивления движения самосвалом полной массы с малой скоростью;

- движение со скоростью 60 км/ч по ровной опорной поверхности;

- движение на уклоне 100‰ (5,71°) со скоростью 12 км/ч.

Последний режим определен исходя из нормативного документа СП 37.1330.2012 [12], согласно которому наибольший продольный уклон для дорог в разрезах при расчётной скорости движения менее 15 км/ч не должен превышать 100‰ или 5,71°. Средняя скорость движения самосвала в карьере на подъём с уклоном 100‰ составляет 12 км/ч [19], что соответствует значению динамического фактора 0,09.

Согласно выражениям (1-5) и предложенной методике были построены динамические характеристики разрабатываемого автосамосвала с различными вариантами КТЭО, характеристики которых представлены в таблице 1. Результаты расчета представлены на рисунках 9-12.

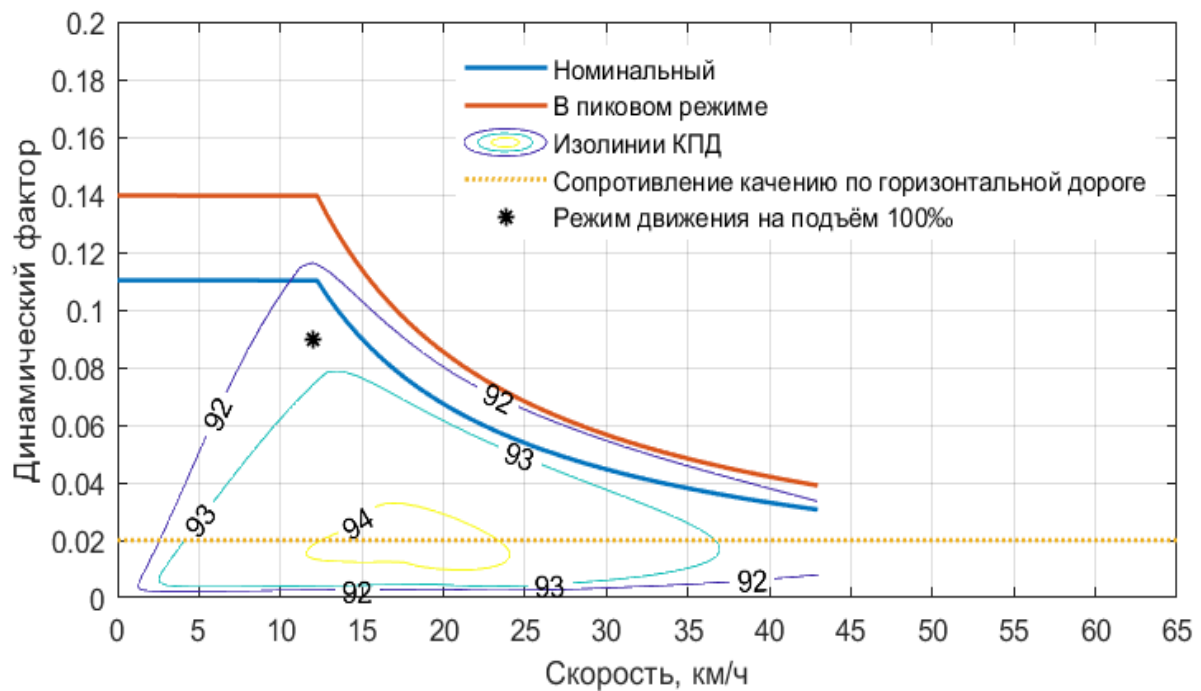


Рис. 9. Динамические характеристики автосамосвала с КТЭО ООО «Сибэлектропривод»  
Fig. 9. Dynamic characteristics of a dump truck with traction electrical equipment kit (TEEK) of Sibelektroprivod LLC

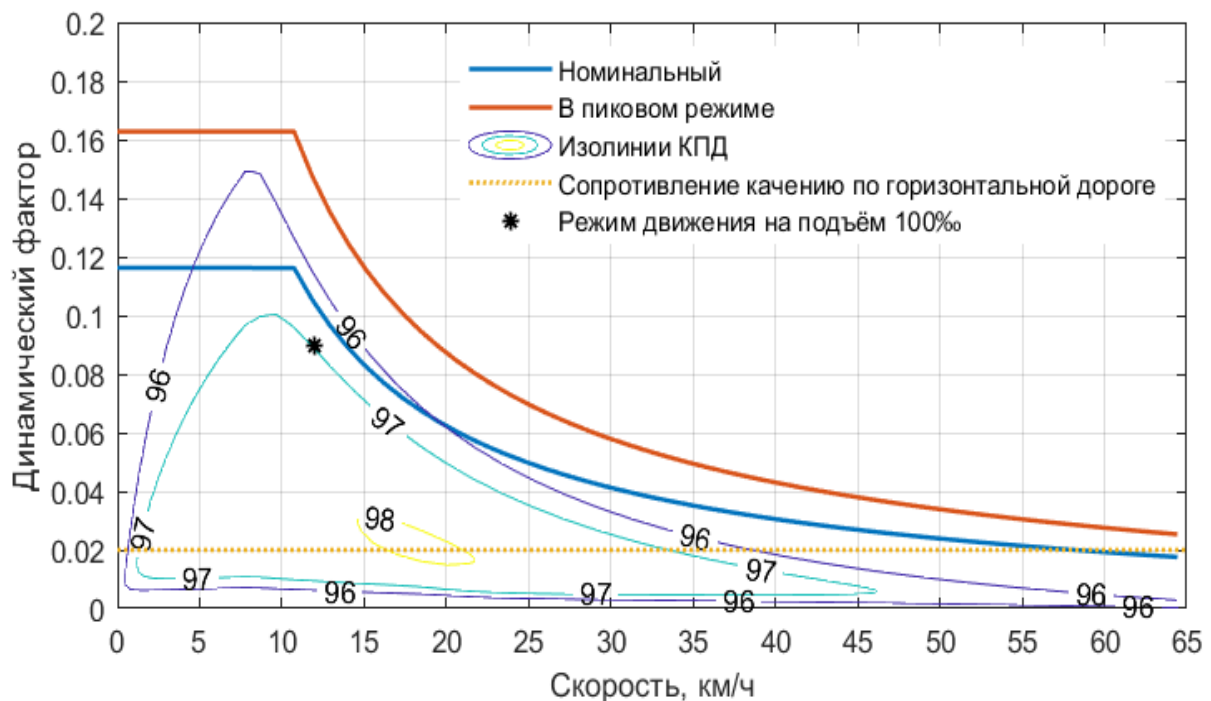


Рис. 10. Динамические характеристики автосамосвала с КТЭО ЗАО «ПФТК ЗТЭО»  
Fig. 10. Dynamic characteristics of a dump truck with TEEK of PFTK ZTEO CJSC

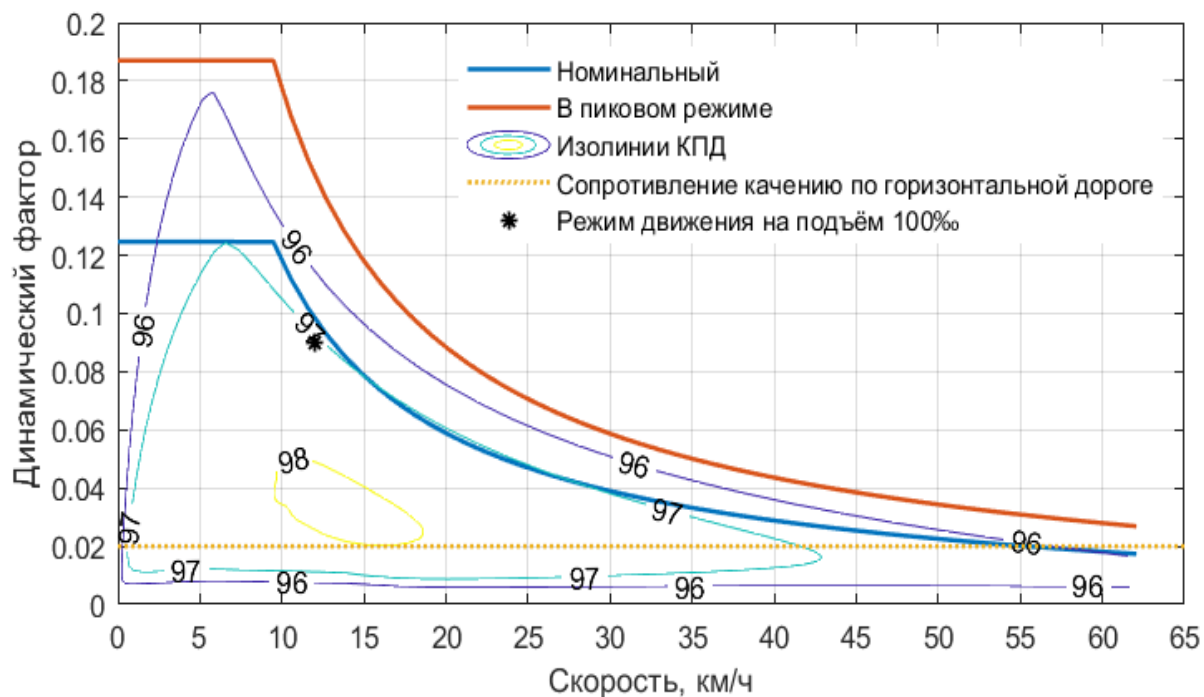


Рис. 11. Динамические характеристики автосамосвала с КТЭО ООО «Русэлпром»  
Fig. 11. Dynamic characteristics of a dump truck with TEEK of Ruselprom LLC

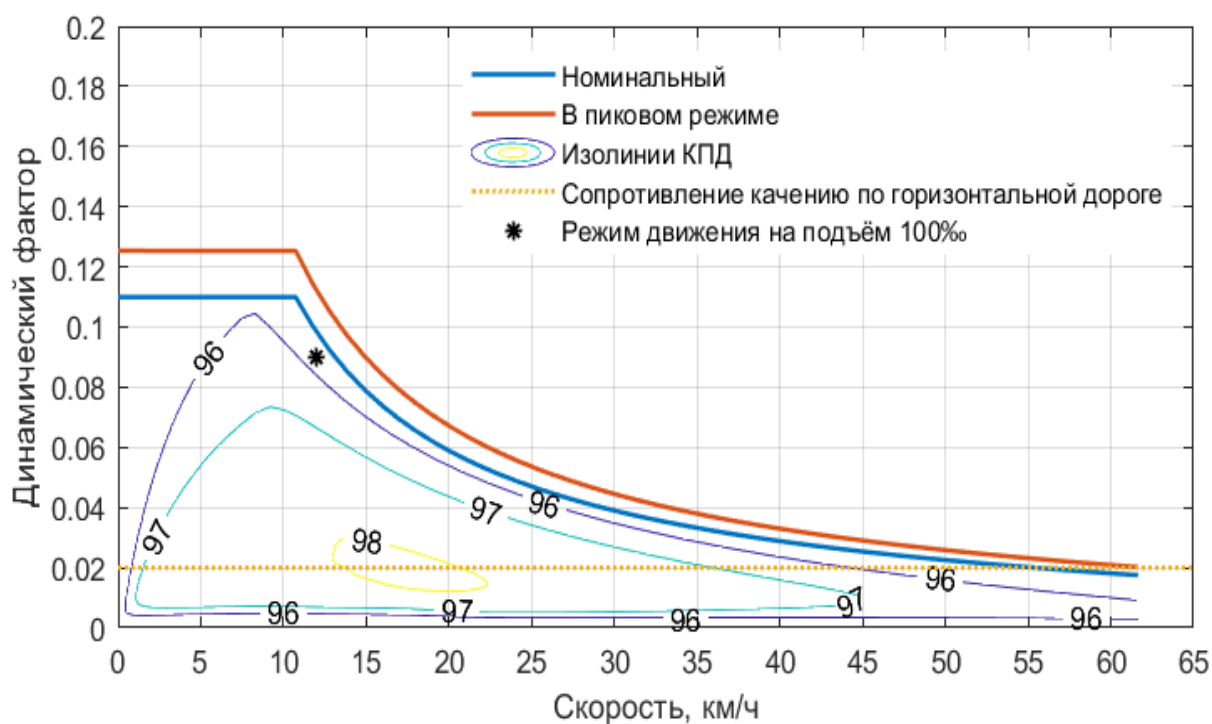


Рис. 12. Динамические характеристики автосамосвала с КТЭО АО «Силовые машины»  
Fig. 12. Dynamic characteristics of a dump truck with TEEK of Power Machines JSC



В результате анализа данных, представленных на рисунках 9-12, можно заметить:

КТЭО ООО «Сибэлектропривод» в паре с колёсным редуктором, характеризующимся требуемым по техническому заданию передаточным отношением, не позволяет развить необходимую максимальную скорость движения 60 км/ч;

КТЭО компании АО «Силовые машины» на автомобиле имеет наименьшие тяговые характеристики в пиковом режиме;

КТЭО компаний ООО «Русэлпром» и ЗАО «ПФТК ЗТЭО» имеют наиболее значения динамического фактора на всем диапазоне эксплуатационных скоростей. При этом динамический фактор в пиковом режиме выше у комплекта компании ООО «Русэлпром», а значит КТЭО этого производителя способен преодолеть большее сопротивление движению в сравнении с остальными вариантами.

Для типового режима движения самосвала полной массой со скоростью 12 км/ч на уклоне 100‰ типы привода обеспечивают следующие значения КПД:

КТЭО ООО «Сибэлектропривод» имеет наименьший КПД,  $\eta = 92,6\%$ ;

КТЭО АО «Силовые машины» имеет  $\eta = 95,8\%$ ;

КТЭО ЗАО «ПФТК ЗТЭО» имеет  $\eta = 96,95\%$ ;

КТЭО ООО «Русэлпром» имеет лучший среди всех рассмотренных приводов КПД,  $\eta = 97,05\%$ .

Таким образом, для различных типов привода разница КПД для типового режима достигает 4,45%, что является существенным при рассмотрении затрат на эксплуатацию самосвала в масштабах его жизненного цикла.

## Выводы

В статье рассмотрены характеристики комплектов тягового электропривода для автосамосвала грузоподъемностью 240 тонн четырех наиболее распространенных на территории Российской Федерации производителей.

Предложен подход, согласно которому возможно проводить совместную оценку тяговых, скоростных и энергетических свойств комплектов тягового электропривода в составе самосвала. Для проведения такой оценки необходимо совместить карты КПД тяговых электродвигателей с графиками динамических характеристик путем введения изолиний равного КПД и, таким образом, использовать данные по КПД при анализе привода во всем диапазоне режимов движения.

В соответствии с описанным подходом проведены тягово-динамические расчеты самосвала с различными типами привода, результаты которых рассмотрены совместно с картами КПД тяговых электродвигателей.

В результате анализа сделан вывод о том, что автосамосвал с КТЭО ООО «Русэлпром» удовлетворяет предъявляемым требованиям в полном объеме, а в типовом режиме движения по разрезу на подъём электродвигатель обеспечивает наибольший КПД 97,05 % в сравнении с рассмотренными вариантами привода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2022-016 от 07.04.2022 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.*



## Литература

1. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
2. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIT'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.
3. Mining Dump Trucks Electrical Traction Equipment Improvement / A. B. Vinogradov, N. E. Gnezdov, V. L. Chistoserov, A. A. Korotkov // 2020 11th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2020 - Proceedings: 11, Saint Petersburg, 04–07 октября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 9249279. – DOI 10.1109/ICEPDS47235.2020.9249279.
4. Results of the development and testing of traction electrical equipment of mining dump truck with load capacity of 240 tons / A. B. Vinogradov, N. E. Gnezdov, S. V. Zhuravlev, A. N. Sibirtsev // Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86. – No 3. – P. 139-146. – DOI 10.3103/S1068371215030098.
5. Казубенко А.Ф. Применение электромеханической трансмиссии на карьерных самосвалах БЕЛАЗ // «Горная Промышленность», №6 (142), 2018. – С. 21-23.
6. Анистратов К.Ю. Исследование показателей работы карьерных самосвалов для обоснования структуры парка и норм выработки автотранспорта // «Горная Промышленность», №4 (98), 2011 – С. 38.
7. Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Архипов Н.А. Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – No 3 (155). – С.12-19.
8. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин: учебник / В.В. Ларин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 391 с.: ил.
9. Официальный сайт компании ООО «Сибэлектропривод». - Режим доступа: <http://ssep.ru/>.
10. Официальный сайт компании ЗАО «ПФТК ЗТЭО». - Режим доступа: <http://zteo.ru/>.
11. Официальный сайт компании ООО «Русэлпром». - Режим доступа: <https://www.ruselprom.ru/>.
12. Официальный сайт компании АО «Силовые машины». - Режим доступа: <https://power-m.ru/>.
13. Мишуков. А. Особенности подбора электродвигателей для транспортных средств на электрической тяге / А. Мишуков, В. Скрипка // Control Engineering Россия. – 2019. – № 6(84). – С. 42-44.
14. Теория движения колёсных машин: учебник / Г. А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.: ил.
15. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 576 с.: ил.
16. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля (прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001; Элит-2000, 2001. – 230 с.
17. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
18. Метод определения энергоэффективного закона движения карьерного автосамосвала / А. Б. Карташов, Б. Б. Косицын, Г. О. Котиев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.
19. СП 37.1330.2012 Промышленный транспорт.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



## **Информация об авторах**

**Дубинкин Дмитрий Михайлович**, канд. техн. наук, доцент  
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Садовец Владимир Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент  
e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**Карташов Александр Борисович**, канд. техн. наук, директор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: kartashov@bmstu.ru

**Газизуллин Руслан Ленарович**, ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: rlgazizullin@bmstu.ru

**Киселев Павел Игоревич**, ведущий конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: pkiselev@bmstu.ru

**Попов Иван Петрович**, конструктор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»  
e-mail: kamaz-bauman@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1



## ANALYSIS AND PROSPECTS OF DOMESTIC TRACTION DRIVE APPLICATION FOR 240-TON AUTONOMOUS DUMP TRUCK

Dmitry M. Dubinkin<sup>1</sup>, Vladimir Y. Sadovets<sup>1</sup>, Alexander B. Kartashov<sup>2</sup>, Ruslan L. Gazizullin<sup>2</sup>, Pavel I. Kiselev<sup>2</sup>, Ivan P. Popov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University»

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University



### Article info

Received:  
20 April 2022

Revised:  
17 May 2022

Accepted:  
26 May 2022

**Keywords:** mining machines,  
quarry dump truck, autonomous  
quarry dump truck, traction  
drive, open pit mining

### Abstract.

In the article the analysis of domestic traction drives for autonomous quarry dump truck of 240 t payload capacity is carried out. The manufacturers of traction electric equipment kits (TEEK), such as LLC "Sibelectroprivod", CJSC "PFTK ZTEO", LLC "Ruselprom" and JSC "Power machines" are marked. The characteristics of traction motors of each manufacturer are given. Dependences of torque on rotor rotations of electric motors under consideration together with electric motor efficiency isolines are presented. Traction and speed properties of 240-t autonomous quarry dump truck are estimated according to the technique of constructing dynamic characteristic of the machine. Preliminarily by the offered technique the dynamic characteristics of the developed dump truck with the different variants of the set of the traction electric equipment have been built. It is established that for different types of the drive efficiency difference for the typical mode reaches 4.45%, which is essential when considering the cost of operating the truck on the scale of its life cycle. As a result of the analysis the conclusion is made that the dump truck with TEEK of LLC "Ruselprom" meets the requirements in full, and in a typical mode of uphill movement the electric motor provides the highest efficiency of 97,05% in comparison with the considered drive variants.

**For citation** Dubinkin D., Sadovets V., Kartashov A., Gazizullin R., Kiselev P., Popov I. (2022) Analysis and prospects of domestic traction drive application for 240-ton autonomous dump truck, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(17):22. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-22-36

### References

1. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
2. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov [et al.] // *IOP conference series: materials science and engineering* : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.
3. Mining Dump Trucks Electrical Traction Equipment Improvement / A. B. Vinogradov, N. E. Gnezdov, V. L. Chistoserdov, A. A. Korotkov // 2020 11th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2020 - Proceedings: 11, Saint Petersburg, 04–07 октября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 9249279. – DOI 10.1109/ICEPDS47235.2020.9249279.
4. Results of the development and testing of traction electrical equipment of mining dump truck with load capacity of 240 tons / A. B. Vinogradov, N. E. Gnezdov, S. V. Zhuravlev, A. N. Sibirtsev // *Russian Electrical Engineering*. – 2015. – Vol. 86. – No 3. – P. 139-146. – DOI 10.3103/S1068371215030098.
5. Kazubenko A.F. Primeneniye elektromekhanicheskoy transmissii na kar'yer-nykh samosvalakh BELAZ // «Gornaya Promyshlennost'», №6 (142), 2018. – S. 21-23.
6. Anistratov K.YU. Issledovaniye pokazateley raboty kar'yernykh samosvalov dlya obosnovaniya struktury parka i norm vyrabotki avtotransporta // «Gornaya Pro-myshlennost'», №4 (98), 2011 – S. 38.



7. Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Arkhitskiy N.A. Obosnovaniye konstruktivnogo resheniya transmissii avtonomnogo kar'yernogo samosvala gruzopod'yemnost'yu do 90 tonn // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika – 2021. – No 3 (155). – S.12-19.
8. Larin V.V. Teoriya dvizheniya polnoprivodnykh kolesnykh mashin: uchebnik / V.V. Larin. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2010. – 391 c.: il.
9. Ofitsial'nyy sayt kompanii OOO «Sib·elektroprivod». - Rezhim dostupa: <http://ssep.ru/>.
10. Ofitsial'nyy sayt kompanii ZAO «PFTK ZT·EO». - Rezhim dostupa: <http://zteo.ru/>.
11. Ofitsial'nyy sayt kompanii OOO «Rus·elprom». - Rezhim dostupa: <https://www.ruselprom.ru/>.
12. Ofitsial'nyy sayt kompanii AO «Silovyye mashiny». - Rezhim dostupa: <https://power-m.ru/>.
13. Mishukov. A. Osobennosti podbora elektrodvigately dlya transportnykh sredstv na elektricheskoy tyage / A. Mishukov, V. Skripka // Control Engineering Rossiya. – 2019. – № 6(84). – S. 42-44.
14. Teoriya dvizheniya kolësnnykh mashin: uchebnik / G. A. Smirnov. – M.: Mashinostroyeniye, 1990. – 352 s.: il.
15. Tarasik V.P. Teoriya dvizheniya avtomobilya. – 2-ye izd., pererab. i dop. – SPB.: BKHV-Peterburg, 2022. – 576 s.: il.
16. Pirkovskiy YU.V., Shukhman S.B. Teoriya dvizheniya polnoprivodnogo avto-mobilya (prikladnyye voprosy optimizatsii konstruktssii shassi). – M.: YUNITI-DANA, 2001; Elit-2000, 2001. – 230 s.
17. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
18. Metod opredeleniya energoeffektivnogo zakona dvizheniya kar'yernogo avto-samosvala / A. B. Kartashov, B. B. Kositsyn, G. O. Kotiyev [i dr.] // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. – 2020. – № 3(149). – S. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.
19. SP 37.1330.2012 Promyshlennyy transport.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Information about the authors

**Dmitry M. Dubinkin**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
e-mail: [ddm.tm@kuzstu.ru](mailto:ddm.tm@kuzstu.ru)

**Vladimir Yu. Sadovets**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
e-mail: [svyu.pmh@kuzstu.ru](mailto:svyu.pmh@kuzstu.ru)

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Kemerovo, 28 Vesennyya st.

**Alexander B. Kartashov**, Ph.D. (Tech.), Director  
e-mail: [kartashov@bmstu.ru](mailto:kartashov@bmstu.ru)

**Ruslan I. Gazizullin**, project engineer  
e-mail: [rlgazizullin@bmstu.ru](mailto:rlgazizullin@bmstu.ru)

**Pavel I. Kiselev**, project engineer  
e-mail: [pkiselev@bmstu.ru](mailto:pkiselev@bmstu.ru)

**Ivan P. Popov**, engineer  
e-mail: [kamaz-bauman@bmstu.ru](mailto:kamaz-bauman@bmstu.ru)

Bauman Moscow State Technical University, Scientific and Educational Centre "KAMAZ-BAUMAN"  
Russian Federation, Moscow, 105005, 2nd Baumanskaya street, 5