

БИОНИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ СРЕДЫ И СОЗДАННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Л.Ф. Бабицкий

kaf-meh@rambler.ru

В.Ю. Москалевич

v_moskalevich@mail.ru

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрено развитие нового бионического направления в сельскохозяйственном машиностроении. Цель работы — разработка методики и технических средств определения деформационного показателя почвы как новой характеристики ее физико-механических свойств, которая позволяет осуществлять непосредственный переход от деформационных свойств обрабатываемых материалов к форме рабочих поверхностей машин, создаваемых по подобию живых организмов-землероев. Деформационный показатель почвы представляет собой площадь деформатора, приходящуюся на единицу критического давления на почву. Указанный показатель при описании поведения почвы в процессе деформирования предлагается использовать в реологических моделях. Методика определения деформационного показателя почвы предусматривает плавное вдавливание в почву или грунт полушарового наконечника с одновременной фиксацией глубины его погружения в почву и силы, необходимой для внедрения на эту глубину. Регистрация этих параметров возможна как на бумажном носителе в виде диаграммы, так и на электронном в цифровом виде. Рассмотрено устройство для определения деформационного показателя почвы, включающее в себя лабораторную установку с гидравлическим приводом, установку на базе микроскопа для бионических исследований и прибор для работы в полевых условиях

Ключевые слова

*Бионическая система,
деформационный показатель,
почва, реологическая модель,
измерительная установка*

Поступила 16.05.2022

Принята 11.01.2023

© Автор(ы), 2023

Введение. Задачи импортозамещения, возрастающие требования в области экологии и проблемы с обеспечением энергоносителями в сельскохозяйственном производстве требуют новых подходов к созданию и совершенствованию машин и орудий для сельского хозяйства [1]. В связи с этим развитие нового бионического направления в сельскохозяйственном машиностроении приобретает особую актуальность и практическую значимость [2].

Результаты анализа работ [3–5] и других работ школы мехатроники Чанчуньского технологического института и лаборатории бионической инженерии Министерства образования Цзилинского университета показывают, что применение бионических конструкций рабочих органов для рыхления почвы на основе изучения форм поверхностей роющих приспособлений животных приводит к значительному снижению тягового сопротивления.

Использование «решений» живой природы позволяет определять оптимальные принципы и параметры рабочих органов сельскохозяйственных машин на основе выработанных объектами живой природы закономерностей [6]. При этом следует учесть постулат общей теории систем о том, что организация системы биологического прототипа полностью определяет ее функционирование и характер взаимодействия с окружающей средой [7].

Проектируемые и создаваемые сельскохозяйственные машины не содержат живой энергии. В то же время биологические прототипы сельскохозяйственных машин и орудий, являясь живыми организмами, наделены живой энергией, которая реализуется при взаимодействии их «рабочих» органов с окружающей средой, также обладающей живой энергией. В результате взаимодействия этих полей живых энергий осуществляется обратная связь, которая направлена на совершенствование «исполнительных» органов живых организмов. Поскольку исполнительные механизмы сельскохозяйственных машин не могут обладать живой энергией с обратной связью, совершенствование существующих и создание новых сельскохозяйственных машин и рабочих органов к ним следует осуществлять на основе бионического моделирования их аналогов в живой природе. Неотъемлемая часть такой системы — творческая деятельность человека. Исходя из этих предпосылок, бионическую систему с создаваемыми машинами и орудиями в сельском хозяйстве можно представить так, как показано на рис. 1.

Согласно рисунку, для достижения человеком поставленной цели необходимо минимизировать затраты энергии за счет совершенствования форм и параметров рабочих органов по бионическому подобию.

Для нахождения оптимальных форм и параметров сельскохозяйственных машин по бионическому подобию необходимо определить эти закономерности для живых организмов и выполнить их аналитическое описание с подбором эмпирических формул и зависимостей. Определенные для живых организмов эмпирические зависимости должны быть положены в основу математического описания по нахождению оптимальных форм и параметров создаваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин.

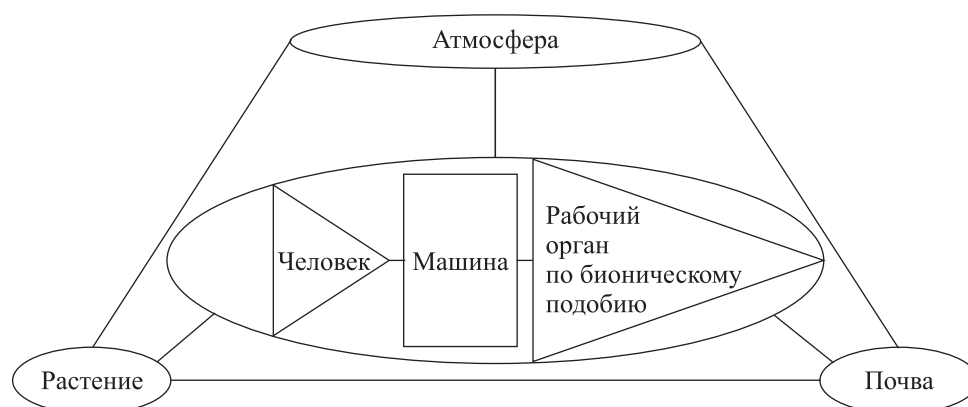


Рис. 1. Схема бионической системы

Деформационный показатель почвы и предлагаемая методика его определения. Бионическое моделирование в сельскохозяйственном машиностроении при теоретическом описании требует введения новых количественных характеристик свойств обрабатываемой среды и соответствующих приборов для их измерения. Так, в системе бионического подхода, представленной на рис. 1, для исследования поведения почвы при контактировании ее с поверхностью рабочего органа введена новая характеристика — деформационный показатель почвы, который представляет площадь деформатора, приходящуюся на единицу критического давления на почву. По аналогии с упругой постоянной для твердых тел [8] деформационный показатель почвы определяется зависимостью

$$\nu = \frac{2}{\pi E_d} (1 - \mu), \quad (1)$$

где E_d — модуль деформации почвы; μ — коэффициент бокового расширения почвы.

Отдельное определение модуля деформации [9, 10] и коэффициента бокового расширения [11, 12], согласно зависимости (1), вызывает опре-

деленные трудности. В связи с этим авторами настоящей статьи разработана методика, основанная на выражении

$$v = \frac{4\sqrt{[h(2R - h)]^3}}{3\pi PR}, \quad (2)$$

для непосредственного определения деформационного показателя почвы путем вдавливания в нее жесткого плунжера с полушаровым наконечником. В (2) h — глубина погружения наконечника в почву; R — радиус полушарового наконечника; P — максимальная сила вдавливания наконечника в почву на глубину h .

Методика определения деформационного показателя почвы предусматривает плавное вдавливание в почву или грунт полушарового наконечника, одновременно происходит фиксация глубины его погружения в почву и силы, необходимой для внедрения на эту глубину. Возможна регистрация указанных параметров на бумажный (диаграмма) или электронный (цифровой) носитель. В последнем случае процесс определения показателя может быть автоматизирован, что значительно сокращает время проведения исследований и повышает надежность полученных результатов.

Для определения деформационного показателя почвы по (2) предложено использовать лабораторную установку с гидравлическим приводом (рис. 2). Установка состоит из приводного (гидравлического) и исполнительного механизмов. Приводной механизм содержит распределитель 1, электродвигатель 2, гидронасос 3, золотник реверсивный 4, дроссель-

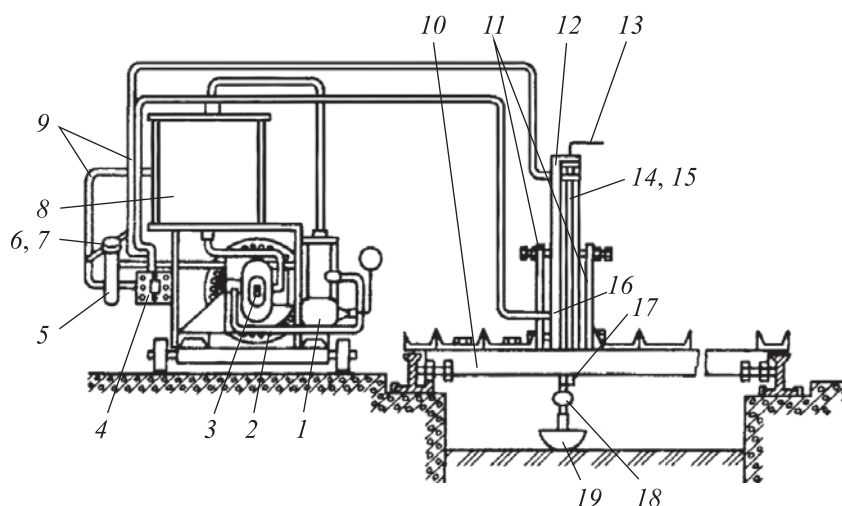


Рис. 2. Схема лабораторной установки с гидравлическим приводом

расходомер 5, магнитный пускатель 6, реле 7, масляный бак 8, гидроцилиндр 16, концевой выключатель 17, гидравлические шланги 9, соединяющие его с исполнительным механизмом. Исполнительный механизм состоит из передвижной опорной рамы 10 с установленными на ней градуированными секторами 11, рамки гидроцилиндра 12, вертикального штока с упором и рукояткой 13, датчиков перемещения 14, скорости 15 и силы 18, деформатора 19. В лабораторную установку также входит измерительная аппаратура.

Для исследования процесса внедрения роющих конечностей биологических прототипов в образцы почвы и нахождения связи возникающего при этом сопротивления с деформационным показателем почвы предложено применять установку для бионических исследований на базе микроскопа (рис. 3). Установка состоит из основания 1, на котором монтируется образец почвы 2, стойки 4, колеса 5, плунжера 6, датчиков перемещения 10 и силы 3, измерительной аппаратуры (усилитель 9, осциллограф 8, блок питания 7).

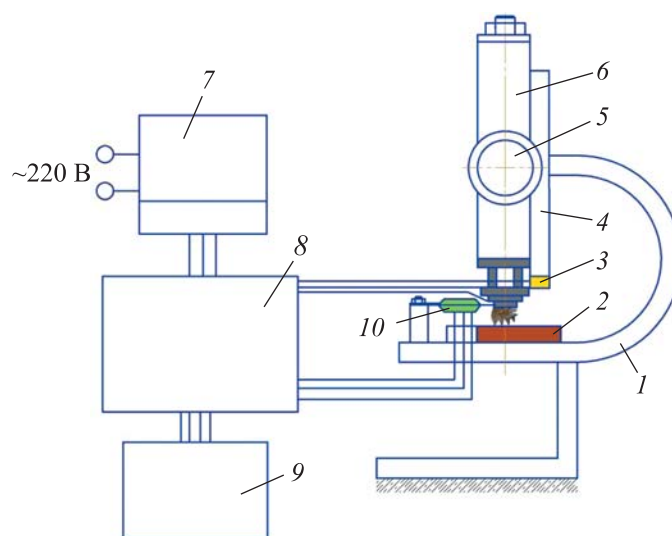


Рис. 3. Схема установки для бионических исследований на базе микроскопа

В целях определения деформационного показателя почвы и грунта в полевых условиях авторами предложен прибор без источника питания (рис. 4). Регистрирующая часть прибора основана на почвенном твердометре. Прибор имеет нижнее упорное основание 1 с двумя вертикальными штангами 4, которые служат направляющими для записывающего устройства 8. К одной из штанг прикреплена планка 9 для записи. Записывающее устройство через параллелограммный механизм 6 связано с динамомет-

рической пружиной 5, установленной на вертикальной телескопической штанге, к нижней части которой с использованием резьбового соединения 3 прикрепляются сменные наконечники 2. В верхней части телескопической штанги снабжена двумя рукоятками 7, с помощью которых создаваемое давление передается через телескопическую штангу наконечнику при погружении его в почву. В зависимости от особенностей исследуемой почвы на приборе можно устанавливать наконечники цилиндрической, конической, полушаровой, клиновидной и других форм различных размеров.

Деформационный показатель может быть использован для определения физико-механических свойств лунного грунта при обосновании параметров шасси луноходов. Для этого в существующем приборе оценки проходимости луноходов конический штамп должен быть заменен полушаровым с таким же диаметром 50 мм [13]. Установленные на приборе датчики позволяют фиксировать глубину внедрения полушарового штампа и соответствующую ей вертикальную силу вдавливания, приложенную к нему. При подстановке значений указанных величин в (2) определяется деформационный показатель лунного грунта, который может быть использован при обосновании параметров движителей луноходов.

Деформационный показатель почвы при описании ее поведения в процессе деформирования предлагается использовать в реологических моделях. Так, для тела Гука, в котором напряжения и деформации связаны линейным законом [14], уравнение состояния с учетом деформационного показателя почвы имеет вид

$$\sigma = \frac{2\varepsilon}{\pi\nu} (1 - \mu^2), \quad (3)$$

где σ — действующее напряжение; ε — относительная деформация.

При рытье почвы биологическими прототипами простейшая реологическая модель ее деформирования может быть представлена в виде упруговязкого тела Кельвина [15] (рис. 5).

Математическая модель, соответствующая реологической модели тела Кельвина с учетом деформационного показателя почвы, имеет вид

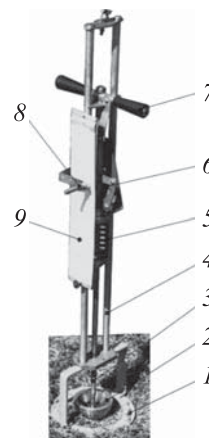


Рис. 4. Полевой прибор для определения деформационного показателя почвы и грунта

$$F = \frac{2\varepsilon}{\pi v} (1 - \mu^2) + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (4)$$

где F — сила сопротивления; η — коэффициент вязкости; t — время деформирования.

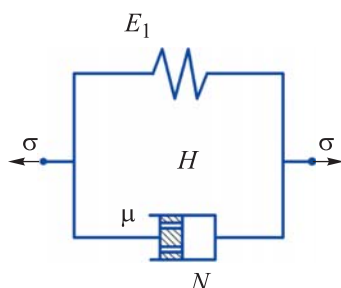


Рис. 5. Схема упруговязкой модели почвы

Решение уравнения (4) определяет выражение

$$\varepsilon = \frac{\pi F v}{2(1 - \mu^2)} \left[1 - \exp \left(- \frac{2(1 - \mu^2)t}{\pi \eta v} \right) \right]. \quad (5)$$

Составление реологической модели почвы с определением ее деформационного показателя позволяет на основе контактной задачи деформируемых сред провести аналитическое описание форм поверхностей исполнительных органов биологических прототипов как наиболее оптимальных и от них перейти к рациональным формам рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Заключение. Представленные устройства также позволяют определять за счет использования сменных наконечников, кроме деформационного показателя, предельное значение удельного сопротивления смятию и коэффициент объемного смятия почвы и грунта.

Уравнение (3) описывает поведение почвы в первой фазе внедрения в почву роющих конечностей биологических прототипов (медведки, жука-носорога, крота и др.).

Зависимость (5) позволяет исследовать закономерности деформирования почвы как упруговязкой среды при рытье проходов в почве роющими конечностями биологических прототипов.

Деформационный показатель, определяемый с использованием описанных установок и приборов, является основной характеристикой почвы и грунта при аналитическом описании их поведения под действием роющих конечностей биологических прототипов-землероев.

Использование свойств живой природы открывает новые возможности при разработке и проектировании сельскохозяйственных машин. Введение в теорию аналитического описания формы рабочих органов почвообрабатывающих машин, создаваемых на основе бионических сравнений, деформационного показателя как новой характеристики физико-механических свойств почвы и грунта, позволяет осуществлять непосредственный переход от деформационных свойств обрабатываемых материалов

к форме рабочих поверхностей машин. Деформационный показатель почвы и грунта определяется с использованием предлагаемых установок и приборов. Методика его определения применима в лабораторных и полевых условиях, а в перспективе может быть использована при изучении деформационных свойств лунного грунта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горшкова Н.В., Шкарупа Е.А., Елтонцев А.В. Импортозамещение в АПК: механизм реализации и перспективы развития. *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*, 2021, т. 23, № 3, с. 63–73.
DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2021.3.6>
- [2] Бабицкий Л.Ф., Куклин В.А., Москалевич В.Ю. Перспективы использования биосистемного подхода при создании противоэрозионных почвообрабатывающих машин для сохранения почвенного плодородия. *Lingvo-science*, 2020, № 29, с. 11–13.
- [3] Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools. *J. Mech. Eng.*, 2003, vol. 9, pp. 106–109.
- [4] Zhang Z., Wang X., Tong J., et al. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel. *Appl. Bionics Biomech.*, 2018, vol. 2018, art. 9806287.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9806287>
- [5] Yu H., Han Z., Zhang J., et al. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction. *Wear*, 2021, vol. 482–483, art. 203955.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203955>
- [6] Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 868, no. 1, art. 012007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/868/1/012007>
- [7] Афанасьев В.Г. Мир животных: системность, эволюция и управление. М., Политиздат, 1986.
- [8] Штаерман И.Я. Контактная задача в теории упругости. М., Л., Гостехиздат, 1949.
- [9] Whitlow R. Basic soil mechanics. Prentice Hall, 2000.
- [10] Terzaghi K., Peck R.B., Mesri G. Soil mechanics in engineering practice. Wiley, 1996.
- [11] Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. Киев, Феникс, 2008.
- [12] White I.L. Soil plasticity and strength — a new approach using extrusion. *Ground Eng.*, 1982, vol. 15, no. 1, pp. 16–20.
- [13] Черкасов И.И., Шварев В.В. Грунт луны. М., Наука, 1975.
- [14] Самуль В.Н. Основы теории упругости и пластичности. М., Высш. шк., 1982.
- [15] Рейнер М. Реология. М., Наука, 1965.

Бабицкий Леонид Федорович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (Российская Федерация, Республика Крым, 295007, Симферополь, пр-т академика Вернадского, д. 4).

Москалевич Вадим Юрьевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (Российская Федерация, Республика Крым, 295007, Симферополь, пр-т академика Вернадского, д. 4).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю. Бионическое направление разработки сельскохозяйственных машин с учетом свойств обрабатываемой среды и созданных приборов для определения ее характеристик. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2023, № 1 (142), с. 4–14.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-1-4-14>

**BIONICS IN THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MACHINES
TAKING INTO ACCOUNT THE PROCESSED MATERIAL
AND THE CREATED DEVICES PROPERTIES
IN DETERMINING CHARACTERISTICS**

L.F. Babitsky

kaf-meh@rambler.ru

V.Yu. Moskalevich

v_moskalevich@mail.ru

**V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol,
Republic of Crimea, Russian Federation**

Abstract

The paper considers development of the new area in agricultural engineering, i.e., bionics. The purpose of the work is to elaborate methodology and technical means for determining the soil deformation index as a new characteristic of its physical and mechanical properties, which makes it possible to pass directly from the processed materials deformation properties to the shape of the working surfaces of machines created in similarity to the living dorbeetle organisms. The soil deformation index is the deformer area per unit of critical pressure on the soil. When describing the soil behavior in the deformation process, the paper proposes to use this indicator in the rheological models. The method for determining the soil deformation index provides for a

Keywords

Bionic system, deformation index, soil, rheological model, measurement unit

smooth indentation of a hemispherical tip into the soil or earth with simultaneous fixation of its immersion depth into the soil and of the force required in penetrating to this depth. Registration of these parameters is possible both on paper in the form of a diagram and electronically in the digital form. A device for the soil deformation index determination is considered, it includes a laboratory unit with the hydraulic drive, a microscope-based unit for bionic research and a device for working in the field

Received 16.05.2022

Accepted 11.01.2023

© Author(s), 2023

REFERENCES

- [1] Gorshkova N.V., Shkarupa E.A., Eltonsev A.V. Import substitution in the agro-industrial complex: implementation mechanism and development prospects. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Journal of Volgograd State University. Economics], 2021, vol. 23, no. 3, pp. 63–73 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2021.3.6>
- [2] Babitsky L.F., Kuklin V.A., Moskalevich V.Yu. Prospects for using a biosystem approach in design of anti-erosion tillage machines for preservation of soil fertility. *Lingvo-Science*, 2020, no. 29, pp. 11–13 (in Russ.).
- [3] Guo Z., Zhou Z., Ren L. 2D finite element analysis for the cutting performance of bionic curved cutting tools. *J. Mech. Eng.*, 2003, vol. 9, pp. 106–109.
- [4] Zhang Z., Wang X., Tong J., et al. Innovative design and performance evaluation of bionic imprinting toothed wheel. *Appl. Bionics Biomech.*, 2018, vol. 2018, art. 9806287. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9806287>
- [5] Yu H., Han Z., Zhang J., et al. Bionic design of tools in cutting: reducing adhesion, abrasion or friction. *Wear*, 2021, vol. 482–483, art. 203955. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203955>
- [6] Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 868, no. 1, art. 012007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/868/1/012007>
- [7] Afanasyev V.G. *Mir zhivotnykh: sistemnost, evolyutsiya i upravlenie* [Animal world: consistency, evolution and management]. Moscow, Politizdat Publ., 1986.
- [8] Shtaerman I.Ya. *Kontaktная задача v teorii uprugosti* [Contact problem in elasticity theory]. Moscow, Leningrad, Gostekhizdat Publ., 1949.
- [9] Whitlow R. *Basic soil mechanics*. Prentice Hall, 2000.
- [10] Terzaghi K., Peck R.B., Mesri G. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley, 1996.
- [11] Panov I.M., Vetokhin V.I. *Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv* [Physical foundations of soil mechanics]. Kiev, Feniks Publ., 2008.

- [12] White I.L. Soil plasticity and strength — a new approach using extrusion. *Ground Eng.*, 1982, vol. 15, no. 1, pp. 16–20.
- [13] Cherkasov I.I., Shvarev V.V. *Grunt Luny* [Ground of the Moon]. Moscow, Nauka Publ., 1975.
- [14] Samul V.N. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982.
- [15] Reiner M. Rheology. In: Flügge, S. (eds). *Elasticity and Plasticity / Elastizität und Plastizität. Handbuch der Physik / Encyclopedia of Physics*, vol. 3/6. Berlin, Heidelberg, Springer, 1958, pp. 434–550. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-45887-3_4

Babitsky L.F. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Technical Systems in Agribusiness, Institution “Agrotechnological academy”, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (prospekt akademika Vernadskogo 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295007 Russian Federation).

Moskalevich V.Yu. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Technical Systems in Agribusiness, Institution “Agrotechnological academy”, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (prospekt akademika Vernadskogo 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295007 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Babitsky L.F., Moskalevich V.Yu. Bionics in the development of agricultural machines taking into account the processed material and the created devices properties in determining characteristics. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2023, no. 1 (142), pp. 4–14 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-1-4-14>