

В. В. Азаренко¹, В. В. Голдыбан², П. П. Бегун²

¹ Президиум Национальной академии наук Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПЕРЕДАЧИ РЕШЕНИЙ ОТ БИОЛОГИИ К ИНЖЕНЕРИИ

Аннотация. В статье выполнен обзор существующих методов передачи данных от биологии к инженерии. Отмечено, что все существующие методы условно можно разделить на два типа: основанные на решении и основанные на проблеме.

Ключевые слова: метод, проектирование, инженерия, биология, бионика, биомиметика, абстракция, принцип.

V. V. Azarenko¹, V. V. Goldyban², P. P. Behun²

¹ Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

² RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru

METHODOLOGICAL APPROACHES OF DECISION TRANSFER FROM BIOLOGY TO ENGINEERING

Abstract. The article provides an overview of existing methods of data transmission from biology to engineering. It is noted that all existing methods can be conditionally divided into two types: solution-based and problem-based.

Keywords: method, design, engineering, biology, bionics, biomimetics, abstraction, principle.

Введение

И подлинно: спроси у скота, и научит тебя, у птицы небесной, и возвестит тебе; или побеседуй с землею, и поставит тебя, и скажут тебе рыбы морские.

Иов 12:7–10

В окружающей природе множество изящных, прекрасных систем и конструкций, рассчитанных с удивительной точностью и рациональностью. Наблюдая и изучая природу, человек нашел принципы, законы и основы физики, химии, математики и других наук.

Бесконечное многообразие инновационных решений в природе может быть использовано в качестве источника вдохновения для решения инженерных задач в земледельческой механике. В этой области исследований до сих пор остро стоят вопросы продления срока службы быстроизнашивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин, создания оптимальных форм рабочих поверхностей, легких и в то же время надежных несущих конструкций, снижения переуплотнения почвы ходовыми системами МТА и др.

Однако использование биологических систем для решения названных вопросов земледельческой механики все еще остается сложной задачей.

Серьезной проблемой является отсутствие систематической методологии передачи решений от биологии к инженерии. Необходима прозрачная последовательность действий, дающая ответ не только на вопрос «что делать?», но и «как это делать?»

В этой статье анализируются некоторые существующие стратегии биомиметического проектирования, применяемые для приложения биологических принципов и функций в инженерии.

Основная часть

Известные методы проектирования в биомиметике можно сгруппировать в две основные группы:

- проектирование на основе решений (рис. 1);
- проектирование на основе проблем (рис. 2).

Метод, основанный на решениях, так называемый подход «снизу вверх» (BOTTOM-UP), описывает процесс проектирования в биомиметике, в котором знания об интересующей биологической системе являются отправной точкой для технического проектирования. Биологическая система, представляющая интерес, выполняет функцию, которая должна быть воспроизведена в технологии. Эту биологическую систему необходимо глубоко понять, чтобы извлечь основополагающие принципы и определить проблемы проектирования, которые можно было бы решить с использованием этих принципов. Знания, касающиеся этих принципов, в основном получены в результате фундаментальных исследований. После их абстрагирования биологические принципы могут быть применены в инженерии.

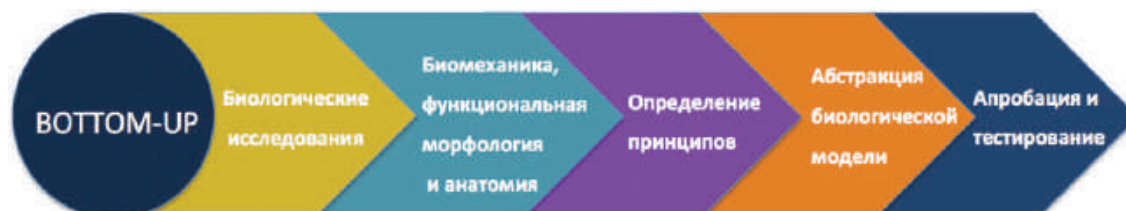


Рис. 1. Принцип проектирования на основе решений

Хорошим примером является «эффект бугорков» на плавниках горбатых китов. Взрослый горбач весит около 30 тонн, имеет жесткое тело с огромными, подобными крыльям плавниками. Однако этот 12-метровый гигант удивительно подвижен в воде, способен двигаться по крутой спирали. Ученые обнаружили, что секрет кроется в плавниках кита, передний край которых не гладкий, а с зазубринами и имеет ряд выступающих бугорков (рис. 2, *a*). Когда кит стремительно рассекает толщу воды, эти бугорки увеличивают подъемную силу и уменьшают сопротивление. Благодаря бугоркам поток воды упорядоченно и равномерно проходит над плавником, даже если кит делает очень крутой подъем [1, 2].



Рис. 2. Пример проектирования на основе решений: *a* – внешний вид плавников горбатого кита; *б* – лопасть ветряка Whale Power Corp [3]

Открытый биологами в гидродинамике китов «эффект бугорков» вызвал настоящий прорыв в аэродинамике, побудил исследователей применить его к крыльям самолетов, беспилотников, судам на подводных крыльях, ветряным (рис. 2, б) и промышленным турбинам [3–6].

Метод на основе проблем или подход «сверху вниз» (TOP-DOWN) – это процесс проектирования, направленный на решение практической проблемы, при этом выявленная проблема должна быть отправной точкой для процесса. Новые или улучшенные функции могут быть применены путем идентификации биологических систем, которые выполняют определенную функцию или механизм, а также путем абстрагирования и переноса этих принципов в технологию.

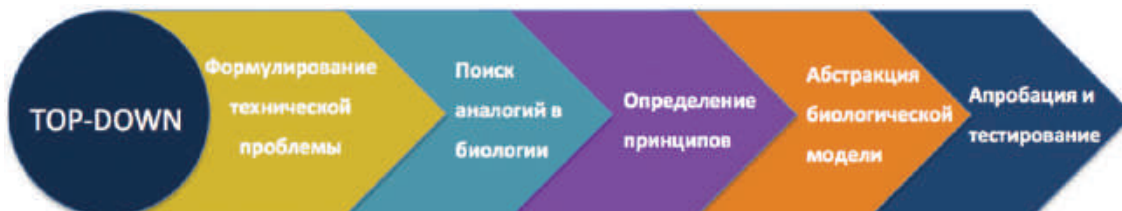


Рис. 3. Проблемно ориентированный подход к проектированию

Примером подхода TOP-DOWN является использование нижней челюсти муравья *Atta laevigata* в качестве бионической модели для проектирования надежных саморассасывающихся хирургических зажимов (рис. 4). Работа в этом направлении ведется в Институте аспирантуры и инженерных исследований им. Альберто Луиса Коимбры в Рио-де-Жанейро [7].

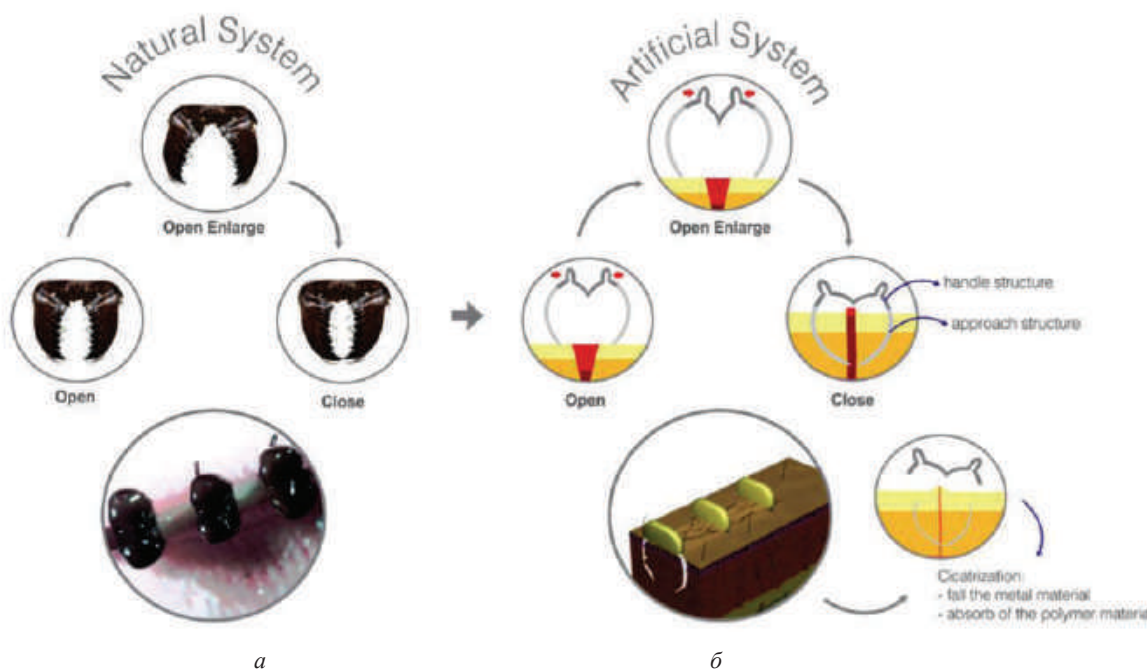


Рис. 4. Использование челюсти муравья для проектирования хирургических зажимов: а – механизм укуса нижней челюсти муравья *Atta laevigata*; б – функционирование биомиметического хирургического зажима

Наряду с описанными выше двумя стратегиями биоинспирированного проектирования в научно-исследовательских работах встречается классификация биомиметики по аналогии и по индукции [8–10]. По своей сущности это все те же подходы «сверху вниз» и «снизу вверх».

В биомиметике по аналогии биологические исследования применяются для поиска решений конкретных инженерных задач. В биомиметике методом индукции общие принципы, полученные из фундаментальных биологических исследований, используются для разработки технических решений.

Методология биомиметики по аналогии начинается с четкого определения проблемы, вытекающей из инженерии. На следующем этапе аналогичные проблемы ищутся в природе. Здесь исследователь задает вопрос: «Где в живом мире возникают подобные проблемы?» Затем анализируются примеры в природе, и конкретные результаты применяются при поиске решений инженерной проблемы. Преимущества этого метода заключаются в быстром и эффективном решении инженерных задач.

Основой биомиметики методом индукции являются фундаментальные биологические исследования. Абстрагированный от биологической сферы и переведенный на неспецифический язык, принцип, лежащий в основе явления, раскрывается и уточняется. Впоследствии в сотрудничестве с инженерами и проектировщиками ищутся и разрабатываются возможные технологические приложения. Весьма успешным примером биомиметики путем индукции является эффект лотоса, изложенный в работе [11], который в настоящее время используется в живописи, покрытиях, текстиле, черепице и т.д. и в значительной степени способствует положительному общественному имиджу биомиметики.

Оба подхода объединяет то, что для их разработки необходимо междисциплинарное сотрудничество между технологией и биологией, и это сложно как для эксперта-биолога, так и для инженера: нелегко найти специалиста, способного применить результаты обоих процессов, трудно найти правильную информацию в правильном формате.

Рассмотрим еще некоторые методологии переноса решений из биологии в инженерию, разработанные на основе подходов «сверху вниз» и «снизу вверх».

Для использования биологических принципов Рехенберг в работе [12] предлагает последовательную семиступенчатую процедуру, которая начинается с определения технической функции, для которой должна быть найдена аналогичная биологическая функция. Затем сравниваются технические и биологические граничные условия, например, с помощью коэффициентов подобия (числа Рейнольдса). Если граничные условия одинаковы, необходимо сравнить какой-либо показатель эффективности (например, энергопотребление) технического и биологического решения.

Хилл предлагает подход [13], состоящий из двух основных циклов: определение целей и поиск решений. Первый цикл содержит основные этапы анализа и определение наборов требований. Из наборов требований определяются требования к решению и определяется задача разработки. Во втором цикле первоначально идентифицируются так называемые биологические базовые функции, соответствующие ранее обнаруженным определениям. Для этих функций в каталоге, структурированных в виде таблицы, находят биологические архетипы с конкретными принципиальными решениями. Эти решения последовательно варьируются, комбинируются и проверяются, в результате чего получается техническое решение. Слабыми сторонами подхода Хилла являются относительно высокий уровень абстракции, частично нелогичная структура каталога и низкий уровень детализации.

Подход Граманна встроен в типичную процедуру разработки системной инженерии, где шаг «анализ – синтез» подробно описан в отношении бионики [14]. Процедура начинается с чередования идентификации биологических архетипов и поиска информации. Затем анализируется архетип, оценивается возможность его переноса в технические решения и выводятся принципы решения. В итоге принципы управления применяются к технической системе. Все шаги должны быть пройдены итеративно (рис. 5).

Для перевода технических функций в биологические Граманн предлагает список ассоциаций. Предполагается, что найденные таким образом биологические функции позволят проводить более целенаправленный поиск в биологической области. К сожалению, список ассоциаций представляется довольно неструктурированным и неполным, в связи с чем он неприменим к различным проблемам.

Чонг и др. в работе [15] описывают модель процесса, основанную на обработке естественного языка. Модель начинается с определения исходного функционального ключевого слова для описания проблемы и заканчивается идентификацией биологически значимых ключевых слов.

Баумейстер и др. в работе [16] используют свою методологию спирали проектирования для решения практической задачи биологии. В циклическом восьмиступенчатом процессе этот подход

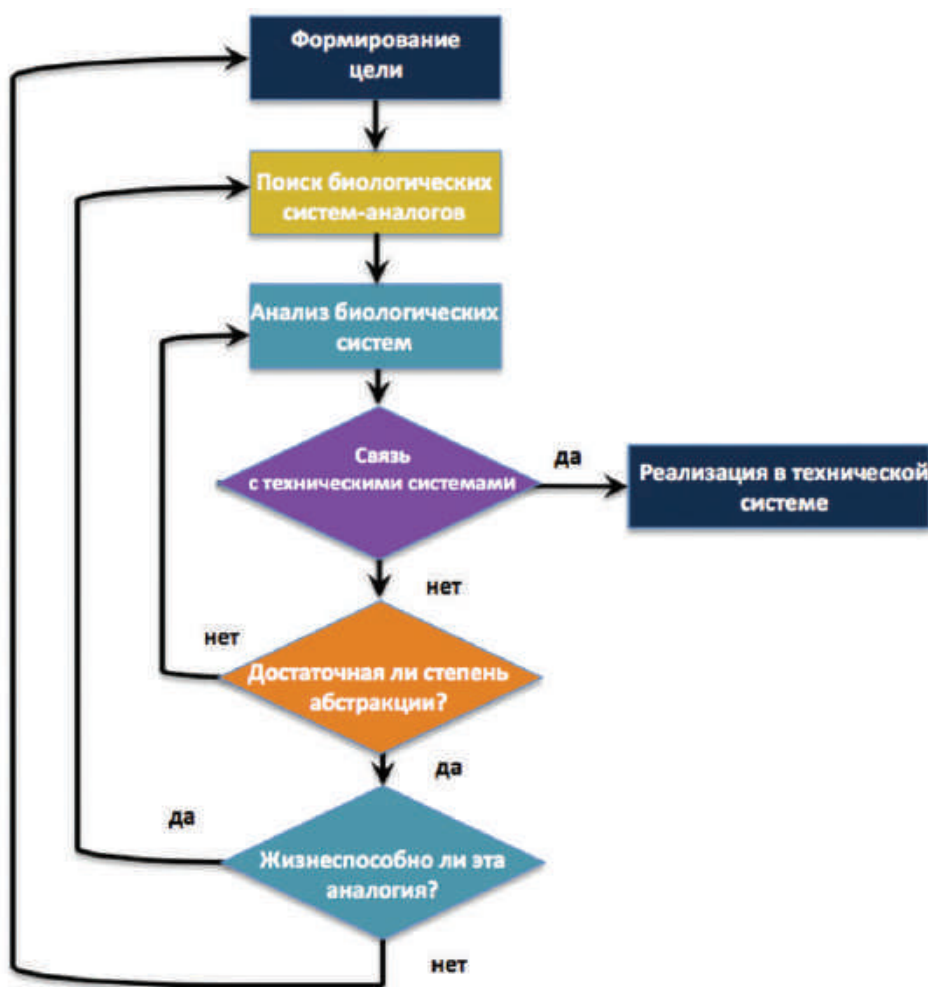


Рис. 5. Бионическая процедурная модель Граманна

к биомимикрическому мышлению используется для эмуляции принципов дизайна, вдохновленных биологией. Гоэль и Ваттам в работе [17] создали общую модель задач аналогичного проектирования и сопоставили ее с подходами биомиметики, основанными на решениях и задачах.

В заключение рассмотрим еще одну методологию проектирования, в основе которой подходы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанные советскими учеными Генрихом Альтшуллером и Рафиком Шапиро. Речь пойдет о методологии БиоТРИЗ [18].

Поскольку основной целью биомиметики также является передача функций, механизмов и принципов из одной области в другую, ТРИЗ кажется идеальной отправной точкой. ТРИЗ хорошо известна как набор инструментов и методов, который обеспечивает правильное определение проблемы на функциональном уровне и предоставляет индикаторы для достижения успешных, а иногда и инновационных решений. На этапе определения используется ряд методов, чтобы гарантировать, что проблема находится в правильном контексте, простое переключение контекста может решить проблему, а затем перечислены доступные ресурсы. Проблема характеризуется парой противоположных или противоречивых характеристик, как правило, «что я хочу» и «что мешает мне получить ее». Это можно сравнить с парами характеристик, вытекающих из других проблем, уже решенных, обнаруженных в ходе исследования и анализа более трех миллионов патентов. Таким образом, ТРИЗ становится подходящим средством для идентификации функций и передачи их от природы к технике.

ТРИЗ развилась на основе матрицы 40×40 в виде таблицы с двойной записью, в которой 40 изобретательских принципов являются элементами, которые приближают аналогию. В БиоТРИЗ эта матрица была упрощена, чтобы иметь возможность изолировать поля, влияющие на биологию,

эти поля являются информацией, энергией, временем, пространством, структурой и веществом или материалом.

В БиоТРИЗ решения основаны на аналогиях, подобных тем, которые встречаются в природе, в базе данных естественных патентов. Без базы данных результатов и решений природы ее невозможно применить, так как она сама по себе не позволила бы получить технические принципы и результаты. Этот факт противоречив, поскольку он обуславливает поиски, те, которые уже имеют результаты, просты в применении, в противном случае вам нужны бионические исследования, как и в других методологиях.

Заключение

Рассмотренные в статье подходы к процессу биомиметического проектирования, основанные на решении и на проблеме, представляют собой последовательность действий для решения инженерных задач с помощью биологических аналогий. Все же теоретические и концептуальные основы передачи знаний между биологами и инженерами изучены слабо. Ученым ещё предстоит открыть и исследовать terra incognita теоретических основ бионики, которые бы дополняли эмпирические и практические исследования.

Список использованных источников

1. Fish, F. E. Passive and active flow control by swimming fishes and mammals / F. E. Fish, G.V. Lauder // *Annual Review of Fluid Mechanics*. – 2006. – V. 38. – P. 193–224.
2. Hydrodynamic flow control in marine mammals / F. E. Fish, L. E. Howle, M. M. Murray // *Integrative and Comparative Biology*. – 2008. – 211. – P. 1859–1867.
3. Watts, P. The influence of passive, leading edge tubercles on wing performance / P. Watts, F. Fish, // *Proceedings of Twelfth International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST)*, Durham, Autonomous Underwater Sea Institute, August 2001.
4. Ming, Z. Numerical Simulation of Flow Characteristics behind the Aerodynamic Performances on an Airfoil with Leading Edge Protuberances / Ming Zhao, Mingming Zhang, Jianzhong Xu // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2017. – V. 11. – PP. 193–209. – DOI:10.1080/19942060.2016.1277165.
5. Canter, N. Humpback whales inspire new wind turbine technology // *Tribology & Lubrication Technology*. – December, 2008. – P. 10–1.
6. Custodio, D Cavitation on hydrofoils with leading edge protuberances / Custodio D, Henocho C, Johari H. // *Ocean Engineering*. – 2018. – V. 162. – P. 196–208.
7. Britoa, T.O. Characterization of the Mandible *Atta Laevigata* and the Bioinspiration for the Development of a Biomimetic Surgical Clamp / T. O. Britoa [etc.] // *Materials Research*. – 2017. – 20 (6). – P. 1525–1533. – DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2016-1137.
8. Nachtigall, W. *Vorbild Natur: Bionik-Design für funktionelles Gestalten*, 1997 (Springer, Berlin). – 176 p.
9. Speck, T. Die naturals innovationsquelle. In *Technische Textilien* / Speck, T. [etc.] // 2006, pp. 83–101 (Deutscher Fachverlag, Frankfurt, Germany).
10. Milwich, M. Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of Nature's wisdom / Milwich, M. [etc.] // *Am. J. Botany*. – 2006. – 93(10). – P. 1455–1465.
11. Barthlott, W. and Neinhuis, C. The purity of sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. // *Planta*. – 1997. – 202. – 1–8.
12. Zerbst, E. *Bionik: Biologische Funktionsprinzipien und ihre Anwendung*. Teubner, Stuttgart, 1987. – 231 p.
13. Hill, B. *Naturorientierte Lösungsfindung: Entwickeln und Konstruieren nach biologischen Vorbildern*. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, 1999. – P. 313–332.
14. Lindemann, U. Engineering design using biological principles / U. Lindemann & J. Gramann, // In: *Proc. of the 8th International Design Conference DESIGN 2004*, Dubrovnik, Croatia, 2004, 355–360 pp.
15. Cheong, H. Biologically meaningful keywords for functional terms of the functional basis / Cheong H, Chiu I, Shu L, Stone R. and McAdams D. // *J. Mech. Des.* 2011, Vol. 133. – p. 021007.
16. Baumeister, D. *The Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices* / Baumeister D, Tocke R, Dwyer J and Ritter S. // *Biomimicry 3.8: Missoula*. – 280 p.
17. Goel, A. K. *Information-Processing Theories of Biologically Inspired Design* / Goel A. K., Vattam S., Wiltgen B. and Helms M. // *Biologically Inspired Design*. – Berlin: Springer. 2014. – P. 127–152.
18. Vincent, J. et al. *Biomimetics: Strategies for Product Design Inspired by Nature* // *A Mission to the Netherlands and Germany*. – Report of A DTI Global Watch Mission, Pera, 2007.