

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.Г. Журавлев<sup>1</sup>, М.В. Исаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

**Аннотация:** Высокая значимость оптимизации работы карьерного транспорта подтверждается ведущей долей затрат на него в общей себестоимости добычи полезного ископаемого. Актуальное направление оптимизации – разработка и внедрение цифровых технологий обработки комплексных данных о параметрах работы транспортных машин. Решение вышеуказанных вопросов должно базироваться на результатах научно-исследовательских работ по сбору и обработке информации. Разработан комплекс методик, позволяющий выполнять экспериментальные замеры параметров работы карьерных автосамосвалов как в рамках специальных единичных экспериментов, так и в виде длительных мониторинговых замеров. Представлен комплекс аппаратуры для выполнения экспериментальных замеров, а также его установка на автосамосвале. Приведены данные экспериментальных замеров и методический подход к их анализу. В частности, показана идентификация режимов работы энергосиловой установки и построение нагрузочной диаграммы, выявление элементов транспортного цикла и др. На примере расчетных графиков энергопотребления и резерва рекуперации энергии торможения показан подход к обоснованию инновационных конструкций энергосиловых установок, адаптированных к условиям конкретного карьера. Предложенный аппаратно-методический комплекс является исследователем макетом для разработки методов автоматизированного сбора и обработки данных при формировании элементов цифрового горного производства.

**Ключевые слова:** карьерный автосамосвал, экспериментальные замеры, мониторинг, оценка технического состояния, анализ данных.

**Благодарность:** Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075–00581–19–00, тема №0405–2019–0005.

**Для цитирования:** Журавлев А.Г., Исаков М.В. Экспериментальные исследования работы карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 530–542. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.

### Experimental testing of open pit dump trucks in operating conditions

A.G. Zhuravlev<sup>1</sup>, M.V. Isakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Russia

**Abstract:** The high importance of optimizing the operation of quarry transport is confirmed by the leading share of its costs in the total cost of mining. The current direction of optimization is the development and implementation of digital technologies for processing complex data on

the parameters of transport vehicles. The solution of the above issues should be based on the results of scientific research on the collection and processing of information. Developed a set of techniques to perform experimental measurements of working parameters of mining dump trucks as part of a special unit experiments, and long monitoring measurements. A set of equipment for performing experimental measurements, as well as its installation on a dump truck is presented. The data of experimental measurements and a methodical approach to their analysis are presented. In particular, it shows the identification of operating modes of the power plant and the construction of the load diagram, the identification of elements of the transport cycle, etc. The approach to substantiation of innovative designs of power plants adapted to the conditions of a particular quarry is shown on the example of calculated schedules of energy consumption and reserve of recovery of braking energy. The proposed hardware-methodical complex is a research model for the development of methods for automated data collection and processing in the formation of elements of digital mining production.

**Key words:** quarry dump truck, experimental measurements, monitoring, technical condition assessment, data analysis.

**Acknowledgments:** The study was supported within the framework of State Contract No. 07500581-19-00. Project No. 0405-2019-007.

**For citation:** Zhuravlev A.G., Isakov M.V. Experimental testing of open pit dump trucks in operating conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):530-542. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.

---

## Введение

Высокая значимость оптимизации работы карьерного транспорта подтверждается ведущей долей затрат на него в общей себестоимости добычи полезного ископаемого. Поэтому на горнодобывающих предприятиях вопросам организации транспорта и в частности автомобильного транспорта, который применяется практически повсеместно, уделяется большое внимание. С развитием автоматизированных систем новые технологии стали активно использоваться для систем диспетчеризации и позволили снизить затраты дизельного топлива, повысить коэффициент использования и производительность карьерных автосамосвалов и экскаваторов (по отдельным показателям эффект в ряде случаев достигает 20%) и тем самым снизить общие затраты на горнотранспортный комплекс [1 – 5].

Автоматизированные системы диспетчеризации (АСД) предполагают подключение бортовых контроллеров к штатным, дополнительным датчикам

и информационным шинам и передачу ключевых данных на сервер с последующей обработкой. В настоящее время они используют небольшой объем «извлекаемых» данных, необходимых и достаточных для решения задач диспетчеризации и контроля.

Развитие систем управления дизельными двигателями, трансмиссиями и иными системами карьерных автосамосвалов ведет к тому, что все они оборудуются контроллерами и могут передавать большой объем информации о параметрах узлов. При наличии радиоканалов АСД их передача может дополнять поток информации и давать новые возможности для оптимизации работы машин.

Среди перспективных направлений такой оптимизации можно выделить:

- оценка состояния транспортных машин, при предаварийных состояниях — снятие их с линии, замена исправными;
- распределение машин по зонам карьера в соответствии с их техниче-

ским состоянием, что обеспечит наиболее экономичную и производительную их работу;

- оптимизация настроек систем автосамосвалов на соответствие горнотехническим условиям эксплуатации [6];
- и др.

Решение вышеуказанных вопросов должно базироваться на результатах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Важные разделы НИОКР:

- установление фактических параметров работы автосамосвалов в условиях реальных карьеров,
- разработка методики сбора данных (по номенклатуре, количеству, детализации, точности); перечень данных не должен быть избыточным и по возможности быть минимально необходимым;
- разработка методики обработки данных для получения необходимых и достоверных результатов.

На современном уровне развития технологий оптимизации производственных систем наиболее целесообразно формирование оптимизирующих автоматизированных систем на базе объединения модели объекта (цифрового двойника) и системы мониторинга и анализа фактических данных о его работе. Это подтверждается большинством современных научных работ по этому вопросу [7 – 11].

Для достоверного применения компьютерного имитационного моделирования параметров работы карьерных автосамосвалов необходимо обеспечить соответствие модели реальному объекту. Это требует верифицировать модель с помощью данных экспериментальных замеров.

Для разработки методик сбора, анализа данных необходим оперативный доступ к достоверной детальной информации о параметрах работы гор-

ного и транспортного оборудования. В зависимости от решаемых задач выделяются:

- специальные экспериментальные замеры (единичные по специальной программе);
- мониторинговые замеры (в течение длительного времени с валовым сбором информации и последующей ее сортировкой и обработкой).

### **Методы**

Для решения специфических задач наиболее точные результаты обеспечиваются при проведении специальных экспериментальных работ, когда исследуемый самосвал совершает необходимые комплексные заезды и отдельные операции транспортного цикла согласно плану эксперимента. Для замеров может применяться комплекс специальной аппаратуры, регистрирующий параметры энергосиловой установки, дополнительных датчиков, устанавливаемых на самосвал, и специальной системы высокоточного измерения расхода топлива. В ИГД УрО РАН разработана соответствующая методика экспериментальных исследований карьерных автосамосвалов и комплекс аппаратуры на базе прибора БТМК-101/сав, созданного там же [12]. Либо возможно использование штатной аппаратуры современных автосамосвалов с микроконтроллерными системами управления, позволяющей регистрировать и записывать параметры их работы.

Все получаемые данные со штатных датчиков автосамосвала, топливоизмерительной аппаратуры и дополнительных датчиков передаются и обрабатываются электронным прибором. Разработанный в ИГД УрО РАН комплект представляет собой специальную поверенную емкость с датчиками. Его конструкция позволяет

метрологически точно (погрешность в разных режимах не более 1–2 %) измерять расход топлива карьерного автосамосвала на всех режимах работы.

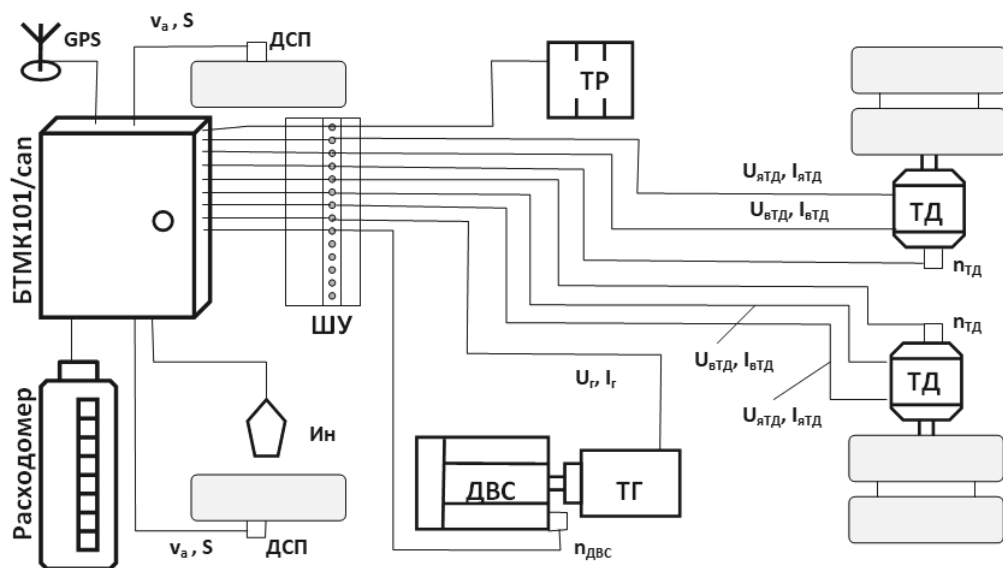
Полученные с использованием устройства БТМК101/can данные выводятся на экран ноутбука в режиме реального времени, а также записываются в память с последующим экспортом в Excel, что позволяет их анализировать в дальнейшем.

Схема подключения экспериментальной аппаратуры к автосамосвалу с электронной системой управления тяговым электроприводом представлена на рис. 1.

В настоящее время все чаще возникает необходимость длительного сбора данных параметров работы карьерных транспортных машин. Это, с одной

стороны, дает возможность оценивать их работу на большом статистическом материале, повышать достоверность расчетов. С другой стороны — позволяет обрабатывать методики обработки информации, генерации выводов и рекомендаций применительно к цифровым системам управления горнотранспортными комплексами.

Для этой цели в ИГД УрО РАН разработана методика проведения мониторинговых экспериментальных замеров и сформирован соответствующий аппаратный комплекс. Особенность данного типа замеров состоит в сборе и анализе больших объемов данных, что позволит разработать методологию обработки информации для цифровых горных производств (в т. ч. при использовании комплексов роботизированной техники).



ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ТГ – тяговый генератор; ШУ – шкаф управления системы управления тяговым электроприводом; ТР – тормозные резисторы; ТД – тяговый электродвигатель; ДСП – датчик скорости и пути; Ин – инклинометр

Рис. 1. Схема подключения экспериментальной аппаратуры для специальных экспериментальных замеров

Fig. 1. Connection diagram of experimental equipment for special experimental measurements



*Рис. 2. Установка регистратора на карьерном автосамосвале для мониторинговых замеров  
Fig. 2. Installation of a recorder on a quarry dump truck for monitoring measurements*

Сбор данных о параметрах работы автосамосвала осуществляется в автоматическом режиме с помощью Регистратора. Регистратор размещается в шкафу системы управления тяговым электроприводом карьерных автосамосвалов (СУТЭП) и подключается к основным системам самосвала для сбора данных (рис. 2). Параметры записываются на съемную flash-карту Регистратора и затем переносятся на персональный компьютер для последующей обработки.

Поскольку данные в исходном виде сжимаются для оптимального хранения в памяти, для их расшифровки разработано специальное компьютерное приложение.

Комплекс аппаратуры позволяет регистрировать основные параметры двигателя внутреннего сгорания (частота вращения, крутящий момент и др.), трансмиссии самосвала (в т. ч. вычислять мощности на разных стадиях преобразования), массу в кузове самосвала, скорость, расход топлива (при установке уровнемера в топлив-

ном баке или динамического расходомера), координаты нахождения самосвала и др.

Отладка комплекса выполнялась на карьерном автосамосвале БелАЗ-7513 на одном из карьеров Свердловской области. Питание Регистратора организовано от бортовой сети автосамосвала  $\pm 24\text{В}$ . Для записи координат GPS на автосамосвале установлен и подключен к Регистратору GPS-приемник.

Апробация методики и аппаратуры показала ее применимость для мониторинга как технологических показателей работы самосвала (скорость, производительность, количество рейсов, загрузка и др.), так и технических его параметров (мощности ключевых агрегатов энергосиловой установки, тяговые характеристики и др.). Имеется возможность оценивать фактические режимы работы энергосиловой установки, энергетические параметры транспортирования, сопоставлять их с расчетными и паспортными характеристиками и многое другое.

## Результаты

Актуальным на ближайшую перспективу является создание методологии сбора и обработки больших массивов данных о параметрах работы техники, что позволит создавать цифровизованные системы управления комплексами машин. Поэтому ниже приведены результаты мониторинговых экспериментальных замеров, подходы к их обработке и возможности анализа данных.

Получение разнородных данных позволяет при их правильной обработке и совместном анализе выявлять дополнительные сведения. Например, на рис. 3 анализ динамики некоторых параметров работы энергосиловой установки позволяет не только оценить режим ее работы, но и идентифици-

ровать элементы транспортного цикла (движение с грузом и порожняком, погрузку и разгрузку). Визуально четко выделяются участки с частотой вращения двигателя внутреннего сгорания (ДВС), характерной для номинальной мощности, средней мощности и холостого хода, подтверждаемые значениями крутящего момента и тока тяговых электродвигателей. Идентифицировав таким образом диапазоны времени и сопоставив их с элементами транспортного цикла, в дальнейшем можно выделять и увязывать параметры ЭСУ с режимом работы самосвала (тяга, торможение и т. п.). Из рис. 3 также видна тесная взаимосвязь крутящего момента ДВС и тока в электромеханической трансмиссии. Следовательно, по эксплуатационным параметрам можно

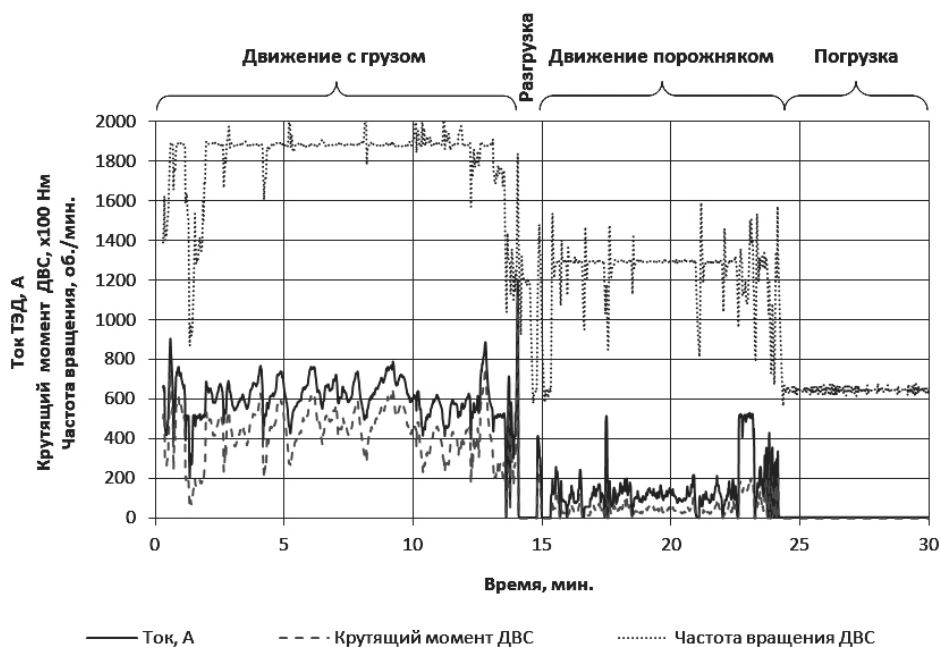


Рис. 3. Идентификация операций транспортного цикла карьерного автосамосвала по динамике параметров энергосиловой установки: ДВС — двигатель внутреннего сгорания; ТЭД — тяговый электродвигатель

Fig. 3. Identification of operations of the transport cycle of a quarry dump truck by the dynamics of the parameters of the power plant

с определенной точностью построить нагрузочную характеристику дизель-генераторной установки и оценить ее состояние.

Нагрузочные режимы энергосило-вой установки (ЭСУ) карьерного автосамосвала существенно влияют на ее ресурс и эксплуатационные показатели самосвала. В зависимости от горнотехнических условий преобладают те или иные режимы работы. Для идентификации нагрузочных режимов использован подход с зонированием нагрузочных диаграмм, полученных по результатам экспериментальных замеров (рис. 4, а). Зонирование выполняется для каждого конкретного семейства автосамосвалов с учетом алгоритмов работы их энергосиловой установки, условий эксплуатации и характерных режимов нагружения в увязке с горнотехническими условиями. Для стандартизации могут быть разработаны ездовые циклы и применяться для сравнительной оценки совершенства ЭСУ разных моделей самосвалов, в том числе использоваться для выбора наилучшей

модели самосвала для конкретных горнотехнических условий, а также для оценки фактического состояния ЭСУ в период эксплуатации.

На рис. 4, б приведен пример распределения нагрузочных режимов для трех реальных трасс одного карьера. Видно, что нагрузочные режимы заметно отличаются. Следовательно, при наличии на предприятии разных моделей самосвалов можно выбрать для каждой из них наиболее эффективные условия эксплуатации (распределить самосвалы по определенным трассам).

Важной особенностью комплексного анализа большого перечня данных, получаемых от бортового контроллера, является возможность оценки ее состояния. Для этого в рассмотрение должны приниматься параметры динамики самосвала в целом (скорость, ускорение, координаты). Например, используя данные рис. 3 о частоте и крутящем моменте ДВС, можно вычислить мощность ДВС, а по данным рис. 5 фактическую скорость и ускорение. Из рис. 5 видно, что в промежутке времени 1–14 мин,



Зона 1 — средняя мощность ( $n_{\text{двс}} = 0-1850$  об/мин;  $N_{\text{эсу}} > 50$  кВт);

Зона 2 — минимальная мощность ( $n_{\text{двс}} = 0-1850$  об/мин;  $N_{\text{эсу}} < 50$  кВт);

Зона 3 — номинальная (максимальная) мощность ( $n_{\text{двс}} = 1850-2100$  об/мин;  $N_{\text{эсу}} > 900$  кВт);

Зона 4 — средняя мощность на высокой частоте ( $n_{\text{двс}} = 1850-2100$  об/мин;  $N_{\text{эсу}} < 900$  кВт)

Рис. 4. Идентификация нагрузочных режимов энергосиловой установки

Fig. 4. Identification of load modes of power plant

несмотря на максимальный крутящий момент, ДВС скорость ниже, чем на отрезке времени 15–24 мин. Это говорит о том, что в начале самосвал двигался груженым на подъем, а после 15-й минуты поехал порожняком на спуск, используя главным образом режим электродинамического торможения. Идентифицируя таким образом условия и режимы движения машины, можно оценить подводимую мощность и фактически реализуемую на колесах тягу. Их соотношение говорит о степени эффективности ЭСУ и ее состоянии. Более того, при разработке соответствующей методики по этим данным можно оценивать профиль трассы даже в отсутствие специальных датчиков на самосвале.

По данным мониторинговых замеров можно выполнять более глубокий анализ работы систем самосвала. Так, на рис. 6 приведено совмещение фактических параметров работы электромеханической трансмиссии с внешней характеристикой дизель-генераторной установки. Видно, что большая часть фактических

режимов работы лежит в зоне основного регулирования мощности. Режимы ограничения предельного тока тяговых электродвигателей (а значит и крутящего момента) встречаются редко, а значит, привод не испытывает перегрузок. А вот в зоне ограничения предельного напряжения машина работает чаще, это говорит о задействовании режима ослабления магнитного поля электродвигателей на скоростях более 30 км/ч. Следовательно, самосвал работал, вероятнее всего, на верхних горизонтах, где съезды характеризуются средними уклонами (не более 8 %) и имеется значительное количество горизонтальных участков, на которых самосвал может развивать высокую скорость (35–50 км/ч).

Аналогичным образом можно выполнять мониторинг состояния ключевых узлов самосвала. Накопление данных периодических мониторингов и их анализ во времени позволяет строить тренды изменения их состояния и прогнозировать наступление критических состояний и отказов. На данной

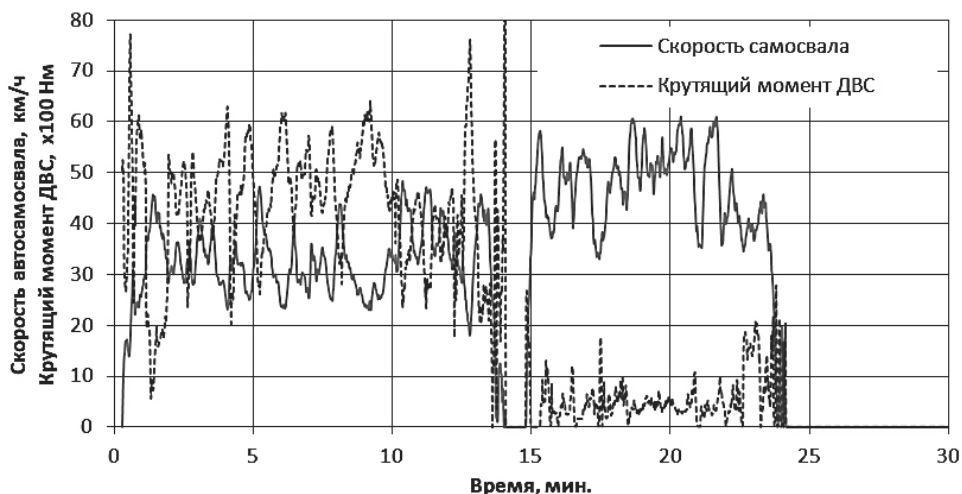


Рис. 5. Взаимосвязь реализуемых силовых характеристик энергосиловой установки и фактической динамики автосамосвала во времени

Fig. 5. The relationship between the realized power characteristics of the power plant and the actual dynamics of the dump truck in time



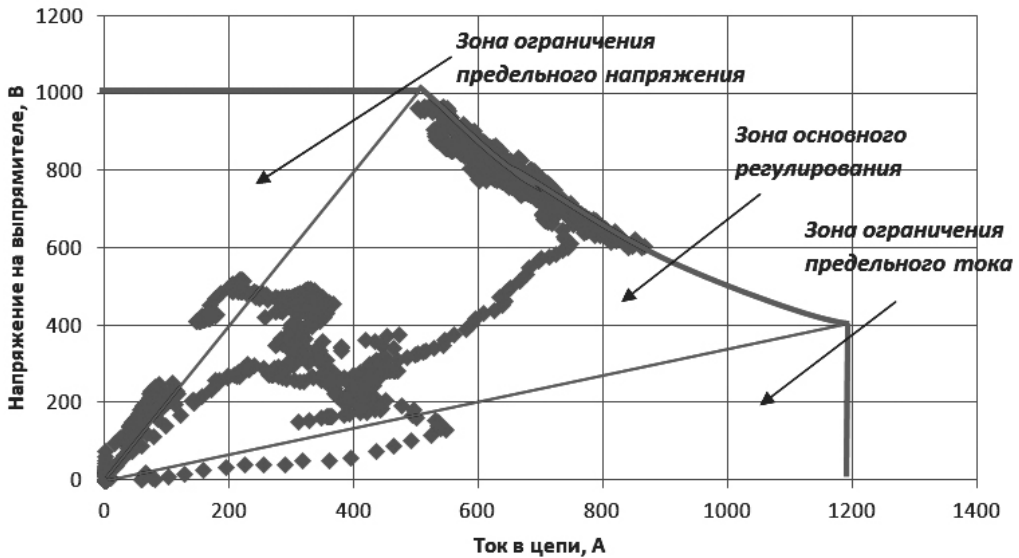


Рис. 6. Параметры работы электромеханической трансмиссии в координатах  $U-I$  (точки) с наложением предельной внешней характеристики дизель-генераторной установки (показана линиями)

Fig. 6. Parameters of the Electromechanical transmission in coordinates  $U-I$  (points) with the imposition of the limit external characteristics of the diesel generator set (shown lines)

основе может быть построена автоматизированная система прогнозной аналитики состояния энергосиловой установки автосамосвала в целом, что является важным элементом «цифрового» производства.

Мониторинговые экспериментальные замеры наряду со специальными экспериментами являются основой для обоснования параметров специальных транспортных средств и перспективных энергосиловых установок. В этом плане важно не просто накапливать статистику о тех или иных параметрах, но детально анализировать работу самосвала с использованием приведенных выше методических подходов, выявлять резервы совершенствования конструктивных параметров машины.

Так, выполненные для АК «АЛРОСА» [13, 14] исследования с использованием экспериментальных замеров позволили обосновать перспективы применения

электрифицированного транспорта. Ключевыми в данных исследованиях являлись энергетические параметры движения карьерных автосамосвалов по различным трассам. Пример распределения во времени режимов тяги и торможения автосамосвала при движении по карьерным автодорогам приведен на рис. 7. Видно, что пиковые значения тормозной мощности сопоставимы с тяговым режимом, однако в среднем мощность торможения составляет порядка 15–20 % от мощности тяговых режимов при движении на подъем. В целом за рейс энергия торможения, которая может быть рекуперирована за 1 рейс, составляет порядка 10 % от полной энергии, расходуемой на тягу. В то же время рекуперация может восполнить не менее 50 % от энергии, расходуемой на движение самосвала порожняком от места разгрузки к месту погрузки. В случаях, когда рекуперация

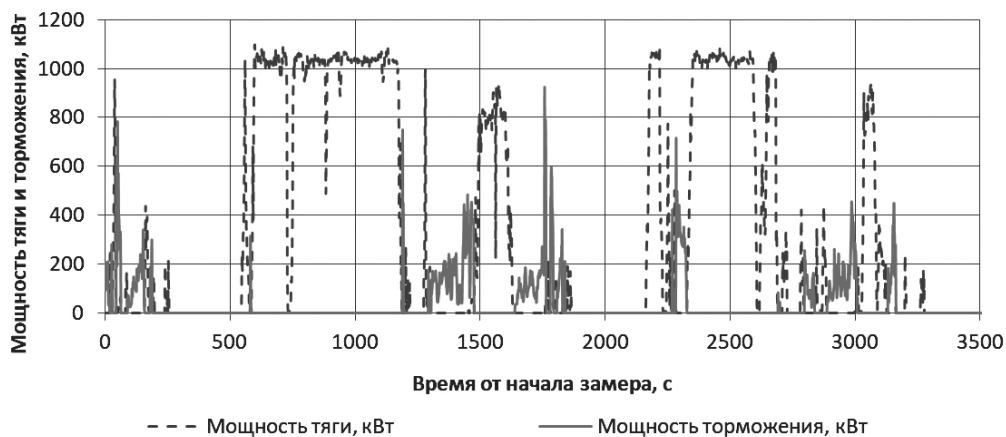


Рис. 7. Мощность режимов тяги и торможения при движении карьерного автосамосвала БелАЗ-1713

Fig. 7. Power modes of traction and braking when driving a quarry dump truck BelAZ-1713

покрывает более 100 % энергии на порожняковое движение, возможно применение автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой, оборудованной тяговым аккумулятором энергии. А в тех горнотехнических условиях, где рекуперация значительна, возможно применение аккумуляторных и троллейно-аккумуляторных машин. Применение инновационных конструкций энергосиловых установок позволяет получить экономический эффект за счет экономии дизельного топлива. Это особенно актуально для удаленных районов, куда завоз топлива существенно увеличивает его стоимость.

### Заключение

1. Разработан комплекс методик, позволяющий выполнять экспериментальные замеры параметров работы карьерных автосамосвалов как в рамках специальных единичных экспериментов, так и в виде длительных мониторинговых замеров.

2. Применение Регистратора для считывания параметров работы само-

свалов, оборудованных современной микроконтроллерной системой управления энергосиловой установкой, даёт необходимый и подробный объём данных о работе автосамосвала, позволяющий изучать влияние параметров карьера на работу самосвала, разрабатывать и внедрять методики оценки состояния его энергосиловой установки, прогнозной аналитики.

3. Предложенный аппаратно-методический комплекс является исследовательским макетом для разработки методов автоматизированного сбора и обработки данных при формировании элементов цифрового горного производства.

4. Получены новые данные о параметрах работы карьерных автосамосвалов в условиях реального карьера. Они использованы для определения исходных данных при имитационном моделировании движения карьерного автосамосвала по карьерным автодорогам. Итоговая проверка адекватности модели показала отклонение расчетных данных от эксперимента не более 5 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов А.А. Мониторинг текущего состояния и показателей работы горно-транспортных комплексов с помощью бортовых систем автоматизации и диспетчеризации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2008. — №4. — С. 269–277.
2. Варичев А.В. Комплексный подход к интеллектуальным системам управления горным производством / Варичев А.В., Кретов С.И., Исмагилов Р.И., Бадтиев Б.П., Владимиров Д.Я. // ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. — 2016. — №3. — С.4–7.
3. Зырянов И.В. Эффективность внедрения автоматизированных систем управления на карьерном транспорте в АК «АЛРОСА» / И.В. Зырянов, Б.И. Димант, В.Г. Ульянов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2013. — №3. — С. 76–82.
4. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горнотранспортными комплексами/ Под ред. акад. РАН К.Н.Трубецкого. — СПб.: Наука, 2007. — 306 с.
5. Аброськин А.С. Мониторинг работы карьерных автосамосвалов на современном этапе // Вестник ИрГТУ. — 2015. — №3. — С. 175–178.
6. Фефелов Е.В. Задача выбора параметров силовых установок карьерных самосвалов для конкретных горно-технических условий // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — N 10. — С. 25–28.
7. Abdi Oskouei, M. & Awuah-Offei, K. A method for data-driven evaluation of operator impact on energy efficiency of digging machines. *Energy Efficiency*, 2016, Volume 9, Issue 1, pp. 129–140. (DOI: 10.1007/s12053–015–9353–3).
8. Vaafi E.Y., Zeng W.A. Discrete-Event Simulation for a Truck-Shovel System. In: Widzyk-Capehart E., Hekmat A., Singhal R. (eds). *Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2018*. Springer, Cham, 2019, P.265–276. (DOI: 10.1007/978–3-319–99220–4\_22).
9. Nouri Qarahasanlou, A., Khalokakaie, R., Ataei, M. et al. Operating Environment-Based Availability Importance Measures for Mining Equipment (Case Study: Sungun Copper Mine). *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2017, no 17, P.56–67. (DOI:10.1007/s11668–016–0205-z).
10. André Romano Alho, Takanori Sakai, Ming Hong Chua, Kyungsoo Jeong, Peiyu Jing, Moshe Ben-Akiva. Exploring Algorithms for Revealing Freight Vehicle Tours, Tour-Types, and Tour-Chain-Types from GPS Vehicle Traces and Stop Activity Data. *Journal of Big Data Analytics in Transportation*, 2019, no 1, pp. 175–190. (DOI:10.1007/s42421–019–00011-x).
11. Nipesh Pradhananga, Jochen Teize. Cell-based construction site simulation model for earthmoving operations using real-time equipment location data. *Visualization in Engineering*, 2015, no 3, P.12–27. (DOI 10.1186/s40327–015–0025–3).
12. Тарасов П.И. Комплекс экспериментальной аппаратуры для исследования карьерных автосамосвалов / Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фефелов Е.В., Исаков М.В., Черепанов В.А. // Проблемы карьерного транспорта. Материалы X международной научно-практической конференции, 14–16 октября 2009 г. — Екатеринбург: УрО РАН. — 2009. — С. 211–214.
13. Журавлев А.Г. Оценка возможности применения электрифицированного транспорта на алмазорудных карьерах АК «АЛРОСА» // А.Г. Журавлев, А.И. Крашенинников // Решение экологических и технологических проблем горного производства на территории России, ближнего и дальнего зарубежья: Материалы международной научно-технической конференции, 21–22 марта 2019 г. — Москва: АО «ВНИПИПромтехнологии», 2019. — С. 304–308.
14. Черепанов В.А. Обзор транспорта с электропитанием в фокусе развития горнодобывающих предприятий / Черепанов В.А., Журавлев А.Г., Глебов И.А., Чен-

## REFERENCES

1. Kuleshov A.A. Monitoring of the current state and performance of mining and transport complexes using onboard automation and dispatching systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008. no4. pp. 269–277. [In Russ]
2. Varichev A.V., Kretov S.I., Ismagilov R.I., Badtiev B.P., Vladimirov D.Ya. Complex approach to intelligent systems of mining production management. *Gornaya promyshlennost'*. 2016. no 3. pp. 4–7. [In Russ]
3. Zyryanov I.V., Dimant B.I., Ul'yanov V.G. Efficiency of implementation of automated control systems for quarry transport in Alrosa. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013. no 3. pp. 76–82. [In Russ]
4. Trubeckoj K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. *Sovremennye sistemy upravleniya gornotransportnymi kompleksami* [Modern management systems for mining and transport complexes]. Pod red. akad. RAN K.N.Trubeckogo. Saint-Petersburg: Nauka, 2007. 306 p. [In Russ]
5. Abros'kin A.S. Monitoring the work of quarry dump trucks at the present stage. *Vestnik IrGTU.* 2015. no 3. pp. 175–178. [In Russ]
6. Fefelov E.V. Problem of selecting parameters of power plants of quarry dump trucks for specific mining and technical conditions. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika.* 2008. no 10. pp. 25–28. [In Russ]
7. Abdi Oskouei, M. & Awuah-Offei, K. A method for data-driven evaluation of operator impact on energy efficiency of digging machines. *Energy Efficiency*, 2016, Volume 9, Issue 1, pp. 129–140. (DOI: 10.1007/s12053 – 015 – 9353 – 3).
8. Baafi E.Y., Zeng W. A Discrete-Event Simulation for a Truck-Shovel System. In: Widzyk-Capehart E., Hekmat A., Singhal R. (eds). *Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2018.* Springer, Cham, 2019, P.265 – 276. (DOI: 10.1007/978 – 3-319 – 99220 – 4\_22).
9. Nouri Qarahasanlou, A., Khalokakaie, R., Ataei, M. et al. Operating Environment-Based Availability Importance Measures for Mining Equipment (Case Study: Sungun Copper Mine). *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2017, no 17, P.56–67. (DOI:10.1007/s11668 – 016 – 0205-z).
10. André Romano Alho, Takanori Sakai, Ming Hong Chua, Kyungsoo Jeong, Peiyu Jing, Moshe Ben-Akiva. Exploring Algorithms for Revealing Freight Vehicle Tours, Tour-Types, and Tour-Chain-Types from GPS Vehicle Traces and Stop Activity Data. *Journal of Big Data Analytics in Transportation*, 2019, no 1, pp. 175–190. (DOI:10.1007/s42421 – 019 – 00011-x).
11. Nipesh Pradhananga, Jochen Teize. Cell-based construction site simulation model for earthmoving operations using real-time equipment location data. *Visualization in Engineering*, 2015, no 3, P.12 – 27. (DOI 10.1186/s40327 – 015 – 0025 – 3).
12. Tarasov P.I., ZHuravlev A.G., Fefelov E.V., Isakov M.V., Cherepanov V.A. *Kompleks eksperimental'noj apparatury dlya issledovaniya kar'ernyh avtosamosvalov. Problemy kar'ernogo transporta* [Complex of experimental equipment for the study of quarry dump trucks. Problems of quarry transport]. *Materiály X mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 14–16 oktyabrya 2009 g. Ekaterinburg: UrO RAN.* 2009. pp. 211–214. [In Russ]
13. ZHuravlev A.G., Krasheninnikov A.I. *Ocenka vozmozhnosti primeneniya elektrificirovannogo transporta na almazorudnyh kar'erah AK «ALROSA»* [Evaluation of the possibility of using electrified transport in the diamond-ore quarries of ALROSA]. *Reshenie ekologicheskikh i tekhnologicheskikh problem gornogo proizvodstva na territorii*

Rossii, blizhnego i dal'nego zarubezh'ya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, 21 – 22 marta 2019 g. Moscow: AO «VNIP|promtekhologii», 2019. pp. 304 – 308. [In Russ]

14. СHerepanov V.A., ZHuravlev A.G., Glebov I.A., CHendyrev M.A. Review of transport with power supply in the focus of development of mining enterprises. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2019. no 1. pp. 33 – 49. (DOI: 10.25635/2313 – 1586.2019.01.033). [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Журавлев Артем Геннадиевич*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, заведующий лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, juravlev@igduran.ru,

*Исаков Михаил Викторович*<sup>1</sup> – младший научный сотрудник лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники,

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Zhuravlev A.G.*<sup>1</sup>, chief of laboratory, Cand. Sci. (Eng.), juravlev@igduran.ru,

*Isakov M.V.*<sup>1</sup>, junior researcher,

<sup>1</sup> The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 18.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 18.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.

