

УДК 629.114

DOI: 10.46960/1816-210X_2020_3_141

А.М. Умирзоков¹, К.Т. Мамбеталин², С.С. Сайдуллозода^{1,2}, У.М. Маллабоев^{3,4}

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ-САМОСВАЛАМИ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими¹Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)²Тюменский индустриальный университет³,Тобольский индустриальный институт⁴

Рассмотрены вопросы оценки эффективности преобразования тепловой энергии в механическую работу при эксплуатации карьерных автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540 В, а также стратегия управления автомобилем в горных условиях. Дано определение эффективности управления автомобилем, на основе которого разработаны методика и математические модели оценки эффективности работы водителя. Применительно к условиям эксплуатации большегрузных автомобилей-самосвалов в горной местности наиболее значимыми являются энергетические и экономические показатели, а также показатели надежности. Оценка эффективности работы водителя по энергетическим и экономическим показателям выполнена на основе путевого расхода топлива и сменной производительности автомобиля-самосвала соответственно.

Эффективность управления большегрузным автомобилем-самосвалом по показателю материальных затрат оценена по расходу запасных частей и ремонтно-эксплуатационных материалов. Оценка эффективности функционирования водителя по показателям надежности выполнена на основе удельных затрат времени, труда и финансовых затрат на устранение эксплуатационных и ресурсных отказов.

Ключевые слова: моделирование, большегрузные автомобили, водитель, эффективность, горные условия, производительность автомобиля, ТО и ремонт, надежность, безопасность автомобиля.

Введение

В условиях сложной геометрии дороги в горной местности ключевым фактором эффективности преобразования тепловой энергии в механическую работу, используемую для выполнения транспортной операции, является водитель. Эффективность его функционирования в значительной мере формирует эффективность функционирования самого автомобиля и оказывает решающее влияние на систему «Водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС) в целом. Особое значение обретает этот аспект для большегрузных автомобилей, используемых в высокогорных условиях, при профиле с гравийным покрытием в двухсменном режиме, с неизбежно частыми и резкими маневрами.

Постановка задачи

Эффективность работы водителя грузового автомобиля можно определить как отношение достигнутого результата (в его энергетическом, экономическом, экологическом и материальном выражениях) в процессе преобразования тепловой энергии в механическую работу, используемую для транспортирования пассажиров и груза, к израсходованным ресурсам. Смысл понятия «эффективность водителя» вообще гораздо шире, нежели «надежность водителя». Если под надежностью можно понимать способность безошибочного управления транспортным средством при различных дорожных и погодных условиях в течение рабочего времени, то эффективность водителя – это та же надежность, достигнутая с наименьшими энергетическими, экономическими и материальными затратами, а также с наименьшим экологическим ущербом.

Для комплексной оценки эффективности управления автомобилем водителем \mathcal{E}_B на строительстве гидротехнических сооружений в горных условиях будем использовать выражение (1):

$$\mathcal{E}_B = \mathcal{E}_{эн} \cdot \mathcal{E}_{эк} \cdot \mathcal{E}_н \cdot \mathcal{E}_м, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{эн}$, $\mathcal{E}_{эк}$, $\mathcal{E}_н$, $\mathcal{E}_м$ – составляющие эффективности управления автомобилем по энергетическим, экономическим, надежностным показателям соответственно, а также по показателю материальных затрат.

Достигнутый результат эффективности водителя грузового автомобиля складывается из большого количества факторов: энергетического, экономического, надежностного, материального, экологического и эффективности за счет обеспечения безопасности движения. Для грузовых автомобилей в горных и высокогорных условиях эксплуатации существенными являются далеко не все перечисленные факторы [1]. Например, весьма незначителен в условиях строительства гидротехнических сооружений достигнутый экологический результат [2]. Карьерным дорогам свойственны незначительная плотность и интенсивность движения автомобилей, а парк грузовых автомобилей оснащен дизельными двигателями [3, 4]. За все время строительства ГЭС не были зафиксированы ДТП с тяжелыми последствиями. С учетом незначительности влияния экологических аспектов, а также эффективности за счет обеспечения безопасности дорожного движения в названных условиях, в практических расчетах оценки эффективности их можно не принимать во внимание [5, 6].

Энергетическая составляющая эффективности водителя $\mathcal{E}_{эн}$ формируется, в основном, за счет удельного расхода топлива на единицу выполненной работы или на единицу наработки (рис. 1). Для горных и высокогорных условий эксплуатации большегрузного автомобиля-самосвала характерна относительно низкая энергетическая эффективность водителя, зависящая от большого числа факторов. Наиболее важны приобретенные мастерство, знания, умения и навыки управления автомобилем в сложных горных условиях [7, 8]. Эффективность управления большегрузным автомобилем-самосвалом по экономическому показателю $\mathcal{E}_{эк}$ можно косвенно оценить по сменной производительности, которая, в зависимости от стиля вождения, варьирует в широких пределах (рис. 1). В условиях строительства Рогунской ГЭС наилучшие показатели сменной производительности наблюдаются, начиная с трехлетнего по шестнадцатилетний стаж работы водителя, достигая максимума к восьмому году.

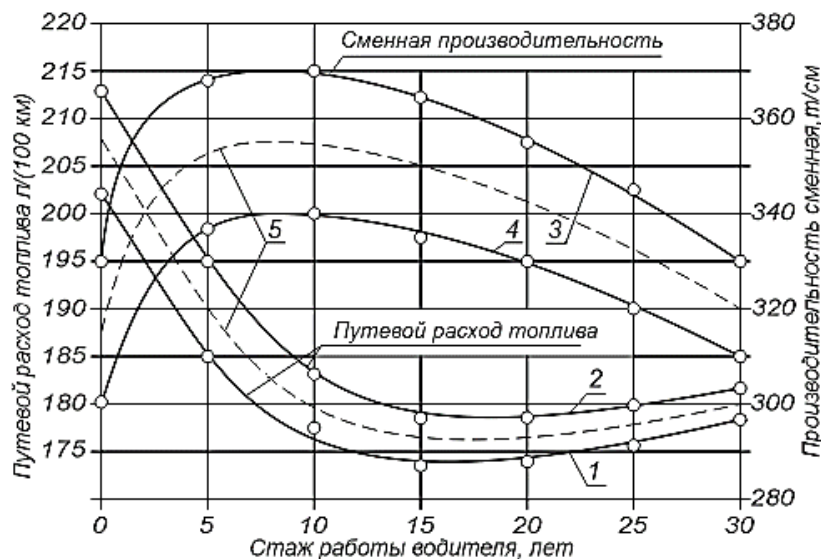


Рис. 1. Зависимость путевого расхода топлива и сменной производительности от стажа работы водителя:

- 1 и 3 – бережливый стиль вождения;
- 2 и 4 – агрессивный стиль вождения;
- 5 – средние значения показателей

Эффективность управления большегрузным автомобилем-самосвалом по показателю материальных затрат \mathcal{E}_m можно оценить по расходу запасных частей и ремонтно-эксплуатационных материалов (рис. 2).

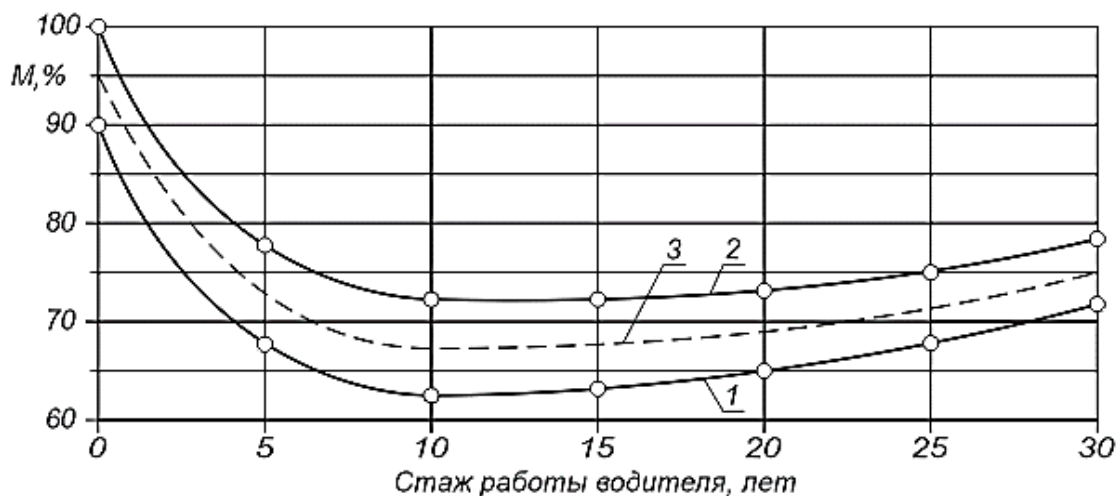


Рис. 2. Зависимость расхода запасных частей и материалов от стажа работы водителя:

- 1 – березливый стиль вождения;
- 2 – агрессивный стиль вождения;
- 3 – среднее значение показателя

В качестве оценочного параметра эффективности управления большегрузным автомобилем-самосвалом по показателю надежности \mathcal{E}_n принимаются экономические критерии безотказности и долговечности автомобиля, в частности, удельные затраты времени, труда и денежных средств на устранение эксплуатационных и ресурсных отказов (рис. 3).

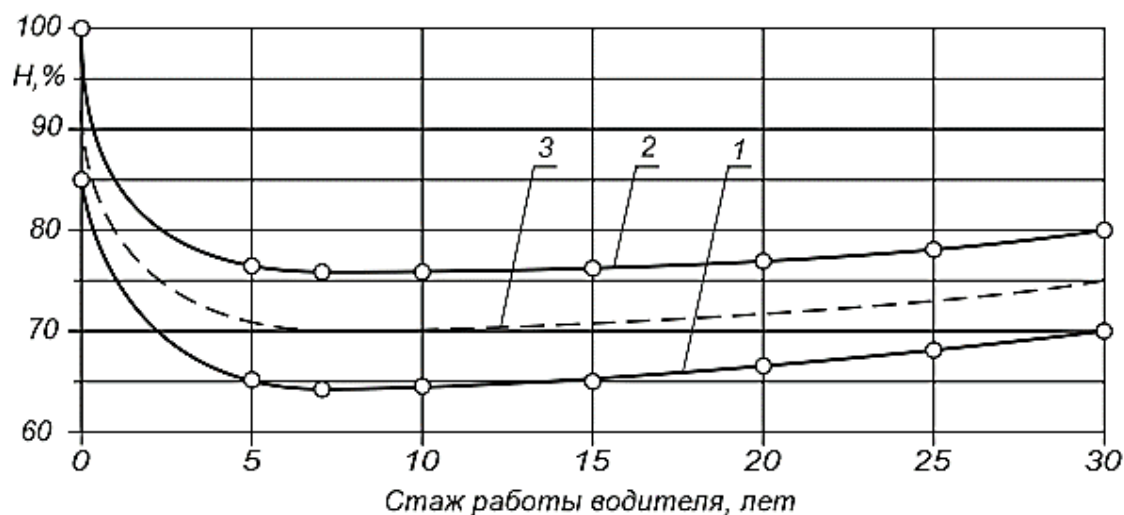


Рис. 3. Зависимость показателей надежности автомобиля от стажа работы водителя:

- 1 – березливый стиль вождения;
- 2 – агрессивный стиль вождения;
- 3 – среднее значение показателя

Энергетическую эффективность управления автомобилем можно определить из отношения (2):

$$\mathcal{E}_{эн} = \frac{Q_{\min}}{Q_i}, \quad (2)$$

где Q_{\min} и Q_i – соответственно, минимальное и текущее значения путевого расхода топлива.

Экономическая эффективность управления автомобилем определяется из отношения (3):

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = \frac{\Pi_{\text{max}}}{\Pi_i}, \quad (3)$$

где Π_{max} и Π_i – максимальное и текущее значения сменной производительности автомобиля соответственно.

Эффективность управления автомобилем по показателям надежности выражается отношением (4):

$$\mathcal{E}_n = \frac{H_{\text{max}}}{H_i}, \quad (4)$$

где H_{max} и H_i – соответственно, максимальное и текущее значения оценочных показателей надежности автомобиля;

Эффективность управления автомобилем по материальным затратам можно определить из отношения (5):

$$\mathcal{E}_m = \frac{M_{\text{min}}}{M_i}, \quad (5)$$

где M_{min} и M_i – соответственно, минимальное и текущее значения материальных затрат.

С учетом выражений (2-5) выражение (1) можно переписывать в виде (6):

$$\mathcal{E}_B = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_i} \cdot \frac{\Pi_{\text{max}}}{\Pi_i} \cdot \frac{H_{\text{max}}}{H_i} \cdot \frac{M_{\text{min}}}{M_i}. \quad (6)$$

На основе многолетних наблюдений для большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В в условиях эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС по выражению (6) выполнены расчеты оценки эффективности управления автомобилем, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты расчета эффективности управления автомобилем

Показатель оценки эффективности	Стаж работы							
	0	5	8	10	15	20	25	30
Путевой расход топлива Q_i , л/(100 км)	208	190	182	179,5	176,5	176,5	178	180
Q_{min} / Q_i	0,8486	0,9289	0,9698	0,9833	1,0	1,0	0,9916	0,9806
Сменная производительность Π_i , т/см	315	353	355	354	350	343	333	320
Π_{max} / Π_i	0,8873	0,9994	1,0	0,9972	0,9859	0,9662	0,9380	0,9014
Материальные затраты, M_i	95,0	80,0	68,0	67,0	68,0	39,0	71,0	75,0
M_{min} / M_i	0,7053	0,8375	0,9853	1,0	0,9853	0,9710	0,9437	0,8933
Показатели надежности автомобиля, H_i	90,0	71,0	70,0	70,0	71,0	72,0	73,0	75,0
H_{max} / H_i	0,7778	0,9859	1,0	1,0	0,9859	0,9722	0,9589	0,9333
Эффективность управления автомобилем, \mathcal{E}_B	0,4131	0,7627	0,9555	0,9805	0,9577	0,9121	0,8417	0,7369

Результаты расчетов по формуле (6) с использованием данных многолетних наблюдений представлены в виде графика зависимости эффективности управления большегрузным карьерным автомобилем-самосвалом от стажа работы водителя (рис. 4).

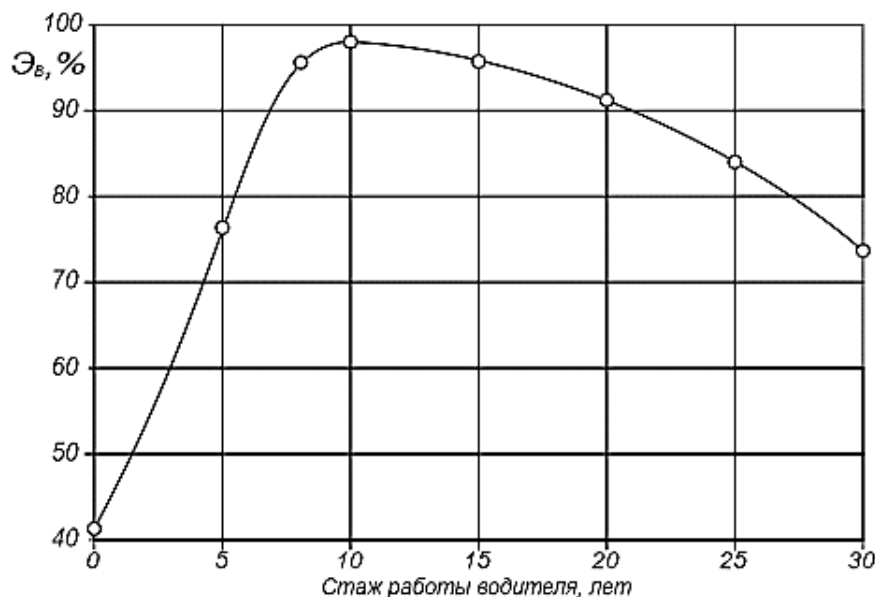


Рис. 4. Зависимость эффективности управления автомобилем-самосвалом БелАЗ-7540В от стажа работы водителя в горных условиях

Для расчета эффективности управления большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В, эксплуатируемых на строительстве Рогунской ГЭС, предлагается эмпирическая формула в виде интерполяционного многочлена Лагранжа [9, 10] (7):

$$\mathcal{E}_B = 0,008857 \cdot t^3 + 0,5824 \cdot t^2 + 10,63 \cdot t + 41,31, \quad (7)$$

где t – стаж работы водителя, лет.

Уровень эффективности управления автомобилем представляет собой относительную характеристику качества грузоперевозки, основанную на сравнении значений показателей качества достигнутых эффективностей при различных стилях вождения. При установлении уровня эффективности управления автомобилем следует сопоставлять отдельные показатели эффективности и их совокупность, достигнутые водителем при бережливом стиле вождения с аналогичными отдельными показателями и их совокупностью, достигнутыми при агрессивном вождении.

Уровень эффективности управления автомобилем с учетом бережливого и агрессивного стилей вождения в общем виде можно выразить отношением (8):

$$\mathcal{E}_B = \frac{R_B}{R_A}, \quad (8)$$

где R_B – результат, достигнутый водителем при бережливом стиле вождения; R_A – результат, достигнутый водителем при агрессивном стиле вождения.

Приведенные графики (рис. 1-3) наглядно показывают эффективность управления автомобилем в зависимости от стиля вождения. Расхождения между эффективностями при бережливом и агрессивном стилях вождения по отдельным показателям эффективности варьирует в достаточно широких пределах в зависимости от стажа работы водителя.

Относительные расхождения между эффективностями при бережливом и агрессивном стилях вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности $P_{\mathcal{E}in}$ определялись из выражения (9):

$$P_{\mathcal{E}in} = \frac{R_{B_{in}} - R_{A_{in}}}{R_{B_{in}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где R_{Bin} – результат, достигнутый водителем при бережливом стиле вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности; R_{Ain} – результат, достигнутый водителем при агрессивных стилях вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности.

Результаты расчетов, выполненные по выражению (9) для большегрузных карьерных автомобилей – самосвалов БелАЗ-7540В в условиях эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС сведены в табл. 2.

Таблица 2.

**Результаты расчета относительного расхождения
эффективности управления автомобилем при бережливых
и агрессивных стилях вождения по отдельным показателям эффективности $P_{Эin}$**

Относительное расхождение между эффективностями управления автомобилем при бережливом и агрессивном стилях вождения для n -го показателя эффективности, %	Стаж работы, лет						
	0	5	10	15	20	25	30
по путевому расходу топлива	5,2	5,1	3,8	2,8	2,5	2,2	1,1
по производительности	9,1	8,4	8,0	7,9	7,3	6,7	6,1
по материальным затратам	10,0	12,8	13,8	12,9	11,0	9,3	8,2
по надежности	15,0	15,0	15,1	14,5	13,6	12,8	12,5
среднее значение расхождения	9,825	10,325	10,175	9,525	8,600	7,738	6,975

В соответствии с данными табл. 2 представлены графики зависимости относительного расхождения между эффективностями управления большегрузным карьерным автомобилем – самосвалом при бережливом и агрессивном стилях вождения по отдельным показателям эффективности от стажа работы водителя (рис. 5).

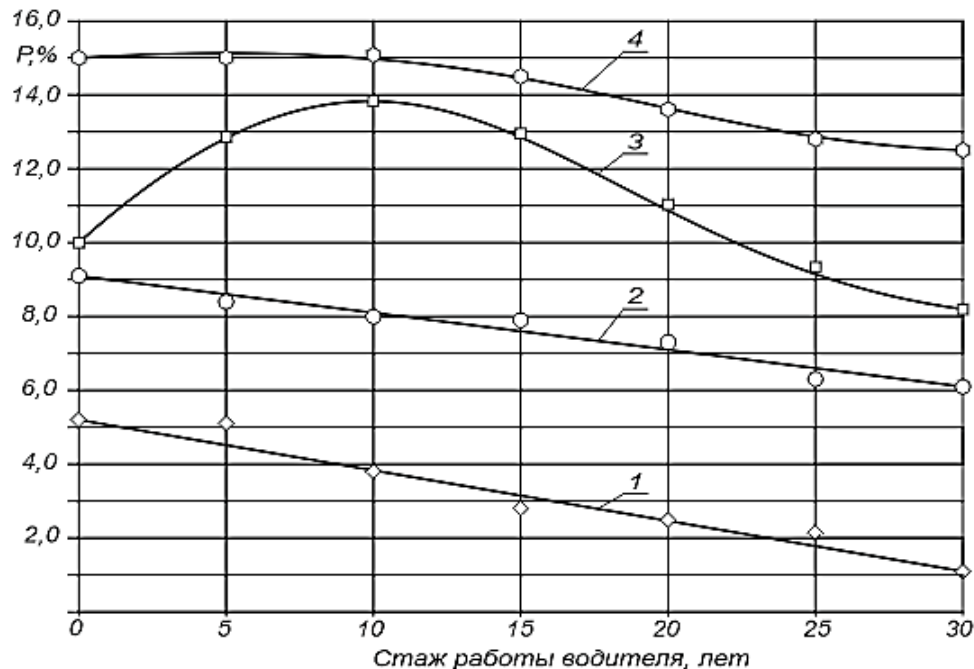


Рис. 5. График зависимости относительного расхождения между эффективностями управления большегрузным карьерным автомобилем – самосвалом при бережливом и агрессивном стилях вождения по отдельным показателям эффективности от стажа работы водителя:

1 – по путевому расходу топлива; 2 – по сменной производительности;
3 – по материальным затратам; 4 – по надежности

Среднее значение относительного расхождения между бережливым и агрессивным стилями вождения эффективности управления большегрузным карьерным автомобилем-самосвалом по суммарным показателям эффективности от стажа работы водителя показано на рис. 6.



Рис. 6. График зависимости среднего значения относительного расхождения эффективности управления большегрузным карьерным автомобилем-самосвалом при бережливом и агрессивном стилях вождения от стажа работы водителя

Выводы

1. Предложена методика оценки эффективности управления автомобилем. Экспериментально установлены зависимости эффективности управления автомобилем от стажа работы водителя, а также пределы изменения показателей эффективности при бережливом и агрессивном стилях вождения.
2. Разработана математическая модель зависимости эффективности управления автомобилем от стажа работы водителя, хорошо согласуемая с результатами экспериментальных исследований для горных условий Республики Таджикистан.
3. Показана оценка эффективности водителя в зависимости от психофизиологического состояния водителя.
4. Представлена оценка относительного расхождения между эффективностями управления при бережливом и агрессивном стилях вождения по отдельным показателям эффективности от стажа работы водителя.

Библиографический список

1. **Вахламов, В.К.** /Автомобили; Эксплуатационные свойства / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2005. – 240 с.
2. **Исмонзода, С.М.** Проблемы обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Таджикистан. **Турсунов, А.А.** Надежность водителя автомобиля в горных условиях. / А.А. Турсунов, Я. Юсупов // Труды ТТУ, Серия: Транспорт и дорожное хозяйство. – Вып. 2. – 1999. – С. 28-30.
4. **Patorniti, Nicholas P.** A systems approach to city design: Exploring the compatibility of sociotechnical systems. / Nicholas P. Patorniti, Nicholas J. Stevens, Paul M. Salmon. // Habitat International. Volume 66, August 2017. – P. 42-48.
5. **Рябчинский, А.И.** Экологическая безопасность автомобиля / А.И. Рябчинский, Ю.В. Трофименко, С.В. Шелмаков / Под ред. Член-корр. РАН Луканина В.Н./ МАДИТУ. – М., 2000. – 95 с.
6. **Графкина, М.В.** Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2016. – 320 с.

7. **Умирзоков, А.М.** Концептуальная модель оценки эффективности системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда» / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода., А.А. Саибов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – № 1. – С. 37-46.
8. **Umirzokov, A.M.** Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (DVRE) system in the conditions of mountain quarries. / A.M. Umirzokov, U.M. Mallaboev, S S Saidullozoda, Kh Kh Khabibullozoda // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 817, 1 March 2020. – P 1-8.
9. **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. / Г. Корн, Т. Корн // М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1977, – 832 с.
10. **Гнеденко, Б.В.** Математические методы в теории надежности. / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 2010, – 524 с.

*Дата поступления
в редакцию: 30.04.2020*

A.M. Umirzokov¹, K.T. Mambetalin², S.S. Saydulozoda^{1,2}, U.M. Mallaboev³.

TO THE ASSESSMENT OF MANAGEMENT HEAVY-DUTY DUMP TRUCKS EFFICIENCY IN MOUNTAIN CONDITIONS

Tajik Technical University named after M.S. Osimi¹
South Ural State University (national research university)²
Tyumen Industrial University³
Tobolsk Industrial (branch)⁴

Purpose: Justification and evaluation of the effectiveness of the management of heavy vehicles - dump trucks in mountain conditions.

Design / Methodology / Approach: The work is based on the fundamental laws of nature and is based on the results of many years of research in the field of improving the efficiency of the DVRE system in the construction of hydraulic structures in the mountainous regions of the Republic of Tajikistan, and in particular, evaluating the performance of drivers in order to improve the determination of the effectiveness of driving a heavy-duty dump truck using methods and methods of mathematical statistics and modeling.

Conclusions: A technique for assessing the effectiveness of driving a vehicle is proposed. The efficiency dependences of driving a vehicle on the length of driver service, as well as the limits of the change in performance indicators with lean and aggressive driving styles, were experimentally established. A mathematical model has been developed for the dependence of driving efficiency on driver experience, which is in good agreement with the results of experimental studies for the mountain conditions of the Republic of Tajikistan. An assessment of driver efficiency is shown depending on the psychophysiological state of the driver. An assessment of the relative discrepancy between the management performance in a lean and aggressive driving styles by individual performance indicators from the length of service of the driver is presented.

Limitations/implications research: Limitations related to this study are as follows: the work was carried out according to the results of many years of research, which may lead to some distortions of the research results. The studies were performed under the conditions of transport operations during the construction of the Rogun Hydroelectric Power Plant, under various climatic conditions, speed and load conditions, as well as at different altitudes. In the course of many years of testing, there has been some turnover of driver personnel, as well as with the use of dump trucks with various operating time and reliability levels.

Originality/value: The definition of driving efficiency as a ratio of the achieved result (in its energy, reliability, economic, environmental and material terms) to the consumed resources is proposed. In addition, the efficiency of the driver of a heavy-duty dump truck was evaluated as the product of the components of the efficiency of driving a vehicle by energy, economic, reliability indicators, as well as by the indicator of material costs.

Key words: modeling, heavy vehicles, driver, efficiency, mountain conditions, vehicle performance, maintenance and repair, reliability, vehicle safety.