

УДК 573.6 : 595.76 : 631.316.022

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ ДЛЯ БИОНИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА В ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

О.В. Синчук, Д.Г. Жоров

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030,
г. Минск, Беларусь, aleh.sinchuk@gmail.com, dmitrii.zhorov.89@mail.ru*

Приводятся сведения о жесткокрылых насекомых, которые потенциально могут выступить в качестве бионического прототипа для решения инженерных задач в земледельческой механике. В качестве прототипов для проектирования стрелчатых лап культиваторов обсуждаются голени представителей Scarabaeidae, Geotrupidae и скульптура надкрыльев Carabidae. Выбор модельных участков в строении насекомых обусловлен их функциональным назначением и непосредственным взаимодействием с разлагающимся органическим субстратом и почвой. Проведенные исследования построены на принципах бионики.

Ключевые слова: бионика; земледельческая механика; инновационные решения; насекомые; модель.

PROSPECTS OF USING COLEOPTERA INSECTS FOR BIONIC DESIGN IN AGRICULTURAL MECHANICS

A. V. Sinchuk, D. G. Zhorov

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Belarus,
aleh.sinchuk@gmail.com, dmitrii.zhorov.89@mail.ru*

Information is given on Coleoptera insects that can potentially act as bionic prototypes for solving engineering problems in agricultural mechanics. The tibiae of representatives of Scarabaeidae, Geotrupidae and the sculpture of Carabidae elytra are discussed as prototypes for the design of lancet tines of cultivators. The choice of model areas in the structure of insects is conditioned by their functional purpose and direct interaction with decomposing organic substrate and soil. The conducted studies are based on the principles of bionics.

Keywords: bionics; agricultural mechanics; innovative solutions; insects; model.

Введение. Бионика относится числу междисциплинарных исследований, направленных на создание устойчивого мира, используя вдохновение из структуры, функций, процессов и механизмов организма, которые адаптировались к окружающей среде в результате эволюции [1].

Однако бионика не обязательно дает устойчивые результаты. Чтобы повысить вероятность получения экологического решения, специалисты должны учитывать форму, процесс и экосистемные уровни бионического дизайна [2]. Успех применения бионических подходов обусловлен тем, что природа потратила миллиарды лет на решение и уточнение многих проблем, с которыми мы, люди, сталкиваемся сегодня, и поэтому для нас вполне логично учиться на существующих у природы адаптациях для решения наших проблем устойчивого дизайна [3]. Основная идея бионики заключается в том, что объекты флоры и фауны уже решили многие практически значимые задачи, которые нам нужно только найти [4].

Бесконечное многообразие инновационных адаптаций в природе может быть использовано в качестве источника вдохновения для решения инженерных задач в земледельческой механике [5]. Использование принципов и методов бионики для обоснования рабочих процессов сельскохозяйственных машин и параметров их рабочих органов в системе «почва–растение–атмосфера» является одним из перспективных направлений в проектировании [6]. Важнейшим направлением совершенствования эксплуатационного уровня почвообрабатывающих машин является повышение ресурса их рабочих органов за счет упрочнения рабочих поверхностей на основе бионического подхода [7]. По результатам отечественных исследований в качестве бионических прототипов в земледельческой механике рассматриваются мандибулы черного садового муравья (*Lasius niger* (Linnaeus, 1758) [8, 9] и копательные щетинки муравьиного льва обыкновенного (*Myrmeleon formicarius* Linnaeus, 1767) [10].

Целью данного исследования являлось установление круга таксонов жесткокрылых насекомых, которые могут выступить в качестве бионического прототипа для проектирования поверхностей стрелчатых лап культиваторов.

Материалы и методы. Исследования проводились в период с 2021–2023 гг. на базе кафедры зоологии и кафедры ЮНЕСКО по естественно-научному образованию Белорусского государственного университета. В качестве бионических прототипов рассмотрены голени представителей Scarabaeidae и скульптура надкрыльев Carabidae. Сбор фактического материала осуществлялся на территории Беларуси в условиях разных биотопов в соответствии с классическими энтомологическими подходами. Личинок насекомых помещали в полипропиленовые пробирки и фиксировали 70 % этиловым спиртом. Имаго монтировали на энтомологические булавки или выкладывали на матрасики [11]. Коллектированный материал этикетировался.

Фиксированных насекомых изымали из этилового спирта после чего необходимые экземпляры препарировались, расправлялись и высушивались в чашках Петри. После чего исследуемые объекты фотографирова-

лись через микроскоп Optec SZ780T2L с помощью установленной зеркальной фотокамеры Canon 1100d. Дополнительно материал просматривался под стереомикроскопом МБС-9. Определение с использованием специализированных ключей [12, 13].

Результаты исследований. Потенциальными среди насекомых, которые могут быть использованы в качестве бионического прототипа для проектирования рабочих поверхностей стрелчатых лап культиваторов, рассматриваются: жук-носорог (*Oryctes nasicornis* (Linnaeus, 1758) (Scarabaeidae), навозник изменчивый (*Geotrupes mutator* (Marshall, 1802) (Geotrupidae) и представители семейства Carabidae (роды *Carabus* и *Broscus*).

Жук-носорог принадлежит к числу фоновых видов насекомых Беларуси. В природе встречается в широколиственных и смешанных лесах. Отмечено обитание личинок насекомых в пнях и разлагающихся стволах лиственных деревьев (например, *Ulmus* sp., *Quercus* sp.). Вместе с тем, можно встретить личинок в перепревшем навозе, кучах опилок и огородном компосте. Развитие личинки, которая питается разлагающимися древесиной и другими веществами растительного происхождения, занимает несколько лет (как правило 2–3 года). После чего происходит окукливание и выход имаго. Чтобы выбраться взрослым насекомым из среды обитания личинок требуется преодолеть участок с разлагающимися тканями растений и формирующимися почвенными слоями. В качестве основного «рычага», который позволяет выбраться из вышеуказанного субстрата, выступают голени (рис., А), снабженные тремя широкими, притуплёнными на концах зубцами, разделенными закругленными выемками. Имаго встречаются в непосредственной близости от участков обитания личинок.

Среди аналогичных органов следует отметить голени жуков семейства навозников-землероев (Geotrupidae). В качестве примера можно привести навозника изменчивого (рис., Б), который обитает на территории Беларуси. Активен в темное время суток. Личинки и взрослые особи питаются навозом копытных животных. Имаго при помощи голеней перемещаются внутри субстрата. Зубцы на голени имеют заостренный вид.

Видовое богатство представителей семейства Carabidae и различная микроструктура их элитр, представляют широкие возможности к бионическому моделированию различной структуры наплавки на рабочие органы с целью повышения износостойкости стрелчатых лап культиваторов. Выбор данного таксона для этих целей обусловлен частичным или постоянным взаимодействием внешнего скелета жуков с почвенной средой, а также их функциональными особенностями.



А



Б



В



Г

А – голень передних ног *Oryctes nasicornis* (вид сверху); Б – голень передней ноги *Geotrupes mutator* (Marsham, 1802) (вид сверху); В – часть надкрылья *Carabus* sp. (вид сверху); Г – часть надкрылья *Broscus* sp. (вид сверху)

Предполагаемые модельные участки насекомых для проектирования рабочих поверхностей стрельчатых лап культиваторов

Жуки рода *Carabus* являются хищниками, ведут сумеречный образ жизни, питаются наземными насекомыми и моллюсками. Типичные герпетобионты. Могут прятаться в норах грызунов и трещинах почвы. Надкрылья *Carabus*, которые показаны на рисунке В, по крайней мере в полтора раза длиннее своей общей ширины. Поверхность надкрыльев характеризуется наличием микроморщинок и видоспецифичного микро-рельефа. Скульптура надкрылий разнообразная: гладкая, зернистая, морщинистая, штрихованная, с ямками, рёбрами, цепочками, черепице-видная и т. д. Это способствует уменьшению проникновения влаги и увеличивает гидрофобные свойства.

Жуки рода *Broscus* теплолюбивые, ксерофилы — встречаются в открытых, часто бесплодных, сухих почвах. Предпочитают песчаную почву, часто регистрируются на песчаных лугах и речных берегах. Иногда можно встретить на культивируемых землях, в частности, на полях с корнеплодными растениями.

Жуки рода *Broscus* роют глубокие норы в почве, часто под кусками мёртвой древесины, где они остаются на дневное время, или прячутся под камнями или валежинами. *Broscus* являются хищниками, которые охотятся на многих беспозвоночных, в том числе насекомых и наземных ракообразных. Питаются также и представителями своего отряда из различных семейств, даже такими как, например, вредный для сельского хозяйства колорадский жук из семейства листоедов. Надкрылья головочей (рис., Г) — матовые, с неглубокими рядами очень мелких точек и плоскими промежутками.

Структура надкрыльев жуков семейства Carabidae представляют интерес для бионического проектирования в земледельческой механике, в связи с контактом их поверхности с почвенной средой и их высокой гидрофобностью.

Таким образом, зубчатый край голеней жука-носорога и навозника изменчивого, а также скульптура надкрыльев представителей семейства Carabidae, могут служить бионическим прототипом для проектирования стрелчатых лап культиваторов. Выбор модельных участков в строении насекомых обусловлен их функциональным назначением и непосредственным взаимодействием с разлагающимся органическим субстратом и почвой. Понимание этих аспектов может вдохновить создание бионических систем, обладающих улучшенными механическими, аэродинамическими и защитными характеристиками. Микроструктура также может обладать микроскопическими выступами или бороздками, что способствует уменьшению трения при движении и обеспечивает лучшую аэродинамическую эффективность. При этом стоит отметить серьезный потенциал использования именно технологии наплавки для увеличения долговечности и соответствующих рабочих органов. Стоит рассмотреть и возможность принципиально новых органов для почвообработки с максимальным учетом формы и структуры частей, испытывающих наибольшую нагрузку и имеющих сходное функциональное назначение.

Исследования проводились в рамках выполнения НИР «Исследование износостойких биоинспирированных рабочих поверхностей стрелчатых лап культиваторов для ухода за посадками овощных культур» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность».

Библиографические ссылки

1. Bae H., Lee E. Biological and ecological classification of biomimicry from a biology push standpoint // Ecosphere. 2019. Vol. 10, iss. 11. P. e02959. DOI: 10.1002/ecs2.2959.
2. Kennedy E., Fecheyr-Lippens D., Hsiung B.-K., Niewiarowski P. H., Kolodziej M. Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation // Design Issues. 2015. Vol. 31, iss. 3. P. 66–73. DOI: 10.1162/DESI_a_00339.

3. *Nkandu M. I., Alibaba H. Z.* Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability // *Architecture Research*. 2018. Vol. 8, n. 1. P. 1–11. DOI: 10.5923/j.arch.20180801.01.
4. *Pathak S.* Biomimicry: innovation inspired by nature // *International Journal of New Technology and Research*. 2019. Vol. 5, n. 6. P. 34–38.
5. *Азаренко В. В., Голдыбан В. В., Бугун П. П.* Методические подходы передачи решений от биологии к инженерии // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2023. Вып. 56. С. 3–8.
6. *Бабицкий Л. Ф., Москалевич В. Ю., Соболевский И. В.* Развитие бионического направления в земледельческой механике // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017. № 4. С. 68–74.
7. *Ткаченко Г. А., Синчук О. В., Голдыбан В. В., Ковальчук А. В.* Повышение надежности культиваторных лап за счет упрочнения рабочих поверхностей на основе бионического подхода // *Современные технологии для заготовительного производства : сб. науч. работ, Минск, 14 апреля 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; сост. А. П. Бежок. Минск : БНТУ, 2021. С. 149–151.*
8. *Голдыбан В. В., Синчук О. В., Ткаченко Г. А., Курилович М. И.* Исследование мандибул черного садового муравья в качестве бионической модели для повышения надежности культиваторных лап // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2022. № 55. С. 251–258.
9. *Sinchuk A. V., Logachev M. A.* Prospects of using the mandibles of the black garden ant (*Lasius niger* (Linnaeus, 1758)) in designing wear-resistant working surfaces of cultivator rake tines // *Young scientist*. 2024. No. 1. P. 261–265.
10. *Синчук О. В., Логачёв М. А., Лисовская Е. И.* Перспективы использования личинок обыкновенного муравьиного льва как бионического прототипа для проектирования износостойких рабочих поверхностей стрелчатых лап культиваторов // *Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : сб. материалов V Респ. научн.-практ. эколог. конф., Брест, 23 ноября 2023 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. М. Матусевич [и др.]. Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2023. С. 273–276.*
11. *Голуб М. В., Цуриков М. Н., Прокин А. А.* Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012.
12. *Chinery M.* Collins guide to the insects of Britain and Western Europe. London : HarperCollins Publishers, 1993.
13. *Крыжановский О. Л.* Отряд Coleoptera – жесткокрылые, или жуки // *Определитель насекомых Европейской части СССР. М.; Л. : Наука, 1965. Т. 2. С. 5–281.*