

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 631.171

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-47-54

EDN: EIPCDC

Научная статья

**Разработка проекта передвигного робота
для замены аккумуляторных батарей**

Р. А. Нотов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В условиях развития робототехники все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с обслуживанием роботов. Массовость их применения требует наличия большого количества обслуживающего персонала при необходимости минимизации в целом участия человека. Известно, что многие роботизированные устройства получают питание от различных типов аккумуляторных батарей (АКБ). Несмотря на определенные достижения науки в направлении увеличения времени работы АКБ, удельная энергоемкость современных источников питания, которыми оснащено большое количество робототехнических устройств, недостаточно высокая. Данное обстоятельство приводит к снижению производительности сельскохозяйственных и в принципе других промышленных роботов из-за потерь времени на зарядку источников их питания, а также к увеличению числа работников организации, задействованных для замены и зарядки АКБ. Использование передвигного робота для замены АКБ стационарных и подвижных машин, задействованных в сельскохозяйственном производстве, на таких работах, как опрыскивание растений, сбор урожая, посев и т.д., дает возможность увеличить их производительность за счет снижения простоев и свести к минимуму участие человека в технологическом процессе. Целью исследований является определение основных конструктивных параметров передвигного робота для замены АКБ стационарной и подвижной роботизированной техники. Исследования проводили в 2023 году на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук». При проектировании и разработке основных узлов передвигного робота для замены АКБ использовались существующие методы расчета и конструирования исполнительных, передаточных, уравновешивающих, направляющих и рабочих органов; методы расчета и конструирования модулей степеней подвижности, рабочих органов и исполнительных механизмов, а также программное обеспечение Compas 3D V19. С учетом габаритных размеров и веса применяемой АКБ Golden Motor определены размеры манипулятора и выполнен расчет его приводов.

Ключевые слова: сельскохозяйственная робототехника, посев, опрыскивание сельскохозяйственных культур, аккумуляторная батарея, робот-манипулятор, передвигной робот

Поступила 14.11.2023, одобрена после рецензирования 26.11.2023, принята к публикации 04.12.2023

Для цитирования. Нотов Р. А. Разработка проекта передвигного робота для замены аккумуляторных батарей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 47–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-47-54

Project development of a mobile robot to change accumulator batteries

R.A. Notov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Abstract. In the context of the development of robotics, issues related to the maintenance of these robots are becoming increasingly relevant. Since the mass nature of their use will require the presence of a large service staff, at the same time minimizing the participation of a person. It is known that various types of robotic devices are powered by accumulator batteries (AB). Despite certain scientific achievements in the direction of increasing the battery life, the specific energy intensity of modern power supplies, which a large number of robotic devices are equipped with, is not high enough. This circumstance leads, in particular for agricultural and, in principle, other industrial robots, to a decrease in the productivity of equipment due to the necessary loss of time to charge their power supplies, and leads to an increase in the number of employees of the organization involved in replacing and charging the battery of existing robots. The use of a mobile robot to replace the battery of stationary and mobile robots involved in agricultural production in such jobs as: spraying plants, harvesting, sowing, etc. makes it possible to increase the productivity of machines by reducing downtime and minimizing human participation in the technological process. The purpose of the research is to determine the main design parameters of a mobile robot to replace the battery of stationary and mobile robots. The research was carried out in 2023 on the basis of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences". When designing and developing the main components of a mobile robot to replace the battery, existing methods of calculation and design of executive, transmission, balancing, guiding and working bodies were used; methods of calculation and design of mobility degree modules, working bodies and executive mechanisms, as well as Compas 3D V19 software. Taking into account the overall dimensions and weight of the used Golden Motor battery, the dimensions of the manipulator were determined and its drives were calculated.

Keywords: agricultural robotics, sowing, spraying of crops, accumulator battery, robotic manipulator, mobile robot

Submitted 14.11.2023,

approved after reviewing 26.11.2023,

accepted for publication 04.12.2023

For citation. Notov R.A. Project development of a mobile robot to change accumulator batteries. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 47–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-47-54

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в настоящее время во всем мире во многих сферах человеческой жизнедеятельности широкое применение находят роботы, отличающиеся друг от друга управлением, позиционированием возможных перемещений, предназначением и способом передвижения. В частности, в сельском хозяйстве на сегодняшний день находят применение роботизированные устройства, предназначенные для опрыскивания растений, посева сельскохозяйственных культур, выпаса животных, сбора урожая, взятия почвенных образцов, мониторинга состояния растений и др.

Внедрение роботов в агропромышленный комплекс на базе массового использования различных роботизированных устройств является неоспоримым условием для совершенствования больших сельскохозяйственных компаний [1].

Переоснащение сельскохозяйственных компаний роботизированной техникой, несомненно, приведет к росту производительности труда, безвредности условий работы, улучшению качества производимой продукции [2].

Например, беспилотные летательные аппараты используются для контроля над многолетними плодовыми растениями, обработки пестицидами, наблюдения за посевами, составления карт сельхозугодий, обследования труднодоступных полей и т.д. [3]. Применение беспилотных летательных аппаратов имеет множество неоспоримых преимуществ, таких как: экономия времени и денег, точность обработки сельхозугодий, возможность применения в ночное время и др. [4]. Но у них есть и некоторые недостатки, характерные для всех роботизированных устройств, получающих питание от АКБ, – это невысокая удельная энергоемкость современных источников питания, которыми они оснащены. Существует значительное количество разных видов источников энергии, которые непрерывно дополняются вновь производимыми, и у каждого из них есть свои достоинства и недостатки [5–7]. Однако несмотря на существенные достижения науки в данном направлении, возникает необходимость в частой подзарядке АКБ, что требует определенного времени и участия человека, либо же их замены специально для этого предназначенным передвижным роботом. Необходимостью в разработке подобного унифицированного обслуживающего робота, минимизирующего наличие рабочего персонала, и обусловлена актуальность данной статьи.

Цель исследований – определение основных конструктивных параметров передвижного робота для замены АКБ стационарных и подвижных роботов различного назначения, в которых в качестве источника питания используются АКБ Golden Motor.

Задачей данного исследования является выбор приводов и кинематической схемы манипулятора передвижного робота для замены АКБ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2023 г. на базе ФГБНУ «ФНЦ «КБНЦ РАН». При проектировании и разработке основных узлов и деталей передвижного робота для замены АКБ стационарных и подвижных роботов использовались существующие методы расчета и конструирования исполнительных, передаточных, уравнивающих, направляющих и рабочих органов; методы расчета и конструирования модулей степеней подвижности, рабочих органов и исполнительных механизмов [8], а также программное обеспечение Comras 3D V19.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предлагаемый передвижной робот предназначен для замены АКБ стационарных и подвижных сельскохозяйственных роботов без их отрыва от основных функций, что позволит увеличить выработку обслуживаемых машин и минимизировать количество рабочего персонала.

Передвижной робот (рис. 1) состоит из рамы (2), на которой установлены четыре мотор-колеса (1).

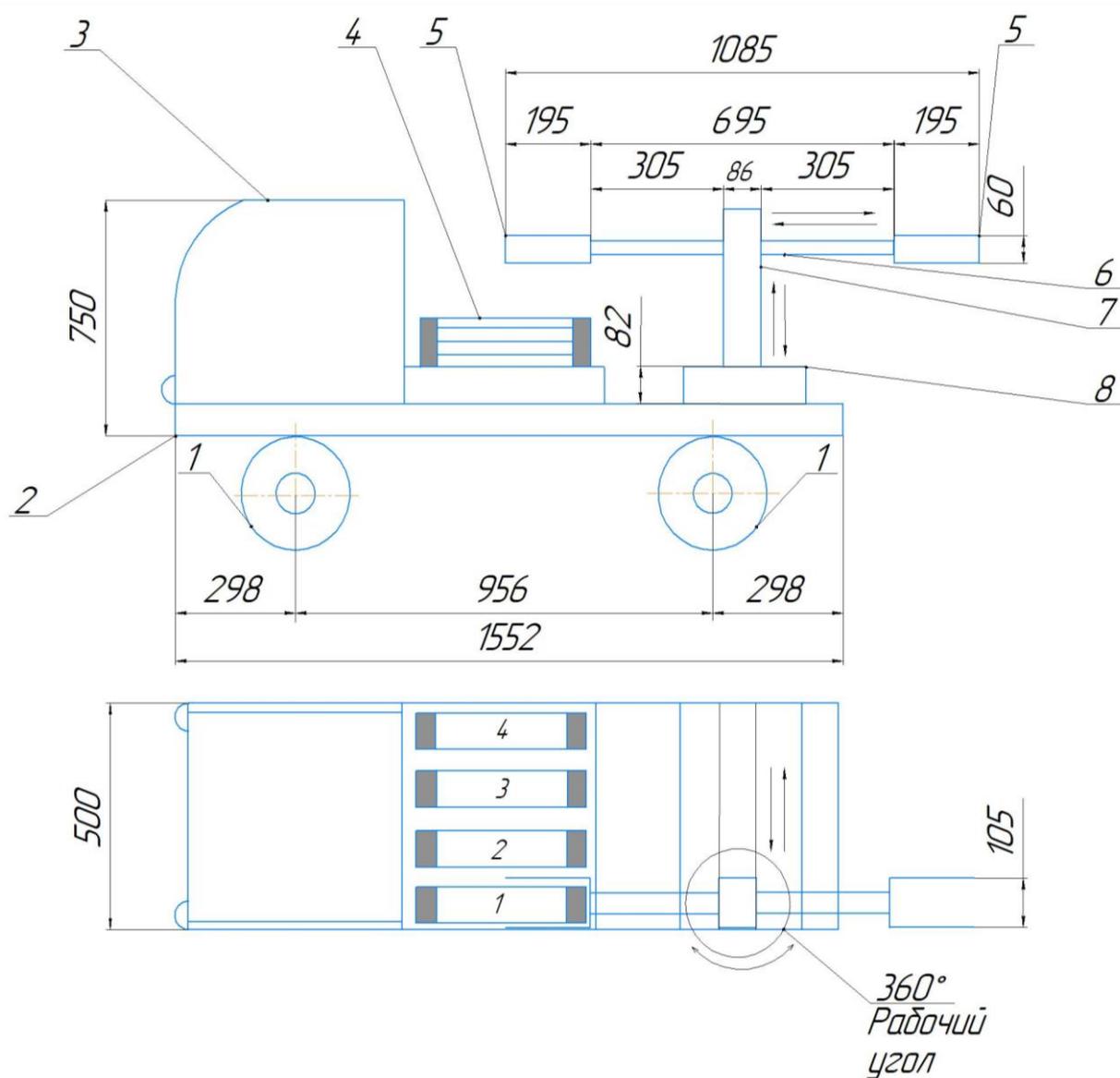


Рис. 1. Общий вид передвижного робота

Fig. 1. General view of the mobile robot

Примечание. 1 – мотор-колесо; 2 – рама; 3 – блок управления; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – схват; 6 – плечо; 7 – стойка; 8 – основание.

В передней части рамы находится блок управления (3), в котором размещены АКБ для питания всех узлов передвижного робота и необходимые электронные компоненты. В средней части рамы имеется площадка для АКБ (4), зарядка которых происходит постоянно от основного источника питания передвижного робота, находящегося в блоке управления (3). В задней части рамы монтируется манипулятор, имеющий пять степеней свободы и включающий основание (8), стойку (7), плечо (6) и два схвата (5), предназначенных для захвата АКБ. Кинематическая схема манипулятора показана на рисунке 2. 3D-модель и вид спереди схвата манипулятора показаны на рисунках 3 и 4.

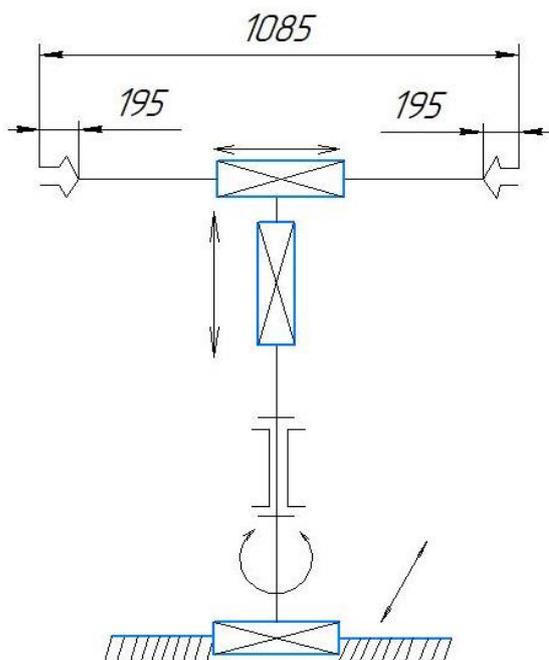


Рис. 2. Схема кинематическая манипулятора передвижного робота

Fig. 2. Kinematic diagram of a mobile robot manipulator

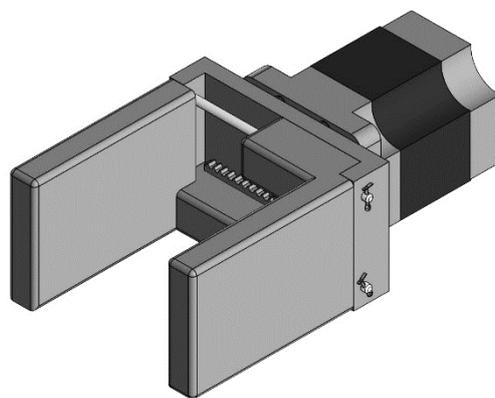


Рис. 3. Схват манипулятора с приводом

Fig. 3. Powered manipulator grip

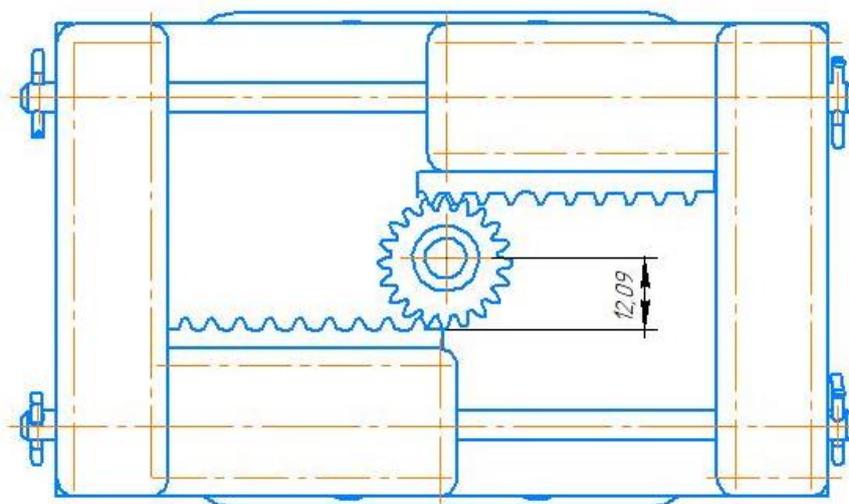


Рис. 4. Вид спереди схвата манипулятора

Fig. 4. Front view of the manipulator gripper

Основными критериями, по которым были определены габаритные размеры передвижного робота для замены АКБ, являются: размеры и масса объекта манипулирования – АКБ Golden Motor, используемая в качестве источника питания роботизированной техники различного назначения, система координат и необходимое число степеней подвижности исходя из требуемой траектории перемещения манипулятора.

Принцип работы передвижного робота следующий. Во время выполнения сельскохозяйственным роботом своих функций при снижении уровня заряда его АКБ ниже установленной отметки сообщение об этом поступает на передвижной робот, после этого он

выезжает к источнику сигнала с целью замены его АКБ. С помощью датчиков происходит сближение двух машин на расстояние, позволяющее выполнить задачу. Изначально манипулятор находится в верхнем положении над АКБ под номером 1. Из этого положения манипулятор перемещается вниз, затем вправо в сторону сельскохозяйственного робота. Далее смыкается схват, захватывающий разряженную АКБ сельскохозяйственного робота. После чего манипулятор перемещается в левую сторону, и смыкается второй схват, захватывающий заряженную АКБ. Затем манипулятор поднимается вверх, поворачивается на 180^0 и опускается вниз. Схват, удерживающий разряженную АКБ, размыкается, манипулятор перемещается в сторону сельскохозяйственного робота и, установив заряженную АКБ, второй схват размыкается, после чего манипулятор возвращается в исходное положение. Сельскохозяйственный робот продолжает выполнение своих основных функций, передвижной робот приступает к обработке следующего сигнала либо находится в режиме ожидания.

Критериями выбора шаговых двигателей являются крутящий момент на выходном валу, мощность и геометрические параметры.

Для расчета крутящего момента на валу шагового двигателя, необходимого для перемещения манипулятора по горизонтали, в поперечном направлении относительно рамы передвижного робота нужно определить вес, который будет перемещаться данным двигателем. Учитывая массу 1-й АКБ Golden Motor, равную 6 кг, материал изготовления деталей манипулятора (полимерные материалы) и его размеры, принимаем вес, равный 15 кг:

$$M = F \cdot I \cdot k, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1)$$

где F – нагрузка, Н; $F = 15 \cdot 9,8 = 147$ Н; I – расстояние от оси вала до зубчатой рейки, м; k – коэффициент трения, 0,4.

$$M = 147 \cdot 0,05 \cdot 0,4 = 2,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем шаговый двигатель серии NEMA 23 3.0Nm с крутящим моментом 3,0 Н·м.

Определяем мощность на выходном валу привода для вращения стойки 7 манипулятора на 360^0 :

$$P_{\text{вых}} = T_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}}, \text{ кВт},$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность на выходном валу привода; $T_{\text{вых}}$ – момент на выходном валу привода; $\omega_{\text{вых}}$ – угловая скорость на выходном валу привода, с^{-1} .

Момент на выходном валу привода стойки 7 манипулятора рассчитываем по формуле

$$T_{\text{вых}} = F_t \cdot R,$$

где F_t – тяговое усилие, Н; R – радиус стойки манипулятора, м.

$$F_t = t \cdot F_n,$$

где t – коэффициент трения, $t = 0,4$; F_n – нагрузка, кг.

$$F_n = m \cdot g,$$

где $m = 14,3$ кг,

$$F_n = 14,3 \cdot 9,8 = 140,1 \text{ Н},$$

$$F_t = 0,4 \cdot 140,1 = 56 \text{ Н}.$$

Угловую скорость на выходном валу привода можно рассчитать по формуле

$$\omega_{\text{вых}} = \pi \cdot \frac{n}{30},$$

где n – частота вращения; $n = 15,9$ об/мин.

Подставляя данные, получим угловую скорость на выходном валу привода:

$$\omega_{\text{вых}} = 3,14 \cdot \frac{15,9}{30} = 1,7 \text{ с}^{-1}.$$

Подставляя данные, получаем значение момента на выходном валу привода:

$$T_{\text{вых}} = 56 \cdot 0,05 = 2,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем выходную мощность на валу привода:

$$P_{\text{вых}} = 2,8 \cdot 1,7 = 4,8 \text{ Вт}.$$

По полученным значениям крутящего момента и мощности выбираем шаговый двигатель серии NEMA 34.

Расчет привода для перемещения плеча б манипулятора по горизонтали выполняем по формуле (1):

$$M = 98 \cdot 0,025 \cdot 0,4 = 0,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем шаговый двигатель с крутящим моментом 1,1 Н·м Nema 23 57HS56-3004A-8x2x1000.

Определение необходимого усилия схватов манипулятора выполняем по формуле

$$F = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot m \cdot g, \text{ Н},$$

где m – масса удерживаемого объекта, кг; $m = 6$ кг; K_1 – коэффициент запаса, зависящий от условия применения робота, обычно $K_1 = 1,2 \dots 2,0$; K_2 – коэффициент, зависящий от максимального ускорения, с которым робот перемещает деталь; K_3 – коэффициент передачи, 0,5.

$$K_2 = 1 + \left(\frac{a}{g}\right),$$

где a – ускорение, $a = 5 \text{ м/с}^2$.

$$K_2 = 1 + \left(\frac{5}{9,8}\right) = 1,5,$$

$$F = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 9,8 = 66,2 \text{ Н}.$$

Полученное значение умножаем на расстояние от оси вала до зубчатой рейки схвата – 0,012 м:

$$M = 66,2 \cdot 0,012 = 0,79 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По полученному значению крутящего момента подбираем шаговый двигатель Stepline SL86STH65-5904A для привода схвата.

Выводы

Предложена конструкция передвижного робота с манипулятором для замены АКБ стационарных и подвижных роботизированных устройств. Определены его габаритные размеры с учетом размеров и массы АКБ Golden Motor, используемой в качестве источника энергии в роботизированных машинах. Выбрана кинематическая схема манипулятора. Выполнен расчет его приводов. Определены значения крутящего момента на валу шагового двигателя, необходимого для перемещения манипулятора по горизонтали, на выходном валу привода для вращения стойки манипулятора на 360° , для перемещения плеча манипулятора по горизонтали и необходимого усилия схватов манипулятора. По полученным расчетным значениям подобраны необходимые шаговые двигатели.

REFERENCES

1. Шевченко А. В., Мещеряков Р. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника // Проблемы управления. 2019. № 5. С. 3–18.
Shevchenko A.V., Meshcheryakov R.V., Migachev A.N. Review of the state of the world market of robotics for agriculture. Part 1. Unmanned agricultural machinery. *Problemy upravleniya* [Problems of management]. 2019. No. 5. Pp. 3–18. (In Russian)
2. Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып. 3. С. 1014–1028.
Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. Transition of agriculture to digital, intelligent and robotic technologies. *Ekonomika regiona* [The economy of the region]. 2018. Vol. 14. Issue 3. Pp. 1014–1028. (In Russian)
3. Shevchenko A.V., Meshcheryakov R.V., Migachev A.N. Overview of the state of the world market of robotics for agriculture. Part 2. Unmanned aerial vehicles and robotic farms. *Problems of management*. 2019. No. 6. Pp. 3–10.
4. Priporov I.E., Bogdanov R.P., Alenin P.V., Aushev M.H. Prospects for the introduction of unmanned aerial vehicles in agriculture for chemical processing of plants. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2023. No. 3(101). Pp. 191–195.
5. Townsend A., Jiya I.N., Martinson C. et al. A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements. *Heliyon*. 2020. Vol. 6. e05285. [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)32128-9.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)32128-9.pdf)
6. Bresser D., Hosoi K., Howell D. et al. Perspectives of automotive battery R&D in China, Germany, Japan, and the USA. *Journal of Power Sources*. 2018. V. 382. Pp. 176–178.
7. Franco A.A. Rechargeable Lithium Batteries. From Fundamentals to Applications. 2015. P. 412.
8. Егоров О. Д. Механика и конструирование роботов: учебное пособие. Москва: Станкин, 1997. 510 с.
Egorov O.D. *Mekhanika i konstruirovaniye robotov* [Mechanics and design of robots]: a textbook. Moscow: MGTU "Stankin", 1997. 510 p. (In Russian)

Информация об авторе

Нотов Руслан Адальбиевич, канд. техн. наук, науч. сотр. отдела «Модели и методы развития и внедрения инновационных проектов» Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
notovr@inbox.ru

Information about the author

Notov Ruslan Adalbievich, Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Department of Models and Methods of Development and implementation of Innovative projects, Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;
notovr@inbox.ru