

УДК 661.878.62

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>

EDN: SKATGW

Научная статья



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА

Н. Т. Сурашов^{1*}, Р. Б. Асмагулаев², Д. Н. Толымбек³

¹Казахский университет путей сообщения,
г. Алматы, Казахстан

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

³Аруна-АИ,
г. Нур-Султан, Казахстан

nurgalisurashov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1798-2253>
ruslan_asmatulaev@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5531-6641>
damirinvest@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1612-2171>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. В Казахстане в настоящее время осуществляется большой объем земляных работ, что приводит к увеличению востребованности землеройно-транспортных машин (ЗТМ), в частности бульдозеров разных типов. В различных отраслях промышленности и объектах строительства эксплуатируются и постоянно обновляется парк ЗТМ зарубежного производства, в том числе стран СНГ (Россия, Белоруссия, Украина и т.д.) в разных типоразмерах. Так, на строительных объектах, в том числе на строительстве автомобильных и железных дорог, широко эксплуатируются бульдозеры производства фирм: корпорация Caterpillar типа Cat (США), компания Liebherr (Германия), компания Xuanhua Construction machinery Co, Ltd (HBXG), ZoomLion и Shehwa (КНР); бульдозеры «ЧТЗ-УралТРАК» (Россия). Строительство автомобильных и железных дорог протяженностью несколько тысяч километров невозможно представить без участия универсального бульдозера. Одним из основных узлов бульдозера является рабочий орган.

Производительность и энергоемкость бульдозера во многом зависят от того, какой тип формы отвала на нем установлена. Емкость (максимальный объем призмы волочения грунта) – одна из основных характеристик, определяющая высоту и ширину отвала, причем большинство производителей предлагают надставки (козырьки), позволяющие увеличить высоту отвала.

Увеличение высоты отвала позволяет перемещать больше материала и уменьшает пересыпания через верхнюю часть отвала. С другой стороны, увеличение объема призмы волочения по ширине отвала устанавливают боковые щеки, которые придают отвалу форму ковша (трапецевидная). Они не дают перемещающемуся грунту высыпаться по бокам отвала (боковые валики), тем самым увеличивается объем данного материала. Однако чрезмерное увеличение емкости отвала потребует при работе дополнительных затрат мощности базового трактора, который вызывает увеличение нагрузки на узлы машины и ускоряет интенсивность их износа, особенно когда бульдозер перемещается вверх по уклону. Объем перемещаемого отвалом материала за один проход зависит от возможности изменения угла отвала относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей. В современных конструкциях отвалов положение угла наклона регулируется четырьмя или шестью положениями, в зависимости от категорий разрабатываемого грунта.

Целью исследования является оптимизация геометрических параметров и установление трапецевидной формы отвала с учетом взаимодействия его лобовой поверхности с сформированным объемом максимальной призмы волочения грунта в статическом процессе работы бульдозера.

Материалы и методы. В качестве материалов применялись разрабатываемый грунт и отвал бульдозера, исследовался статический процесс их взаимодействия при максимальном формировании призмы волочения грунта перед отвалом с использованием методов исследования графоаналитическим и математическим способом вычисления.

Результаты. Графоаналитическим и математическим вычислением оптимизирован процесс взаимодействия отвала с грунтом, определены максимальные (предельно-допустимые) параметры отвала с учетом тягового усилия трактора и категории разрабатываемого грунта.

© Сурашов Н. Т., Асмагулаев Р. Б., Толымбек Д. Н., 2022



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Обсуждение и заключение. До настоящего времени геометрические формы перспективных конструкций отвала бульдозера устанавливали в основном опытно-экспериментальным путем, без учета контакта площади отвала с грунтом. Не разработаны методики определения рациональной формы отвала, тем более теоретически обоснованные оптимальные параметры рабочего органа, с учетом касания площади продольного сечения грунта с лобовой поверхностью отвала. Не разрабатывались методики определения оптимальных (адаптированных) форм и геометрических параметров рабочего органа, с учетом контакта лобовой поверхности отвала с максимальным объемом призмы волочения. Нами предложены методики расчета оптимальных параметров перспективной конструкции отвала, адаптированного разрабатываемому грунту:

- определены рациональные геометрические формы как в лобовом, так и в поперечном сечении отвала;
- представлены математические формулы для определения оптимальных параметров новой конструкции отвала, а именно: высота отвала и козырька; ширина отвала, козырька и дополнительного ножа-уширителя;
- определены: периметр отвала, ширина и высота бокового валика при формировании максимальной призмы волочения грунта перед отвалом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бульдозер, рабочий орган, отвал, козырек, ножи, призма волочения, угол резания, уширитель, связный грунт, лобовая поверхность отвала

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

Статья поступила в редакцию 08.04.2022; одобрена после рецензирования 12.07.2022; принята к публикации 27.07.2022.

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., Асмагулаев Р. Б., Толымбек Д. Н. Определение оптимальных конструктивных параметров отвала бульдозера // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 4 (86). С. 500-513. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>

EDN: CKATGW

Original article

BLADE OPTIMAL DESIGN PARAMETERS DETERMINATION

Nurgali T. Surashov^{1*}, Ruslan B. Asmatulaev², Damir N. Tolymbek³

¹Kazakh University of Railway Engineering,

²TOO Kazroadinnovatsia,

Almaty, Republic Kazakhstan,

³Aruna-AI, Nur-Sultan

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

ruslan_asmatulaev@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5531-6641>

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

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. In Kazakhstan in present time there is a large number of earthmoving works, which leads to an increase in the demand for earthmoving-transport machines (ETM), in particular bulldozers of different types. In various industries and construction projects, the fleet of foreign-made ETM is operated and constantly updated, including the CIS countries (Russia, Belarus, Ukraine, etc.) in various type-sizes. So at construction sites, including the construction of roads and railways, bulldozers are widely used: Caterpillar Corporation such as Cat (USA), Liebherr (Germany), Xuanhua Construction machinery Co, Ltd (HBXG) and ZoomLion and Shehwa (China); bulldozers ChTZ-UralTRAK (Russia), etc.

© Surashov N. T., Asmatulaev R. B., Tolymbek D. N., 2022



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

The construction of roads and railways with a length of several thousand kilometers is impossible to imagine without the participation of a universal bulldozer. One of the most important components of the bulldozer is the working organ (WO) of the bulldozer.

The performance of the bulldozer largely depends on what type of blade is installed on it. Capacity (maximum prism of drawing the soil) is one of the main characteristics determined by the height and width of the blade, and most manufacturers offer add-ons (visor) that makes it possible to increase the height of the blade.

Increasing the blade height allows more material to be moved and reduces spillage through the top of the blade. On the other hand, increasing the volume of the drawing prism along the width of the blade is offered by the side cheeks, giving the blade the shape of a bucket. They do not allow the moving soil to fall out on the sides of the blade (side rollers), thereby increasing the volume of material being moved. However, an excessive increase in blade capacity will require additional power costs of the bulldozer during operation, which will cause an increase in loads on the machine components and accelerate the intensity of their wear, especially when the bulldozer moves up the slope.

The volume of material moved by the blade in one pass depends, in addition, on the possibility of changing the angle of the blade relative to the vertical and horizontal plane. In modern blade designs, the positions of the angle of inclination are regulated by 4 or 6 positions, depending on the category of soil being developed.

The purpose of this study is to optimize the geometric parameters and establish the trapezoidal shape of the blade, taking into account the interaction of its frontal surface with the formed maximum prism of drawing the soil.

Materials and methods. As materials, the developed soil and the bulldozer blade were used, the process of their interaction was investigated with the maximum formation of the prism of drawing the soil before the dump, using the graphic-analytical method of research.

Results. The process of interaction of the blade with the soil has been optimized by graphic-analytical means, the maximum (maximum permissible) parameters of the blade have been determined, taking into account the traction factor of the bulldozer and the category of the soil being developed.

Discussion and conclusion. Until now, the geometric shapes of promising designs of the bulldozer blade were installed mainly by experimental means, without taking into account the contact of the blade area with the ground. Methods for determining the rational shape of the blade have not been developed, especially the theoretically grounded optimal parameters of the WO, taking into account the touch of the longitudinal section of the soil from the frontal surface of the blade. Methods for determining the optimal (adapted) shapes and geometric parameters of the WO were not developed, taking into account the contact of the frontal surface of the blade with the maximum drawing prism. Methods for calculating the optimal parameters of the perspective blade design adapted to the developed soil are proposed:

- rational geometric shapes of both the frontal and cross-section of the blade are determined;
- mathematical formulas for determining the optimal parameters of the new blade design are presented, namely: the height of the blade and the visor; width of the blade, visor and additional knife-extend;
- defined: the perimeter of the blade, the width and height of the side roller, when forming the maximum prism of drawing the soil in front of the blade.

KEYWORDS: bulldozer, working body, blade, visor, knives, drawing prism, cutting angle, extender, cohesive soil, frontal surface of the blade.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors thank L. A. Khmar and R. A. Kabashev for offering valuable advice.

The article was submitted 08.04.2022; approved after reviewing 12.07.2022; accepted for publication 27.07.2022.

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., Asmatulaev R. B., Tolymbek D. N. Blade optimal design parameters determination of the optimal design parameters of the blade. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (4): 500-513. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-500-513>

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения долговечности дорог Министерством транспорта и коммуникаций Казахстана в 2016 г. принято решение о проектировании и строительстве автомобильных дорог международного значения под транспортную нагрузку не ниже 13 т на ось, с цементобетонными и асфальтобетонными щебеночно-мастичными покрытиями.

Выдвинутая первым Президентом РК «Стратегия развития Казахстана до 2050 года» – документ поистине глобального масштаба. В частности, в нем приведено строительство международной автомобильной дороги: «Западная Европа – Западный Китай», которая ежегодно будет приносить Казахстану 2 млрд тенге дохода. Одновременно введены в эксплуатацию такого же уровня автотрассы:

Астана – Усть-Каменогорск, Астана – Атырау – Актау, Алматы – Семей – Усть-Каменогорск, Алматы – Астана, Нур-Султан – Кокшетау – Талшын в сторону Омска¹.

Для выполнения этой Государственной программы и огромного объема строительных работ требуется большое количество парка строительно-дорожных машин. Одними из универсальных и широко распространенных строительных машин являются бульдозеры разных типов. Современные бульдозеры, оснащенные отвалами с комплексом режущих ножей и рыхлителями, широко применяются для выполнения земляных и планировочных работ, в частности, при строительстве автомобильных и железных дорог, аэродромов, плотин и так далее² [1, 2, 3, 4, 5].

Согласно исследованиям профессоров В. И. Баловнева и Л. А. Хмары, от объема грунта, перемещаемого отвалом за один рабочий цикл, зависит производительность и эффективность использования бульдозеров, при этом с увеличением объема призмы волочения грунта повышаются производительность и энергетические ресурсы бульдозера (рисунок 1) [1].

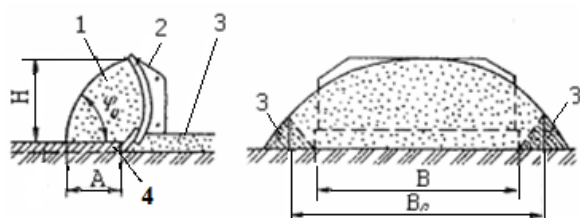


Рисунок 1 – Призма волочения грунта: 1 – призма; 2 – отвал; 3 – боковые валики; 4 – стружка [2]

Figure 1 – Soil dragging prism: 1 - prism; 2 - blade; 3 - side rollers; 4 - shavings [2]

При резании стружки (см. рисунок 1) грунт 4 собирается перед отвалом 2 в виде призмы волочения 1, которая наваливает на расстояние A. В процессе перемещения призмы волочения неизбежны потери в валике грунта 3 через боковые грани отвала. Чем больше призма волочения, тем выше производительность бульдозера. Для уменьшения продолжительности рабочего цикла важно повышать скорость вы-

полнения рабочих операций. Увеличение скорости холостого хода позволяет существенно уменьшить время цикла. Для увеличения объема призмы волочения и тем самым уменьшения потери грунта боковые валики используют следующие рациональные способы:

- движение по следу;
- траншейный способ;
- спаренный способ;
- при работе под уклон;
- на разных уровнях;
- с широкозахватным отвалом.

Каждые эти предложенные способы уменьшают потери грунта в боковые валики в зависимости от расстояния перемещения грунта [1, 2, 3].

В статье [4] приведены результаты и теоретические предпосылки увеличения производительности и накопительной способности неповоротных отвалов бульдозеров, при этом максимальная степень использования тягового усилия базового трактора подтверждена экспериментальным путем на физической модели.

С целью эффективности эксплуатации бульдозеров на обе боковые стороны установлены съемные открывки-уширители, которые позволяют увеличивать накопительную способность рабочего органа бульдозера с учетом тягового усилия трактора [4].

В результате комплексного эксперимента на физической модели была разработана конструкция боковых захватов для обеспечения работоспособности агрегата с максимальным набором объема призмы волочения. Учитывая требования по минимизации продольных параметров рабочего органа бульдозера, без существенного снижения его накопительной способности ими были рекомендованы длина верхней кромки $l=0,14-0,42$ м, а угол наклона передней кромки ножа $\varphi=40^\circ-50^\circ$ [1, 4].

Однако в данной статье не полностью определены геометрические параметры отвала, в том числе параметры максимальной призмы волочения перед отвалом.

В статье [5] в результате проведенных на стенде грунтового канала экспериментальных исследований по копанию связных грунтов под гидростатическим давлением модернизи-

¹ Послание первого Президента Республики Казахстан Н. А. Назарбаева народу Казахстана Стратегия «Казахстан–2050» // Казахстанская правда. № 101 от 28.12.2012 г.

² 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.

рованными плоскими отвалами установлено существенное снижение сопротивления копания по сравнению с копанием в тех же условиях традиционными плоскими отвалами. Экспериментальные исследования проведены на стенде физического моделирования для изучения процесса копания грунтов плоскими отвалами под гидростатическим давлением.

Однако в данной работе снижения энергоемкости копания грунтов достигли путем проникания в водную среду, жидкость попадает в контактирующие поверхности между лобовой поверхностью отвала и грунтовым пластом.

В статье Кабашева Р. А., Сурашова Н. Т., Гудовича М. И.³ дан анализ и оценка перспективных конструкций рабочих органов бульдозера. Из анализа конструкции рабочих органов ЗТМ отвального типа (всего 270 патентов и авторских свидетельств) были выбраны наиболее перспективные конструкции отвалов в зависимости от категории разрабатываемых грунтов и для дальнейшего проектирования, изготовления и их внедрения в производство.

В статье А. Ю. Красносова [6] описано математическое моделирование взаимосвязи параметров рабочего органа и энергоемкости копания грунта бульдозером. Определены традиционным методом: сопротивление копания, перемещение призмы волочения и трения ножа с грунтом. На основании этих сопротивлений определена потребная мощность базового трактора и установлена производительность бульдозера. В результате предложены формулы для определения энергоемкости копания грунта и получена математическая модель, устанавливающая взаимосвязь основных параметров навесного оборудования бульдозера с энергоемкостью копания грунта.

В данной статье [6] не учтены геометрические параметры отвала и его формы, а также не установлены параметры максимального объема перемещаемой призмы волочения и не учтены объемы потери боковых валиков.

В статье А. И. Демиденко и К. Ю. Гатыч [7] рассмотрена схема взаимодействия рабочего оборудования бульдозера с грунтом, позволяющая повысить производительность за счет захвата и транспортирования дополнитель-

ным отвалом сразу двух призм волочения. Изучен процесс взаимодействия дополнительного отвала бульдозера с ковшем, составлена расчетная схема и получены аналитические зависимости для определения сопротивления копания дополнительным отвалом. Получен график зависимости усилия на штоке гидроцилиндра при копании дополнительным отвалом от хода штока.

В статье [8] проф. А. М. Завьяловым, С. С. Черняком обоснована и тщательно исследована математическая модель процесса копания грунта бульдозера. Результаты приведены для различных категорий грунтов и оформлены в виде графиков при различных функциях изменения толщины стружки. Однако не учтены оптимальные параметры отвала и призмы волочения при моделировании процесса копания грунта бульдозера.

В работе [9] предложена методика расчета геометрических параметров призмы волочения на отвале бульдозера на основе создания виртуальной и графической модели с использованием компьютерных программ, разработан аналитический метод построения прямолинейной и криволинейной частей отвала и предложены методы расчетов элементов призмы волочения на различных стадиях копания.

В статье [10] изложены экспериментальные исследования на грунтовом канале, в результате которого получены численные значения сил сопротивления копания, сопоставление их с теоретическими исследованиями влияния параметров отвала на величины сил сопротивления копания. В результате анализа и сопоставления теоретических исследований с экспериментальными данными подтвердили, что наиболее существенное влияние на величину сил сопротивления копания оказывает величина радиуса криволинейной части отвала. Увеличение радиуса на 40% привело к снижению сил сопротивления копания и при максимальном наборе призмы волочения на 20÷30% в зависимости от категорий грунта [11].

Авторы⁴ [12] широко изучили процесс взаимодействия рабочего органа землеройно-транспортных машин отвального типа с различными грунтами и на основе аналити-

³ 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.

⁴ Щербаков В. С., Колякин В. И., Беляев В. В. Влияние геометрических параметров ЗТМ на процесс заглубления рабочего органа // Гидропривод и системы управления строительных и дорожных машин. Межвуз. сб. науч. тр. Омск.: ОмПИ, 1989. С. 58–61.

ческого исследования позволили сформулировать и доказать ряд теорем и следствий, отражающих общие закономерности формирования оптимальных геометрических параметров отвала землеройно-транспортных машин. Ими были установлены закономерности структурных особенностей землеройно-транспортных машин с учетом неровностей поверхностей грунтов, также другими авторами⁵ [13, 14, 15] рассмотрены вопросы развития конструктивных особенностей рабочих органов бульдозера и действующие нагрузки на них при разработке различных категорий грунтов.

Одним из факторов для увеличения производительности и эффективного использования тяговой способности трактора с бульдозерным оборудованием, по данным Д. И. Федорова, является возможность предельно допустимого формирования максимального объема призмы волочения и их перемещения, которые зависят от величины площади лобовой поверхности отвала [3]. В связи с этим в данной статье приведены теоретические исследования определения оптимальных геометрических размеров лобовой и поперечной поверхностей отвала. К общим требованиям землеройно-транспортных машин отвального типа относится обеспечение заданной производительности при известных физико-механических свойствах разрабатываемого грунта, от которых, в свою очередь, зависит форма и геометрические параметры отвала.

Зарубежными учеными Jaroslaw Selesh и Dariusz Ulbrich (Польша) [16] и Y.Franco, D. Rubenstein, I. Shmulevich (США) [17] изучены процессы взаимодействия рабочих органов землеройно-транспортных машин отвального типа с абразивными грунтами. Даны рекомендации по процессу работы бульдозера с грунтами абразивного вида с автоматизированным пультом управления. Корейскими учеными Sang-Ho Kim и Yong-Seok Lee [18] изучены процессы взаимодействия рабочих органов бульдозера с различными категориями грунтов, в том числе грунтами с твердыми включениями. Расположения рабочих органов регулируются сенсорными устройствами в зависимости от нагрузки, возникающей в узлах отвала бульдозера.

Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что широко исследованы процессы взаимодействия рабочих органов бульдозера с грунтом разного типа, при этом за основу принималась стандартная геометрическая форма отвала.

Цель данной работы – графоаналитическим путем определить основные параметры взаимодействия рабочих органов бульдозера с грунтом (при наборе максимального объема призмы волочения), на основе которого сконструирована новая конструкция отвала, увеличивающая производительность бульдозера на 10–15%, уменьшающая металлоемкость и энергоемкость бульдозера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основном в Южном регионе Казахстана часто встречаются связные, плотные грунты и грунты с каменистыми включениями. Для дальнейшего исследования при разработке грунтов бульдозерами принимались связные грунты, относящиеся ко 2-й и 3-й категории грунтов⁶ [2].

Конструктивными основными параметрами стандартного отвала являются (рисунок 2): 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, (высота валика) м; P – периметр контура взаимодействия перемещаемого грунта с отвалом, м; C – высота части призмы волочения, возвышающаяся над козырьком, м; a' – ширина бокового валика (просыпания грунта), м.

Основными эксплуатационными параметрами являются: v_p – скорость перемещения с грунтом бульдозерного отвала, км/ч; ρ – угол внутреннего трения грунта в покое, град.; ε – угол наклона отвала, град.; P_{Σ} – эксплуатационная производительность бульдозера, м³/ч [1, 3].

Для повышения эффективности использования бульдозерных отвалов, а также для увеличения как технической, так и эксплуатационной производительности, умень-

⁵ Щербakov В. С. Теория точности землеройно-транспортных машин, выполняющих планировочные работы // Автомобильные дороги Сибири: Тез. докл. II Международн. конф. Омск, 1998, С. 248–251.

⁶ 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.

Анализ процесса взаимодействия бульдозерного рабочего органа с грунтом различной категории позволил нам разработать принципиально новую конструкцию отвала с верхними боковыми скосами и ножами-уширителями [19], что обусловило сохранение максимального объема призмы волочения при ее транспортировке (патенты KZ №13578 от 14.08.2003 г.; № 13576 от 14.08.2003 г.; № 15852 от 04.04.2005 г. – автор Н. Т. Сурашов).

Конструктивные основные параметры новых конструкций отвалов следует определять с учетом угла естественного откоса ρ и периметра P , по которому перемещаемый грунт касается с отвалом.

Площадь поперечного сечения грунта, взаимодействующего с отвалом, (см. рисунок 2) определяется из суммы

$$F_{об} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5, \quad (1)$$

где F_1 – площадь прямоугольника $abcd$; F_2 – площадь трапеции $авже$; F_3 – площадь трапеции $ежлк$; F_4 – площадь сегмента $клм$; F_5 – площадь треугольников (боковые валики): adh и $всз$.

Площадь прямоугольника $abcd$ можно определить по формуле

$$F_1 = B \cdot \epsilon'. \quad (2)$$

Площадь трапеции $авже$ следует определять по выражению

$$F_2 = \frac{1}{2} \left[B + \left(B - 2 \frac{(H - \epsilon')}{\operatorname{tg} \rho} \right) \right] \cdot (H - \epsilon') = B(H - \epsilon') - \frac{(H - \epsilon')^2}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (3)$$

Площадь трапеции $ежлк$ определяем из выражения

$$F_3 = \frac{1}{2} \left[2B - 4 \frac{(H - \epsilon')}{\operatorname{tg} \rho} \right] - 2 \frac{H_k}{\operatorname{tg} \rho} \cdot H_k = B \cdot H_k - 2 \frac{(H - \epsilon') \cdot H_k}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{H_k^2}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (4)$$

Площадь сегмента $клм$ равна

$$\begin{aligned} F_4 &= \frac{1}{2} \left[B - 2 \frac{(H - \epsilon')}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{1}{2} \cdot \frac{H_k}{\operatorname{tg} \rho} \right] \cdot \frac{1}{2} \left[B - 2 \frac{(H - \epsilon')}{\operatorname{tg} \rho} - 2 \frac{H_k}{\operatorname{tg} \rho} \right] \cdot \operatorname{tg} \rho = \\ &= \frac{1}{4} \left[B - 2 \frac{(H - \epsilon')}{\operatorname{tg} \rho} - 2 \frac{H_k}{\operatorname{tg} \rho} \right]^2 \cdot \operatorname{tg} \rho. \end{aligned} \quad (5)$$

Площадь треугольников adh и $всз$ можно определить по следующей зависимости ($\Delta_{adh} = \Delta_{всз}$):

$$F_5 = 2 \cdot \frac{1}{2} a' \epsilon' = \frac{(\epsilon')^2}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (6)$$

Суммируя все площади (формулы (2)...(6)), определим площадь лобового сечения перемещаемого грунта, взаимодействующего с лобовой поверхностью отвала:

$$\begin{aligned} F_{об} &= 0,25B^2 \cdot \operatorname{tg} \rho + B \cdot \epsilon' - \frac{(H^2 - 2H \cdot \epsilon' + 2H \cdot H_k + 2\epsilon' H_k + H_k^2)}{\operatorname{tg} \rho} + \\ &+ H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_k + 2\epsilon' H_k + (\epsilon')^2 + H_k^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Данное выражение представляет собой функцию площади лобового сечения перемещаемого грунта, взаимодействующего с поверхностью отвала в зависимости от конструктивных параметров бульдозерного отвала (B , H , H_k , ϵ' , a'). Полагая в каждом конкретном случае постоянной вы-

соту отвала и угол естественного откоса, найдем оптимальные значения конструктивных параметров: расстояние от основания отвала до точки контакта по высоте с грунтом, ϵ' .

Для этого продифференцируем правую часть выражения (7) по ϵ' :

$$\frac{\partial F_{об}}{\partial \epsilon'} = B + \frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{2H_k}{\operatorname{tg} \rho} - 2H - 2H_k + 2\epsilon'. \quad (8)$$

Приравнявая производную нулю и производя соответствующие преобразования, получим уравнение

$$B + \frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{2H_k}{\operatorname{tg} \rho} - 2H - 2H_k + 2\epsilon' = 0, \quad (9)$$

которое выражает оптимальные значения ϵ' для конкретных значений B, H и H_k и, решая ее относительно ϵ' , получим

$$\epsilon'_{опт} = H + H_k + \frac{H_k - H}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{B}{2}. \quad (10)$$

Определяем высоту отвала, H . Для этого продифференцируем правую часть выражения (7) по H :

$$\frac{\partial F_{об}}{\partial H} = -\frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} + \frac{2\epsilon'}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{2H_k}{\operatorname{tg} \rho} + 2H - 2\epsilon' + 2H_k. \quad (11)$$

Приравнявая производную нулю и производя соответствующие преобразования, получим уравнение

$$-\frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} + \frac{2\epsilon'}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{2H_k}{\operatorname{tg} \rho} + 2H - 2\epsilon' + 2H_k = 0, \quad (12)$$

которое выражает оптимальные значения высоты отвала H для конкретных значений H_k, ϵ' и, решая ее относительно H , получим

$$H_{опт} = \frac{H_k - H_k \operatorname{tg} \rho - \epsilon' + \epsilon' \operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} \rho - 1}. \quad (13)$$

Определяем высоту козырька отвала, H_k . Для этого продифференцируем правую часть выражения (7) по H_k :

$$\frac{\partial F}{\partial H_k} = -\frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} + \frac{2\epsilon'}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{1}{\operatorname{tg} \rho} + 2H - 2\epsilon' + 2H_k. \quad (14)$$

Приравнявая производную к нулю и производя соответствующие преобразования, получим уравнение

$$-\frac{2H}{\operatorname{tg} \rho} + \frac{2\epsilon'}{\operatorname{tg} \rho} - \frac{1}{\operatorname{tg} \rho} + 2H - 2\epsilon' + 2H_k = 0, \quad (15)$$

которое выражает оптимальные значения высоты козырька отвала H_k для конкретных значений H, ϵ' и, решая ее относительно H_k , получим

$$H_{k_{опт}} = \frac{H(1 - \operatorname{tg} \rho) + 0,5 + \epsilon'(1 + \operatorname{tg} \rho)}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (16)$$

Определяем ширину отвала, B . Для этого продифференцируем правую часть выражения (7) по B :

$$\frac{\partial F}{\partial B} = 0,5B \cdot \operatorname{tg} \rho - \epsilon'. \quad (17)$$

Приравнявая производную к нулю и производя соответствующие преобразования, получим уравнение

$$0,5B \cdot \operatorname{tg} \rho - \epsilon' = 0, \quad (18)$$

которое выражает оптимальные значения ширины отвала B для конкретных значений ϵ' и, решая относительно B , получим

$$B_{опт} = \frac{\epsilon'}{0,5 \operatorname{tg} \rho} = \frac{2\epsilon'}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (19)$$

Оптимальные значения ширины отвала B можно определить и через оптимальные значения угла естественного откоса ρ :

$$\frac{\partial F_{об}}{\partial \rho} = 0,25B^2 \frac{1}{\cos^2 \rho} + \frac{1}{\sin^2 \rho} (H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa}). \quad (20)$$

Приравнявая производную к нулю и произведя соответствующие преобразования, получим выражение

$$0,25B^2 \frac{1}{\cos^2 \rho} + \frac{1}{\sin^2 \rho} (H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa}) = 0, \quad (21)$$

которое выражает оптимальные значения ρ для конкретных значений B , H , ϵ' , H_{κ} или оптимальные значения B для конкретных значений H , H_{κ} , ϵ' , ρ и, решая относительно ρ или B , получим

$$\rho = \arcsin \sqrt{\frac{H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa}}{H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa} - 0,25B^2}}, \quad (22)$$

или

$$B_{опт} = \sqrt{\frac{(\sin^2 \rho - 1)(H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa})}{0,25 \sin^2 \rho}}. \quad (23)$$

Для определения оптимальных значений ширины козырька отвала B_{κ} следует выразить площадь лобовой поверхности грунта, взаимодействующего с отвалом, через данный конструктивный параметр, то есть

$$F_{общ} = \frac{1}{2} B\epsilon' + \frac{1}{2} BH + \frac{1}{2} B_{\kappa} H - \frac{1}{2} B_{\kappa} \epsilon' - \frac{1}{2} B_{\kappa} \epsilon' - \frac{H_{\kappa}^2}{\operatorname{tg} \rho} + 0,25B_{\kappa}^2 \operatorname{tg} \rho + H_{\kappa}^2 + \frac{(\epsilon')^2}{\operatorname{tg} \rho}. \quad (24)$$

Дифференцируем правую часть выражения (24) по B_{κ} :

$$\frac{\partial F}{\partial B_{\kappa}} = \frac{1}{2} (-H + \epsilon' + B_{\kappa} \operatorname{tg} \rho). \quad (25)$$

Приравнявая производную к нулю и произведя соответствующие преобразования, получим выражение

$$\frac{1}{2} (-H + \epsilon' + B_{\kappa} \operatorname{tg} \rho) = 0, \quad (26)$$

которое выражает оптимальные значения B_{κ} для конкретных значений H и ϵ' , и, решая относительно B_{κ} , получим

$$B_{\kappa} = \frac{2}{\operatorname{tg} \rho} (H - \epsilon') = \frac{2}{\operatorname{tg} \rho} (H - \epsilon'), \quad B_{\kappa_{опт}} = \frac{2}{\operatorname{tg} \rho} (H - \epsilon'). \quad (27)$$

Оптимальные значения периметра P отвала через оптимальные значения конструктивных параметров можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{опт}} = & \sqrt{\frac{(\sin^2 \rho - 1)(H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa})}{0,25 \sin^2 \rho}} + \\
 & + \frac{2tg\rho(H + H_{\kappa}) + 2(H_{\kappa} - H) - B_{tg\rho}}{tg\rho} + \\
 & + \frac{tg^2 \rho(2\epsilon' - 2H - 4H_{\kappa} + B) - tg\rho(2\epsilon' + 2B - 2H_{\kappa} - 4H) - 2(H_{\kappa} + H)}{2(tg\rho - 1)tg\rho \cdot \sin \rho} + \\
 & + \frac{2Btg\rho - 2(H - \epsilon') + H_{\kappa} - 1}{tg\rho}.
 \end{aligned} \quad (28)$$

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструктивные оптимальные параметры новых конструкций отвалов, определенные исследованием площади поперечного сечения грунта, взаимодействующего с РО, можно представить следующим образом:

1. Высота отвала, $H_{\text{опт}}$:

$$H_{\text{опт}} = \frac{(H_{\kappa} - \epsilon') \cdot (1 - tg\rho)}{tg\rho - 1}. \quad (29)$$

2. Высота козырька, H_{κ} :

$$H_{\kappa \text{ опт}} = \frac{H(1 - tg\rho) + 0,5 + \epsilon' \cdot (1 + tg\rho)}{tg\rho}. \quad (30)$$

3. Ширина отвала, B :

$$B_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{(\sin^2 \rho - 1)(H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa})}{0,25 \sin^2 \rho}}. \quad (31)$$

4. Расстояние от основания отвала до точки контакта по высоте с грунтом, ϵ' :

$$\epsilon'_{\text{опт}} = H + H_{\kappa} + \frac{H_{\kappa} - H}{tg\rho} - 0,5B. \quad (32)$$

5. Ширина козырька отвала, B_{κ} :

$$B_{\kappa \text{ опт}} = \frac{2Btg\rho - 2(H - \epsilon') + H_{\kappa} - 1}{tg\rho}. \quad (33)$$

6. Периметр отвала, P :

$$P = \sqrt{\frac{(\sin^2 \rho - 1)(H^2 - 2H\epsilon' + 2H \cdot H_{\kappa} + 2\epsilon' H_{\kappa} + H_{\kappa})}{0,25 \sin^2 \rho}} + \frac{2tg\rho(H + H_{\kappa}) + 2(H_{\kappa} - H) - B_{tg\rho}}{tg\rho} + \frac{tg^2 \rho (2\epsilon' - 2H - 4H_{\kappa} + B) - tg\rho (2\epsilon' + 2B - 2H_{\kappa} - 4H) - 2(H_{\kappa} + H)}{2(tg\rho - 1)tg\rho \cdot \sin \rho} + \frac{2Btg\rho - 2(H - \epsilon') + H_{\kappa} - 1}{tg\rho}. \quad (34)$$

7. Дополнительная ширина ножа-уширителя, α :

$$a = 0,6 \cdot a' = 0,6 \cdot \epsilon' \cdot tg\rho \cdot k_{\epsilon\epsilon}, \quad (35)$$

где $a' = \epsilon' \cdot tg\rho$ – ширина бокового валика грунта, м; $k_{\epsilon\epsilon}$ – коэффициент ширины ножа-уширителя; принимаем конструктивно: $k_{\epsilon\epsilon} = 0,4$ – для связных грунтов; $k_{\epsilon\epsilon} = 0,6$ – для несвязных грунтов; тогда высота дополнительного ножа-уширителя будет равна

$$\epsilon = \epsilon' \cdot k'_{\epsilon\kappa}, \quad (36)$$

где $k'_{\epsilon\kappa}$ – коэффициент высоты ножа-уширителя (принимаем конструктивно);

$k'_{\epsilon\kappa} = 1,2$ – для связных грунтов; $k'_{\epsilon\kappa} = 1,3$ – для несвязных грунтов [1, 4].

1. На основе аналитического метода был установлен процесс взаимодействия бульдозерного РО со средой, получены принципиально новые конструкции отвала с боковыми скосами и ножами-уширителями, что обуславливает сохранение максимального объема призмы волочения при ее транспортировке, например, при разработке сыпучих и рыхлых грунтов, достигнув тем самым адаптацию лобовой формы отвала к форме 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 рациональных параметров.

3. Аналитические исследования образования призмы волочения перед отвалом позволили разработать различные конструкции отвалов, оснащенных выступающими сред-

ними ножами (ВСН), боковые косынки (БК) и с боковыми уширителями, что позволяет увеличивать производительность бульдозера на 7...10%.

4. В результате проведенных графоаналитических расчетов определены оптимальные геометрические параметры конструкции отвала: высота отвала и козырька; ширина отвала, козырька и дополнительного ножа-уширителя, радиус кривизны лобовой поверхности отвала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1993. 384 с.
2. Кабашев Р. А. Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин. Алматы: Фалым, 1997. 434 с.
3. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин. М.: Машиностроение, 1977. 288 с.
4. Хмара Л. А. Басий В. В., Деревянчук М. И., Максьюк Ю. А. Исследование накопительной способности отвала бульдозера с боковыми ограничивающими элементами // Вестник Харьковского национального автомобильного дорожного университета. № 2. 2005. Харьков: ХНАДУ. С. 80–84.
5. Тургумбаев С. Дж., Кабашев Р. А. Результаты экспериментальных исследований процесса копания грунтов модернизированным рабочим органом под гидростатическим давлением // Вестник СибаДИ. № 2 (54). 2017. Омск: СибаДИ. 2017. С. 36–42.
6. Краснонос А. Ю. Математическое моделирование взаимосвязи параметров рабочего оборудования и энергоемкости копания грунта // Engineering & Technologies. 2014. № 6. Красноярск: СибФУ. 2014. С. 585–686.

7. Демиденко А. И., Гатыч К. Ю. Расчет усилий копания рабочим оборудованием бульдозера // Вестник СибАДИ, выпуск 2 (54). 2017. Омск: СибАДИ. 2017. С.17–22.

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

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

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

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

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

13. Kayim T. T., Golubeva T. V., Kaiymov S. T. Mathematical and computer modeling of movement of the execute mechanism of the adaptive multipurpose operating part of earth –moving and construction machine // International journal of electrical, electronics and data Communication, ISSN: 2320-2084 Volume-3, Issue-11, Nov.-2015. Page 25-28.

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

15. Хмара Л. А., Спильник М. А. Повышение эффективности рабочего процесса ковша скрепера (копание и выгрузка грунта) // Вестник СибАДИ. 2013. № 5 (33). 2013. С.30–39.

16. Jarosław Selech, Dariusz Ulbrich. 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.

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

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

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

REFERENCES

1. Balovnev V. I., Hmara L. A. *Intensifikacija razrabotki gruntov v dorozhnom stroitel'stve* [Intensification of soil development in road construction]. Moscow: Transport, 1993. 384 p. (in Russ.)

2. Kabashev R. A. *Dorozhnye i stroitel'nye mashiny: abrazivnyj iznos rabochih organov zemlerojnyh mashin* [Road and construction machines: abrasive wear of working bodies of earthmoving machines]. Almaty: Falym, 1997. 434 p. (in Russ.)

3. Fedorov D. I. *Rabochie organy zemlerojnyh mashin* [Working bodies of earthmoving machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 288 p. (in Russ.)

4. Hmara L. A. Basij V. V., Derevjanchuk M. I., Maksjuk Ju. A. Issledovanie nakopitel'noj sposobnosti otvala bul'dozera s bokovymi ogranichivajushimi jelementami [Study of the accumulative ability of the blade of a bulldozer with lateral limiting elements]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'nogo dorozhnogo universiteta*. 2005; 2: 80–84. (in Russ.)

5. Turgumbaev S. Dzh., Kabashev R. A. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij processa kopanija gruntov modernizirovannym rabochim organom pod gidrostaticheskim davleniem [Results of experimental studies of the process of digging soils by a modernized working body under hydrostatic pressure]. *Vestnik SibADI*. 2017; 2 (54): 36–42. (in Russ.)

6. Krasnonosov A. Ju. Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvjazi parametrov rabochego oborudovaniya i jenergoemkosti kopanija grunta [Mathematical modeling of the relationship between the parameters of working equipment and the energy intensity of digging]. *Engineering & Technologies*. 2014; 6: 585–686. (in Russ.)

7. Demidenko A. I., Gatyč K. Ju. Raschet usilij kopanija rabochim oborudovaniem bul'dozera [Calculation of the efforts of digging with the working equipment of the bulldozer]. *Vestnik SibADI*. 2017. 2 (54). 2017: 17–22. (in Russ.)

8. Zav'jalov A. M., Chernjak S. S. Proektirovanie optimal'nyh rezhimov zaglublenija rezhushhego instrumenta bul'dozera v grunt [Designing optimal modes of deepening the cutting tool of a bulldozer into the ground]. *Vestnik SibADI*. 2009; 1 (11). 2009: 53–60. (in Russ.)

9. Berestov E. I., Leskovec I. V. Metodika rascheta geometricheskikh parametrov prizmy volocheniya na otvale bul'dozera [Methods of calculation of geometric parameters of the prism of drawing on the dump of a bulldozer]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2009; 2 (23): 6–13. (in Russ.)

10. Leskovec I. V. Berestov E. I., Smoljar A. P. Vlijanie parametrov profilja otvala bul'dozera na velichiny sil soprotivleniju kopanija [Influence of the parameters of the profile of the blade of the bulldozer on the magnitude of the forces of resistance to the digging]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2015; 2 (47): 12–22. (in Russ.)

11. Leskovec I. V. Istoriya i perspektivy razvitiya zemlerojnogo oborudovaniya otval'nogo tipa [History and prospects for the development of earth-moving

equipment of the dumping type]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2011; 3 (32): 64–70. (in Russ.)

12. Shherbakov V. S., Galdin V. N. Osnovnye pokazateli gidravlicheskih impul'snyh sistem stroitel'nyh mashin [The influence of the geometrical parameters of the ETM on the process of deepening the working body]. *Vestnik SibADI*. 2013; 1(29): 47–51. (in Russ.)

13. Kayim T. T., Golubeva T. V., Kaiymov S. T. Mathematical and computer modeling of movement of the execute mechanism of the adaptive multipurpose operating part of earth –moving and construction machine. *International journal of electrical, electronics and data Communication*, ISSN: 2320-2084 Volume-3, Issue-11, Nov. 2015: 25-28.

14. Surashov N. T. *Nauchnye osnovy sozdaniya perspektivnyh rabochih organov zemlerojno-transportnyh mashin* [Scientific foundations of the creation of promising working bodies of earth-moving machines]. Almaty: KazGASA. 2004. 263 p.

15. Hmara L. A., Spil'nik M. A. Povyshenie jeffektivnosti rabochego processa kovsha skrepera (kopanie i vygruzka grunta) [Improving the efficiency of the working process of the scraper bucket (digging and unloading the soil)]. *Vestnik SibADI*. 2013; 5 (33). 2013: 30–39. (in Russ.)

16. Jarosław Selech, Dariusz Ulbrich. *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.

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

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

19. 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>

ВКЛАД СОАВТОРОВ

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

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

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

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Nurgali T. Surashov. Formulation of the direction, research topic, scientific hypothesis. Formulation of the research problem. Development of the theoretical studies, selection of methodology and methods of research (40%).

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

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Асмагулаев Руслан Борисович – канд. техн. наук, акад., директор.

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Ruslan B. Asmatulaev – Cand. of Sci., Director.

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