

Научная статья

УДК 661.878.62

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА С УЧЕТОМ ГРУНТОВОГО ФОНА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Н.Т. Сурашов¹, Р.Б. Асмагулаев², Д.Н. Толымбек³

¹Казахский университет путей сообщения,

²ТОО «НИИПК Каздоринновация», г. Алматы, Казахстан,

³Аруна-АИ, г. Нур-Султан

nurgalisurashov@mail.ru

kazdorin@mail.ru

damirinvest@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Производительность и эффективность работы землеройно-транспортных машин отвального типа зависит от характера и физико-механических свойств грунтов – прочности, связности, влажности, уплотнённости, климатического условия и от региона Республики Казахстан. По данным профессора Р.А. Кабашева, регионы Казахстана в основном имеют глинистые, песчаные, суглинистые, песчано-гравийные, крупнообломочные, полускальные и скальные грунты. Для разработки данных категорий грунтов необходимы различные конструкции и формы режущих ножей, соответственно и отвалов, позволяющих минимизировать сопротивление резания и копания грунтов. Совершенствование конструкций ножей и отвалов приводит к повышению производительности и энергоёмкости, эффективно используется тяговый фактор бульдозера.

При изучении и анализе литературных источников ученые СНГ и зарубежных стран пришли к выводу, что обоснованно созданы теории взаимодействия рабочих органов землеройно-транспортных машин с грунтами, характерными для средней полосы России и Украины, которые отличаются некоторой связью между частицами II, III категорий прочности грунта. Механизмы взаимодействия таких грунтов с бульдозерным оборудованием отличаются процессами, протекающими при копании несвязанных и плотных суглинистых грунтов, характерных для Казахстана.

Материал данной статьи представляет установление рациональных форм отвала и определение оптимальных его параметров в зависимости от категории разрабатываемого грунта, то есть создание адаптирующего рабочего органа бульдозера, соответствующего его профилю с естественной траекторией стружкообразования пласта грунта.

Материалы и методы. В качестве материалов использовались разные категории грунтов, широко распространенных в регионе Казахстана, и новые конструкции отвала бульдозера, оснащенные разнообразными комплектами ножей, то есть обычные прямолинейные ножи – для планировочных работ и разработки I-III категорий грунтов; с выступающими средними ножами – для разработки плотных IV-V категорий или со ступенчатыми ножами – для разработки твердых, прочных грунтов. Был исследован процесс их взаимодействия при максимальном формировании призмы волочения грунта перед отвалом с использованием графоаналитического метода исследования.

Результаты. При изучении процессов взаимодействия рабочего органа и ножей бульдозера с разными категориями грунтов установлены рациональные конструкции ножей, предназначенных для разработки различных категорий грунтов.

Определены оптимальные параметры отвала при максимальном наборе призмы волочения перед отвалом. Также отвал оснащен боковыми уширителями ножей, верхними козырьками и боковыми скосами. Радиус кривизны отвала в поперечном сечении соответствует естественному углу стружкообразования пласта грунта, позволяющему уменьшить сопротивление копания грунта.

Обсуждение и заключение. До настоящего времени ученые СНГ и зарубежных стран в области рабочего органа землеройно-транспортных машин отвального типа подробно изучали в теоретическом плане и экспериментальным путем установили перспективные конструкции рабочего органа и установленные на нем ножи бульдозера. Предложены многочисленные методики определения параметров рабочего органа бульдозера в зависимости от категории разрабатываемого грунта и с учетом тягового фактора

© Сурашов Н.Т., Асмагулаев Р.Б., Толымбек Д.Н., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

движителя. Однако ими было упущено исследование при максимальном наборе призмы волочения грунта перед отвалом, его площадь касания с лобовой поверхностью отвала и одновременно адаптированного в поперечном сечении отвала с естественной траекторией стружкообразования пласта грунта.

Учитывая эти положения, нами были разработаны несколько вариантов расположения ножей на отвале с учетом разрабатываемых категорий грунтов:

- бульдозерный отвал с боковыми скосами лобовой поверхности для мягких или песчаных грунтов;
- бульдозерный отвал с выступающим средним ножом, боковыми косынками и верхними боковыми скосами для разработки прочных и глинистых грунтов;
- бульдозерный отвал с боковыми скосами и боковыми ножами-уширителями для разработки разрыхленных грунтов;
- бульдозерный отвал с выступающим средним ножом, боковыми косынками, боковыми ножами-уширителями и верхними скосами для разработки плотно-прочных грунтов или суглинков средних.

На все эти четыре вида конструкции отвала и расположение ножей рекомендованы определения оптимальных параметров отвала с учетом разработки различных категорий грунтов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бульдозер, рабочий орган, отвал, козырек, нож, призма волочения, угол резания, уширитель, связный грунт

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят Л.А. Хмару и Р.А. Кабашева за оказание ценных консультаций.

Статья поступила в редакцию 15.10.2021; одобрена после рецензирования 03.12.2021; принята к публикации 14.12.2021.

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., Асмагулаев Р.Б., Толымбек Д.Н. Определение рациональной формы отвала бульдозера с учетом грунтового фона Республики Казахстан // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 6(82). С. 662-677. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>

DETERMINATION OF A RATIONAL SHAPE OF A BULLDOZER BLADE, CONSIDERING THE SOIL BACKGROUND OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Nurgali T. Surashov, Ruslan B. Asmatulaev, Damir N. Tolymbek
Kazakh University of Railway Transport
NIIPK Kazdorinnovatsia limited liability company, Almaty, Kazakhstan
Aruna-AI, Nur-Sultan
nurgalisurashov@mail.ru
kazdorin@mail.ru
damirinvest@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The productivity and efficiency of earth-cutting and transport machines (ETM) of the waste type depends on the nature and physical and mechanical properties of soils, i.e. on strength, connectivity, humidity, compactness, climatic conditions and on the region of the Republic of Kazakhstan. According to Professor R.A. Kabashev, the regions of Kazakhstan have mainly clay, sandy, loamy, sandy-gravel, coarse- and semi-rocky soils. Different designs and shapes of cutter blades, and therefore mouldboards, are required to develop these categories of soils to minimise cutting and digging resistance. Improved blade and blade designs result in higher productivity and energy efficiency, and the traction factor of the bulldozer is used effectively.

When studying and analyzing literature sources, scientists of CIS and foreign countries came to the conclusion that the theory of interaction of working bodies of earth-moving machines with soils, typical for the middle belt of Russia and Ukraine, which are characterized by some connection between particles of II, III categories of soil strength, was

© Surashov N.T., Asmatulaev R.B., Tolymbek D.N., 2021



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

reasonably created. Mechanisms of interaction of such soils with bulldozing equipment differ from the processes occurring when digging unbound and dense loamy soils typical for Kazakhstan.

The material of this article represents the establishment of rational forms of the heap and the determination of optimum parameters of the heap depending on the category of the ground being mined, i.e., the creation of an adaptive working organ (WO) of the bulldozer, corresponding to its profile with natural trajectory of ground formation formation.

Materials and methods. As materials, different categories of soils were used, widespread in the region of Kazakhstan and the new design of the bulldozer blade, equipped with a variety of sets of knives, i.e. ordinary straight knives - for planning work and the development of I-III categories of soils; with medium protruding knives (MPK) - for the development of dense IV-V categories or with stepped knives - for the development of hard, strong soils, etc. The process of their interaction with the maximum formation of the prism of drawing the soil before the blade, using the graphic-analytical method of research, was investigated.

Outcomes. Studying the processes of interaction of WO and bulldozer knives with different categories of soils, rational designs of knives designed for the development of various categories of soils were established. The optimal parameters of the blade with the maximum set of the drawing prism before the blade are determined. Also, the blade is equipped with side knife extenders, upper visors and side bevels. The radius of curvature of the blade in the cross-section corresponds to the natural angle of chip formation of the soil layer, which allows to reduce the resistance of digging the soil.

Discussion and conclusion. Until now, scientists of the CIS and foreign countries in the field of WO ETM of the waste type have studied in detail in theoretical terms and experimentally established promising designs of WO and bulldozer knives. Numerous methods for determining the parameters of the WO of the bulldozer depending on the category of the developed soil and taking into account the traction factor of the propulsion system, etc. However, they missed the study, with the maximum set of the prism of drawing the soil in front of the blade, its area of contact from the frontal surface of the blade and at the same time, adapted in the cross-section of the blade (radius of curvature of the blade) with the natural trajectory of chip formation of the soil layer.

Taking into account these provisions, we have developed several options for the location of knives on the blade, taking into account the developed categories of soils:

- a bulldozer blade with side bevels of the frontal surface for soft (sandy) soils;
- bulldozer blade with MPK, side scarves and upper side bevels for strong, clay soils;
- bulldozer blade with side bevels and side knives-extendors for loosened soils;
- bulldozer blade with MPK, side scarves, side knives-extendors and upper bevels for densely strong soils (medium loam). For all these options (4 types of blade) blade design and knife location, it is recommended to determine the optimal parameters of the blade, taking into account the development of the soil category.

KEYWORDS: bulldozer, working body, blade, visor, knife, drawing prism, cutting angle, expander, cohesive soil.

ACKNOWLEDGEMENTS: the authors thank Leonid A. Khmar and Rakhymzhan A. Kabashev for providing valuable advice.

The article was submitted 08.09.2021; approved after reviewing 03.12.2021; accepted for publication 31.10.2021.

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., 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. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-662-677>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Казахстане стремительными темпами увеличивается объем земляных работ в области строительства промышленно-гражданских сооружений, в сельском хозяйстве, строительстве автомобильных и железных дорог. В этих объектах эксплуатируются тысячи землеройно-транспортных машин, в том числе бульдозеры разных видов, и с каждым годом обновляется парк землеройно-транспортных машин нового поколения. Их производительность, энергоемкость зависят

от степени совершенствования конструкции рабочего органа землеройно-транспортных машин отвального типа [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Большой вклад в развитие теории взаимодействия рабочего органа землеройно-транспортных машин с грунтом внесли ученые стран СНГ: В.П. Горячкин, Н.Г. Домбровский, А.Н. Зеленин, К.А. Артемьев, Ю.А. Ветров, Д.И. Федоров, В.И. Баловнев, Д.П. Волков, Л.А. Хмара, В.Л. Баладинский, Т.В. Алексеева, В.С. Щербаков, И.А. Недорезов, В.К. Руднев, А.М. Холодов, В.В. Ничке, Р.А. Кабашев,

а также зарубежные ученые: Г. Тыро, Г. Фогель, Г. Кюн, Г. Дресс, Е. Динглингер, Ф. Кинаст, И. Ратье и другие. Совершенствованию конструкций рабочего органа землеройно-транспортных машин отвального типа посвятили свои работы: В.Д. Абезгауз, Н.Д. Аверин, В.В. Лихачев, Л.А. Хмара, В.И. Козликин, Т.М. Гаджиев, П.И. Лавренко, В.Г. Попов, А.В. Рубаилов, А.З. Щарц, Ю.А. Шевнин, В.С. Березин, В.Я. Дворковой, Jarosław Selech, Dariusz Ulbrich, Konrad Włodarczyk, Żaneta Staszak, Jacek Marcinkiewicz, Dawid Romek, Bartosz Baran и другие.

Современные бульдозеры, оснащенные отвалами с комплектом режущих ножей и рыхлителей, широко используются для выполнения земляных и планировочных работ, в частности, в строительстве автомобильных и железных дорог, аэродромов, плотин [5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Однако применяемые в настоящее время бульдозеры работают недостаточно эффективно, так как при разработке разных типов грунтов и их перемещении не полностью используют мощность трактора с бульдозерным оборудованием [2, 3, 6, 16].

Целью исследования является повышение эффективности использования мощности бульдозера в зависимости от прочностных характеристик разрабатываемого грунта, то есть создание отвалов с изменяющейся формой и конструкцией, оснащенных соответствующими ножами в зависимости от категории разрабатываемого грунта, и разработка методики определения оптимальных параметров отвала с помощью графоаналитического метода.

Для разработки грунтов I-III категории на отвал бульдозера устанавливают секционные ножи с режущими кромками, образующими общую прямую линию. Под действием усилия отвала режущие кромки ножей легко внедряются в грунт; для разработки грунта IV категории применяют другой вариант отвала, то есть со средним выступающим ножом или со ступенчатыми ножами, которые позволяют разрушать выступающими кромками ножа поверхность прочного грунта, такие конструкции бульдозерного оборудования позволяют отвалу с ножами легко внедряться в грунт в начале прохода [2, 3, 13, 17]. Для разработки грунтов V-VI категорий устанавливают на отвал бульдозера ножи, воздействующие на прочный грунт вибрационным, ударным способом. Часто бульдозерное оборудование содержит однозубый или многозубый рыхлитель, которым предварительно разрыхляют эти грунты.

При разработке разных категорий грунтов бульдозером используют две операции:

– разрушение поверхности твердого слоя грунта, внедрение ножа вглубь грунта, а затем формирование призмы волочения перед отвалом;

– перемещение (обычно до 100 м) максимально сформированной призмы волочения [5, 16, 18, 19].

Применение различных вариантов конструкции ножа и отвала позволяет разрабатывать различные категории грунтов и с большей эффективностью использовать мощность трактора с бульдозерным оборудованием [3, 7, 18].

Для максимального использования трактора с бульдозерным оборудованием при разработке и перемещении наибольшего объема призмы волочения нами проведены графоаналитические исследования с целью установления оптимальных параметров и геометрической формы отвала как в лобовой поверхности, так и в поперечном сечении [20, 21, 22].

Форма отвалов бульдозеров, находящихся в настоящее время в эксплуатации, по своей конструктивной форме не соответствует современным требованиям повышения их эффективности.

При разработке грунтов отвалом бульдозера происходят следующие процессы: нож отвала разрушает поверхность грунта и внедряется под определенным углом в толщу h грунта, затем под действием силы тяги бульдозера ножи отвала срезают грунт определенной толщины h , который, поднимаясь вверх по лобовой поверхности отвала, образует стружкообразование по определенной траектории. Форма и траектория стружкообразования пласта грунта с радиусом R зависят от многих факторов: связности, влажности, гранулометрического состава, физико-химического состава и структуры грунта, температуры окружающей среды и климатических условий, режима работы бульдозера, геометрических параметров ножей и конструкции отвала. Однако для всех категорий грунтов существует один принцип работы. При глубоком радиусе закругления профиля поверхности отвала грунт не касается средней части отвала и в нем происходит прилипание грунта (рисунок 1, а), которое создает дополнительные сопротивления при формировании призмы волочения. При недостаточном же радиусе закругления поверхности отвала образованный пласт грунта ударяется о поверхность отвала и создает

дополнительные сопротивления, так как радиус поверхности отвала больше естественного радиуса формирования пласта грунта (рисунок 1, б).

Следовательно, радиус поверхности отвала должен соответствовать радиусу естественной траектории стружкообразования пласта грунта, то есть нужно адаптировать поверхность отвала соответственно профилю стружкообразования грунта. При таком исполнении конструкции отвала, оснащенные разными формами режущих ножей бульдозера, позволяют минимизировать расход энергии трактора и повышается производительность бульдозера при разработке разных категорий грунтов и их перемещений [6, 10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В регионе Казахстана часто встречаются связные и несвязные, твердые, песчаные, полускальные грунты и грунты с каменистыми включениями. Для дальнейшего исследо-

вания при разработке грунтов бульдозерами принимались грунты I-V категории [6].

Конструктивными основными параметрами стандартного отвала являются (рисунок 1): B и H – соответственно ширина и высота отвала, м; H_k – высота козырька, м; R – радиус кривизны отвала, м; l – длина дуги отвала, м; φ – центральный угол кривизны отвала, град; v' – расстояние от основания отвала до точки контакта по высоте с грунтом, то есть высота бокового валика, м; P – периметр контура взаимодействия перемещаемого грунта с лобовой поверхностью отвала, м; C – высота части призмы волочения, возвышающаяся над козырьком, м; a' – ширина бокового валика (просыпания грунта), м.

Для дальнейшего исследования нами выбраны четыре варианта исполнения конструкции отвала, оснащенных разными ножами в зависимости от категории разрабатываемого грунта, эти конструкции отвала с ножами запатентованы в РК авторами [патенты РК: №15852 от 04.04.2005; №13578 от 14.08.2003; №13576 от 14.08.2003].

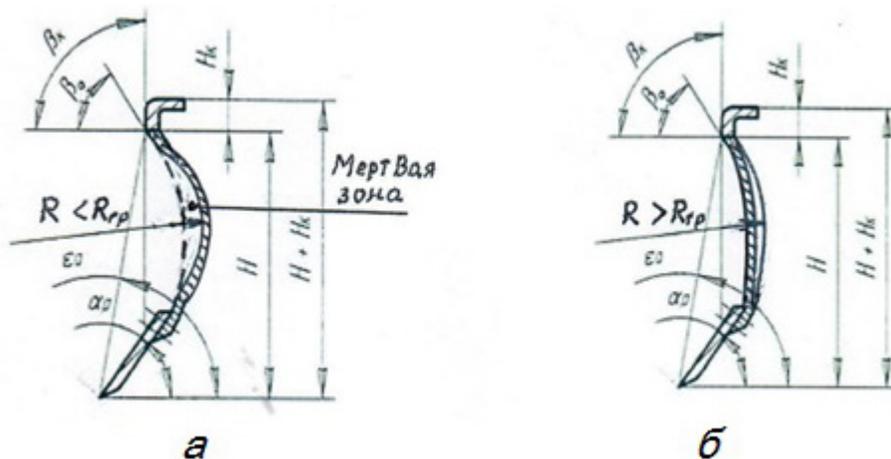


Рисунок 1 – Рекомендуемая форма закругления поперечного сечения отвала в зависимости от траектории естественного формирования угла пласта грунта:
 а – если R – радиус отвала меньше естественной траектории стружкообразования пласта грунта $R_{сп}$, то на поверхности отвала образуется «мертвая зона», создающая дополнительные нагрузки на движитель;
 б – если R – радиус отвала больше естественной траектории стружкообразования грунта $R_{сп}$, то на поверхности отвала создается дополнительное сопротивление

Figure 1 – The recommended shape of rounding the cross-section of the blade, depending on the trajectory of the natural formation of the angle of the soil layer
 a) if R – the radius of the blade is less than the natural trajectory shavings of soil layer R_{ca} , then on the surface the blade forms a "dead zone", creating;
 b) if R – the radius of the blade is greater than the natural trajectory shavings of soil R_{ca} , then on the surface additional loads on the propulsion system blade creates additional resistance

РЕЗУЛЬТАТЫ

В начальной стадии разработки разрыхленных (I и II категорий) грунтов традиционным отвалом с лобовой поверхностью **удсу** (рисунок 2, а) объем грунта постепенно увеличивается перед отвалом и через некоторое время формируется максимальная призма волочения с поперечным сечением нмз. При дальнейшем перемещении грунта с обеих сторон отвала часть призмы волочения уходит в боковые валики, те элементы призмы волочения **над** и **всз** (см. рисунок 2, а), которые не контактируют с лобовой поверхностью отвала, что уменьшает производительность бульдозера. Верхняя часть призмы волочения, возвышающаяся над козырьком величиной C , в процессе перемещения грунта уменьшается за счет опрокидывания грунта частично вперед и в обратную сторону, его величина зависит от радиуса кривизны отвала R , угла резания α_p , углов наклона отвала ϵ_0 и козырька β_k , скорости движителя бульдозера u .

С целью изучения способов повышения эффективности использования технической

производительности, уменьшения металлоемкости и энергоемкости бульдозеров рассмотрены отвалы различных конструктивных форм с учетом набора призмы волочения и определены их оптимальные параметры.

Из анализа процесса взаимодействия бульдозерного рабочего органа с грунтами различной категории нами разработаны принципиально новые конструкции отвалов с верхними боковыми скосами и ножами-уширителями (патенты РК №15852, №13578, № 13576), что обуславливает сохранение и увеличение объема максимальной призмы волочения при ее перемещении и транспортировке (рисунок 3).

Рациональную форму и определение параметров отвала бульдозера следует проводить с учетом рабочего процесса копания и перемещения призмы волочения. Рассмотрим процесс перемещения призмы волочения отвалом бульдозера с параметрами B, H, H_K и ρ (см. рисунки 2,3, 4), где B и H – соответственно ширина и высота отвала; H_K – высота козырька; ρ – угол внутреннего трения грунта в покое.

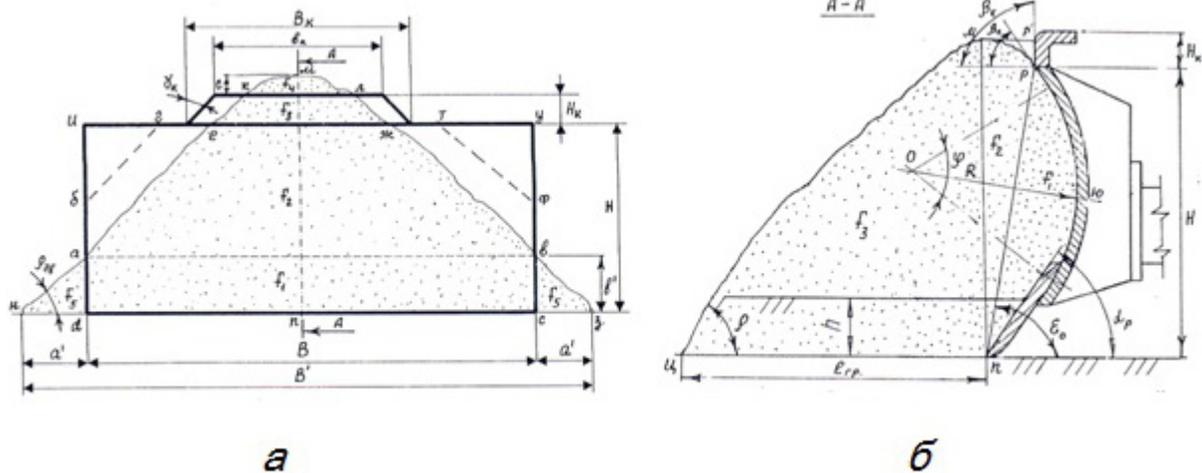


Рисунок 2 – Схема взаимодействия отвала с грунтом при максимальной призме волочения:
 а – схема взаимодействия лобовой поверхности отвала с призмой волочения грунта;
 б – поперечное сечение отвала и призмы волочения

Figure 2 – Scheme of interaction of the blade with the soil at the maximum prism of drawing
 а – scheme of interaction of the frontal surface of the blade with the prism of drawing;
 б – blade cross-section and drawing prisms

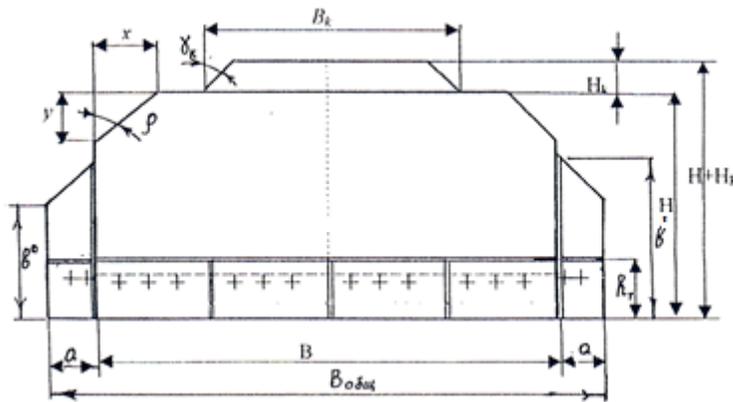


Рисунок 3 – Рациональная форма отвала бульдозера

Figure 3 – Rational shape of the bulldozer blade

Из рассмотренной расчетной схемы имеем

$$C + H + H_k = tq\rho \cdot \frac{B}{2} + \alpha' tq\rho, \quad (1)$$

откуда

$$\alpha' = \frac{C + H + H_k - \frac{B}{2} tq\rho}{tq\rho}, \quad (2)$$

тогда

$$\alpha = k_{б\epsilon} \cdot \alpha' = 0,6 \cdot \alpha', \quad (3)$$

где $k_{б\epsilon}$ – коэффициент ширины ножа-уширителя, принимаемый конструктивно: $k_{б\epsilon} = 0,6$ – для связных грунтов; $k_{б\epsilon} = 0,4$ – для несвязных грунтов [2, 3]; α' – ширина бокового валика (просыпания грунта); α – дополнительная ширина ножа-уширителя; ρ – угол внутреннего трения грунта.

Тогда общая ширина отвала с ножами-уширителями

$$B_{общ} = B + \frac{2(C + H + H_k - \frac{B}{2} tq\rho)}{tq\rho}. \quad (4)$$

Высота дополнительного ножа-уширителя определяется выражением из рассмотрения подобия треугольников hmn и had :

$$b = \frac{\alpha'(H + H_k + C)}{\alpha' + \frac{B}{2}}, \quad (5)$$

где C – высота части призмы волочения, возвышающаяся над козырьком. После преобразования выражения (5) значение b примет вид

$$b = \frac{2[(C + H + H_k - \frac{B}{2} tq\rho)(H + H_k + C)]}{2(C + H + H_k - \frac{B}{2} tq\rho) + B tq\rho}. \quad (6)$$

Анализируя схему взаимодействия отвала бульдозера с грунтом, можно констатировать, что верхние боковые части отвала не взаимодействуют с грунтом. Это обуславливает возможность выполнить отвал с боковыми скосами, форма которого будет соответствовать схеме взаимодействия его с грунтом. Ориентировочно боковые скосы на рисунке 2 показаны штриховыми линиями $бг$ и $тф$, эта часть с двух сторон отрезается, причем последние проведены параллельно $нк$ и $лз$, что уменьшает вес отвала бульдозера на 5%.

Рациональная форма отвала бульдозера с нижними боковыми ножами-уширителями, исключая просыпание грунта с учетом призмы волочения и угла внутреннего трения, имеет вид, показанный на рисунке 3.

Тогда высота и ширина бокового скоса будут равны

$$Y = H - \epsilon' \cdot k_{бс}, \quad X = Y \cdot tg\rho, \quad (7)$$

где $k_{бс}$ – коэффициент запаса просыпания грунта по верхним боковым скосам: $k_{бс} = 1,2$ – для связных грунтов; $k_{бс} = 1,3$ – для несвязных грунтов [2].

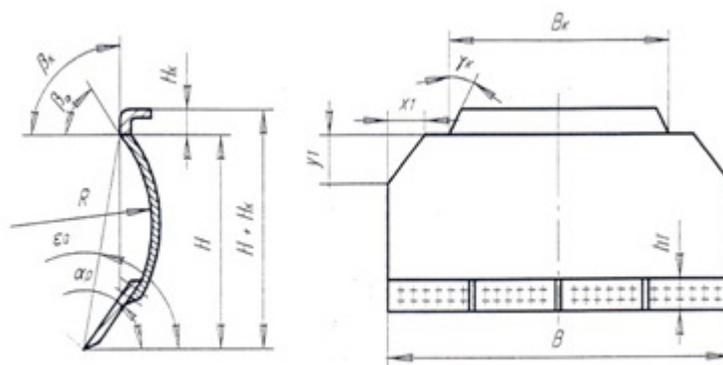


Рисунок 4 – Схема бульдозерного отвала с боковыми скосами

Figure 4 – Scheme of a bulldozer blade with side bevels

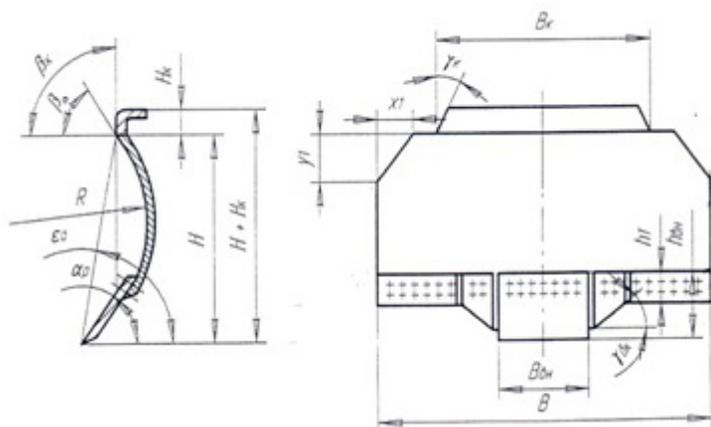


Рисунок 5 – Схема бульдозерного отвала с выступающим средним ножом, боковыми косынками и скосами

Figure 5 – Scheme of a bulldozer blade with MPK, side scarves and bevels

Рассмотрим пример определения размеров дополнительных ножей-уширителей отвала бульдозера с учетом грунтов I и II категории. Например, исходный отвал бульдозера с параметрами $H = 1,0$ м; $H_k = 0,1$ м; $B = 2,5$ м; $C = 0,05$ м; $\rho = 38^\circ$. Используя зависимости (2) и (6), получим значения a и b : $a = 0,17$ м; $b = 0,1$ м.

Установление на бульдозерном отвале боковых ножей-уширителей размерами a и

b обеспечит предотвращение ухода призмы волочения в боковые валики на 60–70% при перемещении призмы по поверхности грунта.

Особенностью определяемых параметров верхних боковых скосов следует считать то, что необходимо принимать небольшой запас в сторону увеличения его размеров на случай транспортирования грунтов по физико-механическим характеристикам в отличие от рассмотренных.

Таблица 1
Основные оптимальные параметры бульдозерного отвала с боковыми скосами

Table 1
Main optimal parameters of a bulldozer blade with side bevels

№ п/п	Наименование параметров	Обозначения	Размерность	Расчетные формулы (см.рисунок 4)
1.	Ширина традиционного отвала	B	м	Техническая характеристика бульдозера для соответствующего тягового усилия тягача
2.	Высота отвала	H	м	$H = 500\sqrt[3]{T_H} - 5T_H$
3.	Высота козырька	H_k	м	$H_k \cong (0,1 \dots 0,2)H$
4.	Высота отвала с козырьком	$H+H_k$	м	$H + H_k = (1,1 \dots 1,2)H$
5.	Ширина козырька	B_k	м	$B_k = (0,3 \dots 0,5)B$
6.	Радиус кривизны отвала	R	м	$R \cong H$
7.	Угол боковой грани козырька	γ_k	град	$\gamma_k = 35 \dots 45$
8.	Угол наклона козырька	β_k	град	$\beta_k \cong 90 \dots 100$
9.	Угол разгрузки отвала	β_o	град	$\beta_o \cong 30 \dots 80$
10.	Угол резания	α_p	град	$\alpha_p \cong 45 \dots 55$
11.	Угол наклона отвала	ε_o	град	$\varepsilon_o \cong 70 \dots 80$
12.	Параметры скоса: по горизонтали по вертикали	x_1 y_1	м м	$x_1 = \frac{H + H_k - \frac{B}{2} t q \rho}{t q \rho}$ $y_1 = x_1$

*Принятые обозначения в формулах: T_H – номинальная сила тяги бульдозера в кН [2].

Таблица 2
Основные оптимальные параметры бульдозерного отвала с выступающим средним ножом, боковыми козырьками и боковыми скосами

Table 2
The main optimal parameters of a bulldozer blade with MPK, side scarves and side bevels

№ п/п	Наименование параметров	Обозначения	Размерность	Расчетные формулы (рисунок 5)
1.	Ширина традиционного отвала	B	м	Техническая характеристика бульдозера для соответствующего тягового усилия тягача
2.	Высота отвала	H	м	$H = 500\sqrt[3]{T_H} - 5T_H$
3.	Высота козырька	H_k	м	$H_k \cong (0,1 \dots 0,2)H$
4.	Высота отвала с козырьком	$H+H_k$	м	$H + H_k = (1,1 \dots 1,2)H$
5.	Ширина козырька	B_k	м	$B_k = (0,3 \dots 0,5)B$
6.	Радиус кривизны отвала	R	м	$R \cong H$
7.	Ширина ВСН	B_{BH}	м	$B_{BH} = \frac{B}{3П_{BH}}$
8.	Ширина БК*	B_{BK}	м	$B_{BK} = n_{BH}K_{BOK}tg\gamma^*$
9.	Высота ВСН*	h_{BH}	м	$h_{BH} = 3h_T^*$
10.	Угол боковой грани козырька	γ_k	град	$\gamma_k = 35 \dots 45^*$
11.	Угол наклона козырька	β_k	град	$\beta_k \cong 90 \dots 100$
12.	Угол разгрузки отвала	β_o	град	$\beta_o \cong 30 \dots 80$
13.	Угол резания	α_p	град	$\alpha_p \cong 45 \dots 55$
14.	Угол наклона отвала	ε_o	град	$\varepsilon_o \cong 70 \dots 80$
15.	Параметры скоса: по горизонтали по вертикали	x_1 y_1	м м	$x_1 = \frac{H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho}{tq\rho}$ $y_1 = x_1$

* Принятые обозначения в формулах:

n_{BH} – количество выступающих ножей;
 $K_{бок}$ – коэффициент бокового расширения грунта;
 $K_{бок} \cong 0,7 \dots 0,9$ [2];
 h_T – высота традиционного режущего ножа;
 БК – боковые козырьки;
 ВСН – выступающие средние ножи;
 γ – угол бокового расширения.

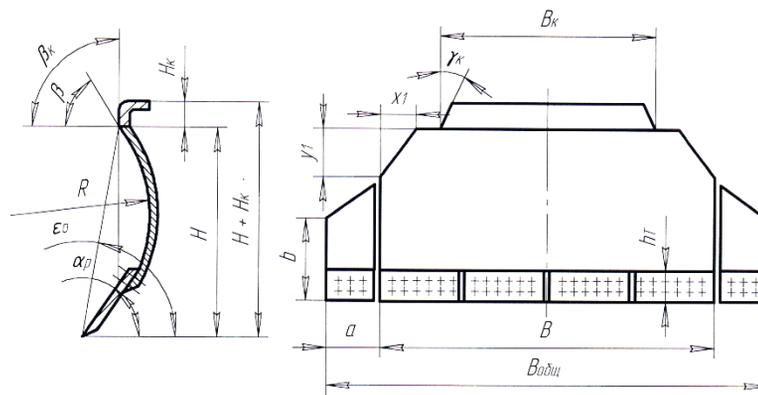


Рисунок 6 – Схема бульдозерного отвала с боковыми скосами и ножами-уширителями

Figure 6 – Scheme of a bulldozer blade with side bevels and extension knives

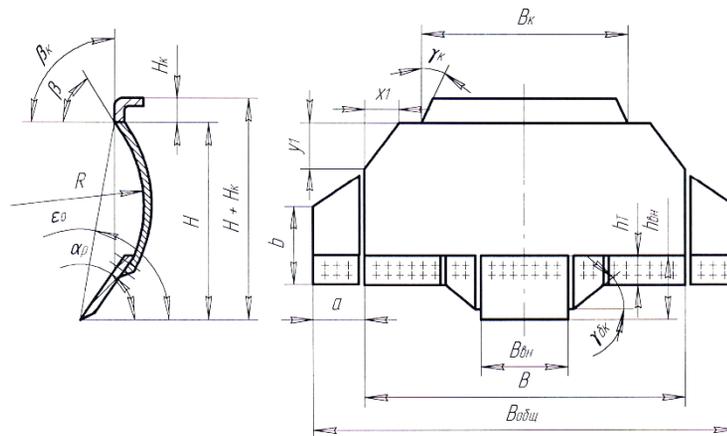


Рисунок 7 – Схема бульдозерного отвала с выступающим средним ножом, боковыми косынками, ножами-уширителями и скосами

Figure 7 – Scheme of a bulldozer blade with MPK, side scarves, extension knives and bevels

Таблица 3
Основные оптимальные рациональные параметры бульдозерного отвала
с верхними боковыми скосами и боковыми ножами-уширителями

Table 3
The main optimal rational parameters of a bulldozer blade with upper side bevels and side extension knives

№ п/п	Наименование параметров	Обозначения	Размерность	Расчетные формулы (рисунок 6)
1.	Ширина традиционного отвала	B	м	Техническая характеристика бульдозера для соответствующего тягового усилия тягача
2.	Высота отвала	H	м	$H = 500\sqrt[3]{T_H} - 5T_H$
3.	Высота козырька	H_k	м	$H_k \cong (0,1 \dots 0,2)H$
4.	Высота отвала с козырьком	$H+H_k$	м	$H + H_k = (1,1 \dots 1,2)H$
5.	Ширина козырька	B_k	м	$B_k = (0,3 \dots 0,5)B$
6.	Радиус кривизны отвала	R	м	$R \cong H$
7.	Угол боковой грани козырька	γ_k	град	$\gamma_k = 35 \dots 45$
8.	Угол наклона козырька	β_k	град	$\beta_k \cong 90 \dots 100$
9.	Угол разгрузки отвала	β_o	град	$\beta_o \cong 30 \dots 80$
10.	Угол резания	α_p	град	$\alpha_p \cong 45 \dots 55$
11.	Угол наклона отвала	ε_o	град	$\varepsilon_o \cong 70 \dots 80$
12.	Общая ширина отвала с ножами-уширителями		м	$B_{\text{общ}} = B + \frac{2(C + H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho)}{tq\rho}$
13.	Параметры ножа-уширителя: ширина высота	a b	м м	$a = \frac{(C + H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho)}{tq\rho}$ $b = \frac{a(H + H_k + C)}{a + \frac{B}{2}}$
14.	Параметры скоса: по горизонтали по вертикали	x_1 y_1	м м	$x_1 = \frac{H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho}{tq\rho}$ $y_1 = x_1$

Таблица 4
Основные оптимальные рациональные параметры бульдозерного отвала с выступающим средним ножом, боковыми косынками, боковыми ножами-уширителями и верхними скосами

Table 4
The main optimal rational parameters of a bulldozer blade with MPK, side scarves, side extension knives and upper bevels

№ п/п	Наименование параметров	Обозначения	Размерность	Расчетные формулы (рисунок 7)
1.	Ширина традиционного отвала	B	м	Техническая характеристика бульдозера для соответствующего тягового усилия тягача
2.	Общая ширина отвала с ножами-уширителями	$B_{\text{ОБЩ}}$	м	$B_{\text{ОБЩ}} = B + \frac{2(C + H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho)}{tq\rho}$
3.	Высота отвала	H	м	$H = 500\sqrt[3]{T_H} - 5T_H$
4.	Высота козырька	H_k	м	$H_k \cong (0,1 \dots 0,2)H$
5.	Высота отвала с козырьком	$H + H_k$	м	$H + H_k = (1,1 \dots 1,2)H$
6.	Ширина козырька	B_k	м	$B_k = (0,3 \dots 0,5)B$
7.	Радиус кривизны отвала	R	м	$R \cong H$
8.	Ширина ВСН	$B_{\text{ВН}}$	м	$B_{\text{ВН}} = \frac{B}{3П_{\text{ВН}}}$
9.	Ширина бок. косынок	$B_{\text{БК}}$	м	$B_{\text{БК}} = h_{\text{ВН}}K_{\text{БОК}}tq\gamma$
10.	Высота этих косынок	$H_{\text{БК}}$	м	$h_{\text{ВН}} = 3h_T$
11.	Угол боковой грани козырька	γ_k	град	$\gamma_k = 35 \dots 45$
12.	Угол наклона козырька	β_k	град	$\beta_k \cong 90 \dots 100$
13.	Угол разгрузки отвала	β_o	град	$\beta_o \cong 30 \dots 80$
14.	Угол резания	α_p	град	$\alpha_p \cong 45 \dots 55$
15.	Угол наклона отвала	ε_o	град	$\varepsilon_o \cong 70 \dots 80$
16.	Параметры скоса: по горизонтали по вертикали	x_1 y_1	м м	$x_1 = \frac{H + H_k - \frac{B}{2}tq\rho}{tq\rho}$ $y_1 = x_1$

Учитывая предложенные формулы и полученную базовую форму отвала бульдозера (см. рисунок 3), нами предложены конструктивные различные формы отвалов с оптимальными параметрами. Они созданы по изложенному выше принципу: адаптация лобовой поверхности отвала к призматической форме перемещаемого грунта.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Из анализа процесса взаимодействия бульдозерного рабочего органа с грунтами разных категорий получены принципиально новые конструкции отвала с боковыми скосами и ножами-уширителями, что обуславливает сохранение объема призмы волочения при ее перемещении, например, при разработке грунтов сыпучих и рыхлых, достигнув тем самым адаптацию лобовой формы отвала к форме траекторией перемещаемой призмы волочения.

2. Для сформированных бульдозерных отвалов, имеющих комбинаторное сочетание формы отвала, режущих ножей и ножей-уширителей, представлены расчетные формулы для выбора и определения их оптимальных параметров.

3. Графоаналитические исследования образования призмы волочения перед отвалом позволили разработать различные конструкции отвалов, оснащенных выступающим средним ножом, боковыми косынками и боковыми уширителями, что позволяет увеличивать производительность бульдозера на 7–10% [2].

4. По представленным в таблицах 1, 2, 3, 4 зависимостям можно произвести выбор и определение оптимальных параметров для сформированных рабочих органов, имеющих различные комбинированные сочетания режущих ножей, боковых косынок, ножей-уширителей, форму и параметры скосов в зависимости от грунтовых условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. Хмара Л.А. Анализ главных направлений совершенствования рабочего оборудования бульдозеров // Строительные и дорожные машины. 2005. № 2. С. 8–14.

3. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Кустарев Г.В. [и др.] Машины для строительства и работ в жи-

лищно-коммунальном хозяйстве города и поселка // Строительные и дорожные машины. 1992. № 1.

4. Тургумбаев С. Дж., Кабашев Р.А. Результаты экспериментальных исследований процесса копания грунтов модернизированным рабочим органом под гидростатическим давлением // Вестник СибАДИ. № 2 (54). 2017. С. 36–42.

5. Щербаков В.С., Колякин В.И., Беляев В.В. Влияние геометрических параметров ЗТМ на процесс заглупления рабочего органа // Гидропривод и системы управления строительных и дорожных машин. 1989. С. 58–61.

6. Кабашев Р.А., Сурашов Н.Т., Гудович М.И. Анализ и оценка перспективных конструкций рабочих органов землеройно-транспортных машин // Механизация и автоматизация земляных 1991. С. 24–27.

7. Жаворонков А.В. Развитие землеройно-транспортной и дорожной техники // Строительные и дорожные машины. 2001. № 8. С. 13–15.

8. Гутин И.М. Предложения по определению дальности транспортировки горной массы бульдозерами // Колыма. 1969. № 7. С. 14–17.

9. Jarosław Selech, Dariusz Ulbrich. A working design of a bulldozer blade as additional equipment of a compaction drum roller // Poznan University of Technology / Institute of Machines and Motor Vehicles, 60-965 Marii Skłodowskiej.-Curie sq. 5. Poland. -Poznan, 2019.

10. Y.Franco, D.Rubinstein, I.Shmulevich. Prediction of soil-bulldozer blade interaction using discrete element method // American society of agricultural and biological engineers. / World Scientific. -Michigan. www.asabe.org, 2012.

11. Sang-Ho Kim, Yong-Seok Lee. Development of bulldozer sensor system for estimating the position of blade cutting edge // Automation in construction. -Seul, volume 106, October 2019.

12. Choosing The Right Dozer Blade February 11, 2015 / © 2021 Highlands Publications, Inc. All Rights Reserved // <https://mcsmag.com/choosing-right-dozer-blade/>

13. Бакулин А.В., Харкун Б.И., Уткин В.И. Особенности процесса копания грунта скреперным ковшом с криволинейным днищем // Строительные и дорожные машины. 1991. № 11. С. 6–9.

14. Лесковец И.В. История и перспективы развития землеройного оборудования отвального типа // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 3 (32). С. 64–70.

15. Краснонос А.Ю. Математическое моделирование взаимосвязи параметров рабочего оборудования и энергоёмкости копания грунта // Журнал Сибирского федерального университета. 2014. № 6. С. 685–688.

16. Хмара Л.А. Научное сопровождение строительных и дорожных машин: исследование, расчет, создание, выбор, использование // Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. 2010. № 7. С. 17–33.

17. Демиденко А.И., Гатыч К.Ю. Расчет усилий копания рабочим оборудованием бульдозера // Вестник СибАДИ. 2017. № 2 (54). С. 17–22.

18. Розенфельд Н.В., Доля Ю.А. Нагрузки, действующие на бульдозер при транспортировке грунта // Вестник ХНАДУ. 2014. № 65–66. С. 231–234.

19. Завьялов А.М., Черняк С.С. Проектирование оптимальных режимов заглупления режущего инструмента бульдозера в грунт // Вестник СибАДИ. 2009. № 1 (11). С. 53–60.

20. Берестов Е.И., Лесковец И.В. Методика расчета геометрических параметров призмы волочения на отвале бульдозера // Вестник Белорусско-Российского университета. № 2(23). 2009. С.6–13.

21. Лесковец И.В., Берестов Е.И., Смоляр А.П. Влияние параметров профиля отвала бульдозера на величины сил сопротивлению копанью // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 2 (47). С.12–22.

22. Щербаков В.С., Галдин В.Н. Основные показатели гидравлических импульсных систем строительных машин // Вестник СибАДИ. 2013. № 1 (29). С. 47–51.

REFERENCES

1. Khmara L.A., Basi V.V., Kovelchuk M.I., Maksyuk Yu.A. Issledovanie nakopitel'noj sposobnosti otvala bul'dozera s bokovymi ogranichivajushhimi jelementami [Study of the accumulative ability of a bulldozer dust with side limiting elements] // *Bulletin of the Kharkiv National Road University*, 2005. 2: 80-84.

2. Khmar L.A. Analiz glavnyh napravlenij sovershenstvovaniya rabocheho oborudovaniya bul'dozero [Analysis of the main directions of improving work equipment of bulldozers] // *Construction and road vehicles*, 2005. 2: 8-14.

3. Balovnev V.I., Bakatin Yu.P., Kustarev G.V., and others. Mashiny dlja stroitel'stva i robot v zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve goroda i poselka [Machines for construction and work in housing and communal services of the city and village] // *Construction and road vehicles*, 1992. 1.

4. Turgumbayev S. J., Kabashev R.A. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovaniy processa kopaniya gruntov modernizirovannym rabochim organom pod gidrostaticheskim davleniem [The results of experimental studies of the process of digging the soils by an upgraded working body under hydrostatic pressure] // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. 2 (54): 36-42.

5. Shcherbakov B.C., Kolyakin V.I., Belyaev V.V. Vlijanie geometricheskikh parametrov ZTM na process zaglublenija rabocheho organa [The influence of the geometric parameters of the ZTM on the dryness process of the working body] // *Hydraulic engineering and system of management of building and road vehicles / cross-country. Sat Scientific Tr.* Omsk.: MPE, 1989, p. 58-61.

6. Kabashev R.A., Suurashov N.T., Gudovich M.I. Analiz i ocenka perspektivnyh konstrukcij rabochih organov zemlerojno-transportnyh mashin [Analysis and assessment of the promising structures of the working bodies of earthmoving machinery] // *Mechanization*

and automation of earthworks Collection of reports. KISI, 1991.-p.24-27.

7. Zhavoronkov A.V. Razvitie zemlerojno-transportnoj i dorozhnoj tehniky [Development of earthmoving and road equipment] // *Construction and road vehicles*. 2001. 8: 13-15.

8. Gutin I.M. Predlozhenija po opredeleniju dal'nosti transportirovki gornoj massy bul'dozerami [Proposals for determining the range of transportation of mountain mass by bulldozers] // *Kolyma* 1969: 7: 14-17.

9. Jarosław Selech, Dariusz Ulbrich. A Working Design of a Bulldozer Blade As Additional Equipment Of A Compaction Drum Roller // *Poznan University Of Technology / Institute of Machines and Motor Vehicles*, 60-965 Marii Skłodowskiej.-Curie SQ. 5. Poland. 2019.

10. Y.Franco, D.Rubinstein, I.Shmuelvich. PREDICTION OF SOIL-BULLDOZER BLADE INTERACTION USING DISCREETE ELEMENT METHOD // *American Society of Agricultural and BioLogical Engineers. / World Sciencific.-michigan.www.asabe.org*, 2012.

11. Sang-Ho Kim, Yong-Seok Lee. Development of Bulldozer Sensor System for Estimating The Position of Blade Cutting Edge // *Automation In Construction*. 2019.106.

12. Choosising The Right Dozer Blade February 11, 2015 /2021 Highlands Publications, Inc. All Rights Reserved // <https://mcsmag.com/choosing-right-dozer-blade/>

13. Bakulin A.V., Kharkun B.I., Utkin V.I. Osobnosti processa kopaniya grunta skrepernym kovshom s krivolinejnym dnishhem [Features of the process of digging the soil with a crop bucket with a curvilinear bottom] // *Construction and road vehicles*, 1991. 11 : 6-9.

14. Leskovets I.V. Istorija i perspektivy razvitija zemlerojnogo oborudovaniya otval'nogo tipa [History and prospects for the development of dish-type earthmoving equipment] // *Bulletin of the Belarusian University*, 2011, 3 (32): 64-70.

15. Krasnonosov A.Yu. Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvjazi parametrov rabocheho oborudovaniya i jenergoemkosti kopaniya grunta [Mathematical modeling of the relationship of the parameters of work equipment and energy intensity of the soil digging] // *Magazine Siberian Federal University Engineering & Technologies*, 2014. 6: 685-688.

16. Khmara L.A. Nauchnoe soprovozhdenie stroitel'nyh i dorozhnyh mashin: issledovanie, raschet, sozdanie, vybor, ispol'zovanie [Scientific support of construction and road machines: research, calculation, creation, choice, use] // *Sat. Scientific Tr. Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture*, 2010.7:17-33.

17. Demidenko A.I., Gatich K.Yu. Raschet usilij kopaniya rabochim oborudovaniem bul'dozera [Calculation of the efforts of digging by work equipment of the bulldozer] // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017. 2 (54):17-22.

18. Rosenfeld N.V., Share Yu.A. Nagruzki, dejstvujushhie na bul'dozer pri transportirovke grunta [The loads acting on the bulldozer during the transportation of the soil] // *Herald Hernad*, 2014. 65-66: 231-234.

19. Zavyalov A.M., Chernyak S.S. Proektirovanie optimal'nyh rezhimov zaglublenija rezhushhego instrumenta bul'dozera v grunt [Designing optimal modes of the cutting of the cutting tool of the bulldozer into the ground] // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2009. 1 (11): 53-60.

20. Berestov E.I., Leskovets I.V. Metodika rascheta geometricheskikh parametrov prizmy volochenija na otvale bul'dozera [Methods for calculating the geometric parameters of the prism of drawing on the dump of the bulldozer] // *Bulletin of the Belarusian-Russian University* 2009. №2 (23): 6-13.

21. Leskovets I.V., Beresov E.I., Smolyar A.P. Vlijanie parametrov profilja otvala bul'dozera na velichiny sil soprotivleniju kopaniju [The impact of the parameters of the dust of the bulldozer dust over the amount of power to the resistance of digging] // *Bulletin of the Belarusian University*, 2015 2 (47):12-22.

22. Shcherbakov V.S., Goldin V.N. Osnovnye pokazateli gidravlicheskih impul'snyh sistem stroitel'nyh mashin [Main indicators of hydraulic pulse systems of building machines] // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2013. 1 (29): 47-51.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Сурашов Н.Т. Формулировка направления, темы исследования, научной гипотезы. Формулирование проблемы исследования. Разработка теоретических исследований, выбор методологии и методов исследований (40%).

Асмагулаев Р.Б. Обзор результатов предшествующих исследований. Постановка задач исследования. Обозначение аналитических исследований (30%).

Толымбек Д.Н. Проверка теоретических предположений, анализ результатов исследования, редактирование, формирование выводов. Рецензирование результатов, корреспонденция данных с иностранными авторами (30%).

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 (40%).

Ruslan B. Asmatulaev. A review of previous research findings. Statement of research objectives. Designation of the analyses (30%).

Damir N. Tolymbek. Verification of theoretical assumptions, analysis of research results, editing, formation of conclusions. Review of results, correspondence of data with foreign authors (30%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сурашов Нургали Толымбекович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Организация перевозок и движений», акад.

Асмагулаев Руслан Борисович – канд. техн. наук, акад. МТА, директор ТОО «НИИПК Каздоринновация».

Толымбек Дамир Нургалиевич – канд. техн. наук, доц., директор «Аруна-АИ».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Ruslan B. Asmatulaev, Cand. of Sci., Head of NIIPK Kazdorinnovatsia limited liability company.

Damir N. Tolymbek, Cand. of Sci., Associate Professor, the Head of Aruna-AI