

19. Litvinova T. Authorship attribution of russian social media texts: does the volume of data favor idiolect identification?, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 315 LNNS, pp. 352-362.
20. Litvinova T.A. Stilemetricheskaya identifikatsiya idiolekta na osnove printsipov korpusnoy idiolektologii [Stylemetric identification of idiolect based on the principles of corpus idiolectology], *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Issues of criminology, forensics and forensic examination], 2021, No. 1 (49), pp. 126-132.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. Ю.А. Брюхомицкий.

Хаджиева Лаура Куйраевна – Грозненский государственный нефтяной технический университет имени М.Д. Миллионщикова; e-mail: laura.hadjieva3009@mail.ru; г. Грозный, Россия; тел.: 89380230505; кафедра информатики и вычислительной техники; старший преподаватель.

Котенко Владимир Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: kotenkovv@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 89043468665; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Румянцев Константин Евгеньевич – e-mail: rke2004@mail.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; тел.: 89281827209; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; д.т.н.; профессор, зав. кафедрой.

Khadzhieva Laura Kuyraevna – Grozny State Petroleum Technical University named after M.D. Millionshchikova; e-mail: laura.hadjieva3009@mail.ru; Grozny, Russia; phone: +79380230505; the Department of Informatics and Computer Science; senior lecturer.

Kotenko Vladimir Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: kotenkovv@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79043468665; the Department of Information Security of Telecommunication Systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Rumyantsev Konstantin Yevgenievich – e-mail: rke2004@mail.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: +79281827209; the Department of Information Security of Telecommunication Systems; dr. of eng. sc.; professor; head of department.

УДК 629.3

DOI 10.18522/2311-3103-2024-3-44-54

С.С. Носков, А.Ю. Баранник, А.А. Лебедев, А.В. Лагутина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ

Целью исследования является разработка методики, позволяющей рассчитать основные параметры, характеризующие способность робототехнического средства, оснащенного бойковым минным тралом выполнять операции по гуманитарному разминированию. Для этого в рамках данной работы были решены задачи как расчет крутящего момента на валу бойкового трала, определение мощности приводящего бойковый трал мотора, а расчетной оценки мощности силовой установки робототехнического средства. В ходе проведения исследований был проанализирован опыт создания и основные параметры зарубежных средств разминирования с бойковыми минными тралами – экипажной машины разминирования *Hydrema 910 MCV*, робототехнического средства разминирования *MV-4*, дистанционно-управляемой машины разминирования *ДУМ-Р «Уран-6»*, дистанционно-управляемого минного трала *МТ-2*. Также были проанализированы основные особенности рабочего органа рассматриваемых машин, а именно бойкового минного трала. В основу разработанной методики положена методика расчета силы сопротивления разрушения грунта и взрывоопасного предмета *ВОП* при воздействии байком, опирающуюся на теорию взаимодействия рабочих органов землеройных машин, разработанную академиком *Н.Г. Домбровским*. Также при разработке данной методики были использованы результаты работ по расчету конструкции бойкового трала выполненные хорватскими специалистами *Винковича Н., Стойковича В. и Микулича Д.* При этом расчёты были проведены для различных грунтов, которые в зависимости от удельного сопротивления резанью поделены на 4 категории: песчаная глина, гравий; плотная глина, уголь; твердая глина с гравием; средний сланец, мел, мягкий гипсовый камень. Полученные данные стали фактически массивом исходной информации, которая вместе с извест-

ными физическими зависимостями позволили сформировать массив расчётных формул, которые позволяют рассчитать крутящий момент на валу бойкового трала, мощность приводящего бойковый трал мотора, а также мощность силовой установки робототехнического средства, и тем самым решить научную проблему, поставленную в начале исследования.

Робототехника; робототехническое средство; бойковый трал; сопротивление разрушению грунта; мощность привода; крутящий момент.

S.S. Noskov, A.Yu. Barannik, A.A. Lebedev, A.V. Lagutina

THE PROCEDURE FOR CALCULATING THE DRIVE OF THE WORKING BODY OF A ROBOTIC DEVICE FOR HUMANITARIAN DEMINING

The aim of the study is to develop a methodology that allows us to calculate the main parameters characterizing the ability of a robotic vehicle equipped with a striker minesweeper to perform humanitarian demining operations. For this purpose, within the framework of this work, tasks were solved such as calculating the torque on the shaft of the striker trawl, determining the power of the motor driving the striker trawl, and calculating the power of the power plant of a robotic vehicle. During the research, the experience of creating and the main parameters of foreign mine clearance equipment with firing minesweepers were analyzed – the Hydrema 910 MCV crew mine clearance vehicle, the MV-4 robotic mine clearance vehicle, the Uran-6 remote-controlled mine clearance vehicle, and the MT-2 remote-controlled mine trawl. The main features of the working body of the considered machines, namely the firing minesweeper, were also analyzed. The developed methodology is based on a method for calculating the resistance force of soil destruction and an explosive object when exposed to a bike, based on the theory of interaction of working bodies of earthmoving machines, developed by academician N.G. Dombrovsky. Also, during the development of this technique, the results of work on the calculation of the design of the striker trawl were used by Croatian specialists Vinkovic N., Stojkovic V. and Mikulic D. At the same time, calculations were carried out for various soils, which, depending on the resistivity of cutting, are divided into 4 categories: sandy clay, gravel; dense clay, coal; hard clay with gravel; medium slate, chalk, soft gypsum stone. The obtained data actually became an array of initial information, which, together with known physical dependencies, allowed us to form an array of calculation formulas that allow us to calculate the torque on the shaft of the striker trawl, the power of the motor driving the striker trawl, as well as the power of the power plant of the robotic means, and thereby solve the scientific problem posed at the beginning of the study.

Robotics; robotic equipment; striker trawl; resistance to soil destruction; drive power; torque.

Введение. Опыт решения задач, возникающих в связи с проведением специальной военной операции, позволяет сделать вывод о необходимости оснащения формируемых МЧС России высокоэффективными средствами разминирования, предназначенных для проведения гуманитарных операций. Их главными особенностями является возможность проведения сплошного разминирования; повышенные требования по обеспечению безопасности расчетов, более жесткие требования по показателю «эффективность-стоимость».

Попытки коммерческих структур создать такие средства в инициативном порядке показал, что в ходе испытаний выявлялось несоответствие применяемых технических решений, тактико-техническим требованиям, предъявляемым к средствам гуманитарного разминирования. Что показало, что методики расчета их основных показателей требуют переработки.

Постановка задачи исследования. Анализ применения робототехники спасательными воинскими формированиями МЧС России показывает, что в последнее десятилетие подавляющее количество работ при ликвидации ЧС с применением робототехнических средств осуществляется при гуманитарном разминировании [1–3]. Это вызвано, в первую очередь, интенсификацией вооруженных конфликтов, что приводит к загрязнению больших территорий минами, неразорвавшимися артиллерийскими и авиационными боеприпасами, другими взрывоопасными предметами (ВОП) [4–6].

В настоящее время в МЧС России для площадного разминирования [7–10] широкое применение получили как экипажные машины, такие как Hydrema 910 MCV (рис. 1) [11], так и робототехнические средства специального назначения MV-4 (рис. 2) [12, 13],

ДУМ-Р «Уран-6» (рис. 3). Российской компанией ООО «ДСТ-Урал» разработан и проходит приемочные испытания дистанционно-управляемый минный трал МТ-2 на шасси промышленного погрузчика (рис. 4).



Рис. 1. Экипажная машина разминирования Hydrema 910 MCV



Рис. 2. Робототехническое средство MV-4



Рис. 3. Дистанционно-управляемая машина разминирования ДУМ-Р «Уран-6»



Рис. 4. Дистанционно-управляемый минный трал МТ-2

Все представленные машины, как экипажные, так и робототехнические средства гуманитарного разминирования, оборудованы бойковым минным тралом [14–17].

Основным рабочим органом бойкового трала (рис. 5) является бойковый вал 1 с бойками 2, при вращении которых происходит разрушение на заданную глубину поверхностного слоя грунта вместе с установленными в нем минами или другими ВОП [18–20], которые могут находиться и на поверхности грунта в траве.

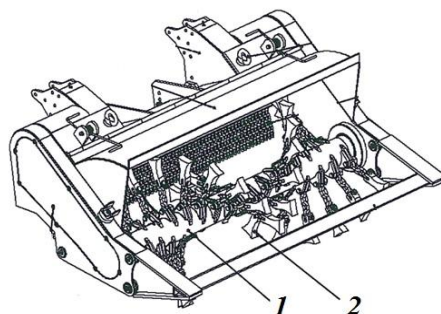


Рис. 5. Бойковый минный трал (на примере ДУМ-Р)

На всех машинах привод бойкового вала осуществляется гидромоторами через цепную передачу или редуктор [21]. По взглядам ведущих ученых и конструкторов в области робототехники, в дальнейшем возможен переход полностью на электрический привод не только в трансмиссии РТС, но и в рабочих органах робототехники. Тяговый расчет электромеханической трансмиссии РТС приведен в ряде учебных пособий и научно-технических статьях [22, 23]. Расчету конструкции бойкового трала посвящена работа хорватских специалистов Винковича Н., Стойковича В. и Микулича Д. [24]. С учетом положений, изложенных в работе [24] и опираясь на теорию взаимодействия рабочих органов землеройных машин, разработанную академиком Н.Г. Домбровским [25, 26], возможен расчет требуемой мощности и крутящего момента двигателя для привода бойкового трала.

Силы, возникающие при взаимодействии бойка трала с грунтом и подведенный крутящий момент к валу трала представлены на рисунке 6. На боек постоянно действует центробежная сила P_c , при взаимодействии с грунтом боек разрушает грунт с силой P , которая может быть разложена по осям OX , OY и OZ (силы P_x , P_y и P_z соответственно). Грунт сопротивляется разрушению с силой R . Бойковый вал вращается с угловой скоростью ω , к валу подведен крутящий момент $M_{\text{до}}$.

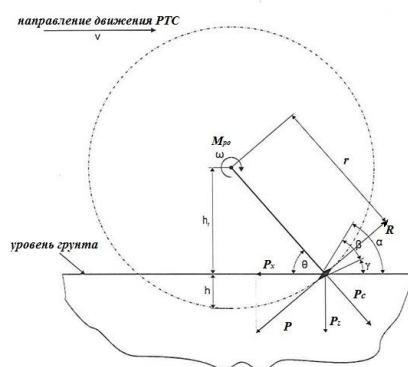


Рис. 6. Силы и моменты при взаимодействии бойкового трала с грунтом

Подзадача определения крутящего момента на валу трала. Сила разрушения грунта P является силой инерции бойка при его замедлении в грунте и определяется по формуле

$$P = m \times j, \quad (1)$$

где m – масса бойка и части цепи (для расчета можно принять 0,33 от массы цепи), кг;
 j – линейное замедление бойка при разрушении грунта и ВОП, м/с².

В свою очередь линейное замедление бойка можно определить через угловое замедление по формуле

$$j = r \times \varepsilon, \quad (2)$$

где r – радиус окружности, описываемой бойком при вращении, м;

ε – угловое замедление бойка при разрушении грунта и ВОП, 1/с².

Для гарантированного разрушения грунта, сила инерции бойка P должна быть не менее силы сопротивления грунта разрушению, что является реакцией грунта R .

Рассмотрим взаимодействие бойка с грунтом. По методике Н.Г. Домбровского [25, 26], силы, возникающие на рабочем органе землеройной машины можно представить рис. 7.

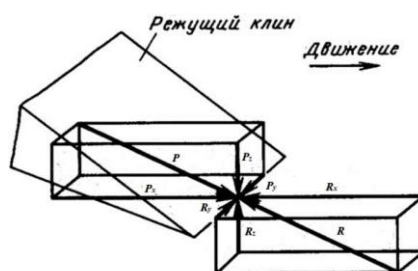


Рис. 7. Силы на бойке при взаимодействии с грунтом

Сила сопротивления разрушению грунта, она же сила реакции грунта R , может быть разложена на касательную составляющую R_x (по оси OX), боковую составляющую R_y (по оси OY) и нормальную составляющую R_z (по оси OZ).

В свою очередь касательная составляющая реакции грунта R_x будет определяться как сумма сил [18, 19]

$$R_x = R_p + R_{тр} + R_{пр} + R_{зап}, \quad (3)$$

где R_p – сила сопротивления резанию грунта, Н;

$R_{тр}$ – сила трения бойков о грунт, Н;

$R_{пр}$ – сила сопротивления призмы волочения грунта, Н;

$R_{зап}$ – сила сопротивления при наполнении рабочего органа грунтом, Н.

Сила сопротивления резанию грунта R_p определяется по формуле [25, 26],

$$R_p = k_1 \times h \times b, \quad (4)$$

где k_1 – удельное сопротивление грунта резанию, Па;

h – глубина резания грунта, м;

b – ширина резания грунта (ширина траления), м.

Удельное сопротивление грунта резанию приведено в табл. 1 [25, 26]/

Таблица 1

Значение k_1 для различных категорий грунта

Удельное сопротивление грунта резанию, Па	Категория грунта
25000	I (песчаная глина, гравий)
95000	II (плотная глина, уголь)
175000	III (твердая глина с гравием)
320000	IV (средний сланец, мел, мягкий гипсовый камень)

Сила трения бойков о грунт $R_{тр}$ определяется по формуле

$$R_{тр} = \mu \times P_c \times \cos(\gamma + \beta/2), \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения при движении бойка, ед.

Углы γ и β представлены на рис. 6.

Силы сопротивления призмы волочения грунта $R_{пр}$ и сопротивления при наполнении рабочего органа грунтом $R_{зап}$ определяются по формуле [18, 19]

$$R_{пр} + R_{зап} = (V_{пр} + q \times K_n) \times e, \quad (6)$$

где $V_{пр}$ – объем призмы волочения, м³;

q – вместимость рабочего органа, м³;

K_n – коэффициент наполнения, ед;

e – удельное сопротивление перемещению призмы грунта при заполнении (зависит от вида рабочего органа (бойков)), Н/м³.

Указанные в формуле (6) величины зависят от формы бойка. Конструкции бойков представлены на рис. 8 [20, 21].

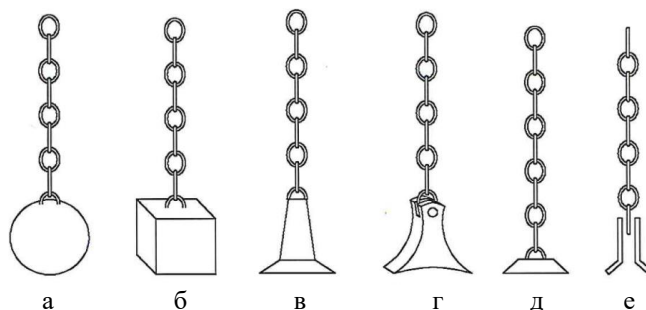


Рис. 8. Формы бойков

Нетрудно видеть, что силы $R_{пр}$ и $R_{зап}$ чаще будут возникать при применении бойков формы а) и б), однако такие формы бойков практически не применяются. В современных конструкциях бойковых тралов получили распространение бойки с формами в) и г), для которых силы $R_{пр}$ и $R_{зап}$ будут незначительными и при расчете ими можно пренебречь. Бойки с формами д) и е) не получили распространения в силу их недостаточной массы.

Нормальная составляющая R_z реакции грунта определяется по формуле [25, 26]

$$R_z = f \times R_x, \quad (7)$$

где f – коэффициент, зависящий от однородности и прочности грунта, заднего угла резания, степени затупления, размера и формы износа задних граней режущего инструмента (для грунтов III–IV категории – 0,15...0,3; для скальных и мерзлых грунтов – 0,3...0,6) [6, 7].

Боковая составляющая R_y рассчитывается по формуле [18, 19]

$$R_y = \psi \times R_x, \quad (8)$$

где ψ – коэффициент, зависящий от однородности и прочности грунта, формы режущего периметра рабочего органа и его ориентации относительно забоя (0,1...0,3) [25, 26].

Учитывая, что траление производится, как правило, при прямолинейном движении РТС, боковую составляющую реакции грунта можно не учитывать. Однако при расчете бойкового трала, позволяющего траление при движении по криволинейной траектории, эту силу необходимо определять [27].

Таким образом, сила разрушения грунта P , с которой боек воздействует на грунт, должна быть не менее силы реакции грунта R , т.е. $P \geq R$.

Тогда крутящий момент $M_{ро}$, подводимый от двигателя рабочего органа к валу бойкового трала, определяется по формуле [17]

$$M_{ро} = M_{сопр} + M_{инерц} + M_{раз}, \quad (9)$$

где $M_{\text{сопр}}$ – момент сопротивления в подшипниках вала и возможного эксцентриситета вала с бойками, Н·м;

$M_{\text{инерц}}$ – момент инерции вращающихся масс бойкового трала, Н·м;

$M_{\text{раз}}$ – момент сопротивления разрушению грунта и ВОП, Н·м.

Подзадача определения мощностей приводящего двигателя рабочего органа и силовой установки. В свою очередь момент сопротивления в подшипниках вала и возможного эксцентриситета вала с бойками $M_{\text{сопр}}$ определяется по формуле (5)

$$M_{\text{сопр}} = m_{\text{ро}} \times g \times l_{\text{смещ}} + P_c \times \mu_{\text{подш}} \times r_{\text{ср}}, \quad (10)$$

где $m_{\text{ро}}$ – масса бойкового вала с бойками, кг;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

$l_{\text{смещ}}$ – эксцентриситет бойкового вала, м;

$\mu_{\text{подш}}$ – коэффициент трения качения в подшипниках вала, ед;

$r_{\text{ср}}$ – средний радиус вращения центра масс бойка с цепью, м. При расчетах можно принять равной $0,66 \times r$.

Момент инерции вращающихся масс бойкового трала $M_{\text{инерц}}$ будет определяться по формуле [17]

$$M_{\text{инерц}} = J_{\text{ро}} \times \varepsilon + \sum m_i \times j \times r_i, \quad (11)$$

где $J_{\text{ро}}$ – момент инерции вала, цепей и бойков, кг·м²;

m_i и r_i – масса и радиус вращения центра масс i -го бойка с цепью, кг, м.

Наибольший вклад в величину подводимого к валу крутящему моменту $M_{\text{ро}}$ вносит момент сопротивления разрушению грунта и ВОП $M_{\text{раз}}$, который определяется по формуле

$$M_{\text{раз}} = R \times r. \quad (12)$$

Зная требуемую угловую скорость вращения вала (в современных бойковых тралах составляет от 600 до 1000 об/мин) можно определить необходимую мощность приводного двигателя (или двигателей) рабочего оборудования $N_{\text{ро}}$ робототехнических средств для гуманитарного разминирования. Мощность $N_{\text{ро}}$ определяется по формуле

$$N_{\text{ро}} = M_{\text{ро}} \times \omega. \quad (13)$$

Суммарная мощность силовой установки робототехнического средства $N_{\text{рмс}}$ будет определяться по формуле

$$N_{\text{рмс}} = N_{\text{ро}} + N_{\text{дв}}, \quad (14)$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность, необходимая для движения РТС, Вт. Порядок расчета приведен в работе [28].

Заключение. Опыт проведения в МЧС России опытной эксплуатации самоходного гусеничного комплекса для проведения разминирования на дистанционном управлении МТ-2 (производитель ООО «ДСТ-Урал») и робототехнического комплекса гуманитарного разминирования «Шмель» (производитель АО «Ковровский электромеханический завод») показал, что основным недостатком представленных производителями образцов техники являлась недостаточная мощность силовой установки. Вследствие этого на испытаниях машины не обеспечивали траление грунта на необходимую глубину, качество траления оставалось на низком уровне. Замена силовой установки на МТ-2 на более мощную позволило достичь требуемой эффективности траления, машина успешно прошла все испытания и была принята на снабжение МЧС России. Таким образом, использование производителями робототехнических средств гуманитарного разминирования приведенной в статье методики расчета, позволяющей определить общую мощность силовой установки робототехнического средства, предназначенного для гуманитарного разминирования, позволит им избежать ошибок при их проектировании, экономит время и финансы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов К.Ю., Сероштанов А.В., Лопатин Д.С. Опыт применения наземных робототехнических комплексов в ФГКУ ЦСООР «Лидер» // Применение робототехнических комплексов специального назначения: Сб. трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 20-24.
2. Полевой Е.В., Найденов Д.С., Гудошников А.А., Лопатин Д.С. Анализ современного состояния группировки робототехнических комплексов МЧС России // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 4 (51). – С. 43-53.
3. Спицин Д.В., Лагутина А.В. Перспективы применения робототехнических комплексов при проведении работ, связанных с поиском и обезвреживанием взрывоопасных предметов // III Научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности "RoboEmercom": Сб. материалов конференции. – М., 2023. – С. 195-198.
4. Habib M., Baudoin Y. Mechanical mine clearance: Development, applicability and difficulties. – Published, 2011. – Engineering, Environmental Science.
5. Habib M. Humanitarian demining: Difficulties, needs and the prospect of technology // Published in IEEE International Conference. 1 August 2008. – Engineering, Environmental Science.
6. Васильев В.Л. Гуманитарное разминирование основные проблемы и уроки // Гуманитарные операции при чрезвычайных ситуациях и в вооруженных конфликтах: Седьмая всероссийская научно-практическая конференция: Доклады и выступления. Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России. – 2002. – С. 129-141.
7. Мошков В.Б., Баранник А.Ю. Перспективы развития системы робототехники МЧС России в интересах повышения эффективности ведения аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. Спецвыпуск. – 2021. – С. 124-126.
8. Алехин М.В., Петросян А.Е., Шаховцев К.В. Мобильные платформы для разминирования // Актуальные вопросы и основы международного сотрудничества в сфере высоких технологий: Сб. статей по итогам Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 4-5.
9. Назарова М.С., Захаров А.Е. Робототехнические средства разминирования и расснаряжения взрывных устройств // Образование. Культура. Общество: Сб. статей LXXI Международной научной конференции. – СПб., 2023. – С. 60-64.
10. Белов А.А., Меньк А.Р., Покрышкин А.Б. Развитие отечественных минных тралов. Современные средства разминирования // Наука ЮУрГУ: Матер. 71-й научной конференции. Южно-Уральский государственный университет. – 2019. – С. 546-555.
11. Trar Theimer. Summary Report 910 Mechanical Clearance Device James Madison University.
12. YOUR SOLUTION FOR DEMINING & COUNTER-IED docs.tuyap.online:FDOCS/23577.pdf.
13. Jane's Military Vehicles and Logistics 2007-2008. – 28th ed., Coulsdon, Surrey, UK.
14. Essers M.S., Vaneker T.N.J. Developing Concepts for Improved Efficiency of Robot Work Preparation // Proceedings CIRP. – 2013. – Vol. 7. – P. 515-520. – DOI.org/10.1016/j.procir.2013.06.025.
15. Beloglazov D., Pereverzev V., Soloviev V., Pshikhov V., Morozov R. Method of Formation of Quantitative Indicators of Complexity of the Environment by a Group of Autonomous Mobile Robots // Journal of Robotics. – 2020. – No. 3. – P. 1-14. – DOI: 10.1155/2020/6874291.
16. Altshuler H., Wagner I.V., Bruckstein F.M. With caution-decreasing a swarm robotics' efficiency by imprudently enhancing the robots' capabilities // IEEE Xplore Conference: Autonomous Robots and Agents. – 2009. – DOI: 10.1109/ICARA.2000.4804014.
17. Elshamy W. Adaptive Control in Swarm Robotics Computer Science. – 2021. – <https://www.semanticscholar.org/paper/Adaptive-Control-in-Swarm-Robotics-Elshamy/b112317012d4380a0311276936ddefd7c8cddd16>.
18. Tomokie Burton, Kushwaha R. Development of a Mechanical Device for Landmine Neutralization. – Published, 2006. – Engineering, Environmental Science.
19. Griffiths Alexander, Kaminsky Leonard. Mechanical Application in Demining: Modernising Clearance Methods. – Published, 2003. – Engineering Journal of Conventional Weapons Destruction.
20. Rubinstein D., Wolf D. De-mining device based on chain impact. – Published, 1999. – Engineering Transactions of the ASABE.
21. Калинин В.П., Зармаев А.А. Устройство для разминирования территорий принудительным подрывом мин в гуманитарных целях // Вестник Академии наук Чеченской Республики. – 2012. – № 1 (16). – С. 65-75.
22. Наумов В.Н., Машков К.Ю., Носков С.С., Борисов А.В., Васильев В.А. Выбор и оценка системы энергообеспечения мобильных роботов: учеб. пособие. – Новогорск: АГЗ МЧС России, 2003. – 52 с.
23. Носков С.С., Гудошников А.А., Рыбина А.В. Расчет комбинированного источника электрической энергии мобильного робототехнического средства специального назначения // Применение робототехнических комплексов специального назначения: Сб. трудов XXXIII Международной научно-практической конференции. – Химки, 2023. – С. 49-55.

24. Vinkovic N., Stojkovic V., Mikulic D. Design of Flail for Soil Treatment // 5th DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries. – University of Rijeka, Rijeka, 2006.
25. Домбровский Н.Г. и др. Строительные машины: учебник для вузов по спец. «Строит. и дор. машины и оборудование»: В 2 ч. Ч. 1. – М.: Машиностроение, 1985. – 391 с.
26. Домбровский Н.Г. и др. Строительные машины: учебник для вузов по спец. «Строит. и дор. машины и оборудование»: В 2 ч. Ч. 2. – М.: Высшая школа, 1985. – 224 с.
27. YASA P400 R Series. – URL: <https://www.yasa.com/products/yasa-p400/> (дата обращения: 18.11.2023).
28. Green W.E. The case for the flail: Mechanical Landmine Clearance for the Humanitarian Application A Manufacturer's View // Engineering, Political Science Journal of Conventional Weapons Destruction. – 1999.

REFERENCES

1. Danilov K.Yu., Ceroshtanov A.V., Lopatin D.S. Opyt primeneniya nazemnykh robototekhnicheskikh kompleksov v FGKU TSSOOR «Lider» [Experience with the use of ground robotic systems in FGKU ZCOOR the "LEADER"], *Primenenie robototekhnicheskikh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya: Sb. trudov KHKHVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The use of special-purpose robotic systems. Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference], 2018, pp. 20-24.
2. Polevoy E.V., Naydenov D.S., Gudoshnikov A.A., Lopatin D.S. Analiz sovremennogo sostoyaniya gruppировки robototekhnicheskikh kompleksov MCHS Rossii [Analysis of the current state of the group of robotic complexes of the Emercom of Russia], *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity* [Scientific and educational problems of civil protection], 2021, No. 4 (51), pp. 43-53.
3. Spitsin D.V., Lagutina A.V. Perspektivy primeneniya robototekhnicheskikh kompleksov pri provedenii работ, svyazannykh s poiskom i obezvrezhivaniem vzryvoopasnykh predmetov [Prospects for the use of robotic complexes in carrying out work related to the search and neutralization of explosive objects], *III Nauchno-prakticheskaya konferentsiya po razvitiyu robototekhniki v oblasti obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti "RoboEmercom": Sb. materialov konferentsii* [III Scientific and practical Conference on the development of robotics in the field of life safety "RoboEmercom": Collection of conference materials]. Moscow, 2023, pp. 195-198.
4. Habib M., Baudoin Y. Mechanical mine clearance: Development, applicability and difficulties. Published, 2011. Engineering, Environmental Science.
5. Habib M. Humanitarian demining: Difficulties, needs and the prospect of technology, *Published in IEEE International Conference. 1 August 2008*. Engineering, Environmental Science.
6. Vasil'ev V.L. Gumanitarnoe razminirovanie osnovnye problemy i uroki [Humanitarian demining main problems and lessons], *Gumanitarnye operatsii pri chrezvychaynykh situatsiyakh i v vooruzhennykh konfliktakh: Sed'maya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: Doklady i vystupleniya. Tsentr strategicheskikh issledovaniy grazhdanskoy zashchity MChS Rossii* [Humanitarian operations in emergency situations and in armed conflicts. The seventh All-Russian Scientific and Practical conference: Reports and speeches. The Center for Strategic Studies of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia], 2002, pp. 129-141.
7. Moshkov V.B., Barannik A.Yu. Perspektivy razvitiya sistemy robototekhniki MChS Rossii v interesakh povysheniya effektivnosti vedeniya avariyno-spatel'nykh работ [Prospects for the development of the robotics system of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the interests of improving the efficiency of emergency rescue operations], *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti. Spetsvyпуск* [Technologies of civil safety. Special issue], 2021, pp. 124-126.
8. Alekhin M.V., Petrosyan A.E., Shakhovtsev K.V. Mobil'nye platformy dlya razminirovaniya [Mobile platforms for mine clearance], *Aktual'nye voprosy i osnovy mezhdunarodnogo sotrudnichestva v sfere vysokikh tekhnologiy: Sb. statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current issues and fundamentals of international cooperation in the field of high technologies: Collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference – 2017], 2017, pp. 4-5.
9. Nazarova M.S., Zakharov A.E. Robototekhnicheskie sredstva razminirovaniya i rassnaryazheniya vzryvnykh ustroystv [Robotic means of mine clearance and discharge of explosive devices], *Obrazovanie. Kul'tura. Obshchestvo: Sb. statey LXXI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Education. Culture. Society. Collection of articles of the LXXI International Scientific Conference]. Saint Petersburg, 2023, pp. 60-64.

10. Belov A.A., Men'k A.R., Pokryshkin A.B. Razvitie otechestvennykh minnykh tralov. Sovremennye sredstva razminirovaniya [Development of domestic minesweepers. modern means of mine clearance], *Nauka YuUrGU: Mater. 71-y nauchnoy konferentsii. Yuzhno-Ural'skiy gosudarstvennyy universitet* [SUSU Science. materials of the 71st scientific conference. South Ural State University], 2019, pp. 546-555.
11. Trar Theimer. Summary Report 910 Mechanical Clearance Device James Madison University.
12. YOUR SOLUTION FOR DEMINING & COUNTER-IED docs.tuyap.online\FDOCS/23577.pdf.
13. Jane's Military Vehicles and Logistics 2007-2008. 28th ed., Coulsdon, Surrey, UK.
14. Essers M.S., Vaneker T.N.J. Developing Concepts for Improved Efficiency of Robot Work Preparation, *Proceedings CIRP*, 2013, Vol. 7, pp. 515-520. DOI.org/10.1016/j.procir.2013.06.025.
15. Beloglazov D., Pereverzev V., Soloviev V., Pshikhopov V., Morozov R. Method of Formation of Quantitative Indicators of Complexity of the Environment by a Group of Autonomous Mobile Robots, *Journal of Robotics*, 2020, No. 3, pp. 1-14. DOI: 10.1155/2020/6874291.
16. Altshuler H., Wagner I.V., Bruckstein F.M. With caution-decreasing a swarm robotics' efficiency by imprudently enhancing the robots' capabilities, *IEEE Xplore Conference: Autonomous Robots and Agents*, 2009. DOI: 10.1109/ICARA.2009.4804014.
17. Elshamy W. Adaptive Control in Swarm Robotics Computer Science, 2021. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Adaptive-Control-in-Swarm-Robotics-Elshamy/b112317012d4380a0311276936ddefd7c8cddd16>.
18. Tomokie Burton, Kushwaha R. Development of a Mechanical Device for Landmine Neutralization. Published, 2006. Engineering, Environmental Science.
19. Griffiths Alexander, Kaminsky Leonard. Mechanical Application in Demining: Modernising Clearance Methods. Published, 2003. Engineering Journal of Conventional Weapons Destruction.
20. Rubinstein D., Wolf D. De-mining device based on chain impact. Published, 1999. Engineering Transactions of the ASABE.
21. Kalinichenko V.P., Zarmaev A.A. Ustroystvo dlya razminirovaniya territoriy prinuditel'nyy podryvom min v gumanitarnykh tselyakh [A device for demining territories by forcibly detonating mines for humanitarian purposes], *Vestnik Akademii nauk Chechenskoy Respubliki* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic], 2012, No. 1 (16), pp. 65-75.
22. Naumov V.N., Mashkov K.YU., Noskov S.S., Borisov A.V., Vas'kov V.A. Vybory i otsenka sistemy energoobespecheniya mobil'nykh robotov: ucheb. posobie [Selection and evaluation of the energy supply system for mobile robots: a textbook]. Novogorsk: AGZ MCHS Rossii, 2003, 52 p.
23. Noskov S.S., Gudoshnikov A.A., Rybina A.V. Raschet kombinirovannogo istochnika elektricheskoy energii mobil'nogo robototekhnicheskogo sredstva spetsial'nogo naznacheniya [Calculation of a combined electric power source of a mobile robotic device for special purposes], *Primenenie robototekhnicheskikh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya: Sb. trudov XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Application of robotic complexes for special purposes. Proceedings of the XXXIII International Scientific and Practical Conference]. Khimki, 2023, pp. 49-55.
24. Vinkovic N., Stojkovic V., Mikulic D. Design of Flail for Soil Treatment, *5th DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries*. University of Rijeka, Rijeka, 2006.
25. Dombrovskiy N.G. i dr. Stroitel'nye mashiny: uchebnyy dlya vuzov po spets. «Stroitel'nye mashiny i oborudovanie» [Construction machines: textbook for universities on the specialty "Builds furniture and road machinery and equipment"]: In 2 part. Part 1. Moscow: Mashinostroenie, 1985, 391 p.
26. Dombrovskiy N.G. i dr. Stroitel'nye mashiny: uchebnyy dlya vuzov po spets. «Stroitel'nye mashiny i oborudovanie» [Construction machines: textbook for universities specializing in "Construction and road machinery and equipment"]: In 2 part. Part 2. Moscow: Vysshaya shkola, 1985, 224 p.
27. YASA P400 R Series. Available at: <https://www.yasa.com/products/yasa-p400/> (accessed 18 November 2023).
28. Green W.E. The case for the flail: Mechanical Landmine Clearance for the Humanitarian Application A Manufacturer's View, *Engineering, Political Science Journal of Conventional Weapons Destruction*, 1999.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

Носков Сергей Семенович – Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий); e-mail: noskov@vniigochs.ru; г. Москва, Россия; тел.: 89175963163; к.т.н.; доцент; начальник научно-исследовательского центра развития технических средств и технологий.

Баранник Александр Юрьевич – e-mail: auba@yandex.ru; тел.: 89166951214; к.т.н.; с.н.с.; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра развития технических средств и технологий.

Лебедев Андрей Александрович – e-mail: lebedevaa@vniigochs.ru; тел.: 89055265177; к.в.н.; старший научный сотрудник научно-исследовательского центра развития технических средств и технологий.

Лагутина Анна Викторовна – e-mail: anya-lagutina@yandex.ru; тел.: 89057118834; старший научный сотрудник 6 научно-исследовательского центра «Развития технических средств и технологий».

Noskov Sergey Semenovich – All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia (Federal Science and High Technology Center); e-mail: noskov@vniigochs.ru; Moscow, Russia; phone: +79175963163; cand. of eng. sc.; assistant professor; head of the Research Center for the Development of Technical Means and Technologies.

Barannik Aleksandr Yurjevich – e-mail: auba@yandex.ru; phone: +79166951214; cand. of eng. sc.; senior researcher; leading researcher of the Research Center for the Development of Technical Means and Technologies.

Lebedev Andrej Aleksandrovich – e-mail: lebedevaa@vniigochs.ru; phone: +79055265177; cand. of mil. sc.; senior researcher of the Research Center for the Development of Technical Means and Technologies.

Lagutina Anna Viktorovna – e-mail: anya-lagutina@yandex.ru; phone: +790571188-34; senior researcher of the 6th Research Center Development of Technical Means and Technologies.