

УДК 621.869

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827>

EDN: PVZIOO

Научная статья



РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ОТВАЛЬНОГО ТИПА

Н. Т. Сурашов^{1*}, Д. Н. Толымбек²¹Казахский университет путей сообщения,
г. Алматы, Республика Казахстан,²СП «Аруна-Сай»,

г. Астана, Республика Казахстан

nurgalisurashov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1798-2253>damirinvest@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1612-2171>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных рыночных условиях землеройно-транспортные машины отвального типа особенно нуждаются в анализе маркетинга. Поэтому некоторые приобретенные землеройно-транспортные машины из зарубежных стран при разработке грунтов с каменистыми включениями (характерно для РК) быстро изнашиваются, особенно их режущие кромки ножа, затем постепенно выходят из строя сами машины, тем самым не оправдывая свою себестоимость, т.е. эксплуатируются на практике неэффективно. Целью данной работы является из множества типов машин выбрать самые эффективные модели землеройно-транспортных машин отвального типа, адаптированных к условиям грунтового фона и климатических зон РК с помощью разработанных комплексных оценочных показателей.

Методы и материалы. В качестве материалов использовались широко известные 6-удельные, обобщенные параметры и дополнительно разработанные авторами 20-оценочные показатели (удельные, обобщенные, дифференциальные и интегральные) для оценки конкурентоспособности проектируемой новой конструкции рабочего органа землеройно-транспортной машины отвального типа, а также эксплуатируемых этих машин в РК.

Результаты. В результате анализа взаимодействия рабочего органа бульдозера с разрабатываемым грунтом и исследования их параметров были сформированы оценочные показатели для оценки эффективности бульдозера. Провели полевые испытания два базовых и предложенных четыре перспективных конструктивных решений бульдозера с различными отвалами для сравнения конструкций между собой и оценили их в количественном виде. По высчитанным оценочным показателям произведена оценка эффективности бульдозерного отвала для шести вариантов исполнений конструкций, и по их численным значениям построены графики изменения оценочных показателей по экспериментальным данным, позволяющим оценить технико-экономическую эффективность для различных конструкций отвалов бульдозера.

Обсуждение и заключение. Анализ оценочных показателей: материалоемкости G_{po}/G_{np} и G_{po}/Π показывают, что с совершенствованием конструкции отвала (срез двух боковых верхних частей отвала и добавление к отвалу двух нижних боковых ножей-уширителей) уменьшается металлоемкость, а объем максимального набора призм волочения увеличивается, соответственно возрастает производительность бульдозера; энергоемкости, N/Π , N/G_{np} и показывают, что с совершенствованием конструкции отвала бульдозера улучшаются энергетические показатели, т.е. расход энергии, затраченной на разработку единичного объема грунта уменьшается; показатели удельного усилия, приходящегося на единицу ширины ножа R/B и удельной мощности, приходящейся на единицу ширины ножа N/B , уменьшаются. Обобщенный показатель экономии мощности и силовых нагрузок $R \cdot N/B^2$ показывает, что с улучшением конструкции отвала их значения почти не изменяются (отвал конструкции типа и отвалы с оснащением – выступающим средним ножом и боковыми косынками – резко (скачкообразно) увеличивают объем призм волочения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бульдозер, рабочий орган, оценочные показатели, удельные, дифференциальное, интегральное, уровень технического состояния.

© Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают искреннюю благодарность и признательность анонимным рецензентам за нелегкий тяжелый труд по глубокому анализу работы и ценные замечания, которые взяты в работу и учтены полностью.

Статья поступила в редакцию 16.09.2022; одобрена после рецензирования 08.11.2022; принята к публикации 19.12.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Разработка комплексных показателей и оценка эффективности землеройно-транспортных машин отвального типа // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 6 (88). С. 814-827. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827>

EDN: PVZIYO

DEVELOPMENT OF COMPLEX INDICATORS AND EVALUATION OF EFFICIENCY FOR DUMP-TYPE EARTHMOVING AND TRANSPORT MACHINES

Nurgali T. Surashov ^{1*}, Damir N. Tolymbek ²

¹Kazakh University of Railway Engineering,
Almaty, Republic Kazakhstan,

²SP Aruna-Sai,
Astana, the Republic of Kazakhstan

nurgalisurashov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1798-2253>

damirinvest@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1612-2171>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. In modern market conditions, dump-type earth-moving transport machines especially need to analyse the marketing of these machines. Therefore, some acquired earth-moving machines during the development of soils with stony inclusions (typical for the RK) quickly wear out their cutting edges of the knife, then gradually fail the machines themselves, thereby not justifying their cost, i.e. are not operated effectively in practice. The goal is to choose from a variety of types of machines the most effective models of earth-moving and transport machines of the dump type, adapted to the conditions of the ground background of the Republic of Kazakhstan with the help of developed complex evaluative indicators.

Methods and materials. As materials, the well-known 6 specific, generalized parameters and additionally developed by the authors of 20 assessment indicators (specific, generalized, differential and integral) were used to evaluate the competitiveness of the projected new design of the working body of the earth-moving transport machine of the dump type, as well as the operated these machines.

Outcomes. As a result of the analysis of the interaction of the working body of the bulldozer with the developed soil and the study of their parameters, the estimates were developed and formed to assess the effectiveness of the bulldozer. The field tests of the proposed six promising design solutions for a bulldozer with different blades were carried out to compare the structures with each other and evaluated them in quantitative form. According to the calculated estimates, the efficiency of the bulldozer blade was evaluated for six variants of structural executions and graphs of changes in the estimated indicators from experimental data were built on their numerical values, allowing to evaluate the technical and economic efficiency for various designs of bulldozer blades.

Discussion and conclusion. The analysis of the estimated indicators: material consumption G/G_{np} and G/P show, that with the improvement of the blade design (cutting off the two lateral upper parts of the blade and adding the two lower side - extension knives), the metal intensity decreases, and the volume of the maximum set of drawing prisms increases, respectively, the productivity of the bulldozer increases; energy intensities, N/Π , N/G_{np} and $G \cdot N/P^2$ show, that with the improvement of the design of the bulldozer blade, energy performance improves, i.e. the energy consumption spent on the development of a single volume of soil decreases; the specific force per unit width of the R/B knife and the specific power per unit width of the N/B knife are reduced. Generalized power savings and power

© Surashov N. T., Tolymbek D. N., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

loads $R \cdot N/B^2$ shows that, with the improvement of the blade design, their values almost do not change (the blade of the type design and the blades with equipment - a protruding middle knife and side scarves sharply (jumpingly) increase the volume of the prism drawing.

KEYWORDS: bulldozer, working body, evaluation indicators, specific, differential, integral, level of technical condition.

ACKNOWLEDGEMENTS: the authors express their sincere gratitude and appreciation to anonymous reviewers for the hard work of in-depth analysis of the work and valuable comments that are taken into account and taken into account in full.

The article was submitted 16.09.2022; approved after reviewing 08.11.2022; accepted for publication 19.12.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Surashov N. T., Tolymbek D. N. Development of complex indicators and evaluation of effectiveness for dump-type earth-moving and transport machines. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (6): 814-827. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827>

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) разработаны комплексные оценочные показатели (удельные, обобщенные, дифференциальные и интегральные) для технико-экономического уровня машин, т.е. перспективности ЗТМ отвального типа;

2) изготовлены новые конструкции отвалов и ножей бульдозера, которые были установлены на бульдозер марки ДТ-75М для проведения полевых испытаний;

3) проведены полевые испытания на шести моделях отвалов бульдозера и определены их оценочные показатели;

4) анализированы на каждую модель отвала численные значения оценочных показателей и построены по ним сравнительные графики и определены перспективные модели отвала.

ВВЕДЕНИЕ

Казахстан на сегодняшний день приобретает землеройно-транспортные машины (ЗТМ)

из зарубежных стран и СНГ для выполнения поставленной задачи перед дорожными строителями РК Президентом Казахстана – «Создать единую автодорожную компанию Казахстана»¹.

На сегодняшний день отсутствуют комплексные методики определения оценки технико-экономических показателей и, соответственно, технического уровня перспективности ЗТМ с учетом климатических условий и грунтового фона РК, что привело к разработке методики оценки эффективности использования ЗТМ в РК² [1].

По данной тематике написан ряд научных работ зарубежными учеными и стран СНГ^{3,4,5,6,7}. В работе профессоров Л. А. Хмары и В. А. Перова [2, 3, 4, 7] приведен ряд удельных и обобщенных параметров и коэффициентов оценочных критериев для определения новых технических решений (конструкций отвала и ножей) для ЗТМ. Однако эти оценочные показатели недостаточно комплексно оценивают технико-экономический уровень ЗТМ.

¹ Поручение президента РК Касым-Жомарта Токаева на расширенном заседании правительства «Создать единую автодорожную компанию Казахстана» // Деловой Казахстан, от 17.07.22. <https://dknews.kz/ru/politika/245092-prezident-poruchil-pravitelstvu-sozdat-edinuyu>.

² Кабашев Р. А. Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин. Алматы: Фалым, 1997. 434 с.

³ Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1983. 183 с.

⁴ Холодов А. М., Ничке В. В. Землеройно-транспортные машины. Харьков: Вища школа, 1982. 192 с.

⁵ Захарчук Б. З., Телушкин В. Д., Шлойдо Г. А., Яркин А. А. Бульдозеры и рыхлители. М.: Машиностроение, 1987. 240 с.

⁶ Завьялов А. М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Омск: СибАДИ, 1999. 240 с.

⁷ Dotsenko A. I., Mandrovskiy K. P. Indicators of the efficiency for using of road-building machines at various levels of management decisions // International Scientific Conference Interstroyemeh - 2019 (ISM - 2019) / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 786 (2020) 012005 doi:10.1088/1757-899X/786/1/012005 IOP Publishing.

В работе Х. Х. Хабибуллозода, Н. К. Горяева [5] проводилось исследование зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза при междугородных перевозках, и в результате установлены оптимальные расходы топлива в зависимости от скорости транспортирования, нагрузки, приходящейся на одну ось, от качества и рельефа дороги. Для установления ими зависимости расхода топлива от грузоподъемного транспорта исследование проводилось по статистическим данным на седельных тягачах Мерседес Бенс Actross-1840, оборудованными приборами контроля расхода топлива за 237 рейсов. Все данные о скорости, рельеф трассы, расход топлива, нагрузки по осям и другие показатели передавались на сервер FleetBoard. На основе анализа этих данных с помощью программы Excel и STATISTICA была установлена корреляционная зависимость в виде уравнения регрессии, а коэффициент корреляции считает неучтенные факторы. В данной статье рассматриваются только два важных параметра, которые не представляют полные эксплуатационные характеристики машины.

В статье С. А. Пестрикова, А. Г. Шумкова [6] представлена методика оценки организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) на примере транспортного предприятия ОАО «МРСК Урал»-«Пермэнерго», в которой учитываются два типа параметров: организационные и технические. Выведен интегральный показатель и уровень управленческого процесса, позволяющий оценить эффективность работы транспортного подразделения. Однако в статье все показательные параметры приведены в виде коэффициентов и сведены к одному интегральному показателю оценки эффективности организации. Поэтому данная статья не может определить уровень перспективности рассматриваемых комплексных машин.

В статье A. I. Dotsenko and K. P. Mandrovskiy⁸ рассмотрены методики для выявления перспективности типа строительно-дорожных машин (СДМ) и адаптированности этих машин в данных климатических районах. Описаны методики оценки СДМ с помощью технико-э-

кономических показателей на основе мониторинга. Установлена иерархию оценочных показателей. Однако в данной статье не указаны конкретные методики оценки эффективности ЗТМ с помощью комплексных оценочных показателей.

В работе Т. М. Бочкарева⁹ отражены в основном экономические расчеты и обоснования параметров ЗТМ экономических преобразований и разработаны удельные трудоемкости, себестоимости разработки планировочных работ, стоимости машино-смен и себестоимости разработки и транспортировки грунта, продукции удельных капиталовложений, экономическая эффективность разработки и транспортировки грунта. Однако конкретно не даны сравнительные и оценочные параметры ЗТМ.

В работе Н. Н. Симонова¹⁰ показаны результаты анализа рабочего процесса бульдозера на основе энергетических затрат при выполнении основных элементов рабочего цикла; математические модели технической и эксплуатационной производительности бульдозера. Связи между параметрами найдены путем аппроксимации их общими уравнениями регрессии, которые позволяют определять средние значения основных параметров по величине главного параметра. Однако эти параметры бульдозеров в виде корреляционной зависимости не позволяют оценить их эффективность в целом.

В работе Копфера указывается, что по общепринятой в Германии методике расход топлива на транспортную работу (в литрах на 100 т-км) существенно зависит от полной массы транспортного средства. Он обычно описывается линейной функцией либо степенными моделями на основе корреляционной функции. Однако оценка эффективности транспортировки грузов не полностью раскрыта.

Целью настоящего исследования является разработка системы показателей (удельные, обобщенные, дифференциальные и интегральные) для объективной оценки технического уровня разрабатываемых перспективных конструкций, а также эксплуатируемых на практике ЗТМ отвального типа в РК. Вычисле-

⁸ Dotsenko A. I., Mandrovskiy K. P. Indicators of the efficiency for using of road-building machines at various levels of management decisions // International Scientific Conference Interstroyemeh - 2019 (ISM - 2019) / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 786 (2020) 012005 doi:10.1088/1757-899X/786/1/012005 IOP Publishing.

⁹ Бочкарева Т. М. Технология планировочных и землеройных работ: учебно-метод. пособие. Пермь: Изд-во Перм.нац. исслед.политехн. ун-та, 2015. 132 с.

¹⁰ Симонов Н. Н. Прогнозирование эффективности выполнения бульдозерами земляных работ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: ОАО ЦНИИС, 2005. 24 с.

на комплексная оценка ЗТМ отвального типа с помощью компьютерной программы и практические оценки новых конструкций отвала ЗТМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общая последовательность существующих и разработанных авторами систем показателей и их пояснения приведены в таблице 1. Наряду с широко известными показателями

[2, 3, 4, 5, 6, 7] оценки эффективности ЗТМ авторами предлагаются дополнительно новые показатели (№ 6...26, см. таблицу 1) для оценки эффективности рабочего органа (РО) ЗТМ отвального типа.

Для оценки эффективности РО ЗТМ отвального типа создана система оценочных показателей, позволяющих объективно оценить технический уровень разработанных перспективных РО машин (см. таблицу 1).

Таблица 1
Система показателей для оценки РО ЗТМ
Источник: составлено авторами.

Table 1
System of indicators for assessing RO ZTM.
Source: compiled by the authors.

№	Показатель	Размерность	Наименование показателей
1	2	3	4
1.	B	м	Ширина отвала, ножа
2.	R	Н, кН	Усилие на лезвие РО, ножа
3.	G_{po}	кг	Масса отвала бульдозера
4.	N	кВт	Мощность бульдозера
5.	$G_{пр}$	кг	Масса призмы волочения грунтов при максимальном наборе перед отвалом
6.	R/B	(Н/м); кН/м	Удельное усилие, приходящееся на единицу ширины отвала, ножа
7.	N/B	кВт/м	Удельная мощность, приходящаяся на единицу ширины отвала, ножа
8.	RN/B^2	$((Н)кН \cdot кВт)/м^2$	Обобщенный показатель экономии мощности и силовых нагрузок, приходящихся на квадрат ширины отвала
9.	$G_{po}/G_{пр}$	кг/кг	Удельное соотношение масс: РО (бульдозера) и призмы волочения
10.	$N/G_{пр}$	кВт/кг	Удельное соотношение мощности бульдозера и массы призмы волочения
11.	$N/G_{пр}^2$	$\frac{кВт}{кг^2}$	Обобщенный показатель экономии мощности, приходящийся на квадрат массы призмы волочения
12.	$G_{po}/П$	$(кг \cdot ч)/м^3$	Удельная масса РО, приходящаяся на единицу производительности
13.	N/П	$(кВт \cdot ч)/м^3$	Удельная мощность, приходящаяся на единицу производительности
14.	$NG_{po}/П^2$	$(кг \cdot кВт)/(м^3/ч)^2$	Обобщенный показатель экономии мощности и массы РО, приходящийся на квадрат производительности бульдозера

№	Показатель	Размерность	Наименование показателей
15.	$\frac{G_{po}^2 \cdot N^2}{\Pi^2 \cdot G_{np}^2}$	$\frac{кг^2 \cdot кВт^2}{(м^3/ч)^2 \cdot (кг)^2}$	Дифференциальный показатель экономии затраченной энергии, квадратов массы РО и мощности бульдозера, приходящиеся на квадраты производительности и массы призмы волочения
16.	G_{po}/B	кг/м	Удельная масса РО, приходящаяся на единицу ширины отвала, ножа
17.	N/G_{po}	кВт/кг	Удельная мощность бульдозера, затраченная на единицу массы РО
18.	$T/F_{отв}$	кН/м ²	Удельная сила тяги, приходящаяся на единицу площади лобовой поверхности отвала
19.	G_{po}/N	кг/кВт	Удельная масса РО, приходящаяся на единицу мощности бульдозера
20.	$T/N; q/N$	кН/кВт; (м ³ /кВт)	Удельная сила тяги (вместимости), приходящаяся на единицу мощности
21.	$(G_{po} \cdot T)/N^2$	(кг·кН)/кВт ²	Обобщенный показатель экономии массы РО и силы тяги, приходящийся на квадрат мощности
22.	Z/Π	тенге · час/м ³	Приведенные удельные затраты, приходящиеся на единицу производительности
23.	$(G_{po} \cdot Z)/\Pi^2$	тенге·кг/(м ³ /ч) ²	Обобщенный показатель экономии массы РО и затрат, приходящийся на квадрат производительности
24.	$Q_{час} = \frac{Q_T}{T_{ц}}$	кг/час	Часовой расход топлива, приходящийся на 1 цикл времени работы бульдозера
25.	$Q_{уд} = Q_T/\Pi$	кг/м ³	Удельный расход топлива, приходящийся на единицу расхода топлива и производительности
26.	$(Z \cdot Q_T)/\Pi^2$	$\frac{(тенге \cdot кг)}{(м^3/ч)^2}$	Обобщенный показатель экономии затрат и расхода топлива, приходящийся на квадрат производительности
27.	$i_k = \Delta/T_n$	мм/(мото·час)	Удельная интенсивность изнашивания режущей кромки, приходящаяся на единицу наработки ножа ²
28.	$K_{эф} = \frac{P_K^T - P_K^H}{P_K^T}$	кН/кН	Коэффициент эффективности новой конструкции по снижению сил сопротивления копанью грунта [2]
29.	$K_{нд} = t_{сп}/(t_{сп} + t_{устр} + t_{проф})$	ч/ч	Показатель надежности, отражающий качество изготовления машины [2]
30.	$K_{кфт} = K_R + K_V + K_{кдц} + K_{отп}$		Обобщенный показатель качественной оценки комфортабельности машины [2]

Наряду с широко известными показателями и оценками эффективности ЗТМ [2, 4, 7] авторами предлагаются более 20 новых показателей для оценки эффективности РО ЗТМ отвального типа [1, 8, 9]. Общая последовательность определения новых показателей и пояснения к ним приведены в таблице 1.

По степени сложности формирования оценочные показатели подразделяются на: 1 –

частные показатели (теоретические, опытно-экспериментальные, эксплуатационные, геометрические, физические, экономические, технические, силовые и скоростные, основные и производные и т.п.); 2 – *удельные показатели* (формируются делением или умножением одного частного показателя с главным параметром, например, энергоёмкость $N_{уд} = \frac{N}{\Pi} \left(\frac{кВт \cdot час}{м^3} \right)$,

материалоемкость $N_{уд} = \frac{N}{\Pi} \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{м}^3} \right)$ и т.д.; 3 – *обобщенный показатель* (формируется умножением или делением одноименных удельных

показателей, например, $\frac{N}{\Pi} \cdot \frac{G_{po}}{\Pi} = \frac{N \cdot G_{po}}{\Pi^2} \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{кг}}{(\text{м}^3/\text{ч})^2} \right)$;
 $\frac{R}{B} \cdot \frac{N}{B} = \frac{R \cdot N}{B^2} \left(\frac{\text{кН} \cdot \text{кВт}}{\text{м}^2} \right)$; $\frac{N}{\Pi} \cdot \frac{G_{po}}{\Pi} \cdot \frac{n}{\Pi} = \frac{N \cdot G_{po} \cdot n}{\Pi^3} \left[\frac{\text{кВт} \cdot \text{кг} \cdot 1 \text{ раб}}{(\frac{\text{м}^3}{\text{час}})} \right]$;

4 – *дифференциальный показатель* (формируется умножением или делением одноименных обобщенных показателей, например, $\frac{N \cdot G_{po}}{\Pi^2} \cdot \frac{N \cdot G_{po}}{G_{np}^2} = \frac{N^2 \cdot G_{po}^2}{\Pi^2 \cdot G_{np}^2} \left[\frac{\text{кг}^2 \cdot \text{кВт}^2}{(\text{м}^3/\text{ч})^2 \cdot (\text{кг})^2} \right]$ и т.д. [1].

Согласно представленной в таблице 1 системе показателей и проведенных полевых исследовательских испытаниях на этих моделях произведена оценка эффективности бульдозерного отвала с шестью вариантами (рисунок 1).

Согласно таблице 1 приведенные в пунктах 1–5 параметры РО и бульдозера замерялись по известному методу [1, 2], а производительность – Π подсчитывалась с помощью известной формулы на основе замеренных параметров, остальные оценочные показатели также по отношению (таблица 2, п.6–26) к компьютерной программе. Их вычисленные значения приведены в таблице 2, соответственно по графе к шести вариантам исполнения отвалов (см. графы 4–9, таблица 2).

На одном из бульдозеров на базе трактора ДТ-75М для копания глинистого грунта был установлен традиционный отвал с серийными ножами (ножи изготовлены из марки стали Ст65Г) (см. рисунок 1, а, б), а на другом бульдозере – модернизированный отвал с опытными ножами (см. рисунок 1, в, г, д, е), изготовленными из горячекатанной прокатной износостойкой легированной стали 36Г2СР, разработанной и выпускаемой УкрНИИметом [1].

Новые модернизированные отвалы согласно патентам КЗ: №13578, №13576; №15852 были изготовлены на Челябинском заводе

Дормаш им. Колющенко и комплект ножей из стали 36Г2СР с термообработкой ТВЧ, а также крепежные элементы (согласно договору № 90237/12 от 20.06.1998 г.).

Для определения оценочных показателей опытным путем определены следующие параметры бульдозера: потребляемая им мощность N , кВт; ширина B и высота $H_{отв}$ отвала, м; усилие на лезвии рабочего органа R , Н; масса отвала G_{po} , кг; масса призмы волочения (максимальная) G_{np} , кг; тяговое усилие бульдозера T , кН; часовой расход топлива G_r , кг(л); интенсивность изнашивания режущих кромок i_k , (мм·мото)/час; скорость перемещения разработанного грунта u , м/с; площадь поперечного сечения траншеи S , м² и т.д. по ГОСТ 4.122–87 «Бульдозеры. Номенклатура показателей» и ГОСТ 10792–97 «Бульдозеры. Правила приемки и методы испытаний».

Эксперименты проводились на полевой установке по разработанной методике на глинистых грунтах с каменистыми включениями в летнее время при температуре окружающей среды от 20 °С до 36 °С. Каждый вариант модели отвала испытывался 4–6 раз на пути разработки грунта 250 м. Средняя удельная интенсивность изнашивания ножей определялась по среднему значению весового износа образца на 1 км пути трения с 1 кв. см. площадки износа ножа. Грунт естественного залегания – влажность – 18...22%, число ударов ударником ДорНИИ – 50...55, число пластичности – 12...14 [1].

По экспериментальным данным вычислены оценочные показатели с помощью компьютерной программы для различных конструкций отвалов^{11, 12, 13, 14, 15} и их значения приведены в таблице 2. Построены графики изменения оценочных показателей по экспериментальным данным, позволяющие оценить технико-экономическую эффективность для различных конструкций отвалов бульдозера (см. рисунок 1, таблицу 2) [1].

¹¹ Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1993. 384 с.

¹² Кабашев Р. А., Сурашов Н. Т., Гудович М. И. Анализ и оценка перспективных конструкций рабочих органов землеройно-транспортных машин // Механизация и автоматизация земляных работ / Сборник докладов. Киев: КИСИ, 1991. С. 24–27.

¹³ Инновационный патент №15852 от 04.04.2005 г. Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Отвал бульдозера. Опубликовано в бил. № 6 от 15.06.2005 г. 3 с.

¹⁴ Инновационный патент №13578 от 14.08.2003 г. Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Отвал с выступающим ножом бульдозера. Опубликовано в бил. №10 от 15.10.2003 г. 2 с.

¹⁵ Инновационный патент №13576 от 14.08.2003 г. Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Ковш скрепера. Опубликовано в бил. №10 от 15.10.2003 г. 3 с.

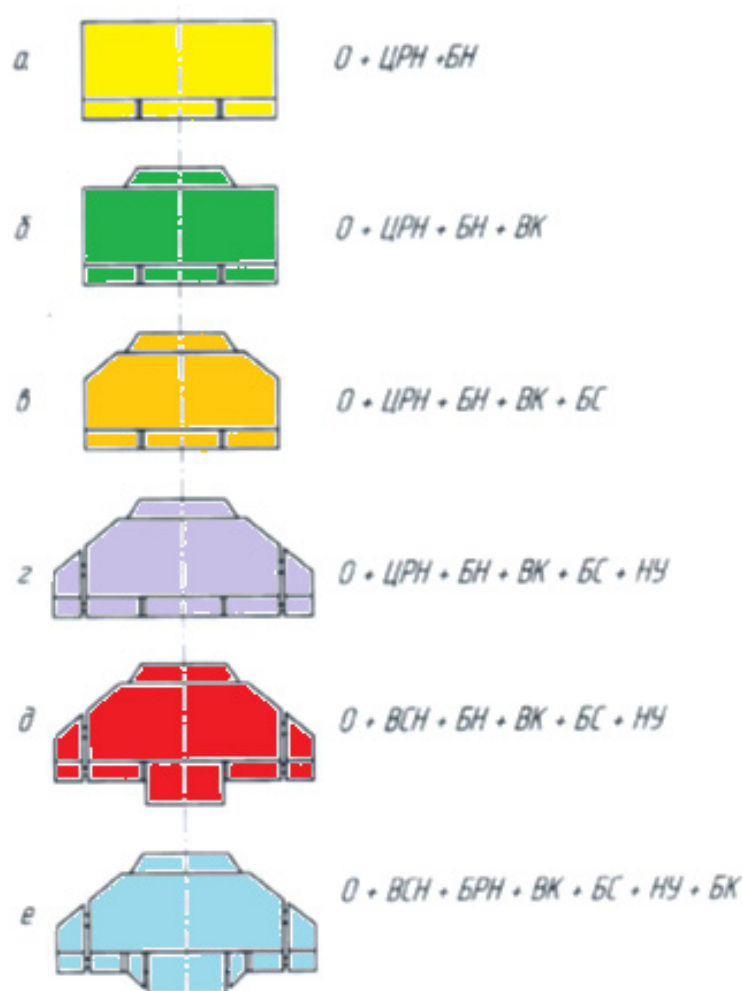


Рисунок 1 – Формирование РО бульдозера в зависимости от категории разрабатываемых грунтов:
 а – традиционный отвал без козырька; б – традиционный отвал с козырьком; в – отвал с верхними боковыми скосами (БС); г – то же, отвал с ножами-уширителями (НУ); д – то же, отвал, оснащенный выступающим средним ножом (ВСН); е – то же, отвал, оснащенный ВСН и боковыми косынками (БК)
 Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Formation of the RO for a bulldozer depending on the category of developed soils
 а) – traditional blade without a visor; б) – traditional blade with a visor; в) – blade with upper side bevels (SB);
 г) – the same, blade with knives-extenders (KE); д) – the same, a blade equipped with a (PMK);
 е) – the same, blade equipped with a PMK and a SB;
 Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 2
Результаты оценки эффективности сформированных бульдозерных отвалов
Источник: составлено авторами.

Table 2
Results of evaluation of the effectiveness of the formed bulldozer blades
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Обозначения (показатели)	Размерность	Значение показателей (шесть вариантов изготовления отвала)					
								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	B	м	2,52	2,52	2,52	2,93	2,93	2,93
2.	R	Н (кН)	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1
3.	G_{po}	кг	1070	1092	1062	1112	1126	1134
4.	N	кВт	70	70	70	70	70	70
5.	G_{np}	кг	3420	3591	3591	3762	3864	3933
6.	$\frac{R}{B}$	$\frac{H}{M} \left(\frac{кН}{м} \right)$	9,96	9,96	9,96	8,56	25,1	25,1
7.	$\frac{B}{R}$	$\frac{кВт}{м}$	27,77	27,77	27,77	23,89	70,0	70,0
8.	$\frac{R \cdot N}{B^2}$	$\frac{H(кН) \cdot кВт}{м^2}$	276,58	276,58	276,58	204,49	1757	1757
9.	$\frac{G_{po}}{G_{np}}$	$\frac{кг}{кг}$	0,312	0,304	0,295	0,295	0,291	0,288
10.	$\frac{N}{G_{np}}$	$\frac{кВт}{кг}$	0,0204	0,0194	0,0194	0,0186	0,0181	0,0177
11.	$\frac{N \cdot G_{po}}{G_{np}^2}$	$\frac{кВт \cdot кг}{кг^2}$	0,0063	0,0058	0,0057	0,0054	0,0052	0,005
12.	$\frac{G_{po}}{\Pi}$	$\frac{кг}{м^3} / ч$	0,0312	0,0304	0,0295	0,0215	0,0291	0,0288
13.	$\frac{N}{\Pi}$	$\frac{кВт}{м^3} / ч$	0,002	0,0019	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017

№ п/п	Обозначения (показатели)	Размерность	Значение показателей (шесть вариантов изготовления отвала)					
								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14.	$\frac{G_{po} \cdot N}{\Pi^2}$	$\frac{кг \cdot кВт}{(\frac{м^3}{ч})^2}$	6,24·10-5	5,77·10-5	5,6·10-5	5,31·10-5	5,25·10-5	4,89·10-5
15.	$\frac{G_{po}^2 \cdot N^2}{\Pi^2 \cdot G_{np}^2}$	$\frac{кг^2 \cdot кВт^2}{(\frac{м^3}{ч})^2 \cdot кг^2}$	3·10-7	3·10-7	3·10-7	2·10-7	2·10-7	2·10-7
16.	G_{po}/B	кг/м	424,6	433,3	421,4	379,5	384,3	387,0
17.	N/G_{po}	кВт/кг	0,065	0,064	0,066	0,063	0,062	0,062
18.	$T/F_{отв}$	кН/м ²	30,2	27,6	30,3	26,0	25,4	25,2
19.	G_{po}/N	кг/кВт	15,3	15,6	15,2	15,9	16,1	16,2
20.	T/N	кН/кВт	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
21.	$G_{po} \cdot T/N^2$	кг·кН/кВт ²	13,3	13,6	13,2	13,8	14,0	14,1
22.	Z/Π	тенге/м ³ /ч	505,8	481,8	483,6	465,5	458,8	458,1
23.	$G_{po} \cdot Z/\Pi^2$	тенге·кг/(м ³ /ч) ²	5203,6	4800	4685,8	4521	4438	4440
24.		кг/м ³ /ч	0,115	0,107	0,107	0,105	0,103	0,102
25.		тенге·кг/(м ³ /ч) ²	58,36	52,75	52,95	48,8	47,3	46,99
26.	Δ/T_n	Мм/мото·час	0,1	0,094	0,093	0,091	0,3	0,28
27.	$P_k - P_k/P_k$	кН/кН	0,012	0,012	0,012	1,125	1,37	1,41
28.	T	кН	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9	60,9
29.	$F_{отв}$	м ²	2,016	2,205	2,01	2,338	2,4	2,42
30.	V	м ³ /ч	104	109,6	109,6	114,5	116,4	117,0
31.	T_u	час	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
32.	$\frac{T}{P_k}$	кН	57,2	57,2	57,2	57,2	57,2	57,2

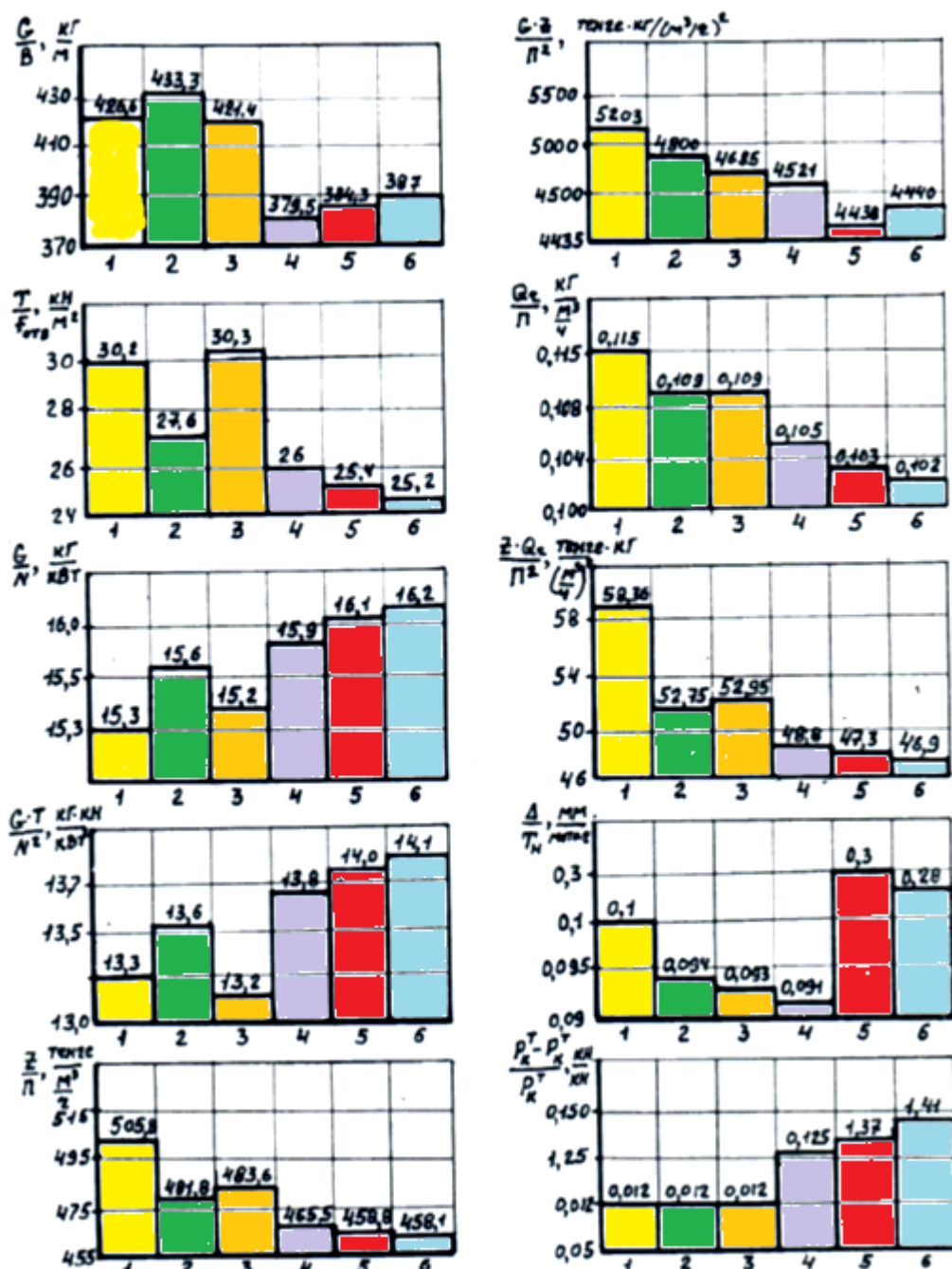
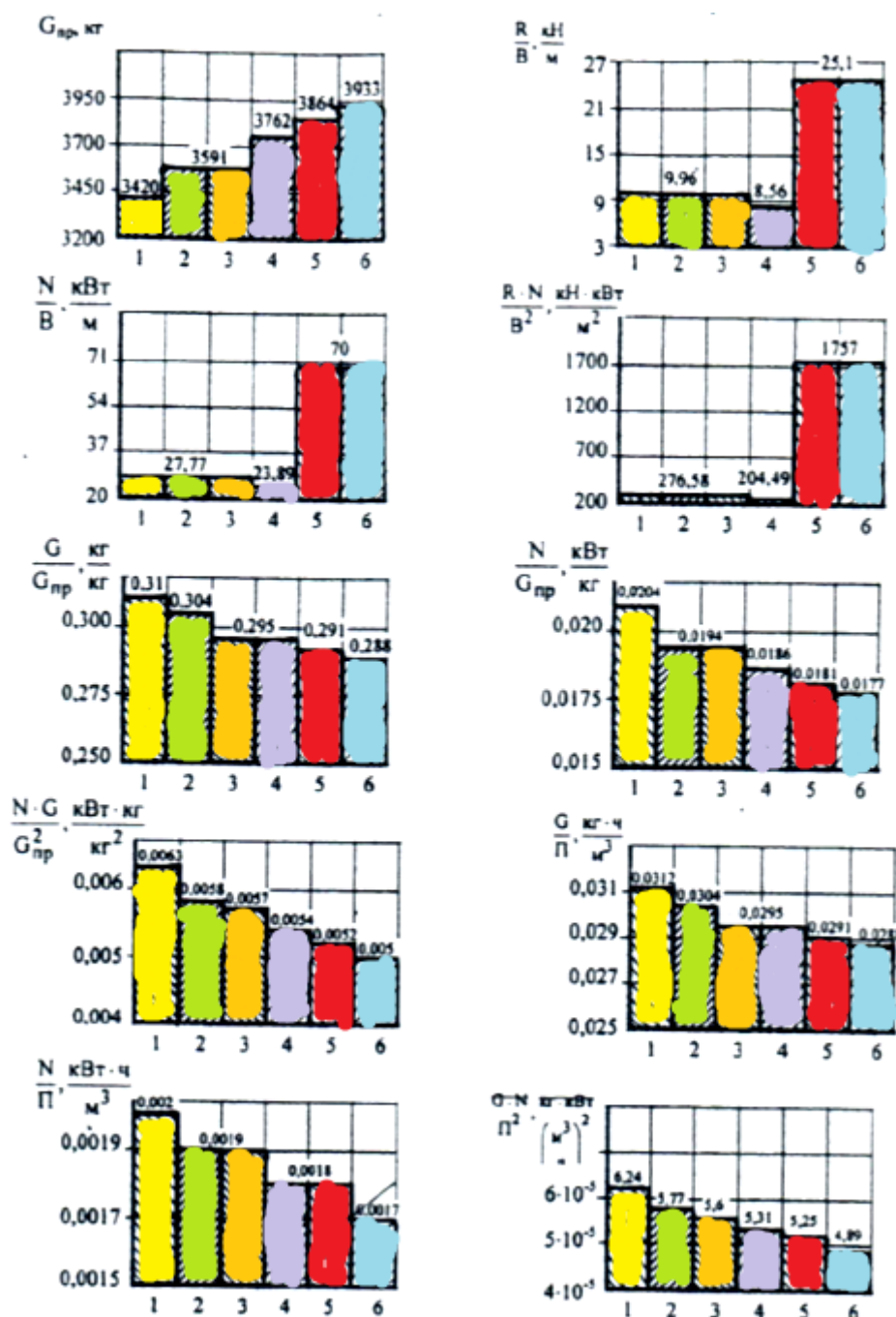


Рисунок 2 – Изменения оценочных показателей технико-экономической эффективности различных конструкций бульдозерных отвалов:
 1 – традиционный отвал без козырька; 2 – традиционный отвал с козырьком;
 3 – отвал с боковыми скосами; 4 – то же, отвал с ножами-уширителями; 5 – то же, отвал с ВСН и ножами-уширителями; 6 – то же, отвал с ВСН и БК, ножами-уширителями
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Changes in the estimated indicators of technical and economic efficiency of various designs of bulldozer dumps. Source: compiled by the authors.
 1 – traditional blade without a visor; 2 – traditional blade with a visor; 3 – blade with side bevels;
 4 – the same, blade with knives-extendors; 5 – the same, a blade with PMK and knives-extendors;
 6 – the same, blade with PMK and BC, knives-extendors;
 Source: compiled by the authors.



- 1 – традиционный отвал без козырька; 2 – традиционный отвал с козырьком;
 3 – отвал с боковыми скосами; 4 – то же, отвал с ножами-уширителями;
 5 – то же, отвал с BCH и ножами-уширителями;
 6 – то же, отвал с BCH и БК, ножами-уширителями
 1 – traditional blade without a visor; 2 – traditional blade with a visor; 3 – blade with side bevels;
 4 – the same, blade with knives-extenders; 5 – the same, a blade with PMK and knives-extenders;
 6 – the same, blade with PMK and BC, knives-extenders;

Продолжение рисунка 2 – Изменения оценочных показателей технико-экономической эффективности различных конструкций бульдозерных отвалов:
 Continued Figure 2 – Changes in the estimated indicators of technical and economic efficiency of various designs of bulldozer dumps.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ оценочных показателей: материалоемкости G_{po}/G_{np} и G_{po}/P (см. таблицы 1, 2, пункты 9 и 12) показывают, что с совершенствованием конструкции РО уменьшается металлоемкость, а объем набора призмы волочения увеличивается, соответственно возрастает производительность бульдозера (см. рисунок 1 и таблицу 2); энергоемкости N/P , N/G_{np} и показывают, что с совершенствованием конструкции отвала ЗТМ отвального типа улучшаются энергетические показатели, т. е. расход энергии, затраченной на разработку единичного объема грунта уменьшается; показатели удельного усилия, приходящегося на единицу ширины ножа R/B , удельной мощности, приходящейся на единицу ширины ножа N/B ; обобщенный показатель экономии мощности и силовых нагрузок $R N / B^2$ показывают, что с улучшением конструкции отвала (отвалы 1, 2, 3, типы исполнения, см. рисунок 1, 2) их значения почти не изменяются, отвал конструкции типа 4 (см. рисунок 1, 2) уменьшается, а отвалы с оснащением ВСН и БК резко (скачкообразно) увеличиваются (см. рисунок 1, конструкции типа 5 и 6) (см. таблицу 2) [1].

Таким образом, теоретически и экспериментально произведена оценка технического уровня предлагаемых перспективных типов конструкции отвалов бульдозера и выявлены наиболее эффективные по оценочным показателям (по ранжированному весу):

- отвал с верхними боковыми скосами и ножами-уширителями, оснащенный выступающим средним ножом и боковыми косынками (см. рисунок 1, е), патент KZN№13578;

- тот же отвал, только без ножей с боковыми косынками (см. рисунок 1, д);

- тот же отвал, только без выступающего ножа и боковых косынок (см. рисунок 1, г), патент KZN№13576 и 15852.

Отвал с верхними боковыми скосами и ножами-уширителями, оснащенный выступающим средним ножом и боковыми косынками (см. рисунок 1, е), является самым перспективным конструктивным решением, затем конструкции отвала (см. рисунок 1, д), потом – конструкции (см. рисунок 1, г) и т.д., то есть по сравнению с базовыми отвалами (рисунок 1, а) – производительность увеличивается на 8–10%, экономия топлива и энергоемкость на 3% и, наоборот, металлоемкость РО уменьшается на 5%. Тяговое усилие бульдозера используется на 5–6% (см. рисунок 1, е). Ранжированные последовательности перспективной конструкции отвалов с ножами расположены

на основе анализа и сопоставления их по оценочным показателям приведены на рисунке 1 (снизу вверх).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сурашов Н. Т. Научные основы создания перспективных рабочих органов землеройно-транспортных машин: монография. Алматы: КазГАСА, 2004. 263 с.

2. Хмара Л. А., Голубченко А. И. Определение показателей эффективности строительных машин, манипуляторов и машин с рабочими органами многоцелевого назначения: Сб. тр. / МАДИ. М., 1987. С. 23–28.

3. Перов В. А. Методика изучения динамики землеройной машины при учете действия случайных нагрузок // Технологии и средства механизации. 2012. № 3. С. 108–110.

4. Хмара Л. А., Басий В. В., Деревянчук М. И., Максук Ю. А. Исследование накопительной способности отвала бульдозера с боковыми ограничивающими элементами // Вестник Харьковского национального автомобильного дорожного университета. 2005. № 2. С. 80–84.

5. Хабибуллозова Х. Х., Горяев Н. К. Исследование зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза при междугородных перевозках // Вестник СибАДИ. 2021;18(3):264–273. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-264-273>

6. Пестриков С. А., Шумков А. Г. Методика оценки эффективности организации технического обслуживания и ремонта на примере транспортного подразделения филиала ОАО «МРСК Урала» – «ПермЭнерго» – Пермь // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2019. № 1. С. 233–245.

7. Хмара Л. А. Научное сопровождение строительных и дорожных машин: исследование, расчет, создание, выбор, использование // Вестник Приднепровский государственной академии строительства и архитектуры. Приднепровск: 2015. № 7–8 (209). С. 11–30.

8. Сурашов Н. Т., Асмагулаев Р. Б., Толымбек Д. Н. Определение рациональной формы отвала бульдозера с учетом грунтового фона Республики Казахстан // Вестник СибАДИ. Том 18, № 6 (2021). С. 662–677. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>.

9. Сурашов Н. Т., Асмагулаев Р. Б., Толымбек Д. Н. Определение оптимальных конструктивных параметров отвала бульдозера // Вестник СибАДИ. Том 19, № 4 (2022). DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>.

REFERENCES

1. Surashov N. T. [Scientific foundations of the creation of promising working bodies of earth-moving machines]. Monograph. Almaty: KazGASA, 2004. 263 p. (in Russ.)

2. Khmara L. A., Golubchenko A. I. *Opredelenie pokazatelej jeffektivnosti stroitel'nyh mashin, manipulatorov i mashin s rabochimi organami mnogocелеvogo naznachenija: Sb. tr. / MADI*. [Determination of perfor-

mance indicators of construction machines, manipulators and machines with working bodies of multi-purpose purpose: Sb. Tr. / MADI]. Moscow, 1987: 23-28. (in Russ.)

3. Perov V. A. [Methods of studying the dynamics of the earth-moving machine when taking into account the action of random loads]. *Tehnologii i sredstva mehanizatsii*. 2012; 3: 108-110. (in Russ.)

4. Khmara L. A., Basiy V. V., Derevyanchuk M. I., Maksyuk Yu. A. [Study of the accumulative ability of the blade of a bulldozer with lateral limiting elements]. *Vestnik Kharkivskogo natsional'nogo avtomobil'nogo dorozhnogo universiteta*. 2005; 2: 80-84. (in Russ.)

5. Khabibullozoda K. K., Goriaev N. K. Research on dependence of fuel consumption on cargo weight in long-distance transport. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18(3):264-273. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-3-264-273>

6. Pestrikov S. A., Shumkov A. G. [Methods of assessing the effectiveness of the organization of maintenance and repair on the example of the transport unit of the branch of JSC "IDGC of Urals" - "PermEnerg" - Perm]. *Vestnik PNPU. Socio-Economic Sciences*. 2019; 1: 233-245. (in Russ.)

7. Khmara L. A. Nauchnoe soprovozhdenie stroitel'nykh i dorozhnykh mashin: issledovanie, raschet, sozdanie, vybor, ispol'zovanie [Scientific support of construction and road machines: research, calculation, creation, selection, use]. *Vestnik Pridneprovskij gosudarstvennoy akademii stroitel'stva i arhitektury. Pridneprovsk*. 2015; 7-8 (209):11-30. (in Russ.)

8. Surashov N.T., Asmatulaev R.B., Tolymbek D.N. Determination of a rational shape of a bulldozer blade considering the soil background of the Republic of Kazakhstan. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18(6):662-677. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>.

9. Surashov N. T., Asmatulaev R. B., Tolymbek D. N. Blade optimal design parameters determination. *The*

Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2022;19(4):500-513. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Сурашов Н. Т. Формулировка направления, темы исследования и исследование научной гипотезы. Формулирование проблемы исследования. Разработка теоретических исследований, выбор методологии и методов исследований (50%).

Толымбек Д. Н. Проверка теоретических предположений, анализ результатов исследования, редактирования, формирование выводов. Рецензирование результатов, корреспонденция данных с иностранными авторами (50%).

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Nurgali T. Surashov. Formulation of direction, research topic, scientific hypothesis. Formulation of research problem. Development of theoretical studies, selection of methodology and methods of research (50%).

Damir N. Tolymbek. Verification of theoretical assumptions, analysis of research results, editing, formation of conclusions. Review of results, correspondence of data with foreign authors (50%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сурашов Нургали Толымбекович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Организация движения, управление на транспорте и логистика».

Толымбек Дамир Нургаливич – канд. техн. наук, доц., директор.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nurgali T. Surashov – Dr. of Sci., Professor, Traffic and Transport Management and Logistics Department.

Damir N. Tolymbek – Cand. of Sci., Associate Professor.