

УДК 622.684

Хорешок Алексей Алексеевич, д.т.н., профессор, **Стенина Наталья Александровна**, к.т.н., доцент, **Кудреватых Андрей Валерьевич**, к.т.н., доцент, **Ащеулов Андрей Сергеевич**, к.т.н., доцент

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

E-mail: steninana@kuzstu.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Аннотация: Комплекс задач по проектированию открытых разработок включает в себя – экономическое обоснование месторождения, определение оптимальных параметров производительности и режима горных работ карьера, выбор схемы вскрытия и оборудования, соответствующего заданным условиям, с учетом всех технологических этапов. Чтобы повысить эффективность работы сопряженного горного и транспортного оборудования, отдельных его типов и конкретных условий, необходимо установить оптимальные параметры. Важным параметром при выборе автосамосвалов для транспортирования горной массы на внутрикарьерных и магистральных перевозках, является коэффициент рациональной грузоподъемности технологического транспорта карьеров. Для установления рационального значения коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов в зависимости от температурного режима редукторов мотор-колес нами была разработана модель с использованием средств программирования Visual Basic 6.0. Была установлена связь между минимальными удельными затратами и коэффициентом использования грузоподъемности в различных условиях эксплуатации, описанная уравнением второго порядка.

Ключевые слова: коэффициент использования грузоподъемности, карьерный автосамосвал, редуктора мотор-колес, температурный режим, моделирование процессов, степень загрузки, сопряженно-работающее оборудование.

Информация о статье: принята 18 января 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9

Сегодня и в ближайшей перспективе основным способом разработки полезных ископаемых являются открытые горные работы. Одним из этапов технологического процесса, который влияет на эффективность добычи угля, является транспортирование горной массы. Так как карьерный автотранспорт является основным видом транспорта на открытых горных работах существует потребность в исследовании влияния условий эксплуатации на их режимы работы для достижения высокопроизводительной работы с минимальными экономическими затратами. На практике на режимы работы карьерных автосамосвалов влияние оказывают совокупность множества факторов, что в конечном итоге и определяет качество их эксплуатации. Кроме того, работа автосамосвалов находится в зависимости от условий погрузки - емкости ковша экскаватора, расстояния перевозки и профиля дорог на участках, количества одновременно работающих автосамосвалов и экскаваторов меняется от

работающей смены. Возникает необходимость в оптимизации использования транспортных средств, принято использовать критерий оптимальности минимум удельных затрат $Z_{уд}$, который учитывает не только влияние внешних факторов, но и одновременно учитывает тенденцию развития горных работ [1, 2].

Сложные условия работы карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов с учетом горнотехнических и горно-геологических условий работы на разрезах не только Кузбасса, но и всей России не позволяют разработать единых рекомендаций по эксплуатации для достижения их максимальной эффективности [3]. Увеличение глубины карьеров, увеличение расстояний транспортирования и продольных уклонов приводят к увеличению грузоподъемности автосамосвалов, что отражается на тепловом состоянии редукторов мотор-колес (РМК) карьерных автосамосвалов. При эксплуатации автосамосвалов одной марки в различных условиях невозможно найти

```

Zrem = 967.2916 * Exp(0.043 * tm)
Co = Val(Text19.Text)
Kc = Zrem / Co
q = Val(Text4.Text)
Vt = Val(Text10.Text)
Tpr = Val(Text11.Text)
Qchas = q * j * Vt * 0.5 / (Leg + Tpr * Vt * 0.5)
Drem = 0.0093 * Exp(0.0555 * tm)
Dvi = Val(Text12.Text)
Drg = 365 - Dvi - Drem
Tsut = Val(Text13.Text)
Trg = Drg * Tsut
Qgod = Qchas * Trg
Zud = Zrem / Qgod
Zud = Fix(Zud * 1000) / 1000
notk = CInt(0.0034 * Exp(0.055 * tm))
Kg = (365 - Drem) / 365

```

*Рис.1 Фрагмент листинга программы модуля расчета
Fig. 1 Fragment of the module program listing*

рациональный коэффициент использования грузоподъемности [4, 5].

Наиболее часто возникающие простои автосамосвалов происходят по причине неисправностей и отказов несущей части, связанных с выходом из строя редукторов мотор-колес. Прежде чем происходит отказ техники изменяются физико-химические свойства масел редуктора мотор-колес. Повышенные требования к применяемым во время эксплуатации горюче-смазочным материалам предъявляются в связи с особенностями условий работы автосамосвалов. Перегрев элементов РМК и масла в нем является одной из причин изменения технического состояния технологического транспорта [6, 7].

Повышенные температуры масла в редукторах мотор-колес карьерных автосамосвалов значительно снижают надежность данных узлов, что приводит к повышению количеству отказов, и как следствие, к уменьшению коэффициента готовности горнодобывающего комплекса. Так в исследованиях, проводимых сотрудниками КузГТУ, выявлена количественная зависимость между температурой масла в РМК БелАЗов и металлическими примесями, образующихся в процессе износа сопряженных деталей. [8]

Были проанализированы текущие методики [9, 10] исследований связи между температурным режимом редукторов мотор-колес и производительностью сопряженного горного и транспортного оборудования, который показал:

- использование теоретических расчетов не всегда дают достоверные результаты, так как не учитываются все параметры процесса;

- при использовании экспериментальных методов обработки данных режимов работы

необходима дальнейшая доработка средствами математического анализа;

- моделирование процессов позволяет комплексно оценить показатели в целом.

Для установления рационального значения коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов в зависимости от температурного режима редукторов мотор-колес нами была разработана модель с использованием средств программирования Visual Basic. Программа определяет наилучший температурный режим РМК карьерных автосамосвалов учитывая изменения условий эксплуатации. Фрагмент листинга разработанной программы представлен на рис. 1.

Так как программа ведет расчет загрузки карьерных автосамосвалов, учитывая изменения температуры редукторов мотор-колес, это делает возможным определить для них рациональную степень загрузки при конкретных горнотехнических условиях и подготовить рекомендации для эффективной эксплуатации заданных транспортных средств. Методику расчета программы возможно использовать на разрезах любого профиля, эксплуатирующих карьерные автосамосвалы.

При определении исходных данных были учтены следующие факторы: тип сопряженно работающих транспортных средств, технические условия эксплуатации, включая изменения температуры окружающей среды, анализ массива полученных исходных данных. На основании имеющихся данных были установлены регрессионные зависимости целевых параметров.

Возможности программы представлены следующими характеристиками:

| Входные данные | | Расчетные данные | |
|--|---------|------------------------------------|-------|
| Емкость кузова, м ³ | 129,8 | Удельные затраты на ремонт | 0,024 |
| Коэффициент экскавации | 1,1 | Рациональный КИГ | 0,8 |
| Коэффициент разрыхления | 1,6 | Число ковшей | 6 |
| Грузоподъемность в/с, т | 220 | Коэффициент готовности | 0,932 |
| Объем ковша, м ³ | 15 | Число отказов | 8 |
| Плотность горной массы, т/м ³ | 2,2 | Коэффициент стоимости эксплуатации | 0,363 |
| Температура окружающей среды, оС | 25 | | |
| Длина ездки с грузом, км | 4 | | |
| Продольный уклон дороги, % | 6 | | |
| Скорость, км/ч | 14 | | |
| Время простоя самосвала за рейс, час | 0,2 | | |
| Число выходных | 22 | | |
| Время работы в сутки, час | 24 | | |
| Стоимость редуктора, руб. | 1200000 | | |
| | | Расчет | |

Рис. 2 Пример расчета данных для БелАЗ-75306 (при $t_{oc}=+25^{\circ}C$).
 Fig.2 Example of data calculation for BelAZ-75306
 (at $T=+25^{\circ}C$).

| Входные данные | | Расчетные данные | |
|--|---------|------------------------------------|-------|
| Емкость кузова, м ³ | 129,8 | Удельные затраты на ремонт | 0,031 |
| Коэффициент экскавации | 1,1 | Рациональный КИГ | 0,7 |
| Коэффициент разрыхления | 1,6 | Число ковшей | 5 |
| Грузоподъемность в/с, т | 220 | Коэффициент готовности | 0,909 |
| Объем ковша, м ³ | 15 | Число отказов | 11 |
| Плотность горной массы, т/м ³ | 2,2 | Коэффициент стоимости эксплуатации | 0,455 |
| Температура окружающей среды, оС | 30 | | |
| Длина ездки с грузом, км | 4 | | |
| Продольный уклон дороги, % | 6 | | |
| Скорость, км/ч | 14 | | |
| Время простоя самосвала за рейс, час | 0,2 | | |
| Число выходных | 22 | | |
| Время работы в сутки, час | 24 | | |
| Стоимость редуктора, руб. | 1200000 | | |
| | | Расчет | |

Рис. 3 Пример расчета данных для БелАЗ-75306 (при $t_{oc}=+30^{\circ}C$).
 Fig.3 Example of data calculation for BelAZ-75306
 (at $T=+30^{\circ}C$).

– расчёт степени загрузки с минимальными удельными затратами;

– расчёт рационального коэффициента использования грузоподъемности в конкретных условиях эксплуатации автосамосвалов;

| Входные данные | | Расчетные данные | |
|---|---------|------------------------------------|-------|
| Емкость кузова, м ³ | 71,17 | Удельные затраты на ремонт | 0,053 |
| Коэффициент экскавации | 1,1 | Рациональный КИГ | 0,7 |
| Коэффициент разрыхления | 1,6 | Число ковшей | 3 |
| Грузоподъемность q/c , т | 130 | Коэффициент готовности | 0,909 |
| Объем ковша, м ³ | 15 | Число отказов | 11 |
| Плотность горной массы, т/м ³ | 2,2 | Коэффициент стоимости эксплуатации | 0,496 |
| Температура окружающей среды, $^{\circ}C$ | 30 | | |
| Длина ездки с грузом, км | 4 | | |
| Продольный уклон дороги, % | 6 | | |
| Скорость, км/ч | 14 | | |
| Время простоя самосвала за рейс, час | 0,2 | | |
| Число выходов | 22 | | |
| Время работы в сутки, час | 24 | | |
| Стоимость редуктора, руб. | 1100000 | | |
| | | Расчет | |

Рис. 4 Пример расчета данных для БелАЗ-75131 (при $t_{oc}=+25^{\circ}C$).
 Fig.4 Example of data calculation for BelAZ-75131
 (at $T=+25^{\circ}C$).

| Входные данные | | Расчетные данные | |
|---|---------|------------------------------------|-------|
| Емкость кузова, м ³ | 71,17 | Удельные затраты на ремонт | 0,042 |
| Коэффициент экскавации | 1,1 | Рациональный КИГ | 0,7 |
| Коэффициент разрыхления | 1,6 | Число ковшей | 3 |
| Грузоподъемность q/c , т | 130 | Коэффициент готовности | 0,932 |
| Объем ковша, м ³ | 15 | Число отказов | 8 |
| Плотность горной массы, т/м ³ | 2,2 | Коэффициент стоимости эксплуатации | 0,396 |
| Температура окружающей среды, $^{\circ}C$ | 25 | | |
| Длина ездки с грузом, км | 4 | | |
| Продольный уклон дороги, % | 6 | | |
| Скорость, км/ч | 14 | | |
| Время простоя самосвала за рейс, час | 0,2 | | |
| Число выходов | 22 | | |
| Время работы в сутки, час | 24 | | |
| Стоимость редуктора, руб. | 1100000 | | |
| | | Расчет | |

Рис. 5 Пример расчета данных для БелАЗ-75131 (при $t_{oc}=+30^{\circ}C$).
 Fig.5 Example of data calculation for BelAZ-75131 (at $T=+30^{\circ}C$).

– определение оптимального числа ковшей экскаватора, коэффициента готовности и числа отказов РМК.

При тестировании программы был использован массив исходных данных для различных марок большегрузных автосамосвалов в широком

диапазоне значений горнотехнических, технико-эксплуатационных и дорожных условий.

При работе программы следующие параметры были использованы как исходные:

ρ_c – плотность горной массы, т/м³;

t_{oc} – температура окружающей среды;

L_{er} – длина ездки с грузом;

i – продольный уклон дороги;
 V_t – техническая скорость;
 $T_{пр}$ – время простоя автосамосвала за один рейс;
 $D_{вых}$ – выходные дни в году;
 $T_{сут}$ – время работы в сутки, ч;
 C_o – стоимость РМК.
 V_a – вместимость кузова автосамосвала;
 K_3 – коэффициент экскавации;
 K_p – коэффициент разрыхления горной массы,
 q – грузоподъемность автосамосвала, т;
 V_3 – объем ковша экскаватора;

В результате расчета происходит учет изменения температуры РМК, в итоге определяются следующие показатели: рациональный коэффициент использования грузоподъемности, минимальные удельные затраты, коэффициент готовности, количество погружаемых ковшей, коэффициент стоимости эксплуатации и количество отказов РМК. На разработанное программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ [11].

Расчетные формы поэтапной работы с программой представлены на рис.2–4. В формах представлен расчет для марок автосамосвалов БелАЗ-75306, БелАЗ-75131 при различной температуре окружающей среды. В правой части показаны рассчитанные значения параметров при заданных значениях исходных данных в левой части формы.

В результате работы в программе установлены условия эксплуатации и режимы работы сопряженно-работающего оборудования, при которых показатели их технического состояния и производительности принимают рациональные значения.

Отмечено, незначительное уменьшение коэффициента использования грузоподъемности позволяет увеличить коэффициент готовности автосамосвалов, как следствие происходит уменьшение количества отказов и затрат, связанных с ними.

Выявлено, что рациональное значение коэффициента использования грузоподъемности находится в диапазоне 0,8 – 0,9. Несмотря на снижение такого важного показателя, наблюдается положительная динамика по минимизации удельных затратах и значительном увеличении значения коэффициента готовности, при этом стоимость эксплуатации с учетом температурного режима РМК карьерных автосамосвалов, также понижается. При снижении коэффициента использования грузоподъемности до значения 0,8 уменьшилось на 25,7 % количество отказов, а на затраты, связанные с ремонтом РМК, на 20,8 %, температура масла, эксплуатируемого в редукторе мотор-колеса, понизилась на 3,85 % (от 140,4 °С до 135 °С), а удельные затраты сократились на 3,21 %.

Одно из главных преимуществ применения данного программного обеспечения, это возможность выбора условий работы автосамосвала

таким образом, чтобы снизить температуры эксплуатируемого масла в РМК, так как при температурах свыше 140 °С происходит повышенное образование металлических примесей, что свидетельствует о повышенном износе трущихся деталей редуктора. Именно температура в 140 °С признана критической, и превышение данного значения приводит к сокращению срока службы горнотранспортного оборудования. [8]

Выведенное аналитическим путем, уравнение второго порядка (1), описывает влияние коэффициента использования грузоподъемности при учете температурных режимов РМК на удельные затраты, связанные с ремонтом РМК:

$$Z_{уд} = a \cdot \gamma_{гр}^2 - b \cdot \gamma_{гр} + c \quad (1)$$

В результате исследований установлено влияние условий эксплуатации на температурный режим редукторов мотор-колес, что дает возможность внесения корректировок в проектировании технологических процессов при разработке полезных ископаемых открытым способом ведения горных работ. Применение разработанного программного обеспечения позволит сократить число отказов автосамосвалов по причине выхода из строя редуктором мотор-колес, тем самым увеличить производительность всего горно-промышленного комплекса в целом..

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов Н. В. Исследование динамики движения карьерных автосамосвалов БелАЗ – 7519 // Записки Санкт – Петербургского института им. Г. В. Плеханова, 1995, Т. 141, С. 104-107.
2. Логвинов М. И. Состояние, проблемы развития и перспективы освоения угольной сырьевой базы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2017, №. 3, С. 52-61.
3. Анистратов К. Ю. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта // Горная промышленность, 2007, №.1, С. 20-24.
4. Стенин Д. В., Стенина Н. А. Загруженность карьерных самосвалов и тепловое состояние редукторов их мотор-колес // Автомобильная промышленность, 2012, № 10, С. 26-28.
5. Абабков Н. В., Баканов А. А. Исследование структуры и свойств металла корпуса ступиц редуктор-мотор колеса БелАЗа 7555 после ремонта // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2016, №. 1, С. 113.
6. Стенина Н. А. Влияние условий эксплуатации на температурный режим редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов: дис. канд. техн. наук, Кемерово, 2013, 152 с.
7. Журавлев А. Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // Транспорт Урала, 2014, №4, С. 96-101.
8. Kudrevatykh A., Ashcheulov A., Ashcheulova A., Karnadud O., Rattmann L. Actual Technical Condition Assessment of a Motor-Wheel Gear of A

Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium, 2019, 105, 03021

9. Вуейкова О. Н., Ларин О. Н., Куватов В. И. Моделирование работы автомобильно-экскаваторных комплексов при перевозке горнорудной массы в карьерах // Транспорт Урала, 2013, № 1 (36), С. 20-24.

10. Журавлев А. Г., Скороходов А. В. К вопросу обоснования производительности

экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования // Проблемы недропользования, 2015, №. 2 (5).

11. Стенин Д. В., Стенина Н. А. Свидетельство на программу ЭВМ № 2012615125 «Программа определения загрузки карьерных автосамосвалов с учетом теплонагруженности редукторов мотор-колес», 8 июня 2012 г.

Alexey A. Khoreshok, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Natalya A. Stenina**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Andrei V. Kudrevatykh**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor **Andrei S. Ashcheulov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

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

METHOD FOR DETERMINING THE RATIONAL UTILIZATION FACTOR OF THE LOAD CAPACITY OF QUARRY DUMP TRUCKS

Abstract: *The set of tasks for designing open-pit developments includes: economic justification of the field, determining the optimal parameters of productivity and mode of mining operations of the quarry, choosing the opening scheme and equipment that meets the specified conditions, taking into account all technological stages. To improve the efficiency of the associated mining and transport equipment, its individual types and specific conditions, it is necessary to set the optimal parameters. An important parameter when choosing dump trucks for transporting rock mass on intra-barrier and trunk transport is the coefficient of rational load capacity of technological transport of quarries. In order to establish a rational value of the utilization coefficient of the load capacity of quarry dump trucks depending on the temperature regime of motor-wheel reducers, we developed a model using Visual Basic 6.0 programming tools. A relationship was established between the minimum unit cost and the coefficient of utilization of the load capacity in different operating conditions, described by the second-order equation.*

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

Article info: received January 18, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9

REFERENCES

1. Zyryanov, N. V. (1995) Investigation of the dynamics of movement of BelAZ – 7519 dump trucks. Notes of the Saint Petersburg Institute. G. V. Plekhanov. Vol. 141. St. Petersburg, 141:44.

2. Logvinov M. I. (2017) State, problems of development and prospects of development of coal raw material base. Mineral resources of Russia. Economics and management. 3:52.

3. Anistratov K. Yu. (2007) Economic and mathematical model of functioning of the enterprise of technological ca-reer motor transport. Mining industry.1:20-24.

4. Stenin, D. V., Stenina N. A. (2012) Loading of quarry dump trucks and the thermal state of their motor-wheel reducers. Automotive industry, 10:26.

5. Ababkov N. V., Bakanov A. A. (2016) Investigation of the structure and properties of the metal

housing of the hub reducer-motor wheel BelAZ 7555 after repair. Bulletin of the Kuzbass state technical University.1 (113).

6. Stenina N. A. (2013) Influence of operating conditions on the temperature regime of gearboxes of motor wheels of quarry dump trucks: dis. cand. techn. sciences, Kemerovo, 152.

7. Zhuravlev, A. G. (2014) Selection of rational load capacity of quarry dump trucks for specific transportation conditions. Transport Of The Urals, (4):96.

8. Kudrevatykh A., Ashcheulov A., Ashcheulova A., Karnadud O., Rattmann L. Actual Technical Condition Assessment of a Motor-Wheel Gear of A Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium, 2019, 105, 03021

9. Vueykova O. N., Larin O. N., Kuvatov V. I. (2013) Simulation of car-excavating complexes operation transport-ing ore mass in open pits. Transport Urala. 1 (36):20.

10. Zhuravlev A. G., Skorokhodov A.V. (2015) On the issue of substantiating the performance of

excavator-automobile complexes by computer modeling. Problems of subsoil use.2 (5).

11. «Program for determining the loading of quarry dump trucks taking into account the heat load of motor-wheel reducers», № 2012615125, Stenin D. V., Stenina N. A., June 8, 2012.

Библиографическое описание статьи

Хорешок А.А., Стенина Н.А., Кудреватых А.В., Ащеулов А.С. Методика определения рационального коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 1 (147). – С. 3-9.

Reference to article

Khoreshok A.A., Stenina N.A., Kudrevatykh A.V., Ashcheulov A.S. Method for determining the rational utilization factor of the load capacity of quarry dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.1 (147), pp. 3-9.