

УДК 001.8

Использование морфологического анализа при разработке несущих конструкций ЭА

Сарайкин Д. С., магистр

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

Научный руководитель: Соловьев В.А., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

shakhnov@iu4.bmstu.ru

Введение

Любая творческая деятельность, будь то конструкторская или изобретательская, требует лучших, новых решений, состоящих из нескольких готовых. Морфологический анализ является одним из наиболее простых и подходящих методов анализа подобных задач, он способен генерировать новые решения на основе заготовленных знаний. Метод морфологического анализа не сложен в понимании и использовании, поэтому широко применяется в изобретательском процессе. Инженер, усвоив область применения этого метода, может регулярно использовать его в своей деятельности. Этому методу обучают в высших учебных заведениях, о морфологическом анализе написано множество работ, обзор которых приведен в [1], и он хорошо себя зарекомендовал в инженерной практике.

1. Область применения морфологического анализа

Метод морфологический анализа заключается в выборе нескольких решений для разных частей задачи (признаков, описывающих предмет) и последующем систематизированном образовании их комбинаций. Цель морфологического анализа – определить направления развития, описать все потенциально возможные решения данной задачи (получить поле возможных решений). Относится к эвристическим методам.

Морфологический анализ является одним из видов изобретательской деятельности, чьей областью применения является процесс передачи и развития знаний (рис. 1). Все начинается и заканчивается идеями (D1, D2... DN), которые должны быть различны и могут принадлежать как одному человеку, так и коллективу. Эти идеи формируют

множество «изначальных знаний» (ИЗ), которые представлены на рисунке в виде кружков. С этого момента возможны два направления синтеза.

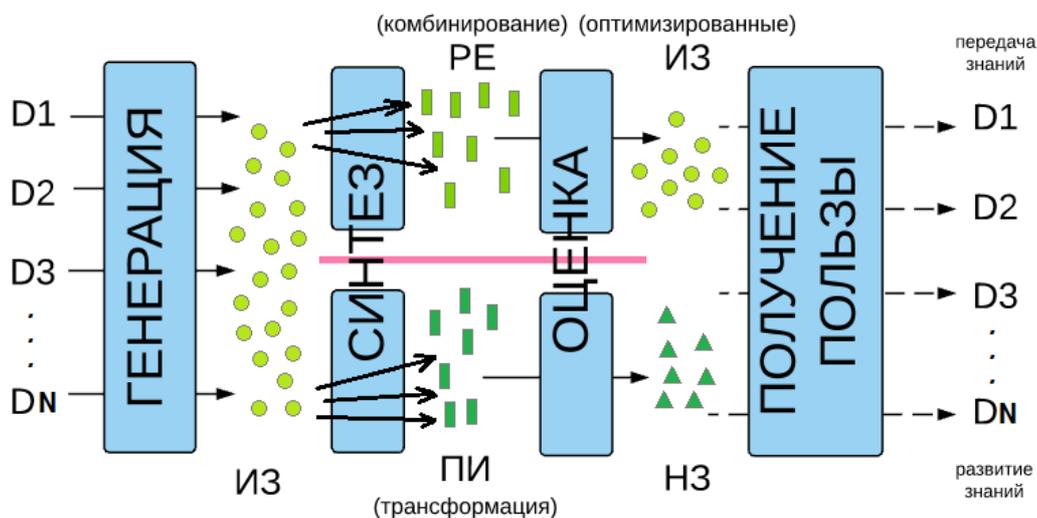


Рис. 1. Модель передачи и развития знаний

Изначальные проектные знания либо собираются в «реконструкции» (РЕ), либо преобразуются в «проектные идеи» (ПИ). Верхняя часть рисунка отображает создание «реконструкций» (РЕ), а нижняя часть рисунка отображает создание «проектных идей» (ПИ). Некоторые знания во всем этом процессе могут быть исключены, как бесполезные. При стадии оценки в процессе «реконструкции» (РЕ) в лучшем случае происходит оптимизация, а на выходе получают «изначальные знания» (ИЗ). В то время как из «проектных идей» (ИП) получают совершенно «новые знания» (НЗ).

Разница между двумя изобретательскими процессами видна на рисунке и заключается в том, что результатом верхнего процесса является передача знаний между участниками изобретательского процесса или систематизация знаний у одного изобретателя, в то время как в результате нижнего процесса возможна разработка нового знания. Считается, что для «реконструкции» достаточно базовых творческих усилий, а для «идей цельного проектирования» требуется особое изобретательское мышление и продвинутое творческие способности. По этой причине «проектные идеи» наиболее полезны в процессе разработки знания, хоть и требуют больших усилий. Чтобы наиболее эффективно прикладывать эти усилия требуются специальные методы. Одним из таких методов является морфологический анализ.

2. Метод морфологического анализа в инженерной деятельности

Метод морфологического анализа является наиболее подходящим методом систематической реконструкции «проектных идей» и может быть описан как метод, расширяющий область поиска решений изобретательских идей. Морфологическая схема представляет собой n-мерный морфологический ящик, придуманный Фриццом Цвики.

Морфологический ящик был разработан после окончания второй мировой войны, когда разработчикам понадобилось основывать процесс изобретения на объективности и рациональности. Сам Цвики описал морфологический подход как «абсолютное исследование», целью которого является получение всех решений любой проблемы с беспристрастным взглядом. Морфологические схемы требуют определения всех функций и списка всех возможных решений, чтобы можно было обозначить границы пространства решений. Изобретателю для создания морфологической схемы требуются достаточные знания и/или воображения, чтобы предугадать то, как будет выглядеть схема.

К примеру, можно представить простейшую задачу в виде трех измерений. Пусть этими измерениями будут «цвет», «текстура» и «размер». Обозначим эти измерения как составленные из нескольких дискретных «значений» или состояний, чтобы соответствовать рисунку 2. Пусть первое измерение описывает цвет (цвет = красный, зеленый, синий), второе описывает поверхность (поверхность = ровная, шероховатая, дырчатая), а третье форму (форма = шар, куб, шестигранник). Получается $3 \times 3 \times 3 (=27)$ ячеек в коробке Цвики, каждая из которых содержит 3 состояния (значения), например в одном из них синий шар с ровной поверхностью. Вся трехмерная матрица является полем, содержащим возможные соотношения.

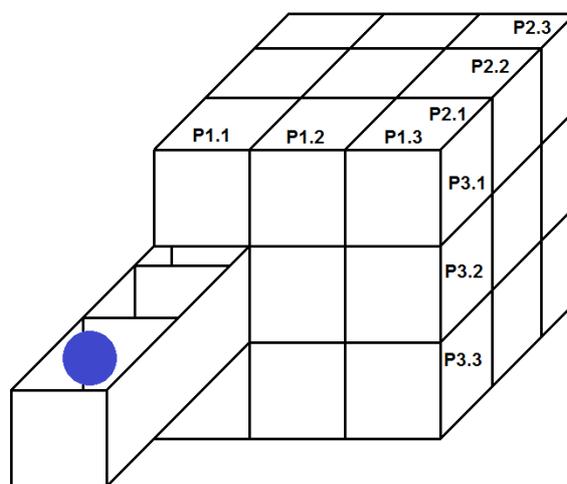


Рис. 2. Трехмерный куб Цвики с выделенным решением задачи

Формат типологического поля использует измерения физического пространства для представления переменных, как в декартовой системе координат. Однако, число координат, которые могут быть представлены в физическом пространстве, ограничивается тремя. Задачи, требующие большего количества измерений, могут обойти эту проблему объединяя переменные. Но такой формат быстро становится неразборчивым. Использование формата морфологического поля (табл. 1) освобождает нас от пространственных ограничений трёхмерного пространства, позволяя нам оперировать бесконечным множеством пространств.

Таблица 1

Трёхмерное морфологическое поле с выделенным решением задачи

Параметр (измерение) 1	Параметр (измерение) 1	Параметр (измерение) 1
P1.1	P2.1	P3.1
P1.2	P2.2	P3.2
P1.3	P2.3	P3.3

Разумеется «матричное» представление параметров для раскрытия множества отношений, связанных с проблемой, не является новым. Однако крайне систематический подход Цвики к структурированию превратил общую морфологию в самостоятельную дисциплину. Методу удается в одно и то же время быть интегративным и исследующим границы проблемы. При корректном использовании с подходящими задачами метод оказывается богатым на решения, и не таким сложным, как могло показаться изначально.

3. Анализ морфологического анализа на инженерных примерах

Существует два простых примера, которых достаточно, чтобы отобразить принципы метода. Первый привел сам Цвики в своей книге *Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach* (Zwicky, 1969). В качестве подготовительного шага в изучении новых двигателей, Цвики составил список 10 форм энергии, чтобы исследовать все возможные формы преобразования энергии.

Приведем упрощенную морфологическую схему (табл. 2) этой задачи, в которой список «форм энергий» сокращен до 5, а количество измерений - до 3. Таким образом, эта матрица содержит $5^3 (=125)$ возможных конфигураций. даже этот простой пример удивительно комплексный.

Матрица конвертации энергии

Изначальная форма энергии	Передаточная форма	Конечная форма (хранение)
(К) Кинетическая	(К) Кинетическая	(К) Кинетическая
(Э) Электричество	(Э) Электричество	(Э) Электричество
(Х) Химическая	(Х) Химическая	(Х) Химическая
(Т) Термическая	(Т) Термическая	(Т) Термическая
(Я) Ядерная	(Я) Ядерная	(Я) Ядерная

К примеру, «1)К + 2)Э + 3)Х» может представлять собой гидроэлектрический генератор, который хранится в батареях, «1)Х + 2)Т + 3)К» может представлять собой двигатель внутреннего сгорания, что ведет к хранению энергии в маховике. «1)Э + 2)Х + 3)Т» может представлять собой холодильник.

Второй пример взят из работ шведского национального научно-исследовательского агентства обороны, обеспокоенного будущим программы шведских бомбоубежищ. Во время холодной войны Швеция ежегодно инвестировала большие суммы денег на планирование, постройку и обслуживание этих убежищ. С концом холодной войны программе бомбоубежищ – бесполезных и дорогих – потребовался пересмотр. Эта проблема, требующая взвешенного решения и планирования наперед, отлично подошла для морфологического анализа.

Первым шагом было определение и обозначения измерений проблемы, другими словами, аспектов задачи (технические, финансовые, политические, этические). Одним из достоинств используемого метода анализа является отсутствие формальных ограничений для такого количества разных аспектов проблемы. Наоборот, для лучшего решения нужно рассматривать все аспекты проблемы одновременно.

Вторым шагом будет определение спектра «значений» для каждого параметра (аспекта). Эти значения являются возможными, уместными состояниями, который может принять каждый параметр. В результате получится матрица, представленная в

сокращенном виде в таблице 3. Она была сокращена с исходных десяти параметров до шести, и полезна только как наглядный пример, близкий к реальному.

Таблица 3

Матрица для исследования проблемы бомбоубежищ

Географический приоритет	Функциональный приоритет	Вместимость	Новые постройки	Обслуживание	Общее направление
Крупные города	Все социально-технические функции	Большие, без возможности переполнения	С новыми постройками	Учащенное обслуживание	Все равны
Среднестатистические города	Техническое обслуживание	Большие, с возможностью переполнения	По мере надобности	Обслуживание на прежнем уровне	Все идут на определенный риск
Загородная область	Гуманитарные цели	Маленькие, без возможности переполнения	Только для укрепления	Без обслуживания	Приоритет: ключевой персонал
Без географического приоритета	Жительство	Маленькие, с возможностью переполнения			Приоритет: нуждающимся

Сокращенная матрица бомбоубежищ содержит 2304 (4x4x4x3x3x4) конфигураций, одна из которых отображена в таблице 3. Несложно сформировать её саму вручную и отметить несколько лучших конфигураций. Но оценка всех возможных конфигураций займет неоправданно много времени и усилий. Настоящая матрица бомбоубежищ содержит 500,000 возможных конфигураций, слишком много, чтобы обрабатывать их все от руки.

Поэтому прибегают к сокращениям конфигураций, а также автоматизации выбора наилучшего решения задачи. Для этого задачу морфологического анализа возлагают на специализированное программное обеспечение. Однажды задав корректные алгоритмы, можно гораздо эффективнее выполнять морфологический анализ.

4. Применение морфологического анализа для синтеза несущей конструкции электронной аппаратуры с помощью морфологического анализа

Рассмотри задачу – спроектировать универсальную несущую конструкцию для электронной аппаратуры. Требуемая несущая конструкция должна относиться к 3му уровню (НК3). Это значит, что НК предназначена для размещения стационарных, возимых и морских электронных средств.

Стандартизовано более 100 вариантов исполнения. НКЗ обеспечивают построение аппаратуры с подводом внешних кабелей к верхней, нижней части стойки (шкафа) и непосредственно к НК2. Пример НКЗ приведен на рис. 4.

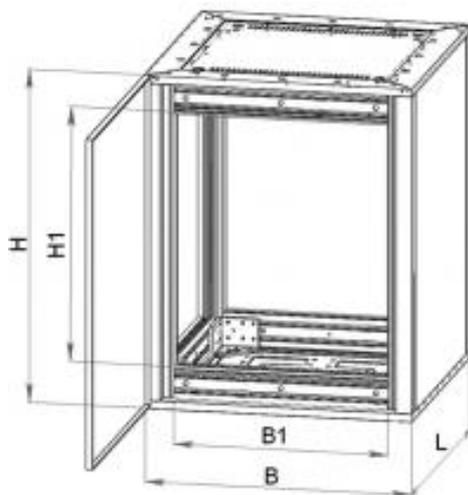


Рис. 3. Пример несущей конструкции 3-го уровня

Несущая конструкция электронной аппаратуры должна отвечать следующим требованиям:

- качество и надежность
- наличие экранирования
- дешевизна
- виброустойчивость

Выберем в соответствии с этими требованиями из составленной матрицы морфологического анализа (табл. 4) наилучший вариант.

Таблица 4

Матрица для подбора несущей конструкции

Материал	Форма	Конструкция	Защита от внутренней вибрации
Дерево	Прямоугольный параллелепипед	Листовая	Амортизация
Стекло	Шар	Монолитная	Демпфирование
Алюминий	Плоский каркас	Разъемные ящики	Введение ребра жесткости
Железо	Конус	Ящики на шасси	Дополнительные крепления
Золото			Расстройка частот конструкции

Заливкой отмечена наиболее подходящая комбинация, на деле являющаяся листовым железным шкафом, который уже давно существует (рис. 4).



Рис. 4. Листовой железный шкаф

В его создании задействовано автоматизированное производство с использованием высокоточного оборудования, в т.ч. лазерного раскроя материалов, поэтому шкаф является качественным, дешевым и достаточно надежным. Введение ребра жесткости при сгибе листов металла позволяет гасить внутреннюю вибрацию. Применение листовых материалов позволяет получить электромагнитное экранирование.

Чтобы получить новый, лучший вариант несущей конструкции для электронной аппаратуры необходимо расширить матрицу, добавив больше измерений (критериев) и их значений. Но использовать для обработки такого количества возможных решений задачи только ручной труд будет неэффективно, пригодится использование специализированного программного обеспечения для автоматизации процесса.

Заключение

Морфологический анализ основан на фундаментальных научных методах чередования анализа и синтеза. Поэтому его можно считать достоверным и полезным методом исследования комплексных проблем, которые не могут быть решены формальными математическими методами, простым моделированием или симуляцией.

Список литературы

- [1]. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач: учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2008. 384 с., ил.
- [2]. Журавлева Л.В., Власов А.И., Тимофеев Г.Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро-/наносистем // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107-111.
- [3]. Журавлева Л.В., Власов А.И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
- [4]. Zwicky F. Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach. Toronto: The Macmillian Company, 1969. 381 p.
- [5]. Журавлева Л.В., Власов А.И., Резчикова Е.В. и др. Онтология наноинженерии // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 12-1 (19). С. 50-67.
- [6]. Cross N. Designerly Ways of Knowing. Washington: The main press, 2006. 443 p.
- [7]. Овсищер П.И., Голованов Ю.В. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1988. 94 с.
- [8]. Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.В. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2014. 165 с.