

СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 513.864.2(076.5)

С. С. Ветохин

Белорусский государственный технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОБЛЕМНОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Дана краткая история морфологического подхода Фрица Цвикки. Рассмотрены три основных образующих его метода. Среди них – метод отрицания и конструирования, метод систематического покрытия поля и морфологический ящик, который иногда называют ящиком идей или возможностей. Подчеркнута необходимость одновременного применения всех трех методов для достижения наилучшего результата. Представлен также недавно разработанный Шведским морфологическим обществом метод обобщенного морфологического анализа. Продемонстрированы некоторые новые возможности применения подхода Цвикки в процессе образования, в частности при использовании технологии проблемного обучения.

Ключевые слова: обеспечение качества, высшее образование, Болонский процесс, Фриц Цвикки, морфологический ящик, система, решение проблем.

S. S. Vetokhin

Belarusian State Technological University

THE PROBLEM TEACHING TECHNOLOGY ENHANCING BY MORPHOLOGICAL ANALYSIS

The brief history of morphological approach by Fritz Zwicky is given. The tree backgrounding methods are considered. They are the methods of denial and design, systematic coverage of the knowledge field and morphological box. The last is sometimes called as the box of ideas or possibilities. The necessity of their simultaneous application to have the best result is outlined. The General Morphological Analysis recently developed by Swedish Morphological Society is represented. Some new abilities of Zwicky approach application in education process are displayed, especially when using problem approach technology.

Key words: quality assurance, higher education, Fritz Zwicky, morphological box, system, problem solving, Bologna process.

Введение. Креативное мышление основано на использовании двух главных инструментов – анализа и синтеза. Первый из них необходим для понимания природы объектов, явлений и процессов, а второй позволяет создавать инновации, направленные на улучшение.

Процесс обучения, особенно на университетском уровне, безусловно, предполагает овладение этими инструментами применительно к проблемам приобретаемой профессии. Именно на этом основан проблемный подход в обучении, который включает в себя анализ проблемной ситуации, поиск вариантов ее решения и выбор лучшего среди них, что сродни процессу изобретательства и позволяет рекомендовать некоторые методы, разработанные для этой сферы деятельности [1], в педагогическом процессе. В частности, именно такая последовательность действий: анализ, а затем синтез на его основе, – используются в морфологическом подходе Фрица Цвикки [2].

Краткая история метода. Термин «морфология» происходит от греческого *morphologia*, что означает изучение формы, строения или структуры. Его используют в лингвистике, биологии, инженерии, прикладной математике в различных интерпретациях.

Одним из первых морфологию как научный метод применил фон Гете в XVIII в. для описания принципов формирования и трансформации живых организмов [3]. Используя только признаки формы, ему удалось сделать ряд логических обобщений относительно биологических структур.

Позже этот подход был принят достаточно широко для составления классификаций разнообразных объектов. Однако только в конце 40-х гг. XX в. Фрицем Цвикки в книге [2] был предложен собственно морфологический подход, который мог служить на основе классификации признаков объекта исследования для создания новых объектов с иными свойствами. Талантливый ученый, так и не получивший должного

признания¹, предложил этот метод первоначально для использования в астрофизике, где им были сделаны предсказания существования нейтронных звезд, скрытой массы и неизвестных к тому времени других космических объектов [4]. Однако благодаря своей диалектической сущности метод был успешно применен Ф. Цвикки и для конструирования силовых установок ракетных двигателей [5].

Будучи уверенным в перспективности разработанного им подхода, Ф. Цвикки основал Общество морфологических исследований, которое возглавлял до своей смерти в 1974 г. [6]. В настоящее время наиболее интенсивные исследования в этой области ведутся Шведским морфологическим обществом (Swedish Morphological Society – <http://www.swemorph.com>), которое развивает подход, названный Обобщенным морфологическим анализом (General Morphological Analysis), основанным на специальных программных средствах, позволяющих анализировать весьма сложные многомерные системы [7]. Это позволяет анализировать и создавать не только единичные относительно простые объекты, но и политику развития и структуру организаций, их связи и проекты.

Методология морфологического подхода. Морфологический подход Ф. Цвикки включает использование нескольких методов, которые могут иметь и самостоятельное значение. Три из них, которые представляются нам обязательными для достижения значимого результата, рассматриваются ниже.

Метод отрицания и конструирования. Метод основан на принципе «Любое утверждение, сформулированное как полное и окончательное, не может быть абсолютно верным». Это означает, что любой закон природы, самая совершенная конструкция могут быть подвергнуты сомнению, поскольку они учитывают далеко не все факторы, явления и возможности, тем более те, что появятся в будущем.

Этот принцип подтверждается развитием науки: любое ее универсальное положение со временем становится частным, приближенным, применимым лишь в ограниченном диапазоне значений параметров. Так было с «незыблемой» ньютоновской механикой после появления специальной теории относительности, так было со всеми «вечными и тысячелетними» социальными концепциями, довольно быстро заменяемыми другими.

Применение метода начинается с анализа объекта исследования, его атрибутов, характери-

стик свойств и иных существенных признаков. Затем начинается критический анализ свойств объекта, связей между элементами и их исполнением. Сомнения в правильности построения системы могут возникнуть при этом применительно к наиболее устоявшимся признакам. Если сомнения подтверждаются хотя бы косвенными данными, следует приступать к конструированию для преодоления противоречий. При этом чаще всего нет необходимости создавать абсолютно новый объект, поскольку большинство его подсистем могут использоваться и далее. Более того, изменения рекомендуется вводить постепенно, постоянно исследуя результат на совместимость с желаемыми требованиями.

Метод в большей степени ориентирован на создание новых технических объектов через поиск противоречий между их свойствами и предъявляемыми требованиями. В меньшей степени он дает возможность преобразования организаций, где одинаковая структура может выполнять различные функции. При «конструировании» открытый метод выступает лишь как предварительный шаг и требует дальнейших действий.

Метод систематического покрытия поля знаний. Здесь предполагается формирование поля знаний об объекте как некоторого множества, составленного из подмножеств, управляемых по определенным законам, правилам и их следствиям. Если поле полностью перекрывается такими подмножествами, то прогресс формально невозможен, следовательно, первичное множество определено неточно и имеются иначе классифицированные данные, которые необходимо отнести к нашему множеству. Такие новые данные могут сформировать, казалось бы, неуправляемые подмножества. В этот момент начинается креативный этап поиска управления, который может привести к обнаружению новой закономерности, свойству или несуществующему материалу. Практическая задача будет состоять в экспериментальном и теоретическом обосновании и доказательстве новой идеи.

Очевидно, метод систематического покрытия поля предполагает отрицание полноты исходного множества и конструирование нового с последующим осмыслением свойств и возможностей реализации создаваемого объекта.

Морфологический ящик. Конструирование и применение такого ящика можно рассматривать как финальную стадию подхода Ф. Цвикки [2]. Несколько упрощенно этот ящик можно представить как многомерную матрицу, каждая ось

¹ Ф. Цвикки награжден Президентской медалью свободы за разработку ракетных вооружений во время II мировой войны (1949), Золотой медалью королевского астрономического общества за его работы по нейтронным звездам, темной материи и каталогизации галактик (1972), его именем названы астероид и лунный кратер.

которой представляет собой подсистему и связана при этом с другими подсистемами, в некоторых случаях иерархически. Например, по одной оси двумерной матрицы размещены знания о компонентах объекта, а по другой – варианты исполнения этих компонентов.

В таком ящике находится множество решений проблемы, но часть из них нереализуема (в ближайшее время) или дает известный результат. Другая часть может выводить нас за пределы решаемой задачи. Поэтому ящик может быть оптимизирован, что упрощает работу с ним.

Джон Гибсон предложил [8] несколько иначе конструировать метрولوجический ящик специальной командой, используя следующий четырехшаговый алгоритм:

- формирование субсекторов матрицы так, чтобы получилось полное описание системы (полное поле знаний);

- субсектора матрицы должны отражать функции системы, а не ее конструкцию;

- команда должна предлагать альтернативы для каждого субсектора в отдельности, например, с помощью мозгового штурма, чтобы избежать некоторой заранее задуманной или очевидной финальной комбинации;

- при этом команда не должна отбрасывать непонравившиеся альтернативы, а даже напротив, искать необычные комбинации.

Полученный многомерный ящик преобразуется в набор двумерных матриц, с которыми проще работать.

Морфولوجический подход может быть успешно использован в университетской учебной практике не только в рамках дисциплин развития креативности, что целесообразно для усвоения его принципов, но и при изучении конкретных вопросов частных дисциплин. Очевидно, наилучший результат даст проблемный метод обучения, который по своей сущности адекватен методу Ф. Цвикки: по меньшей мере, в обоих случаях ставится задача, решение которой аудитории заранее не известно. Не беда, если итогом станет уже известный объект – важнее дидактическая составляющая овладения самим подходом и демонстрация его успешности во вполне обдуманной ситуации.

Использование в качестве примера собственных изобретений Ф. Цвикки имеет ограниченное ракетной техникой поле и вряд ли может быть широко распространено. Лучше подходят примеры реализации подхода из относительно недавней практики. Много таких примеров можно найти в области промышленного дизайна [9]. Специально сконструированные ситуации могут придать энергичность обсуждению и привести к полезным результатам, как это было с задачей удаления следов тонера с бумаги для снижения количества макулатуры [10].

Не лишними могут стать примеры социально-экономических решений. Так решалась проблема развития транспортной сети одного из крупнейших городов мира – Сан-Пауло (Бразилия) [11]. Здесь была предложена 4-мерная матрица, субсекторами которой служили виды транспорта, инфраструктура дорожной сети и ее бизнес-модель. При этом проводился и ретроспективный анализ вплоть до 30-х гг. XX в.

Полученный ящик содержал 12 млн. комбинаций. Однако введение разумных ограничений снизило число активных ячеек до 2 тыс. На следующих этапах учли местные возможности, предпочтения населения и финансовые перспективы. Результат был довольно неожиданным: лучше других удовлетворяло всем требованиям индивидуальное малогабаритное средство передвижения с гибридным двигателем. В настоящее время осваивается в производстве линейка таких средств.

Морфولوجический подход в образовании.

Проблемно-ориентированное обучение можно рассматривать как одну из образовательных техник компетентностного подхода в университетском образовании. Последний особенно важен в условиях перехода белорусской высшей школы на принципы Болонского процесса.

При этом проблемный подход сам по себе не является отдельной образовательной технологией, но представляет собой концепцию, включающую применение целого набора таких технологий, объединенных единой целью развития у студентов творческих способностей, позволяющих генерировать альтернативы решения сложных системных проблем и определять среди них наиболее эффективные. Однако большая часть эвристических методов выработки альтернатив предполагает работу в небольших группах, которые в учебных целях должны состоять из 3–5 человек, что сложно осуществить даже в условиях лабораторных занятий, когда подгруппа включает 12–15 студентов. В этой связи нами предлагается использовать метод морфولوجического анализа, который может быть реализован в индивидуальном порядке, но в большой группе.

Оба описанных метода не дают подсказки, как именно построить новый объект? Это достигается методом морфولوجического ящика – многомерной матрицы, грани которой представляют собой возможные и невозможные варианты реализации отдельных функций и (или) элементов анализируемого объекта. Все ячейки такой матрицы – это возможные решения проблемы. При этом часть из них может оказаться неработоспособной или противоречащей некоторым условиям, существующим объективно или введенным именно для данной задачи. Остальные объекты подлежат перебору с интуитивным предварительным отбором.

Для учебных целей матрицу следует ограничить размерностью 2D с числом элементов порядка 10, а объект выбрать из числа изучаемых в рамках одной из дисциплин.

Заключение. Метод морфологического анализа, предложенный Ф. Цвикки, представ-

ляется одним из наиболее перспективных для развития творческих способностей студентов университетов, особенно в рамках концепции проблемного подхода к обучению, когда поиск возможных решений и выбор среди них наилучших являются главной задачей.

Литература

1. Vetokhin S. Morphological approach in inventive act and management // *Industrial technology and engineering*. 2015. No. 4. P. 272.
2. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach*. Toronto: The Macmillan Company, 1969. 276 p.
3. Goethe J. W. von. On Granite // *Scientific Studies*. 1988. Vol. 12. P. 131–134.
4. Zwicky F. *Morphological astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1957. 299 p.
5. Zwicky, F. Morphology and Nomenclature of Jet Engines // *Aeronautical Engineering Review*. 1947. Vol. 6. No. 6. P. 49–50.
6. Greenstein J., Wilson A. Remembering Zwicky // *Engineering and Science*. 1974. No. 37. P. 15–19.
7. Ritchey T. Problem Structuring using Computer-Aided Morphological Analysis // *Journal of the Operational Research Society*. 2006. Vol. 57. P. 792–801.
8. Gibson J. E., Scherer W. T., Gibson W. F. *How to Do Systems Analysis*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2007. 400 p.
9. Wimmer W., Züst R., Kun-Mo Lee. *Ecodesign implementation: An Systematic Guidance on Integration Environmental Consideration into Product Development*. Berlin: Springer, 2012. 140 p.
10. Counsell T., Allwood J. Un-printing toner: Early results // *Proceedings of 13th CIRP International conference on life cycle engineering*. Leuven, 2006. P. 453–457.
11. da Silva L. L. C. Morphological analysis of the introduction of electric vehicles in São Paulo's urban traffic // *Future Studies Research Journal*. 2011. Vol. 3. No. 1. P. 14–36.

References

1. Vetokhin S. Morphological approach in inventive act and management. *Industrial technology and engineering*, 2015, no. 4, p. 272.
2. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach*. Toronto, The Macmillan Company, 1969. 276 p.
3. Goethe J. W. von. On Granite. *Scientific Studies*, 1988, vol. 12, pp. 131–134.
4. Zwicky F. *Morphological astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1957. 299 p.
5. Zwicky, F. Morphology and Nomenclature of Jet Engines. *Aeronautical Engineering Review*, 1947, vol. 6, no. 6, pp. 49–50.
6. Greenstein J., Wilson A. Remembering Zwicky. *Engineering and Science*, 1974, no. 37, pp. 15–19.
7. Ritchey T. Problem Structuring using Computer-Aided Morphological Analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 2006, vol. 57, pp. 792–801.
8. Gibson J. E., Scherer W. T., Gibson W. F. *How to Do Systems Analysis*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2007. 400 p.
9. Wimmer W., Züst R., Kun-Mo Lee. *Ecodesign implementation: An Systematic Guidance on Integration Environmental Consideration into Product Development*. Berlin: Springer, 2012. 140 p.
10. Counsell T., Allwood J. Un-printing, toner: Early results. *Proceedings of 13th CIRP International conference on life cycle engineering*. Leuven, 2006, pp. 453–457.
11. da Silva L. L. C. Morphological analysis of the introduction of electric vehicles in São Paulo's urban traffic. *Future Studies Research Journal*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 14–36.

Информация об авторе

Ветохин Сергей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: veto@belstu.by

Information about the author

Vetokhin Siarhei Sergeevich – PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor, Head of the Department of Physical and Chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: veto@belstu.by

Поступила 28.04.2016