

гибатора или инертных газов рассчитывается в соответствии с характеристикой газовоздушной скважины и характеристикой применяемого вентилятора.

Защитные характеристики разрабатываемого устройства позволяют:

- устранить отрицатель-

ное воздействие применяемого устройства локализации пламени СЛПШ на общую характеристику газоотсасывающего устройства;

- повысить надежность предотвращения распространения пламени в шахту;
- повысить содержание

газа метана в газоотсасывающей установке до 100 %;

- повысить значительно эффективность самого комбинированного проветривания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию комбинированного проветривания выемочных участков с применением газоотсасывающих вентиляторных установок для шахт ОАО «Компания «Кузбассуголь» / С.С. Золотых, Г.Г. Стекольщиков, Г.И. Денисенко и др.: Кемерово, 2000 г.
2. Руководство по эксплуатации «Системы локализации пламени шахтной» (СЛПШ) ООО НПП «Шахтпожсервис» (г. Кемерово).
3. Руководство эксплуатации «Система взрывозащиты газоотводящей сети» (СВГС-900) ООО НПП «Система промышленной безопасности» (г. Бийск).

Авторы статьи:

Ремезов Анатолий Владимирович – докт. техн. наук, проф. каф. РМПИ	Харитонов Виталий Геннадьевич – канд.техн. наук, ген. директор ОАО «Шахта «Заречная»	Филимонов Константин Александрович – канд.техн. наук, доц. каф. РМПИ	Коротаев Павел Сергеевич –магистрант	Рогачков Антон Владимирович –магистрант
---	---	--	--	--

УДК 622.012.3:625.86.001.2

В.А. Шаламанов, О.П. Афиногенов, С.Н. Шабаев

## ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ СОСТАВОВ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ И ОСНОВАНИЙ КАРЬЕРНЫХ ДОРОГ

По разным оценкам, доля угля, добываемого открытым способом, составляет в настоящее время 50-65% и наблюдается тенденция к ее увеличению. При этом одним из наиболее трудоемких и дорогостоящих процессов является транспортирование горной массы. В нем занято до половины работников горнодобывающих предприятий, а транспортные затраты достигают 40-70% от общих затрат на добычу полезных ископаемых [1,2]. Наиболее распространенный вид карьерного транспорта – автомобильный. На его долю приходится около 65% перевозок горной массы на карьерах России и 85% за рубежом. На разрезах Кузбасса автотранспортом перевозится до 65% вскрытых пород и практически весь уголь [3].

В большинстве случаев в качестве материалов для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог карьеров применяется фракционированный щебень (от 10-30 до 120-150 мм) [4]. Важно отметить, что слои дорожной одежды зачастую устраивают без заклинки, что снижает их несущую способность, сдвигостойчивость [5], и не соответствует требованиям СНиП 2.05.07-91\* [6]. Использование в покрытиях фракционированного щебня без заклинки снижает ходимость шин. Если учесть, что доля затрат на шины в структуре себестоимости транспортирования составляет до 30%, а общие затраты на шины за срок службы автосамосвала достигают 60-80% его стоимости [7], становится очевидной необходимость

применения оптимальных смесей. Кроме того, дорожные покрытия из щебня, устроенного по способу заклинки, практически не ремонтопригодны. Таким образом, применение щебеночно-песчаных смесей – один из лучших вариантов, способных сократить себестоимость продукции горнодобывающих предприятий за счет увеличения сроков службы шин и снижения затрат на строительство слоев дорожных одежд, их содержания и ремонта.

Если для автомобильных дорог общего пользования зерновые составы щебеночно-песчаных смесей для устройства покрытий и оснований нормированы ГОСТ 25607-94 [8], то для карьерных дорог этот вопрос остается открытым. Ниже предлагаются предпосылки для

разработки методики проектирования составов щебеноочно-песчаных смесей для устройства слоев дорожных одежд на карьерных дорогах.

Состав оптимальной щебеноочно-песчаной смеси для конкретных условий может быть установлен эмпирически, путем обследования наилучших участков дорог и анализа гранулометрического состава образцов грунтов и смесей из покрытий и оснований таких дорог; лабораторных исследований физико-механических свойств смесей из различных материалов; теоретического подбора вариантов гранулометрического состава смеси наибольшей плотности и наименьшей пористости, при которых предполагается обеспечение наибольшего внутреннего сопротивления материала сдвигу.

Лабораторные исследования физико-механических характеристик смесей [5,9-10] свидетельствуют:

- большое влияние на несущую способность слоев, устроенных из щебеноочно-песчаных смесей, оказывает содержание в составе смеси щебня. При содержании каркасных частиц (в нашем случае щебенки) по массе менее 30-40% они не соприкасаются друг с другом и «плавают» в мелкоземе (частицы менее 0,63 мм). Прочность и деформируемость такой структуры определяется свойствами мелкозема, а каркасный (обломочный) материал играет роль заполнителя. При увеличении содержания обломков, отдельные зерна начинают соприкасаться друг с другом; нагрузки при этом воспринимаются совместно обломками и заполняющими частицами. При содержании обломочного материала (щебня) более 65% в процессе уплотнения образуется контактная структура материала, полностью воспринимающая нагрузки. Оптимальным для условий уплотнения является крупнообломочный грунт, характеризующийся прерывистым

зерновым составом с содержанием обломков 65-70% [9]. Как правило, чем крупнее скелетные частицы, тем выше устойчивость слоя против воздействия транспортных нагрузок [10];

- максимальная плотность материала достигается в том случае, когда содержание мелкозема в смеси достаточно для заполнения пустот между более крупными частицами. При увеличении содержания мелкозема выше этого предела, в случае избыточного увлажнения материала, снижается общий модуль упругости дорожной одежды, она теряет свою первоначальную несущую способность, что может привести к ее полному разрушению [10].

Данные исследования определяют содержание в составе смесей обломочного материала (щебенки) и мелкозема, однако в полной мере не характеризуют их зерновой состав.

Проф. Н.Н. Ивановым на основании анализа результатов многочисленных исследований составов оптимальных смесей минеральных материалов установлена зависимость их пористости от количества и размера фракций, предложены предельные кривые оптимальных смесей [10]. Максимальный размер зерен предлагаемых автором смесей не превышает 64 мм, что не является пределом для технологических автомобильных дорог, к тому же содержание каркасных частиц (щебенки) занижено и большинстве случаев не достигает предела (65-70%).

Приведенная в [11] зависимость показывает, что наименьшая пористость обеспечи-

вается, когда размеры частиц различных фракций будут последовательно уменьшаться в 16 раз. В таких смесях мелкие частицы заполняют поры между более крупными и плотность достигает максимальной величины. При этом весовое количество каждой последующей фракции должно составлять 43% от предыдущей. Это предположение иллюстрирует рис. 1 (в качестве условных единиц приняты размеры отверстий сит соответственно D, D/16, D/256 и т.д.).

Данный подход вполне имеет право на существование, однако уменьшение размеров частиц происходит очень стремительно, что не может характеризовать в полной мере гранулометрический состав щебеноочно-песчаных смесей. С другой стороны, этот метод в общем случае не применим. Предположим, что содержание первой (наиболее крупной фракции) в составе смеси составляет не 55%, как показано на рис. 1, а 60%. В этом случае, фактическая кривая зернового состава превысит 100%, что не возможно.

На основе проведенного анализа предлагаются следующие предпосылки теоретического построения кривых гранулометрических составов оптимальных смесей.

1. Устанавливается верхняя теоретическая граница области, за которую гранулометрический состав любой смеси не может выходить.

Известны два основных подхода к построению математической модели структуры зернистого материала – фено-

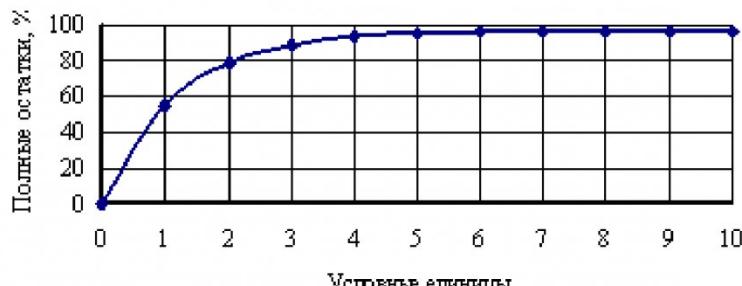


Рис. 1. Гранулометрический состав смеси

Таблица 1

Условная единица	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Фактический диаметр сита	>D	D	D/2	D/4	D/8	D/16	D/32	D/64	D/128	D/256	D/512	D/1024	D/2048	D/4096	D/8192

Таблица 2

№ кривой	Содержание частиц по объему размером, % (полные остатки)														
	>D	D	D/2	D/4	D/8	D/16	D/32	D/64	D/128	D/256	D/512	D/1024	D/2048	D/4096	D/8192
линия 1	0	61	69	72	75	77	79	80	80,7	81,3	81,8	82,1	82,4	82,6	82,8
линия 2	0	46	55	61	65	69	72	75	77,5	79,5	81,5	82,0	82,3	82,6	82,8

менологический и микроструктурный [12]. Предлагается использовать второй подход, так как это позволяет рассматривать не всю совокупность частиц (макрообъект), а лишь одну из них (микрообъект).

Другой важной задачей является выбор модели формы частиц материала. Зерна никогда не имеют вид идеального шара, куба, тетраэдра и т.д. Их форма может быть только близка или сопоставима с той или иной моделью. Многие авторы принимают форму частиц в виде шара [12,13 и др.]. Действительно, если принять форму куба, то теоретически минимальная пористость слоя устроенного из такого материала будет стремиться к пористости самой горной породы, так как отдельные частицы могут плотно соприкасаться друг с другом по всем сторонам. Форму тетраэдра сложно рассматривать при случайной упаковке частиц, так как частицы могут занимать

одно и то же положение, но при этом иметь всегда разную ориентацию. А вот форма частиц в виде шара удовлетворяет обоим условиям: между частицами

принята форма частиц в виде шара.

В работе [14] показано, что максимальная плотность упаковки одноразмерных частиц в виде шара составляет 0,74. Од-

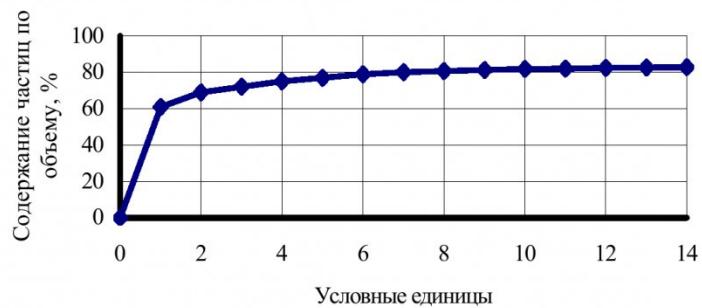


Рис. 2. Результаты расчета предельной теоретической кривой; условные единицы соответствуют диаметрам отверстий сит, указанных в табл. 1.

всегда остается пространство (пустоты), которое не может быть заполнено полностью; независимо от местоположения отдельной частицы в смеси, она всегда имеет только одну ориентацию. Поэтому в качестве расчетной модели и была при-

нята форма частиц в виде шара. Специальной укладки не возможно. Наиболее вероятная плотность упаковки шарообразных частиц в насыпном состоянии составляет 0,60, в уплотненном – 0,64 [12].

С учетом вышесказанного

Таблица 3

№ смеси	Содержание частиц по объему размером, % (полные остатки)														
	>D	D	D/2	D/4	D/8	D/16	D/32	D/64	D/128	D/256	D/512	D/1024	D/2048	D/4096	D/8192
линия 1	0	46	55	61	65	69	72	75	78	79	81,5	83,0	84,5	87,0	90,0
линия 2	0	46	55	61	65	69	72	75	75	75	75	75	75	75	75
линия 3	0	46	55	61	65	69	72	75	78	80	82	84	87	92	100

была создана компьютерная программа «Грансостав», позволяющая рассчитывать верхнюю теоретическую кривую области, за которую гранулометрический состав любой смеси не может выходить. Методика, использованная для составления алгоритма программы, представлена в работе [15]. Результаты расчета предельной теоретической кривой по этой программе приведены на рис. 2.

2. Устанавливается фактическая верхняя граница области, за которую гранулометрический состав любой смеси не может выходить.

Теоретически представленный зерновой состав предельной кривой может совпадать с составом какой-либо смеси. При построении теоретической предельной кривой использовалась модель, которая предусматривала, что все частицы имеют форму шара. В реальных условиях частицы имеют сложную форму, которую невозможно описать математическими методами. Поэтому зерновой состав реальной смеси может располагаться как выше предельной теоретической кривой, так и ниже ее, причем в большинстве случаев будет наблюдаться второй вариант. Примем, что частицы с размерами зерен менее 0,63 мм при увлажнении и воздействии на них внешней нагрузки могут изменять свою форму таким образом, чтобы заполнить образовавшиеся между более крупными частицами пустоты, не раздвигая их. Причем, чем меньше размер частиц, тем они более подвержены формоизменениям. Считаем, что на этих участках фактическая (оптимальная) предельная кривая практически совпадает с теоретической. Предположим также, что фактическая предельная кривая на участке от  $D_{max}$  до  $D/256$ , соответствующая размеру отверстия сита 0,63 мм, постепенно приближается к теоретической, так как влияние формы зерен на возможную раздвижку более крупных час-

тиц уменьшается. На рис. 3 приведены предельная теоретическая (линия 1) и принятая предельная фактическая (линия 2) кривые, ограничивающие верхнюю область возможных кривых зернового состава смесей. Соответствующее им содержание частиц указано в табл. 2.

Точно обозначить верхний предел возможной фактической

Если на рис. 3 кривые продолжать до бесконечности, то они должны приблизиться к 100%. В этом случае (приняв, что условная единица 14 на рис. 3 равна нулю) вид предельных кривых на участке 13-14 будет соответствовать кривой (линия 3). При этом пористость смесей должна стремиться к нулю. Однако фактически не все поры заполняются мелкими и пылевыми частицами.

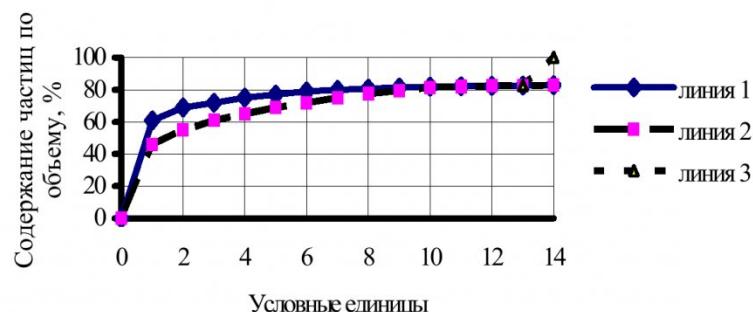


Рис. 3. Предельная теоретическая и принятая предельная фактическая кривые

кривой зернового состава смеси не представляется возможным, так как он зависит от многих факторов (прежде всего, от форм зерен). Кроме того, фактическая предельная кривая может изменять свое местоположение от смеси к смеси. Анализ результатов испытаний показывает, что пустотность отдельной фракции материала в большинстве случаев изменяется в пределах 40-50%, поэтому, на диаметре сита с отверстием D принято содержание частиц 46%, что должно обеспечить свободное расположение зерен следующей фракции без раздвижки уже упаковавшихся частиц в любой смеси.

Принять заниженную пористость смеси означает увеличивать в ее составе содержание мелких и пылеватых частиц, снижающих прочностные и деформационные характеристики. Если принять слишком высокую пористость, то это приведет к снижению несущей способности слоя и к увеличению его водопроницаемости, что не допустимо для покрытий. При устройстве слоев оснований карьерных дорог необходимо учитывать, что они должны быть также и дренирующими слоями. Поэтому в материале должно содержаться как можно меньше мелких и пылеватых частиц, что обеспеч-

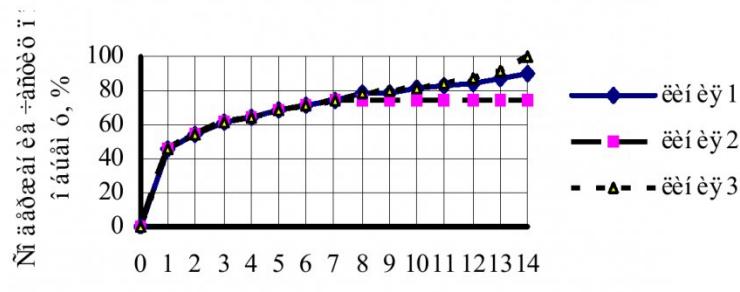


Рис. 4. Принятое содержание частиц по объему для различных смесей

чит хорошую дренирующую способность этих слоев. В работе [5] представлены данные несущей способности слоев из щебня, устроенного по способу заклинки, при различной пористости. Результаты анализа показывают, что резкое снижение несущей способности наблюдается у материала с пустотностью более 24%. Исходя из вышесказанного, для слоев покрытия максимальную теоретическую остаточную пористость целесообразно принять 10% для уменьшения дренирующей способности слоя, для слоев оснований – 25%.

Выше отмечено, что пустоты заполняются не только пылеватыми частицами (размером менее 0,05 мм), но и формоизмененными мелкими (размером менее 0,63 мм). С учетом этого фактические предельные кривые содержания частиц по объему для этих смесей отображены на рис. 4 (линия 1 – предельная кривая для смесей покрытий; линия 2 – для оснований). Соответствующие им численные значения представлены в табл. 3.

На рис. 4 также представле-

на предельная кривая содержания частиц по объему, соответствующая минимальной теоретической остаточной пористости слоя, устроенного из этой смеси, – 0% (линия 3). В случае расположения кривой зернового состава смеси покрытия ниже этой линии, минимальная теоретическая остаточная пористость слоя не должна превышать 0%, однако в этом случае увеличенное содержание мелких и пылеватых частиц приведет к снижению прочностных и деформационных характеристик смеси. Расположение области смеси покрытия на участке D/128 – D/8192 ниже указанной кривой нежелательно. Гранулометрический состав для этой кривой также приведен в табл. 3.

Необходимо иметь в виду, что на рис. 4 и в табл. 3 приведены не полные остатки на соответствующих ситах, а содержание частиц по объему. Чтобы получить полные остатки необходимо на последнем сите (D/8192) принять полный остаток 100%, а затем пересчитать остатки на других ситах.

Нижняя граница области

щебеноочно-песчаных смесей должна назначаться после испытаний смесей различных зерновых составов и определения их физико-механических характеристик.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существующие методики проектирования смесей оптимального зернового состава не могут в полной мере охарактеризовать их гранулометрический состав, а в большинстве случаев представляют собой лишь частные рекомендации, регламентирующие содержание тех или иных частиц.

2. Предлагаемый подход к проектированию смесей оптимального зернового состава в полном объеме характеризует их гранулометрию, является универсальным, так как позволяет подбирать смеси с содержанием зерен любых размеров (в основу метода положены не абсолютные единицы, а относительные), а также дает возможность рассчитывать остаточную пористость смеси после ее уплотнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов А.А., Зырянов Н.В., Зырянов И.В. Влияние ровности карьерных дорог на эффективность эксплуатации автосамосвалов особо большой грузоподъемности // Горный журнал. 1995. №6. – С. 14-16.
2. Бахтурин Ю.А. Обоснование рациональных технологических параметров автомобильно – конвейерно – железнодорожного транспорта на карьерах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Ин-т горного дела Уро РАН. – Екатеринбург, 1999. – 19 с.
3. Буянкин А.В. Комплексная оценка и прогнозирование показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: Дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2004. – 305 с. (Куз. гос. техн. ун-т).
4. Шешко Е.Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 260 с.
5. Салль А.О. Контроль и повышение качества щебеночных оснований // Автомобильные дороги. – 1976. - №1. – С. 7-8.
6. СНиП 2.05.07-91\*. Промышленный транспорт / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 112 с.
7. Рыбак А.В. Оценка уровня повышения эксплуатационных характеристик карьерного автотранспорта за счет сокращения расходов на шины // ГИАБ. – 2003. - №11. – С. 129-130.
8. ГОСТ 25607-94. Смеси щебеноочно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М.: Госстрой России, 1995. – 13 с.
9. Добров Э.М., Каменецкая Л.Б. Возвведение земляного полотна из крупнообломочных грунтов // Автомобильные дороги. – 1977. - №1. – С. 7-8.
10. Автомобильные дороги: Одежды из местных материалов: Учеб. пособие для вузов / А.К. Славуцкий, В.К. Некрасов, Г.А. Ромаданов и др.; под ред. А.К. Славуцкого. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 255 с.
11. Руководство по проектированию и строительству временных технологических автодорог на раз-

- резах ПО «Кемеровоуголь» / Кузнецкий филиал НИИОГР. – Кемерово. 1988. – 85 с.
12. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. Киев: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003.
13. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. 2-е изд., испр. и перераб. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988.
14. Шабаев С.Н. Некоторые вопросы решения задачи о проектировании смеси оптимального зернового состава / Вестн. КузГТУ. - 2005. – №4.
15. Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета. Доклады юбилейной 50-й научно-практической конференции, 18-23 апр. 2005 г. / Шабаев С.Н., Анкудинов Р.А. Оптимизация состава щебеноочко-песчаных смесей (ЩПС), применяемых для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – С. 183-185.

□ Авторы статьи:

Шаламанов  
Виктор Александрович  
- докт.техн.наук, проф., зав. каф.  
автомобильных дорог

Афиногенов  
Олег Петрович  
- канд.техн.наук, доц. каф. автомо-  
бильных дорог

Шабаев  
Сергей Николаевич  
- асп. каф. автомобильных дорог

**УДК 622.23.055.52**

**Ю.Е. Воронов, С.В. Басманов**

## **ОБОСНОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

В настоящее время для оценки и сравнения горных машин различного назначения широкое применение получила методика безэкспертной оценки качества. Одной из важнейших задач этой методики является установление комплекса показателей, характеризующих качество машины. Из теории управления качеством известно, что технический уровень машин как количественная оценка их технического совершенства и возможностей представляет собой уровень качества машины, обеспечиваемый при проектировании [1].

В работе [2] в качестве основных параметров, определяющих степень совершенства карьерных автосамосвалов, рассматриваются: мощность двигателя, полная масса автомобиля, снаряженная масса, грузоподъемность, КПД трансмиссии, масса двигателя, расход горюче-смазочных материалов и затраты на техническое обслуживание и ремонт на единицу пробега. При этом в качестве показателей рекомендуется использовать: удельную мощность двигателя (соотношение мощности двигателя и полной массы), коэффициент тары (отношение

собственной массы автосамосвала и его грузоподъемности), КПД трансмиссии, отношение массы двигателя к массе автосамосвала, расход горюче-смазочных материалов и затраты на техническое обслуживание и ремонт на единицу пробега.

Анализ предлагаемых показателей технического уровня позволяет установить следующее. Для трансмиссий карьерных автосамосвалов КПД может меняться в значительных пределах на различных режимах работы автомобиля, а значит, этот показатель не может быть определен однозначно. Поэтому использовать КПД трансмиссии в качестве отдельного показателя нецелесообразно, тем более, что он в большей степени характеризует техническое совершенство трансмиссии, нежели автосамосвала в целом. Соотношение массы двигателя и массы автосамосвала, как и в случае трансмиссии, в большей степени характеризует техническое совершенство силовой установки, а не автомобиля в целом. Предлагаемые в качестве показателей расход горюче-смазочных материалов и затраты на техническое обслуживание и ремонт на единицу пробе-

га являются чисто эксплуатационными и на этапе проектирования отсутствуют. Отсюда следует, что из предлагаемых показателей лишь удельная мощность двигателя и коэффициент тары могут характеризовать техническое совершенство автосамосвала.

В работе [3] при оценке технического уровня предлагается использовать комплекс показателей, присущих любому транспортному средству, а именно: грузоподъемность; автономность хода, которая учитывает линейный расход топлива и емкость топливных баков; полную массу; максимальный преодолеваемый уклон; габаритный объем машины (произведение длины, ширины и высоты); общий расход материалов, затраченных на рейс (топливо, рабочие жидкости и газы, масло, смазка, запчасти, сменные узлы и агрегаты); ресурс до капитального ремонта и другие гарантии, как показатели надежности машины; мощность двигателя; рейсовую и максимальную скорость движения.

Предлагаемый в качестве показателя общий расход материалов, затрачиваемых на рейс, является эксплуатационным и