

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271:625.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ОТ УПЛОТНЕНИЯ ИХ КАРЬЕРНЫМИ АВТОСАМОСВАЛАМИ

Арефьев С.А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье приведена технология уплотнения слоев дорожных одежд на карьерах, позволяющая существенно повысить их эксплуатационные свойства.

Описан опыт строительства карьерных автодорог на карьере ОАО «Ураласбест» и результаты внедрения предложенной технологии.

Выполнена оценка транспортно-эксплуатационных свойств дорожного покрытия на опытном участке, построенном с использованием технологии уплотнения дорожных одежд карьерными автосамосвалами, имеющимися на горном предприятии, без отвлечения их от работы, связанной с транспортированием горной массы

Установлены закономерности, позволяющие определять количество проходов автосамосвалов, необходимое для достижения требуемой степени уплотнения слоев дорожного покрытия.

Предложенная технология уплотнения и полученные зависимости могут использоваться на горных предприятиях, эксплуатирующих технологические автосамосвалы, с целью повышения технико-экономических показателей работы карьерного транспорта.

Ключевые слова: автодорога, карьер, уплотнение слоев дорожной одежды, технология строительства автодорог, карьерные автосамосвалы.

Введение

С целью повышения качества и эксплуатационных свойств дорожных одежд на карьерах целесообразно применять уплотнение составляющих их слоев [1–6]. При уплотнении получают более прочную и плотную структуру грунта, способную в дальнейшем противостоять внешним воздействиям. Неуплотненная дорожная одежда быстро теряет свои прочностные свойства, деформируется с образованием неровностей и колеиностей, требует частой подсыпки щебня для выравнивания рабочей поверхности, значительных затрат на содержание автодорог. В связи с возрастанием полной массы автосамосвалов нагрузка на дорожную конструкцию постоянно увеличивается, и возрастает значение уплотнения как одной из важнейших операций при сооружении дорожной одежды.

В то же время на большинстве современных карьеров при строительстве дорог не предусматривается проведение специальных работ по уплотнению дорожной одежды. А там, где оно проводится, для выполнения его используется дополнительное дорогостоящее оборудование – грунтовые и пневмоколесные катки. При этом движение на уплотняемых участках автодорог

перекрывается, и они на длительный период исключаются из работы [1, 7].

С целью повышения качества карьерных автодорог и снижения затрат на их строительство, предложена технология, которая позволяет осуществлять уплотнение дорожных одежд с использованием имеющихся на предприятии карьерных автосамосвалов без отвлечения их от работы, связанной с транспортированием горной массы и без осуществления дополнительных затрат на специальное оборудование.

Анализ показывает, что большие нагрузки на колесо автосамосвала и существенные размеры автошин обуславливают значительно увеличенные площади контакта их с поверхностью уплотняемого материала при соизмеримых по сравнению с катками контактных давлениях. Одновременно в 1,5–3,0 раза увеличивается продолжительность контакта. Все это обеспечивает повышение в 2–3 раза глубины активной зоны уплотнения, позволяет снизить необходимое количество проходов по одному месту и значительно повысить производительность процесса уплотнения. Согласно расчетам воздействие большегрузных автомашин на дорожную одежду идентично пневматическим каткам, и глубина воздействия может достигать 0,7–1,2 м [8–10].

Но для действенного и качественного уплотнения карьерными автосамосвалами необходимо соблюдать определенный режим движения автомобилей по уплотняемому участку, режим изменения загрузки автосамосвалов и равномерное распределение движения их по ширине проезжей части автодороги.

Теория и технологические разработки

Технология уплотнения дорожной одежды автосамосвалами включает три стадии:

- подкатку на малой скорости и с минимальной нагрузкой (уплотнение поверхностного слоя и придание ему требуемой плотности);

- укатку или непосредственное уплотнение слоя дорожной одежды на глубину. (Так как глубина проработки зависит от величины нагрузки и времени ее приложения, скорость движения автосамосвала по участку и его загрузка должны повышаться постепенно);

- расклиновку или окончательное уплотнение (производится на минимальной скорости с максимальной нагрузкой). При этом происходит завершение формирования окончательной структуры материалов дорожной одежды и поверхности придается максимальная ровность и прочность (при уплотнении верхнего слоя).

С целью достижения максимальной плотности материалов дорожной одежды и толщины уплотняемого слоя укатывать участок должны автосамосвалы максимальной грузоподъемности. Перекрытие предыдущего прохода машины последующим проходом производится на ширину одного заднего наружного колеса.

При движении машин по участку без исключения их из процесса транспортирования горной массы производится поочередное уплотнение порожняковой и грузовой полос движения. Вначале уплотняется порожняковая полоса. По ней на первой стадии уплотнения следуют порожние машины, а на 2-й и 3-й стадии – груженные с нагрузкой. Во время уплотнения порожняковой полосы груженными машинами на грузовую полосу направляется движение порожних. Затраты времени в результате снижения скоростей движения на участке уплотнения и потеря производительности автосамосвалов незначительные и зависят от интенсивности движения по данному участку.

Для апробации предложенной технологии, с ее использованием был построен опытный участок карьерной автодороги, расположенный на западном борту центрального карьера ОАО «Ураласбест» на съезде с гор. +92 м на гор. +77 м.

Одновременно с опытным участком исследо-

вания выполнялись на контрольном участке, расположенном на западном борту карьера на автосъезде с гор. +2 м на гор. –13 м, на котором дорожные работы выполнялись по технологии, традиционно используемой в карьере ОАО «Ураласбест» и не предусматривающей проведения специальных работ по уплотнению.

Проходка съезда осуществлялась экскаватором ЭКГ-8И. Так как экскаватор прошел съезд с невыдержанным профилем, производились работы по его выравниванию. Полученный участок делился на захватки длиной 200 м и шириной равной ½ ширины проезжей части. По одной половине захватки осуществлялось движение в грузовом и порожняковом направлении, а на второй отсыпался и планировался выравнивающий слой из мелкораздробленной породы, которую разравнивали гусеничным бульдозером Т-25.01. Затем на первой половине захватки прекращали движение транспорта, производилась отсыпка и планировка выравнивающего слоя. На второй половине, после предварительного увлажнения, производилось уплотнение выравнивающего слоя движущимися автомобилями с регулированием их движения по скорости и по ширине полосы движения.

Перед операцией уплотнения во избежание проколов и порезов автошин отсыпался слой из щебня фракции +40 – +80 мм толщиной 5 см. Планирование этого слоя производил грейдер ДЗ-98. После этого слой увлажнялся поливочной машиной БелАЗ-540 ПМ с расчетом 10 л воды на 1 м². Уплотнение выравнивающего слоя производилось за 4 прохода по одному следу, из которых 2 укатывались автосамосвалами БелАЗ-7555, а еще 2 – автосамосвалами САТ 777F и БелАЗ-75131. Так имитировалась разная степень нагрузки.

Отсыпка слоя основания производилась автосамосвалами БелАЗ-7555 по всей площади съезда таким образом, что расстояние между кучами щебня фракции +40 – +80 мм постепенно возрастало. Это необходимо для наилучшей работы грейдера при планировке. После отсыпки слоя основания производились работы по его выравниванию гусеничным бульдозером ДЭТ-320 и планировке грейдером ДЗ-98.

Уплотнение слоя основания производилось при движении машин БелАЗ-75131, САТ-777F, БелАЗ-7555 по уплотняемому участку без исключения их из процесса транспортирования горной массы, поочередно по порожняковой и грузовой полосам. На завершающей стадии уплотнения производилась отсыпка щебня клинца фракции +5 – +20 мм с помощью скрепера. Параллельно с устройством слоя основания выполнялись работы

по формированию породного вала из дробленой горной массы бульдозером ДЭТ-320.

По приведенному выше принципу формировался слой покрытия. Покрытие отсыпалось из щебня фракции +20 – +40 мм с заклинкой щебнем +5 – +20 мм. Покрытие разравнивалось и уплотнялось. На покрытие отсыпался с помощью пескоразбрасывателя щебень клинец, который затем уплотнялся автосамосвалами.

До и после строительства опытного участка проводилась оценка его транспортно-эксплуатационных свойств, которые сравнивались с аналогичными показателями выбранного контрольного участка.

В качестве критериев сравнения опытного и контрольного участков принята плотность слоев дорожной одежды, которая определялась с помощью баллонного плотномера ПБД-КМ, прочность дорожной одежды, определяемая с помощью высокоточного нивелира Н-05, продольная и поперечная ровность и уклоны на поверхности дороги, определяемые при помощи дорожной рейки РДУ-Кондор и нивелира SDL-50, и работоспособность дорожной одежды, определяемая с помощью хронометража.

Оценка плотности, прочности и ровности на опытном участке осуществлялась по каждому слою и по дорожной одежде в целом. На контрольном участке такая оценка производилась по дорожной одежде в целом.

С целью определения количества проходов, необходимого для достижения требуемого коэффициента уплотнения $K_y = 0,95$, проводился отбор проб после каждых 2–3 проходов по одному следу и осуществлялся расчет фактической плотности. Результаты расчетов приведены в таблице.

Зависимость плотности (ρ , г/см³) от количества проходов по одному следу (n , ед.)

Количество проходов	Средняя плотность по опытному участку, г/см ³
1	1,72
2	2,04
4	2,11
6	2,21
8	2,35
10	2,41
12	2,53
15	2,55
18	2,64

Полученные значения позволили установить зависимость плотности (ρ) от количества проходов автосамосвала (n), которая имеет вид

$$\rho = 1,76 * n^{0,14}.$$

Полученная зависимость характеризуется высоким значением коэффициента корреляции $R = 0,977$.

Зависимость коэффициента уплотнения дорожной одежды от количества проходов автосамосвалов приведена на рис. 1.

Из рис. 2 видно, что опытный участок (1) имеет более устойчивые показатели плотности, чем контрольный (2). Величина коэффициента вариации плотности 0,07 – для опытного и 0,22 – для контрольного участка.

После года эксплуатации измерения плотности проводились повторно. Результаты этих измерений приведены на рис. 3.

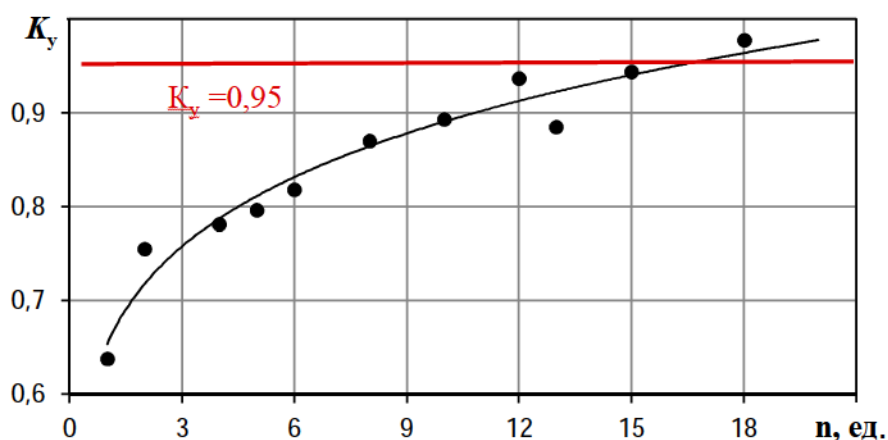


Рис. 1. Зависимость коэффициента уплотнения (K_y) от количества проходов по одному следу (n , ед.)

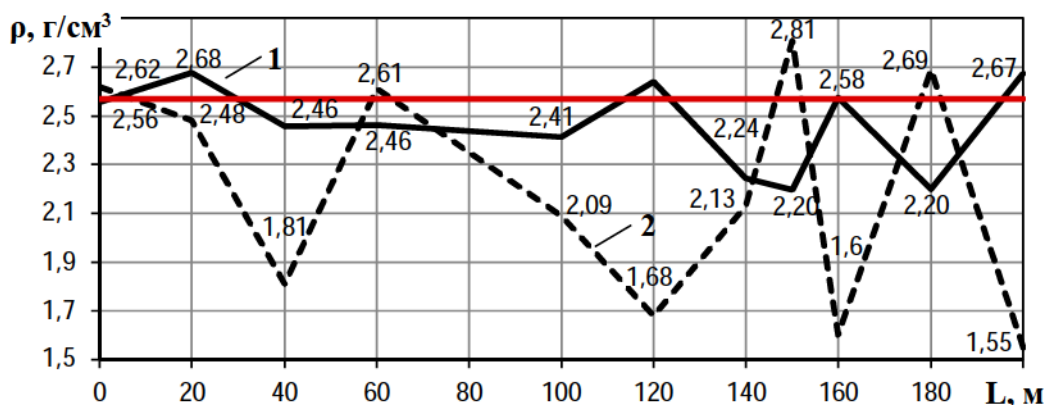


Рис. 2. График вариации плотности опытного (1) и контрольного (2) участков на момент сдачи в эксплуатацию

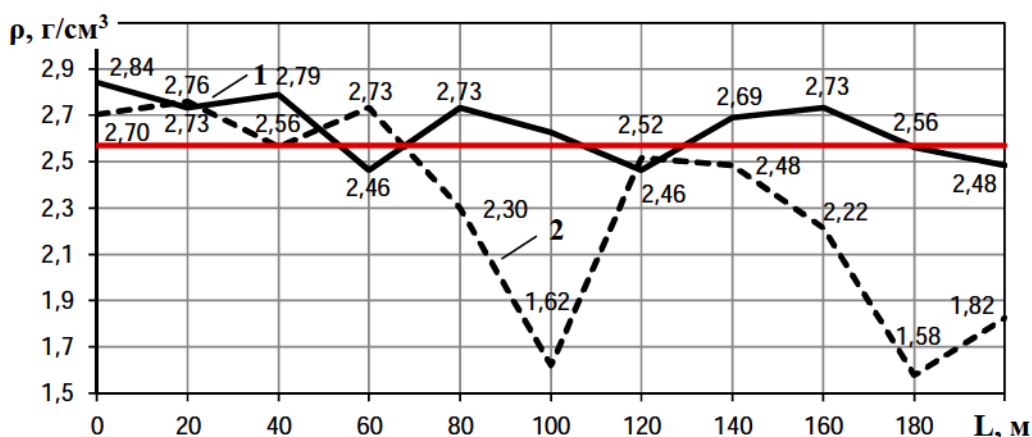


Рис. 3. График вариации плотности опытного (1) и контрольного (2) участков после года эксплуатации

Прочность дорожной одежды оценивалась по величине упругой деформации под задним колесом груженого автомобиля БелаЗ-75131. В каждой точке (месте) производились не менее двух-трех повторных наездов и измерений. Если расхождения между величинами осадок при двух установках автомобиля превышали допустимые значения, производилось еще одно измерение и определялось среднее, исключив резко отклоняющиеся по величине измерения.

Перед испытанием и после производилось контрольное взвешивание автосамосвала и проверка давления воздуха в шинах.

По величине упругой деформации определялся фактический модуль упругости дорожной одежды (E_y , МПа) [2]:

$$E_y = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{p \cdot D(1 - \mu^2)}{l},$$

где μ – коэффициент Пуассона, принимается $\mu=0,3$; p – удельное давление на покрытие, МПа, под действием которого получена упругая де-

формация, равная l , см; D – диаметр отпечатка заднего колеса груженого автомобиля, см.

Удельное давление на покрытие рассчитывалось по формуле [2]

$$p = 1,1P_0,$$

где P_0 – давление воздуха в шинах, МПа.

Диаметр отпечатка заднего колеса груженого автомобиля определялся по формуле [2]

$$D = \sqrt{\frac{40Q}{\pi P_0}},$$

где Q – нагрузка на заднее сдвоенное колесо автомобиля, кг силы.

Зависимость фактического модуля упругости (E_y , МПа) от количества проходов автосамосвалов по одному следу (n , ед.) приведена на рис. 4.

Зависимость фактического модуля упругости (E_y , МПа) от количества проходов автосамосвалов по одному следу (n , ед.) имеет вид

$$E_y = 152,75 * n^{0,2}$$

Из рис. 5 видно, что опытный участок (1) имеет более устойчивые показатели модуля упругости, чем контрольный (2). Величина ко-

эффициента вариации модуля упругости 0,11 – для опытного и 0,48 – для контрольного участка.

После года эксплуатации измерения модуля упругости проводились повторно. Результаты этих измерений приведены на рис. 6.

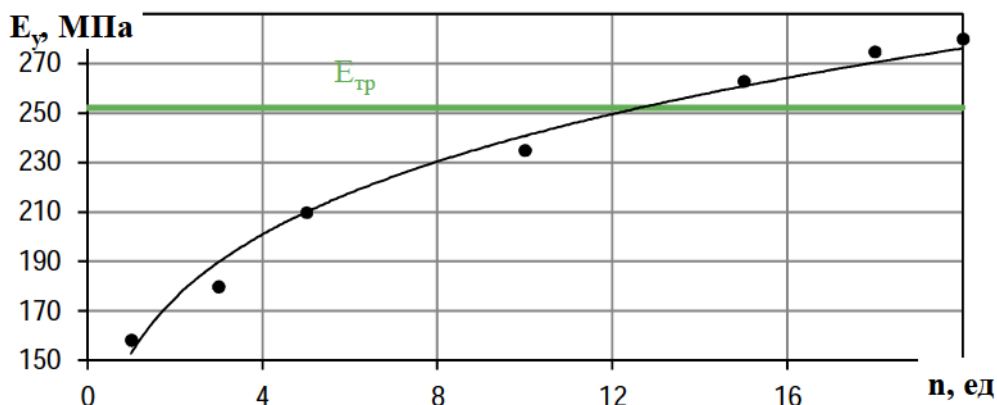


Рис. 4. Зависимость фактического модуля упругости (E_y , МПа) от количества проходов автосамосвалов по одному следу (n , ед)

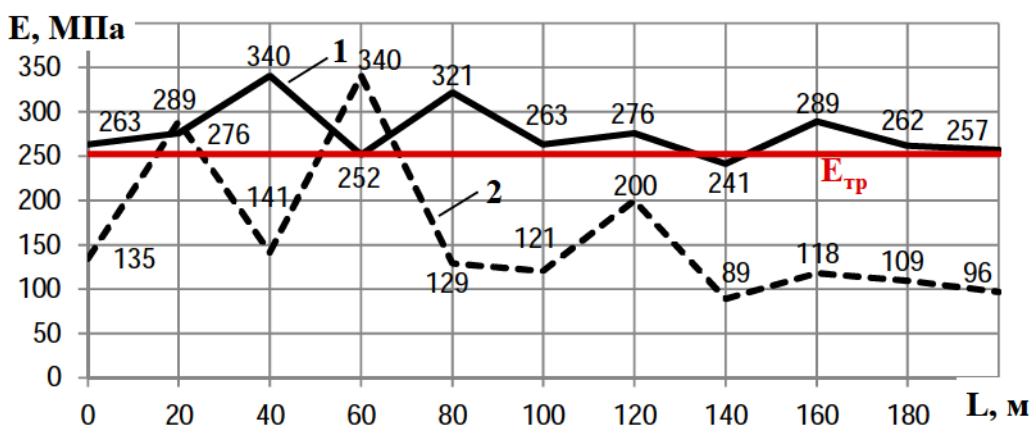


Рис. 5. График вариации модуля упругости опытного (1) и контрольного (2) участков на момент сдачи в эксплуатацию

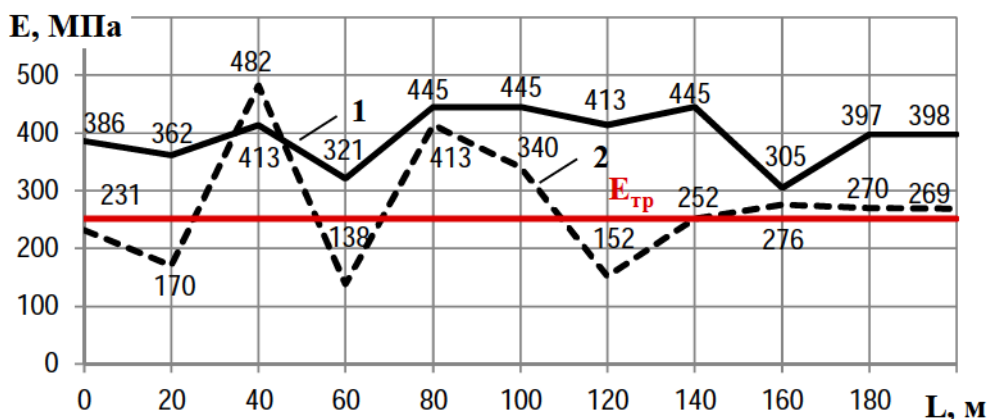


Рис. 6. График вариации модуля упругости опытного (1) и контрольного (2) участков после года в эксплуатации

Сравнение результатов испытаний показывает, что ровность опытного участка значительно выше контрольного и составляет в среднем 1–2 см /10 м против 17–23 см/10 м. То же самое наблюдается и по другим показателям: величина уклона продольного и поперечного профиля опытного участка практически не изменилась, а контрольного осталась на очень низком уровне, 5–78‰ – для поперечного, 78–84‰ – для продольного профиля.

Плотность опытного участка увеличилась в среднем на 10%. Рост однородности уплотнения и прочности дорожной одежды при применении предлагаемой технологии подтверждается уменьшением коэффициента вариации модуля упругости на опытном участке по сравнению с контрольным в 3 раза.

Использование предложенной технологии уплотнения на опытном участке длиной 200 м позволило сократить расход щебня, затрачиваемого на содержание и ремонт дорог, на 4721 т и получить экономический эффект в размере 455,7 тыс. руб.

Заключение

В результате проведения экспериментальных работ на карьере ОАО «Ураласбест» осуществлено строительство с использованием разработанной технологии уплотнения дорожных одежд опытного участка. Выполнена оценка транспортно-эксплуатационных свойств дорожного покрытия и зависимости его характеристик на этом участке от уплотнения карьерными автосамосвалами. Установлены закономерности, позволяющие определять количество проходов автосамосвалов, необходимое для достижения требуемой степени уплотнения слоев дорожных одежд.

Предложенная технология уплотнения и полученные зависимости могут использоваться на горных предприятиях, эксплуатирующих технологические автосамосвалы с целью повышения технико-экономических показателей работы карьерного транспорта.

Список литературы

1. Сидяков В.А., Колчанов А.Г., Стенин Ю.В. Карьерные автомобильные дороги. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2011. 144 с.: ил.
2. Инструкция по строительству и содержанию внутрикарьерных автодорог для автосамосвалов грузоподъемностью 110-180 тонн. Харьков, 1985. 93 с.
3. Стенин Ю. В., Лель Ю. И., Колчанов А. Г. Карьерные автодороги – значение и проблемы совершенствования. // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГТУ, 2009. № 11. С. 393–400.
4. Томпсон Р.Д., Виссер А.Т. Основы комплексного проектирования карьерных дорог открытых горных разработок // Открытые горные разработки. Осушение и окружающая среда. 1997. № 11. С. 121–128.
5. Стенин Ю. В., Арефьев С. А., Ганиев Р. С. Карьерные автодороги – элемент открытых горных работ // Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 1(44). С. 55–62.
6. Стенин Ю. В., Арефьев С. А., Ганиев Р. С. Взаимосвязь карьерных автодорог с технологическими параметрами открытой разработки // Новые огнеупоры. 2014. № 3 (спец. вып.). С. 24–25.
7. Основные параметры оборудования, используемого при строительстве карьерных автодорог / Лель Ю.И., Стенин Ю.В., Сандригайло И.Н., Арефьев С.А. // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 1. С. 27–32.
8. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной / Лель Ю.И., Салахиев Р.Г., Арефьев С.А., Сандригайло И.Н. // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 2. С. 107–115.
9. Смирнов В.П., Лель Ю.И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.
10. Проблемы совершенствования параметров и транспортно-эксплуатационных качеств карьерных автодорог / Лель Ю. И., Стенин Ю.В., Колчанов А.Г., Арефьев С.А. // Нерудная промышленность. СПб.: Красная линия, 2012. № 2(9). С. 18–25.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EXPERIMENTAL EVALUATION OF DEPENDENCE OF PAVEMENT CHARACTERISTICS IN QUARRIES ON COMPACTION OF ROADS WITH OPEN PIT DUMP TRUCKS

Arefiev Stepan Aleksandrovich – Teacher, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia. Phone: +7 (343) 257-22-44. E-mail: arefevsa@yandex.ru.

Abstract. The article contains the technology of pavement layer compaction in quarries, significantly improving performance characteristics of such pavements.

It describes the experience of road construction in a quarry of OJSC Uralasbest and implementation results of the proposed technology.

The author made an evaluation of transport and operational properties of the pavement on an experimental site constructed by compacting the road pavement with open pit dump trucks, which are available at the mining enterprise, without distracting them from their operation related to

transportation of rock mass.

There were found the regularities allowing for determination of the necessary number of dump truck passes to achieve a required degree of pavement compaction.

The proposed technology of compaction and the resulting dependences can be used at mining plants using dump trucks, to improve technical and economic performance of open pit vehicles.

Keywords: Road, quarry, pavement layer compaction, construction of roads, open pit dump trucks.

References

1. Sidiyakov V.A., Kolchanov A.G., Stenin Yu.V. *Kar'ernye avtomobil'nye dorogi* [Quarry auto roads]. Moscow: Izdatel'skij dom Nedra, 2011, 144 p.: illustrated.
2. *Instruktsiya po stroitel'stvu i soderzhaniiyu vnutrikar'ernykh avtodorog dlya avtosamosvalov gruzopod'emnost'yu 110-180 tonn*. [Instructions for construction and maintenance of inter-quarry roads for dump trucks with a capacity of 110-180 tons]. Kharkov, 1985, 93 p.
3. Stenin Yu.V., Lel Yu.I., Kolchanov A.G. Quarry roads – their importance and problems of improvement. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. [Mining informational and analytical bulletin]. Moscow, 2009, no. 11, pp. 393-400.
4. Thompson R.D., Visser A.T. Fundamentals of integrated design of pit roads in open cast mining. *Otkrytye gornye razrabotki. Osushchenie i okruzhayushhaya sreda*. [Open mining. Drainage and environment], 1997, no. 11, pp. 121 - 128.
5. Stenin Yu.V., Arefiev S.A., Ganiev R.S. Quarry roads – an element of open cast mining. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. [World of transport and technological machines], 2014, no. 1(44), pp. 55-62.
6. Stenin Yu.V., Arefiev S.A., Ganiev R.S. Relationship of the quarry roads and the process parameters in open cutting. *Novye ognepory*. [New refractories], 2014, no. 3 (special issue), pp. 24-25.
7. Lel Yu.I., Stenin Yu.V., Sandrigaylo I.N., Arefiev S.A. Main parameters of equipment used in the construction of quarry roads. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*. [News of universities. Mining Journal], 2014, no. 1, pp. 27-32.
8. Lel Yu.I., Salakhiev R.G., Arefiev S.A., Sandrigaylo I.N. Improvement of the fuel flow rate setting for dump trucks factoring into horizontal equivalents of vertical movements of rock mass. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*. [News of universities. Mining Journal], 2014, no. 2, pp. 107-115.
9. Smirnov V.P., Lel Yu.I. *Teoriya kar'ernogo bol'shegruznogo avtotransporta*. [Theory of heavy-duty motor transport in quarries]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 355 p.
10. Lel Yu.I., Stenin Yu.V., Kolchanov A.G., Arefiev S.A. Problems of improving parameters and performance of quarry roads. *Nerudnaya promyshlennost'*. [Non-metal industry]. Saint-Petersburg: Red line, 2012, no. 2(9), pp. 18-25.

Арефьев С.А. Экспериментальная оценка зависимости качества дорожных одежд от уплотнения их карьерными автосамосвалами // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №2. С. 5–11.

Arefiev S.A. Experimental evaluation of dependence of pavement characteristics in quarries on compaction of roads with open pit dump trucks. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 2, pp. 5–11.