

УДК 622.684:502

**П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, М.В. Исаков,
В.А. Черепанов**

**СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КАРЬЕРНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Семинар № 18

Снижение экологической нагрузки на окружающую среду имеет большое значение при разработке месторождений полезных ископаемых. Одним из основных загрязнителей атмосферы карьеров является карьерный автомобильный транспорт.

Институтом горного дела УрО РАН предложен ряд специализированных транспортных средств для открытых горных работ [1, 2]. Предложенный комплекс энерго- и эколого-эффективных транспортных средств для открытых горных работ направлен на повышение эффективности транспортирования горной массы, снижения объема вскрыши и площади горных выработок за счет отстройки транспортных коммуникаций с повышенными уклонами, а также снижения негативного влияния на окружающую среду за счет уменьшения объема выбросов вредных веществ с отработавшими газами и уменьшения объема и площади отвалов. Исследования по новым транспортным средствам проводятся ИГД УрО РАН совместно с Институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», ОАО «Институт «Уралгипроруда», ФГУП КБТМ, ФГУП УКБТМ, ОАО «ЧТЗ Уралтрак», ООО

«УДМЗ», ОАО «Климов», ФГУП ММПП «Салют» и др.

Предлагаемый комплекс включает: троллейвоз, автосамосвал с комбинированной энергосиловой установкой (КЭУ), гусеничный самосвал и ряд других.

Троллейвоз представляет собой карьерный автосамосвал с тяговым электроприводом, питаемым от контактной сети. При применении троллейвозов исключаются выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Применение этого вида транспорта по схеме транспортирования из забоя затруднительно из-за сложности организации загрузки в забое, а также постройки контактной линии в рабочей зоне карьера в условиях близости взрывов. Поэтому троллейвозный транспорт целесообразно применять в качестве магистрального звена в комбинированном транспорте, в том числе с другими видами транспорта, имеющими повышенный выброс вредных веществ (таким образом обеспечивается приемлемый уровень общего объема выбросов). Троллейвозы обеспечивают высокую производительность при низких эксплуатационных затратах, а также не загрязняют окружающую среду отработавшими га-

зами, что способствует улучшению атмосферы карьера и снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

Автосамосвалы с КЭУ и гусеничный самосвал имеют двигатель внутреннего сгорания, поэтому их применение на карьере может привести как к снижению, так и к увеличению загрязненности рабочего пространства. По этой причине необходимо провести оценку изменения объема выбросов вредных веществ с отработавшими газами при переходе с традиционных видов автотранспорта на специализированные виды транспорта, рассматриваемые в данной статье.

Расчеты проведены на примере конкретных карьеров Уральского региона. Основой для расчетов являются исследования, выполненные совместно ИГД УрО РАН и Институтом «Уралгипроруда», в рамках разработки «Технико-экономических предложений по применению новых транспортных технологий на открытых горных работах» для Правительства Свердловской области.

Методика расчета с учетом подхода, изложенного в [3] заключается в определении с использованием известных зависимостей работы, совершаемой автосамосвалом и его силовой установкой и далее определении (по данным завода-изготовителя ДВС) объема выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Поскольку режимы работы силовой установки меняются в течение транспортного цикла, расчет проводится по отдельным элементам транспортного цикла и участкам пути и затем производится суммирование. Интегральная оценка суммарного выброса от одного автосамосвала за транспортный цикл может быть сделана приведением выбросов по отдельным группам токсичных веществ к эквивалентному вы-

бросу монооксида углерода СО. Приведение осуществляется с помощью коэффициентов вредности токсичных веществ [4]. Суммарные выбросы вредных веществ с отработавшими газами по карьере в целом на расчетный год определяются суммированием с учетом парка горно-транспортного оборудования и режима работы карьера.

Автосамосвал с КЭУ представляет собой карьерный автосамосвал классической компоновки с электромеханической трансмиссией, рассчитанный на преодоление повышенных уклонов автодорог (до 14-16 %) и имеющий в составе энергосиловой установки двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и аккумулятор энергии (АЭ). В качестве ДВС может использоваться дизельный двигатель (ДД), либо более «экологичный» газотурбинный двигатель (ГТД). Движение автосамосвала с грузом на подъем осуществляется с питанием от ДВС, а движение порожнего автосамосвала на спуск и остальные операции транспортного цикла осуществляются с питанием от АЭ при остановленном ДВС. Такой режим работы позволяет обеспечить автосамосвалу повышенную топливную экономичность, производительность и относительно малый объем выбросов вредных веществ с отработавшими газами при работе на повышенных уклонах.

Особенностью карьерного автомобильного транспорта с использованием автосамосвалов с КЭУ является возможность отстройки транспортных съездов с повышенными уклонами (до 14 %). Повышение уклонов позволяет вписать автомобильную трассу при меньшем разnose бортов и соответственно сокращении объема вскрыши.

Согласно результатам выполненных технико-экономических исследований (ТЭП), из рассмотренных карьеров

Таблица 1

Характеристики автосамосвала с КЭУ

Параметр, показатель	КЭУ с ДД	КЭУ с ГТД
Масса автосамосвала, т		
- снаряженного	92	88
- полная	212	208
Грузоподъемность, т	120	120
Двигатель	Cummins QSK 45	ВК-2500
мощность двигателя, кВт (л.с.)	1470 (2000)	1400 (1900)
Масса двигателя и его систем, кг	8000	1750
Тяговый аккумулятор энергии (АЭ)	суперконденсаторы асимметричные	суперконденсаторы асимметричные
мощность АЭ, кВт / энергоемкость АЭ, МДж	450 / 80	450 / 80
Запас хода при движении с питанием от АЭ, км	до 2	до 2
Масса АЭ, кг	2700	2700
Объем АЭ, м ³	1,75	1,75
Срок службы АЭ, лет	Свыше 20	Свыше 20
Удельный расход топлива двигателя в номинальном режиме, г/кВт·ч	210	315
Расход масла двигателем, л/ч	3	0,02
Жидкостная система охлаждения	Есть	Нет
Скорость на уклоне 12 %, км/ч	12-15	12-15
Время подготовки автосамосвала к движению при отрицательных температурах, мин	До 40	До 5
Содержание вредных веществ в отработавших газах, г/кВт·ч		
- оксид углерода (СО)	11,4	0,101 – 0,826
- углеводороды (СхНу)	1,3	0,124 – 1,02
- оксид азота (NOx)	9,3	1,59 – 4,24
- твердые частицы (С)	0,54	0,0014 – 0,0029
Уровень шумов и вибраций в кабине при работе двигателя		меньше в 5 раз

применение автосамосвалов с КЭУ целесообразно на карьерах «Шемурский», «Малый Куйбас». Применение автосамосвалов с КЭУ позволит благодаря преимуществам комбинированной энергосиловой установки повысить производительность автосамосвалов за счет более высокой их удельной мощности. При этом сокращение времени работы двигателя внутреннего сгорания при прочих равных условиях обеспечивает снижение суммарного выброса вредных веществ с отработавшими газами. Характеристики автосамосвалов с КЭУ, имеющих газотурбинный двигатель, которые принимались за основу при

выполнении расчетов, приведены в табл. 1. Эти параметры ранее обобщены при выполнении НИР, обсуждены на технических совещаниях РУПП «БелАЗ» [5]. В табл. 1 приведены также параметры автосамосвала с КЭУ с дизельным двигателем. Этот вариант не рассматривался при выполнении ТЭП, однако используется при расчете выброса вредных веществ для сравнения.

Применение уклонов 14 % позволило в условиях карьера «Малый Куйбас» сократить общие объемы вскрышных пород в контуре карьера на 8,0 млн м³ (на 7 %) и, как следствие, уменьшить годовую производитель-

Таблица 2

Результующие показатели сравнения вариантов по карьере «Малый Куйбас»

Показатель	КЭУ с ДД (сокращ. за счет прим. нового принципа ЭУ)	КЭУ с ГТД (сокращ. за счет прим. нового принципа ЭУ и малоток- сичного ГТД)	Сокращение за счет при- менения ма- лотоксичного ГТД
Абсолютное сокращение выбросов, усл. т в год	22204,4	46554,0	24349,6
Относительное сокращение, %	39,5	82,8	43,3
Кратность сокращения выбросов, раз	1,65	5,8	-
Сокращение объемов вскрыши, млн. м ³	-	-	8
Средний удельный выброс а/с, усл. г/т-км	390		
Уменьшение транспортной работы на перевозку вскрыши, млн. т-км	9		
Оценка сокращения выбросов вредных веществ за счет уменьшения транспортной работы от сокращения вскрыши, усл. т / усл.т в год	3506 / 319		
ДД – дизельный двигатель; ГТД – газотурбинный двигатель; ЭУ – энергосиловая установка; а/с – автосамосвалы традиционной конструкции по базовому варианту отработки карьера			

ность по вскрыше. Результирующие сравнительные показатели вариантов с применением традиционных дизельных автосамосвалов и автосамосвалов с КЭУ приведены в табл. 2.

В таблице рассмотрены два варианта конструкции автосамосвалов – с дизельным и газотурбинным двигателем. Первый вариант позволяет оценить сокращение выбросов за счет применения новой конструкции силовой установки, второй – комплексно оценить снижение как за счет новой конструкции силовой установки, так и за счет меньшей токсичности отработавших газов ГТД.

Применение в условиях Шемурского карьера автосамосвалов с комбинированной энерго-силовой установкой, преодолевающих уклоны до 14 %, позволит сократить общий объем вскрышных пород в проектном контуре карьера на 2,8 млн м³ (на 25 %) по сравнению с базовым автомобильным вариантом, а также снизить расчет-

ную годовую производительность по вскрыше до 1150 тыс. м³.

По итогам исследования вариантов применения автосамосвалов с КЭУ можно сделать следующие выводы:

1. Эффект снижения выбросов вредных веществ при применении автосамосвалов с КЭУ может быть обеспечен следующим:

- сокращением времени работы двигателя внутреннего сгорания за транспортный цикл (двигатель останавливается на время разгрузки, порожнего движения, погрузки, которое составляет до 50-60 % от времени рейса);

- применением газотурбинного двигателя, имеющего низкотоксичный выброс отработавших газов;

- в случае повышения удельной мощности – сокращением длительности транспортного цикла;

- в незначительной степени – исключением переходных режимов работы двигателя и режимов неполной мощности.

Таблица 3

Результующие показатели сравнения вариантов по карьере «Шемурский»

Показатель	КЭУ с ДД (сокращ. за счет прим. новой конструкции ЭУ)	КЭУ с ГТД (сокращ. за счет прим. новой конструкции ЭУ и малотоксичного ГТД)	Сокращение за счет применения малотоксичного ГТД
Абсолютное сокращение выбросов, усл. т в год	489,4	2047,2	1557,8
Относительное сокращение, %	20,1	84,1	64,0
Кратность сокращения выбросов, раз	1,25	6,27	-
Сокращение объемов вскрыши, млн. м ³	-	-	2,8
Средний удельный выброс а/с, г/т-км	308		
Уменьшение транспортной работы на перевозку вскрыши, млн. т-км	5		
Оценка сокращения выбросов вредных веществ за счет уменьшения транспортной работы от сокращения вскрыши, усл. т / усл. т в год	1538 / 192		

2. Применение новой конструкции энергосиловой установки – КЭУ – на рассматриваемых карьерах обеспечивает сокращение выбросов вредных веществ с отработавшими газами на 24-48 %. Наибольший эффект по снижению выбросов (до 84 %) может обеспечить применение низкотоксичного газотурбинного двигателя.

3. Сокращение выбросов вредных веществ достигается даже в случае применения в конструкции КЭУ более мощного дизельного двигателя, по сравнению с аналогичным вариантом традиционного автосамосвала.

4. Конструкция автосамосвалов с КЭУ позволяет применять более мощные двигатели без ухудшения экологических и экономических показателей. Это обеспечивает возможность повышения уклонов транспортных коммуникаций и углов откоса бортов карьера, что сокращает объем вскрыши. Экономия вскрыши позволяет сократить дополнительно годовой выброс вредных веществ на величину порядка 1 % за счет уменьшения годового объема транспортирования по вскрыше.

Гусеничный самосвал (ГС) представляет собой автосамосвал на гусеничном ходу, предназначенный для транспортирования горной массы по съездам с уклоном до 46 %. Грузоподъемность автосамосвала 30, 40 и 60 т при высокой удельной мощности. Такая конструкция предопределяет повышенный выброс вредных веществ в единицу времени на тонну перевозимой горной массы. Таким образом, изменение выбросов вредных веществ с отработавшими газами при применении ГС может быть как положительным, так и отрицательным, что зависит от применяемого в комбинации с ГС магистрального транспорта.

Характеристики гусеничного самосвала в соответствии с техническим предложением, подготовленным ФГУП «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения», приведены в табл. 4 [6].

Применение гусеничных самосвалов рассмотрено на примере карьера «Ново-Шемурский». Горно-геологические условия месторождения позволяют использовать комбинированный

Таблица 4

Характеристики гусеничного самосвала ГС-40

Параметр	Величина
Грузоподъемность, т	40
Полная масса, т	50
Двигатель	Cummins QST-30-1050
Мощность двигателя, л.с./кВт	1000/736
Удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами, г/кВт·ч	
- NOx	9,2
- CO	11,4
- CxHy	1,3
- твердые частицы (С)	0,54
Максимальная скорость, км/ч	10
Скорость движения с грузом на уклоне 18°, км/ч	до 6
Тип трансмиссии	гидростатическая
Число передач вперед/назад	4/4
Удельное давление на грунт, кг/см ²	1,3
Преодолеваемый уклон, град	25
Высота погрузки, мм	3000
Объем кузова, м ³	19
Безопасность машиниста	ROPS, FOPS
Габариты, д/ш/в	9500/3200/4600

транспорт «гусеничные самосвалы – карьерные автосамосвалы» с перегрузкой в карьере.

В случае применения в нижней зоне карьера гусеничных самосвалов грузоподъемностью 40 т, уклонов трассы до 40 % и транспортных берм шириной 15 м общий объем вскрышных пород в контуре карьера уменьшается на 17 млн м³ (на 19 %), что позволит снизить расчетную годовую производительность по вскрыше до 3000 тыс. м³. Верхняя зона при этом отрабатывается с применением автосамосвалов г/п 91 т, предусмотренных базовым вариантом. Результаты расчетов объема выбросов вредных веществ с отработавшими газами по вариантам приведены в табл. 5.

Следующим вариантом применения гусеничных самосвалов был выбран карьер «Карагайский» ОАО «Комбинат «Магнезит».

Карьер отрабатывается давно. Месторождение в процессе обработки доразведано и имеет значительные запасы, уходящие под дно и борт карьера. Расширение карьера ограничено близостью населенного пункта. Извлечение дополнительного объема полезного ископаемого открытым способом возможно только отстройкой бортов в глубинной части с более высоким углом откоса. Добиться этого можно применением крутонаклонных съездов (с уклоном более 30 %) и специальных транспортных средств – гусеничных самосвалов.

При выполнении ТЭП рассматривалось вписание трассы гусеничных самосвалов в сложившуюся транспортную систему, поскольку коренная реконструкция ввиду незначительного оставшегося срока отработки карьера нецелесообразна. Применение крутонаклонных съездов позволит увеличить

Таблица 5

Результатирующие показатели сравнения вариантов по карьере «Ново-Шемурский»

Показатель	Автосамосвалы (базовый вариант)	Комбинир. транспорт ГС + а/с	Изменение
Абсолютное значение величины объема выбросов, усл. т в год	10519	8079	- 2440,2
Относительное сокращение, %	-	-	23,2
Кратность сокращения выбросов, раз	-	-	1,3
Выбросы комплекса (ГС+а/с) от а/с составляют, %	-	-	77
Сокращение объемов вскрыши, млн. м ³	-	-	17
Средний удельный выброс, г/т-км	418	-	-
Уменьшение транспортной работы на перевозку вскрыши, млн. т-км	-	-	38
Оценка сокращения выбросов вредных веществ за счет уменьшения транспортной работы от сокращения вскрыши, усл. т / усл. т в год	-	-	15890 / 691

ГС – гусеничный самосвал; а/с – автосамосвалы традиционной конструкции

Таблица 6

Результатирующие показатели сравнения вариантов по карьере «Карагайский»

Показатель	Автосамосвалы (базовый вариант)	Комбинир. транспорт ГС + а/с	Изменение
Абсолютное значение величины объема выбросов, усл. т в год	5819	6074	255
Относительное увеличение, %	-	-	4,4
Выбросы комплекса (ГС+а/с) от а/с составляют, %	-	-	104,4

конечную глубину карьера относительно проектной и извлечь дополнительное количество полезного ископаемого.

Результаты расчета выбросов вредных веществ с отработавшими газами приведены в табл. 6.

Повышение выброса вредных веществ связано с рядом особенностей Карагайского карьера. Удалось осуществить вписание схемы комбинированного транспорта с перегрузкой в карьере из ГС в автосамосвалы в контурах существующего карьера при сложившихся транспортных коммуникациях. Однако расстояние транспортирования значительно превышает то минимальное, которое возможно при

полной реконструкции и «перенарезке» автомобильных трасс. Это и явилось причиной повышения выбросов вредных веществ из-за увеличения суммарной транспортной работы. Тем не менее, новая схема позволяет извлечь дополнительное количество полезного ископаемого без разноса бортов карьера, что обеспечивает значительные выгоды.

Результаты исследования вариантов применения гусеничных самосвалов на конкретных карьерах позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение крутонаклонного подъема горной массы с использованием гусеничных самосвалов за счет значительного сокращения расстояния

транспортирования и парка транспортной техники обеспечивает сокращение общего выброса вредных веществ с отработавшими газами до 23 %.

2. Использование комбинированного транспорта «гусеничный самосвал – традиционный карьерный автосамосвал» с перегрузкой в карьере обеспечивает сокращение общего объема выброса вредных веществ по сравнению с монотранспортной системой при традиционных автосамосвалах.

3. Увеличение расстояния транспортирования гусеничными самосвалами по горизонтальным дорогам и дорогам с малым уклоном (менее 20

%) приводит к их неэффективному использованию по производительности и увеличению выброса вредных веществ с отработавшими газами. В этих условиях суммарный выброс транспортного комплекса карьера превышает выброс транспортного комплекса при использовании традиционных автосамосвалов.

Результаты работы доказывают экологическую эффективность предложенных транспортных средств на фоне повышения производительности, снижения себестоимости транспортирования горной массы и уменьшения объема вскрышных пород и площади карьера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В.Л., Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фурин В.О., Ворошилов А.Г., Тарасов А.П., Фефелов Е.В. Новый взгляд на карьерный автомобильный транспорт // Известия вузов. Горный журнал. – 2006. – №6. – С. 97-107.

2. Журавлев А.Г., Фурин В.О., Ворошилов А.Г., Тарасов А.П., Бабаскин С.Л. Новые транспортные средства и комплексы для глубоких карьеров // Горный журнал. – 2006. – №8. – С. 35-39.

3. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.

4. Кулешов А.А. Экологические проблемы эксплуатации дизельной техники на

карьерах и пути их решения / А.А. Кулешов // Горный журнал. – 1994. – №1. – С. 35-40.

5. Журавлев А.Г. Технические и технологические аспекты применения карьерных автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой на открытых горных работах // Проблемы недропользования. Материалы I молодежной научно-практической конференции, 14 февраля 2007 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2007. – С. 135-148.

6. Тарасов П.И., Фурин В.О., Ворошилов А.Г., Лобанов С.В., Неволин В.М. Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы на повышенных уклонах // ГИАБ. – 2007. – №1. – С. 336-343. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Тарасов П.И. – кандидат технических наук, зав. сектором,
Журавлев А.Г. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник,
Исаков М.В. – мл. научный сотрудник,
Черепанов В.А. – мл. научный сотрудник,
ИГД УрО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 18 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.И. Галкин.