

УДК 629.113.06 + 625.711

DOI: 10.46960/1816-210X\_2021\_1\_98

А.М. Умирзоков<sup>1</sup>, К.Т. Мамбеталин<sup>2</sup>, С.С. Сайдуллозода<sup>1,2</sup>, А.Л. Бердиев<sup>1</sup>

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ГОРНЫХ КАРЬЕРАХ

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими*Душанбе, Таджикистан*<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет*Челябинск, Россия*

Приведена оценка значимости карьерных автомобильных дорог для эффективного функционирования системы «Водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) в горной местности Республики Таджикистан в условиях строительства гидротехнических сооружений. Рассматриваются вопросы эффективности горных карьерных дорог на высотах от 1000 до 1200 м н.у.м. Дана оценка засорения поверхности горной карьерной дороги гравийными и галечниковыми частицами, проанализировано соответствие параметров дороги требованиям существующих нормативно-технических документов. Проведен гранулометрический анализ гравийных и галечниковых частиц, выпавших из кузовов автомобилей-самосвалов и засоривших поверхность дорожного полотна, методом просеивания на ситах. Установлены причины и следствия засорения поверхности дороги гравийными и галечниковыми частицами; представлены результаты статистической обработки удельной плотности их распределения на единицу площади.

*Ключевые слова:* автомобиль-самосвал, автомобильная дорога, горные условия, неровности дороги, автомобильная шина, геометрия дороги, гранулометрический анализ, эффективность.

### Введение

В системе «Водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС) при прочих равных условиях автомобильная дорога вступает доминирующим элементом (фактором), обеспечивающим эффективность ее функционирования. Это вдвойне значимо для условий эксплуатации большегрузных автомобилей в горных карьерных дорогах. Значительный энергообмен и силовое взаимодействие в данной системе осуществляется между двумя элементами – колесом и дорогой. Эффективность функционирования системы ВАДС [1] тесно связана с организацией энергообмена (характером протекания и динамикой) и соответствующими параметрами движения автомобиля (скоростью и направлением движения, моментом на колесе, ускорением, торможением, соотношением установившегося или неустановившегося режимов движения и т.д.) Эффективность преобразования энергии между колесом автомобиля и дорожным полотном (преобразования с минимальными затратами энергии на скольжение колес о поверхности дороги, преодоление сопротивлений движению, ускорению и торможению, на различные маневры и т.д.) можно считать важным определяющим фактором эффективности функционирования системы ВАДС в целом.

Известно, что затраты на сооружение и содержание технологических автодорог карьеров варьируют в пределах 5-8 % от затрат на автомобильную транспортировку горной массы, или 1,5-4,0 % от полной стоимости открытой добычи. При этом не менее двух третей от них идет на содержание и ремонт автомобильной дороги [2]. Однако, из-за суровости условий эксплуатации, транспортно-эксплуатационные качества технологических автодорог на строительстве горных гидротехнических сооружений, постоянно поддерживать на уровне, отвечающим требованиям нормативно-технических документов, не представляется возможным. Поверхность автомобильной дороги на карьерах строительства гидротехнических сооружений в горных условиях обычно засыпаны гравийными частицами, сформировавшимися из мелко дробленных вскрышных пород и галечников.

### Постановка задачи

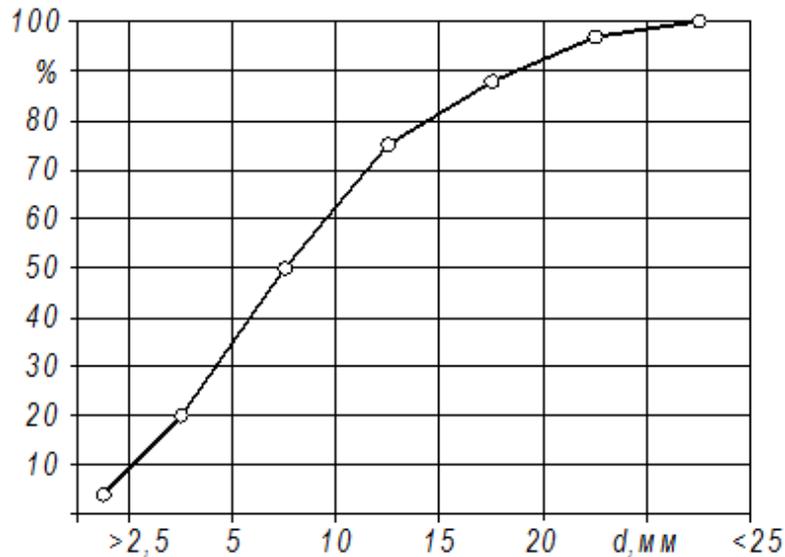
Карьерным автомобильным дорогам на строительстве гидротехнических сооружений в горных условиях присущи следующие особенности:

- большинство участков засыпаны дресвяными и щебенистыми обломками горных пород, выпавшими из кузова самосвала на поверхность дороги, причем распределение частиц имеет вероятностный характер (рис. 1);
- наибольшая удельная плотность дресвяных и щебенистых обломков горных пород, приходящаяся на единицу площади дороги, наблюдается на поворотах, подъемах, участках с неровностями, колеях;
- на обочинах имеются скопление камней (крупных, средних и мелких), дресвяных и щебенистых обломков горных пород;
- несоответствие поперечного профиля дорог требованиям СНиП, частые обратные уклоны и вогнутость формы, способствующие скоплению дресвяных и щебенистых обломков горных пород в подобных участках;
- дресвяные и щебенистые обломки горных пород на поверхности карьерных дорог разбросаны на твердую основу дорожного полотна, что приводит к увеличению интенсивности отказов и сокращению ресурса автомобильных шин.



Рис. 1. Фрагмент горной карьерной автодороги

Перечисленные характерные особенности карьерных автомобильных дорог на строительстве гидротехнических сооружений в горных условиях приводят к снижению эффективности функционирования системы ВАДС. Дорожные поверхности горных карьерных автодорог засоряются, главным образом, гравийными (размером 2...50 мм) и галечниковыми (размером 10...200 мм) частицами различной породы и форм, получаемых в результате разрушения горной породы при вскрышных работах и загрузке грунта. Основу горного гравия составляют шероховатые частицы неправильной формы, перемешанные с очень неоднородным составом и множеством загрязнений (глина, пыль). Гранулометрический анализ дресвяных и щебенистых обломков горных пород, выпавших из кузова самосвала на поверхность дороги, произведен методом просеивания на ситах [3-5] (рис. 2).



**Рис. 2. Результаты гранулометрического анализа щебня, выпавшего из кузова самосвала на поверхность дороги методом просеивания на ситах**

Состав гравия, разрабатываемого и используемого на строительстве гидротехнических сооружений в горных условиях, включает преимущественно зерна гранита и других пород. Можно выделить две основные причины засорения поверхности дороги гравийными и галечниковыми частицами: естественное и за счет их выпадения из кузова автомобиля-самосвала при перевозке горной породы.

Причинами интенсивности выпадения гравийных и галечниковых частиц из кузова карьерного самосвала на поверхность дороги служат:

- характеристика перевозимого грунта (порода, состав и структура);
- несовершенство конструкции автомобиля и его кузова;
- чрезмерный динамизм режима движения карьерного самосвала (режимы ускорения, торможения, поворотов, остановок и трогания с места);
  - частота и характер выполнения маневров;
  - уровень загрузки кузова самосвала грунтом;
  - скоростной и нагрузочной режимы движения автомобиля;
  - сложность геометрии дороги в плане и профиле;
  - маршрут движения;
  - природно-климатические условия;
  - мастерство управления автомобилем;
  - состояние дороги.

Другой характерной особенностью горной карьерной автомобильной дороги является скопление камней и гравия на обочине дороги, которые способствуют боковому разрыву шин автомобиля и, как следствие, снижению надежности автомобиля. Выпавшие из кузова самосвала и разбросанные по твердой поверхности дорожного полотна древесные и щебенистые обломки горных пород вдавливаются в тело протектора и служат причиной ускоренного износа и механического повреждения шины автомобиля (рис. 3). Засорение поверхности дорожного полотна древесными и щебенистыми обломками горных пород еще более усугубляют и без того сложные и суровые условия передвижения автомобиля по горной карьерной дороге, снижая эффективность функционирования системы ВАДС.



**Рис. 3. Механические повреждения автомобильной шины на горной карьерной дороге, засоренных древесными и щебенистыми обломками горных пород**

В горных условиях Республики Таджикистан карьерным автодорогам на строительстве ГТС присущи ровность (или неровность) дороги, которая характеризуется наличием неровностей или отклонений фактической поверхности от проектной, вызывающих при проезде автомобиля колебания его колес и кузова [6]. На таких дорогах встречаются продольные и поперечные виды неровности. Из поперечной неровности, наряду с макронеровностью (с длиной волны 5 м и более) и шероховатостью (с длиной волны до 10 см), широко распространены и микронеровности дорожной поверхности, состоящие из неровностей длиной от 10 см до 5 м, вызывающие значительные колебания автомобиля на подвеске [7]. Неровности поверхности карьерной дороги измерялись в условиях строительства Рогунской ГЭС при помощи универсальной дорожной рейки РДУ «Кондор» (рис. 4), согласно требованиям существующих стандартов и других нормативно-технических документов [8].

Все виды неровности дороги так или иначе влияют на функционирование системы ВАДС. В то же время, микронеровности оказывают существенное влияние на показатели эффективности функционирования системы ВАДС. В формировании эффективности функционирования системы ВАДС большое значение отводится засоренности поверхности дороги инородными предметами, такими как крупные или мелкие камни, древесные и щебенистые обломки горных пород, металлические и др. предметы. На отдельных участках карьерных дорог строительства ГТС в горных условиях Республики Таджикистан количество гравийных и галечниковых частиц, выпавшего из кузова самосвала, превышает 120 шт/м<sup>2</sup>, с общим объемом, достигающим до 400-500 см<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, и общей массой, равной 1,0-1,2 кг/м<sup>2</sup>.

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенное на 1 км пути  $N_n$  средней шириной проезжей части, равной 12 м, рассчитывается по выражению (1):

$$N_n = S_d \cdot \rho_e, \text{шт} / \text{км}, \quad (1)$$

где  $S_d$  – площадь километра дороги, м<sup>2</sup>.  $\rho_e$  – удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенных к 1 м<sup>2</sup> площади, шт/м<sup>2</sup>.

При средней ширине проезжей части карьерной дороги, равной 12 м [9,10], получим  $S_d = 1000 \cdot 12 = 12000 \text{ м}^2$ .



Рис. 4. Измерение неровностей карьерной дороги при помощи универсальной дорожной рейки РДУ «Кондор»

По результатам измерений удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги  $\rho_z$ , меняется в широких пределах ( $\rho_z = 10 \dots 122$  шт/м<sup>2</sup>). При этом среднее значение названного показателя равняется  $\rho_{z,ср} = 64,4$  шт/м<sup>2</sup> (рис. 5).

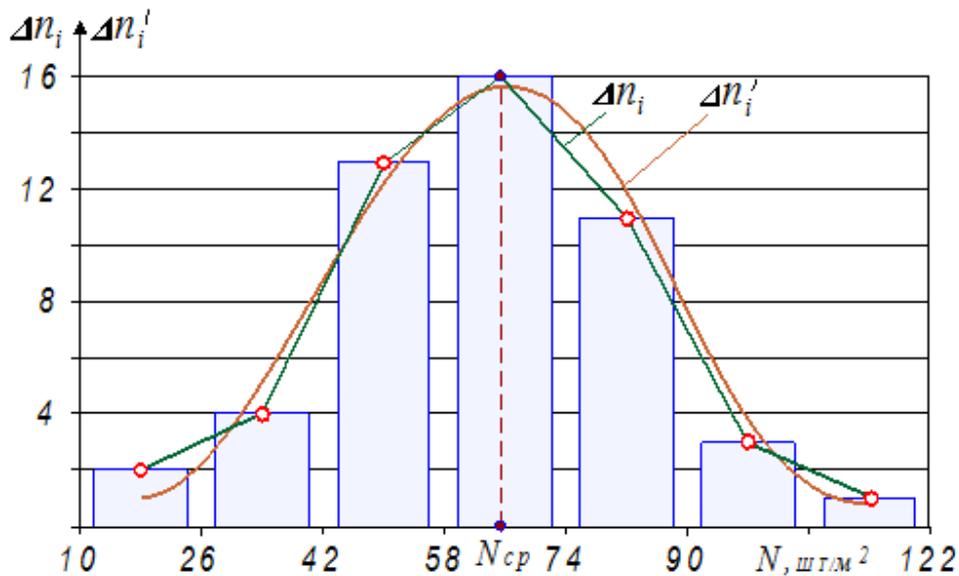


Рис. 5. Графики результатов статистической обработки удельной плотности распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дорожного полотна:

$$N_{ср} = 64,4 \text{ шт/м}^2; \sigma = 20,36 \text{ шт/м}^2; \nu = 31,6 \%$$

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности карьерной дороги  $N_k$  длиной в 1 км, контактируемых при движении автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В с протектором шины типоразмера 18.00-25 определяется из выражения (2):

$$N_k = S_k \cdot \rho_z = B_{ш} \cdot L \cdot \rho_z, \text{шт/км} \quad (2)$$

где  $S_k$  – площадь контакта протектора шины на пути в 1 км, м<sup>2</sup>;  $B_{ш}$  – ширина протектора шины, мм. Для шины типоразмера 18.00-25  $B_{ш} = 500$  мм = 0,5 м [11,12];  $L$  – длина пути, км. В данном случае  $L = 1$  км;  $\rho_z$  – удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на единицу площади поверхности дороги, шт/м<sup>2</sup>.

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности карьерной дороги  $N_k$  длиной в 1 км, контактируемых с протектором шины типоразмера 18.00-25 при движении автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В, эксплуатируемого в условиях строительства ГТС в горных условиях, варьирует в пределах от 5 000 до 64 400 шт/км, а среднее значение показателя равняется 32 200 шт/км.

При длине плеча перевозки 5 км и средней ширины дороги 12 м общая площадь проезжей части дороги составляет 50 тыс. м<sup>2</sup>. При среднем значении плотности распределения щебня на поверхности дорожного полотна 64,4 шт/м<sup>2</sup> можно предполагать, что количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, контактируемых с протектором шины автомобиля БелАЗ-7540В (марки 18.00-25 шириной 500 мм), превышает 32 000 шт/км.

Основными факторами, которые должны быть приняты во внимание для оценки эффективности карьерной автомобильной дороги в горных условиях, являются: засоренность и неровность поверхности дороги, скопление камней, гравия и галечниковых частиц на обочине дороги и др. Из-за разнообразия многочисленных факторов, формирующих эффективность карьерной автомобильной дороги, не представляется возможным учитывать значимость каждого отдельного фактора. Для оценки эффективности карьерной автомобильной дороги предлагается обобщающий динамический коэффициент  $k_{эд}$ , учитывающий совместное (комплексное) влияние многочисленных факторов. Обобщающий динамический коэффициент для оценки эффективности функционирования карьерной автомобильной дороги в горных условиях определяется из выражения (2):

$$k_{эд} = 1 - k_d, \quad (3)$$

где  $k_d$  – динамический коэффициент, учитывающий сложность условий эксплуатации, значение которого зависит от состояния дорожного полотна, геометрии дороги, интенсивности движения, соотношения установившегося и неустойчивого режимов движения и т.д. (для условий строительства Рогунской ГЭС можно принимать  $k_d = 0,12-0,13$ ) [13].

Следовательно, эффективность карьерной автомобильной дороги  $\mathcal{E}_{ад}$  можно определять из выражения (4):

$$\mathcal{E}_{ад} = \mathcal{E}_A \cdot k_{эд} = \mathcal{E}_A \cdot (1 - k_d) = \mathcal{E}_{двс} \cdot \eta_{тр} \cdot (1 - k_d), \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_A$  – эффективность автомобиля;  $\mathcal{E}_{двс}$  – эффективность ДВС;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии.

Многолетними исследованиями, проведенными сотрудниками технологического парка Таджикского технического университета им. М.С Осими, подтверждается хорошая согласованность результатов экспериментальных исследований с расчетными данными по предложенной математической модели.

### Выводы

1. Исследованы характерные особенности карьерных автомобильных дорог на строительстве гидротехнических сооружений в горных условиях, а также причины интенсивности засорения поверхности дороги гравийными и галечниковыми частицами.

2. Представлены результаты гранулометрического анализа дресвяных и щебенистых обломков горных пород, выпавших из кузова карьерного самосвала на поверхность дороги, проведенного методом просеивания на ситах.

3. По результатам статистической обработки результатов измерений установлены удельные плотности распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги на 1 м<sup>2</sup> площади и на 1 км пути.

4. Из-за разнообразия многочисленных факторов, влияющих на эффективность карьерной автомобильной дороги, и сложности учета их значимости предложен обобщающий динамический коэффициент для учета совместного влияния факторов.

5. Разработана математическая модель оценки эффективности карьерной автомобильной дороги в горных условиях.

**Библиографический список**

1. Сайдуллозода, С.С. Оценка надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда (ВАДС) в горных условиях / С.С. Сайдуллозода, К.Т. Мамбеталин, А.М. Умирзоков, У.М. Маллабоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. – Т 20. – №1 – С. 38-46. – DOI:10.14529/engin200105.
2. Лень, Ю.И. Карьерные автодороги - их значимость и проблемы совершенствования / Ю. И. Лень, Ю. В. Стенин, А. Г. Колчанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 103-108.
3. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микро агрегатного состава (взамен ГОСТ 12536 – 79). – М.: Стандарт-информ, 2019.
4. ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90) Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 11с.
5. Определение гранулометрического состава дисперсных материалов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А.С., Брус И.Д.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 12 с.
6. ГОСТ 30412-96. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий. – М., 1996. – 9 с.
7. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.
8. Оценка ровности конструктивных слоёв дорожной одежды универсальной дорожной рейкой: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология и организация работ по строительству дорожной одежды» / сост. Е.В. Андреева. – Омск: СибАДИ, 2011. – 16 с.
9. ГОСТ Р 52399 – 2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: Стандарт-информ, 2006.
10. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 112 с.
11. ГОСТ 26585-2003. Шины пневматические крупногабаритные и сверх крупногабаритные для внедорожных карьерных автомобилей. Технические условия (взамен ГОСТ 26585 – 85). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 35 с.
12. СНиП 2.05.07- 91\* «Промышленный транспорт» / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. -112 с.
13. Умирзоков, А.М. Моделирование расхода топлива большегрузными автомобилями в горных условиях эксплуатации / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, Ш.К. Самиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева – 2020. – № 2 (129). – С. 140-149.

*Дата поступления  
в редакцию: 13.12.2020*

A.M. Umirzokov<sup>1</sup>, K.T. Mambetalin<sup>2</sup>, S.S. Saydulozoda<sup>1,2</sup>, A.L. Berdiev<sup>1</sup>

## EFFICIENCY ASSESSMENT OF ROAD OPERATION IN THE MOUNTAIN QUARRIES

<sup>1</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe

<sup>2</sup>South Ural State University, Chelyabinsk

**Purpose:** Substantiation and assessment the efficiency of road operation in the mountain quarries.

**Design / methodology / approach:** The work was carried out on the basis of the results of many years of research in the field of improving the efficiency of the DVRS system in the context of the construction of hydraulic structures in the mountainous regions of the Republic of Tajikistan, and in particular the assessment of the importance of career highways in the formation of the efficiency of the functioning of the driver-vehicle-road-environment system (DVRS) in the mountainous conditions of the Republic of Tajikistan, more precisely, in the conditions of the construction of hydraulic structures using the methods and techniques of mathematical statistics and modeling.

**Conclusions:** the characteristic features of quarry roads in the construction of hydraulic structures in mountainous conditions, as well as the causes of clogging intensity the road surface with gravel and pebble particles, are Analyzed. The article presents a granulometric analysis of crushed and gravelly rock fragments that fell from the body of a dump truck to the road surface, produced by sieving on sieves. Based on the results of statistical processing of the measurement results, the specific densities of the distribution of gravel and pebble particles on the road surface, assigned to 1 m<sup>2</sup> of area and 1 km of track, were established. Due to the diversity of the influence of numerous factors that shape the efficiency of a career highway and the complexity of accounting for the significance of each individual factor, a generalizing dynamic coefficient is proposed to account for the combined influence of factors. A mathematical model for evaluating the efficiency of a quarry highway in mountain conditions has been developed.

**Limitations / study implications:** the limitations related to this study are as follows: the surface of the highway in hydraulic engineering quarries is usually covered with gravel particles formed from finely crushed overburden and pebbles that are unevenly distributed along the length of the highway. The surface unevenness of the quarry road on various routes varies quite widely. The transport and operational qualities of quarry roads during the construction of the Rogun HPP were measured not along the entire length of the track, but on its individual sections, which may lead to some distortions of the research results.

**Originality / value:** Due to the variety of numerous factors that shape the efficiency of a career road, it is not possible to consider the importance of each individual factor. To assess the efficiency of a career road, a generalizing dynamic coefficient  $k_{ED}$  is proposed, taking into account the joint (complex) influence of numerous factors.

**Key words:** dump truck, vehicle road, mountain conditions, road unevenness, vehicle tire, road geometry, granulometric analysis, efficiency.