

УДК 622.684

**Стенин Дмитрий Владимирович**, канд. техн. наук, доцент

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

E-mail: sdv.ea@kuzstu.ru

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОНОМНЫХ ТЯЖЕЛЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ БЕЗЛЮДНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

---

***Аннотация:** в работе рассмотрены актуальные вопросы развития и применения беспилотных карьерных самосвалов при разработке месторождений полезных ископаемых. Приведены основные преимущества и недостатки применения автономных самосвалов челночного типа по сравнению с традиционными самосвалами, объясняющие причины их востребованности и заинтересованности в них горнодобывающих предприятий. Кроме того, расчетным путем обоснована целесообразность использования беспилотных автомобилей с точки зрения их производительности.*

***Ключевые слова:** беспилотный карьерный самосвал, производительность, продолжительность рейса, добыча полезных ископаемых.*

***Информация о статье:** принята 18 декабря 2019 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-3-8*

Одним из основных этапов технологического процесса добычи полезных ископаемых открытым способом является транспортировка. Как и буровзрывные и выемочно-погрузочные работы транспортировка определяет технологию открытой добычи полезных ископаемых. Большая часть горной массы транспортируется автотранспортом, обладающим как недостатками по сравнению с другими видами карьерного транспорта, так и определенными преимуществами, которые являются определяющими в выборе транспорта и ставят автомобильный транспорт на первое место по объемам перевозок [1].

Карьерный транспорт предназначен для перемещения вскрышных пород от забоев до отвалов и полезных ископаемых – до перегрузочных пунктов, складов и обогатительных фабрик.

Главной тенденцией развития карьерного автотранспорта в последние годы является увеличение грузоподъемности. Этот факт предъявляет повышенные требования, как к квалификации водителей большегрузных автомобилей, так и к надежности каждой отдельно взятой машине.

В настоящее время компании, эксплуатирующие большегрузные автосамосвалы испытывают значительные затруднения из-за нехватки квалифицированных водителей карьерной техники.

Кроме того, увеличение единичной мощности самосвалов и, следовательно, уменьшение количества машин на маршруте предъявляет повышенные требования к каждой из них. Неисправность даже одной единицы наносит

значительный урон производительности всего парка самосвалов. И здесь также огромное влияние оказывает человеческий фактор. Нарушение правил эксплуатации, правил движения в карьере, неправильная установка под погрузку и разгрузку, пересменки, перерывы в работе – все это возможные причины снижения производительности, долговечности и надежности самосвалов, являющиеся следствием использования традиционных способов управления транспортными средствами [2].

Рост заработной платы, увеличение затрат на эксплуатацию карьерных самосвалов и, как итог, повышение себестоимости получаемого продукта наталкивают на логичное решение вопроса – это внедрение безлюдной технологии добычи полезных ископаемых. В частности, разработка и внедрение на разрезах беспилотных карьерных самосвалов. Это позволит решить много задач – снижение числа несчастных случаев и повышение эффективности использования техники за счет отказа от использования человеческого труда в процессе добычи и транспортировки, снижение количества отказов вследствие нарушения правил эксплуатации, повышение производительности [3].

Конечно же, применение таких автомобилей влечет за собой сокращение количества водителей, но с другой стороны предприятие, использующее автономные самосвалы, должно иметь в штате высококвалифицированных инженеров, способных настраивать автоматику и работать с

ней. Кроме того, вся система работает через диспетчерскую службу, а автоматизация лишь увеличит эффективность работы людей и слегка скорректирует штат сотрудников, но не заменит их полностью. А это уже новые рабочие места [10].

Первый «беспилотник» был разработан в 1996 году компанией Caterpillar. С тех пор прошло более 20 лет, и спрос на них растет. Горнодобывающие компании мира увеличивают свой парк беспилотных карьерных машин. В настоящее время число беспилотных самосвалов, работающих на добыче полезных ископаемых по всему миру, исчисляется сотнями [4].

Причина такого спроса и востребованности безлюдной технологии — добыча полезных ископаемых в сложных условиях, нехватка квалифицированных водителей карьерных самосвалов, сложная и длительная подготовка специалистов, быстрая выработка человеческого ресурса, а также экономический эффект, который может быть достигнут при использовании автономной техники [5].

Экономическая выгода от использования беспилотной техники при добыче полезных ископаемых очевидна, и ее применение в карьерах становится уже обычным делом. В сравнении с традиционными машинами беспилотные самосвалы способны работать значительно дольше, поскольку они не нуждаются в перерывах на отдых и, соответственно, не простаивают. Высокая эффективность таких автомобилей уже подтверждена опытом эксплуатации по всему миру.

Карьерные роботизированные самосвалы могут использоваться в телеуправляемом, полуавтономном и автономном режимах. Навигацию самосвалов обеспечивают модули GPS, радары и лазерные сенсоры.

Крупнейшие горнодобывающие корпорации все активнее внедряют беспилотные автопарки: это повышает безопасность и эффективность при перемещении больших объемов грузов [6].

В 2019 году компания БЕЛАЗ показала БЕЛАЗ-7513R - с интеллектуальной системой управления нового поколения. Система Vist Robotics обеспечивает более развернутое сканирование окружения, в том числе, несмотря на сложные погодные условия. Челночный режим движения обеспечивает меньший износ крупногабаритных шин, а также сокращает на 12% время движения по маршруту. В дальнейшем компания планирует автоматизировать и другие виды работ и операции, в частности погрузочные работы, машина-погрузчик сможет соотнести перемещения с положением самосвала [7].

Безусловно, применение беспилотного самосвала в карьере решает множество поставленных задач, однако для достижения максимальной эффективности при добыче полезных ископаемых открытым способом такой самосвал должен быть лишь элементом целой системы, управляемой автоматизировано. В этой связи, большим интересом будут пользоваться комплексные решения,

т.е. централизованные системы, позволяющие работать с целым парком автономного транспорта и другими системами.

В 2016 году компания Komatsu представила опытный образец карьерного самосвала Komatsu IAHV. Новинка отличается от подобных машин в первую очередь тем, что полностью лишена водительской кабины. По сути, эта машина является не конечным продуктом, а частью системы управления автономным комплексом грузоперевозок [8].

Главные новшества модели — это возможность передвижения вперед и назад с одинаковой скоростью, полный привод и управление как поворотом, так и вращением всеми четырьмя колесами. Благодаря этим опциям сокращается время на постановку самосвала под погрузку и разгрузку, а также экономится место в призабойной и разгрузочной зонах (минимум вскрышных работ), поскольку пропадает необходимость в развороте машины.

Беспилотные роботизированные самосвалы полностью не заменят обычные самосвалы с водителями, но потребность в них есть, учитывая дефицит водителей спецтехники в Кузбассе и за Уралом.

Несмотря на ряд преимуществ использования беспилотных карьерных самосвалов, огромный интерес вызывает сравнительный анализ производительности обоих способов управления техникой. Ведь использование «беспилотника» челночного типа предполагает отсутствие маневров на погрузочных и разгрузочных площадках, движение по четко заданной траектории и установленной скоростью, отсутствие перерывов в работе и другие нюансы, рассмотренные ранее, теоретически должны повысить производительность самосвалов с использованием современного способа управления.

За основной критерий (то есть основное отличие двух автосамосвалов) возьмем отсутствие маневровых операций в конечных пунктах маршрута. Дополнительное время на маневровые операции  $t_{\text{доп}}$  складывается из времени маневров при подъезде и установке под погрузку и разгрузку. Время на маневры при различных схемах подъезда составляет:

- - при сквозной загрузке - 10 с;
- - при петлевой загрузке - 20-25 с;
- - при тупиковой загрузке - 50-60 с;
- - при разгрузке 80-100 с.

Для сравнительного анализа примем наиболее распространенную схему заезда самосвалов – тупиковую. Несмотря на наличие большого количества недостатков по сравнению с петлевой схемой, ее используют на большинстве горнодобывающих предприятий [9].

В качестве сравнительного показателя примем сменную производительность самосвалов:

$$Q_{\text{см}} = n_{\text{рейс}} * q_{\text{ф}},$$

Таблица 1 – Сравнительный анализ показателей эксплуатации беспилотного автомобиля (автомобиль А) и самосвала, управляемого традиционным способом (автомобиль Б)

Самосвал	$t_p$ , мин	$n_{\text{рейс}}$ , ед	$Q_{\text{см}}$ , т/см	$N_a$ , ед
автомобиль А	35,29	20	2991,8	24
автомобиль Б	31,29	23	2652,6	21
изменение, %	-12,8	+11,3	+12,8	-11,3

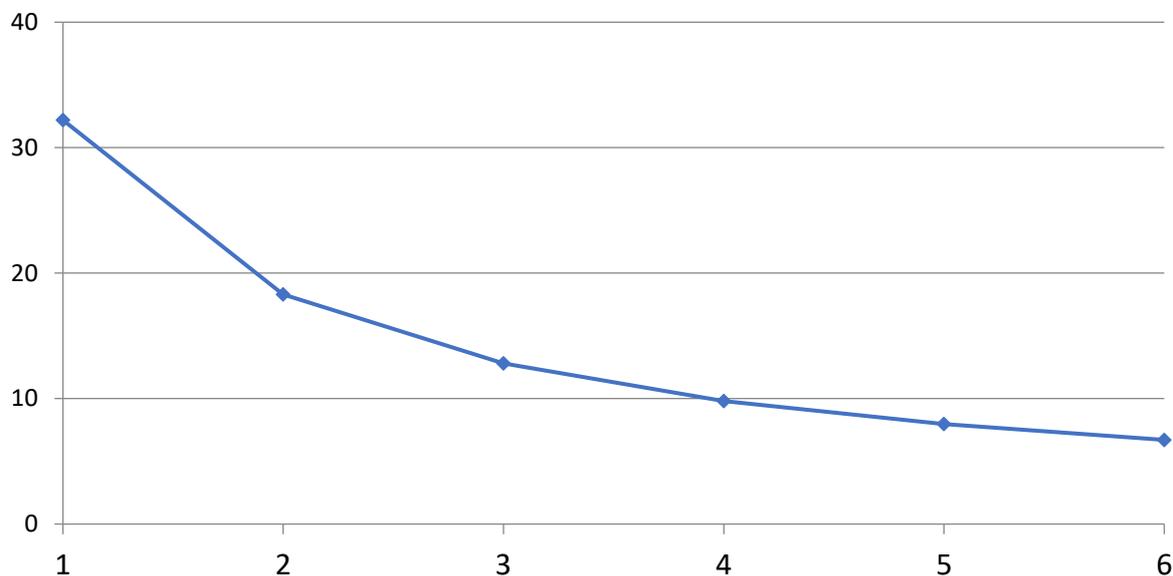


Рисунок 1. Зависимость времени рейса ( $t_p$ ) от расстояния транспортирования груза.

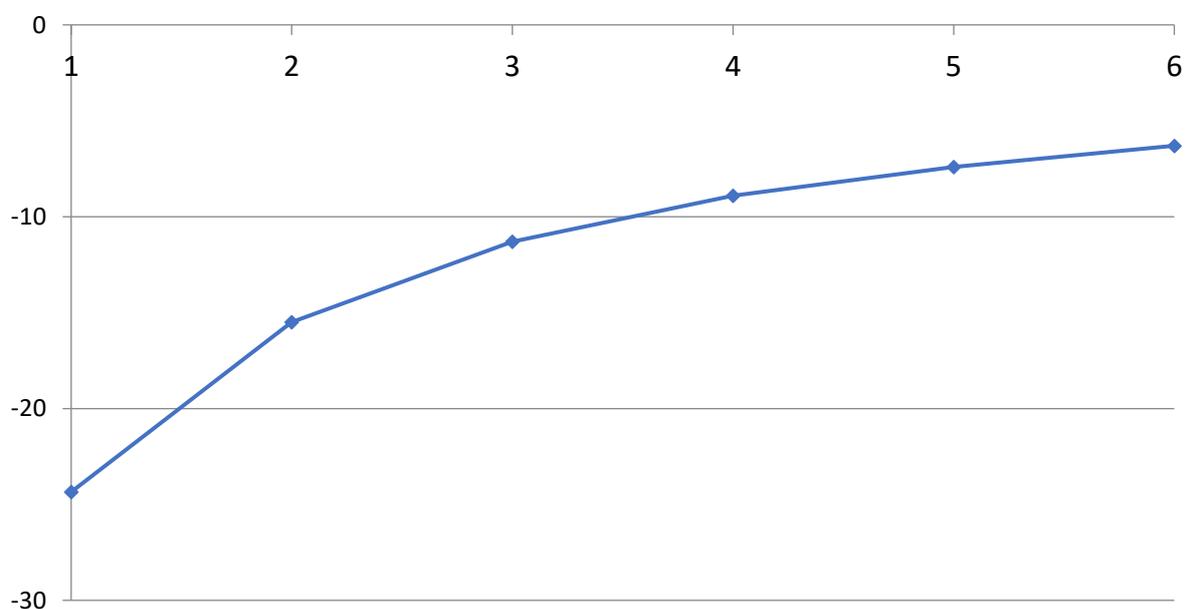


Рисунок 2. Зависимость количества рейсов  $n_{\text{рейс}}$  от расстояния транспортирования груза.

где:  $n_{\text{рейс}}$  – количество рейсов одного самосвала за смену,  $q_f$  – фактическая масса груза в кузове самосвала, т.

Количество рейсов ( $n_{\text{рейс}}$ ) за смену зависит от продолжительности одной смены ( $t_{\text{см}}$ ) и времени одного рейса ( $t_p$ ).

$$n_{\text{рейс}} = \frac{t_{\text{см}}}{t_p}$$

Вот здесь и появляются первые отличия в результатах для беспилотных самосвалов и машин, управляемых традиционно. Так как время рейса существенно зависит от продолжительности маневровых операций и времени установки машин под погрузку. Конечно же, это влияние становится более существенным при небольших расстояниях перевозки и практически не сказывается при больших плечах.

$$t_p = t_n + t_{\text{раз}} + t_{\text{дв}} + t_m,$$

где:  $t_n$ ,  $t_{\text{раз}}$  – продолжительность погрузки и разгрузки, соответственно, мин;  $t_{\text{дв}}$  – время движения по маршруту в груженом и порожнем направлениях, мин;  $t_m$  – время на маневровые операции и задержки в пути, мин.

Время движения автосамосвала в грузовом и порожнем направлениях со средней скоростью  $V_{\text{ср}}$  определяется по формуле:

$$t_{\text{дв}} = 2 * \frac{60 * L_{\text{тр}}}{V_{\text{ср}}} * k_p$$

где:  $L_{\text{тр}}$  – расстояние транспортирования, км;  $k_p$  – коэффициент, учитывающий разгон и торможение машины, мин

**Количество автосамосвалов**, необходимых для обслуживания одного экскаватора в смену определяется по формуле:

$$N_a = \frac{t_p}{t_n}$$

Таким образом, для конкретных условий эксплуатации и при прочих равных условиях по всем показателям беспилотный самосвал имеет неоспоримые преимущества перед автомобилями, управляемыми человеком.

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таким образом, предположения, высказанные выше, полностью доказаны. То есть при использовании беспилотных автомобилей уменьшается продолжительность рейса за счет отсутствия маневровых операций и простоев на маршруте, увеличивается количество рейсов и, следовательно, производительность автосамосвалов, а также появляется возможность уменьшить количество машин, работающих на маршруте и необходимых для выполнения определенного объема перевозок. В конечном итоге все это сказывается положительно на затратах на эксплуатацию самосвалов и на себестоимость перевозок.

Необходимо отметить, что полученные результаты справедливы для определенных условий и конкретного самосвала. При изменении какого-либо параметра, значения отклонений будут другие, но все равно, в любом случае все расчеты показывают целесообразность использования беспилотных автомобилей.

Например, на рисунках, приведенных ниже, показаны зависимости некоторых рассчитанных показателей от расстояния транспортирования.

Как следует из приведенных зависимостей, преимущества беспилотных самосвалов прослеживаются особенно четко при меньших расстояниях транспортирования, нежели при больших. Это объясняется тем, что при больших расстояниях наиболее важна транспортная

составляющая, то есть на эффективность использования самосвалов отсутствие маневровых операций практически не оказывает. Например, при расстоянии транспортирования 6 км отклонения показателей у двух автомобилей находятся в пределах 5-6%. При коротком плече откатки любая потеря времени при установке самосвала под погрузку оказывает значительное влияние на показатели эффективности использования.

Таким образом, если говорить только об эффективности использования самосвалов, то есть затратах, производительности и других, то в большинстве случаев беспилотные самосвалы имеют преимущества по сравнению с автомобилями, управляемыми людьми.

Если же говорить о безопасности работ, долговечности и надежности карьерной техники, то никаких расчетов не нужно, чтобы понять, что беспилотный автомобиль бесспорно выигрывает перед традиционным автомобилем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-034 от 22.11.2019г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенин Д.В., Стенина Н.А. Влияние параметров горнотранспортного оборудования на эффективность использования карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика, 2019, № 2 (142), С. 10-14.
2. Хорешок А.А., Стенин Д.В., Стенина Н.А. Влияние условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2012, № 2 (90), С. 28-30
3. Дубинкин Д.М., Бакулин Е.В. Области применения программно-измерительного комплекса для оценки технических характеристик в машиностроении // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири «Сибресурс 2014». Материалы XV международной научно-практической конференции, 2014, С.120
4. Расчет автомобильного транспорта - // <https://lektsii.org/14-11369.html>
5. Эксплуатационный расчёт автотранспорта // [https://studwood.ru/1655226/tehnika/ekspluatatsionnyu\\_raschyot\\_avtotransporta](https://studwood.ru/1655226/tehnika/ekspluatatsionnyu_raschyot_avtotransporta)
6. Voronov Yu., Voronov A., Grishin S., Bujankin A., Increasing the technical level of mining haul trucks // E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium 2017.

7. Фурман А.С., Фурман А.А., Фурман Н.В. К вопросу создания беспилотного транспорта//Иновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, 2018, С. 407-410.

8. Буялич Г.Д., Фурман А.С. Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов// Горное оборудование и электромеханика, 2017, № 5 (132), С. 40-42.

9. Курнаков К.А., Кульпин А.Г. Сравнение технико-экономических показателей на содержание и обслуживание автосамосвалов различных

марок // Иновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, 2018, С. 401-403.

10. Баранова А.С., Охрименко А.Е., Столярова А.П., Стенина Н.А. Анализ проблем угольной отрасли//Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая", 2017, С. 39.

**Dmitry V. Stenin**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION OF AUTONOMOUS HEAVY PLATFORMS FOR UNMANNED MINING

**Abstract:** *the paper discusses the urgent issues of the development and application of unmanned dump trucks in the open mining. The main advantages and disadvantages of using autonomous shuttle dump trucks in comparison with traditional dump trucks are given, explaining the reasons for their demand and interest in mining enterprises in them. Besides, the calculation justifies the feasibility of using unmanned vehicles in terms of their performance.*

**Keywords:** *unmanned mining dump truck, productivity, duration of a voyage, mining.*

**Article info:** *received December 18, 2019*

**DOI:** *10.26730/1816-4528-2019-6-3-8*

### REFERENCES

1. Stenin D.V., Stenina N.A. Vliyaniye parametrov gornotransportnogo oborudovaniya na effektivnost' ispol'zovaniya kar'ernyh samosvalov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, 2019, № 2 (142), S. 10-14.

2. Horeshok A.A., Stenin D.V., Stenina N.A. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na teplovoe sostoyaniye reduktorov motor-koles avtosamosvalov BelAZ // Vestnik Kuzbas-skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2012, № 2 (90), S. 28-30

3. Dubinkin D.M., Bakulin E.V. Oblasti primeneniya programmno-izmeritel'nogo kompleksa dlya ocenki tekhnicheskikh harakteristik v mashinostroenii// Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri «Sibresurs 2014». Materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, 2014, S.120

4. Raschet avtomobil'nogo transporta // <https://lektsii.org/14-11369.html>

5. Ekspluatatsionnyy raschyot avtotransporta // [https://studwood.ru/1655226/tehnika/ekspluatatsionnyy\\_raschyot\\_avtotransporta](https://studwood.ru/1655226/tehnika/ekspluatatsionnyy_raschyot_avtotransporta)

6. Voronov Yu., Voronov A., Grishin S., Bujan-kin A., Increasing the technical level of mining haul trucks //E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium / 2017.

7. Furman A.S., Furman A.A., Furman N.V. K voprosu sozdaniya bespilnogo transporta//Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyah, mashinostroenii i avto-transporte Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, 2018, S. 407-410.

8. Buyalich G.D., Furman A.S. Issledovanie transportnogo processa kar'ernyh avtosamosvalov// Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, 2017, № 5 (132), S. 40-42.

9. Kurnakov K.A., Kul'pin A.G. Sravnenie tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej na sodержaniye i obsluzhivaniye avtosamosvalov razlichnykh marok // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyah, mashinostroenii i avtotransporte. Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, 2018, S. 401-403.

10. Baranova A.S., Oхrimenko A.E., Stolyarova A.P., Stenina N.A. Analiz problem ugol'noy ot-rasli//Sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-

prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem "Rossiya molodaya", 2017, S. 39.

**Библиографическое описание статьи**

Стенин Д.В. Перспективы развития производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 3-8.

**Reference to article**

Stenin D.V Prospects for the development of the production of autonomous heavy platforms for unmanned mining. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 6 (146), pp. 3-8.