

**РАЗРАБОТКА ПОШАГОВОГО АЛГОРИТМА
МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
С РАЗДЕЛЕНИЕМ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ**

Т.Г. Гурская, В.М. Зарипова

Описаны преимущества и недостатки метода комбинаторно-морфологического анализа и синтеза, который используется в теории энерго-информационной модели цепей на множестве физико-технических эффектов (ФТЭ). Предложен алгоритм морфологического синтеза на основе разделения совокупности морфологических признаков ФТЭ на основные и дополнительные.

Ключевые слова: энерго-информационная модель, физико-технический эффект, ФТЭ, морфологический анализ, морфологический синтез.

Key words: Energy and Information Circuit Model, Physical and Technical Effects (PTE), morphological analysis, morphological synthesis.

В последние годы все большее внимание исследователей привлекают химические и биологические методы преобразования информации. Существует группа электрокинетических преобразователей, принцип действия которых базируется на явлениях, возникающих при протекании раствора электролита через пористую перегородку (электроосмос, потенциал и ток течения) или при движении твердой дисперсной фазы в неподвижном растворе электролита (электрофорез, потенциал и ток оседания).

Использование электрокинетических элементов имеет ряд преимуществ: возможность работы на микро- и наноуровнях; отсутствие движущихся компонентов; бесшумность работы; надежность; высокая производительность; сравнительно низкая цена. Все это подтверждает перспективность развития класса электрокинетических преобразователей.

Разработка новых преобразователей и их анализ существенно затрудняется тем, что описание физических процессов, на которых основан принцип действия этих преобразователей, как правило, ведется на языке, присущем данному классу физических явлений (магнитных, электрических, гидравлических и т.д.). При этом описания различных классов физических явлений отличаются друг от друга по традиционно используемому математическому аппарату, что позволяет глубоко исследовать специфические особенности, присущие соответствующему классу явлений, но усложняет синтез и расчет характеристик новых элементов управления на основе комбинации физических эффектов различной природы.

Большинство работ, использующих элементы теории аналогий и подобия для описания различных по своей природе явлений, предназначены для изучения какого-либо одного явления по аналогии с другим известным и не имеют единой обобщенной модели, позволяющей описывать процессы и явления разной физической природы с помощью единого математического аппарата [3–6]. Теория энерго-информационных моделей цепей (ЭИМЦ), разработанная профессорами М.Ф. Зариповым и И.Ю. Петровой [3], основана на едином математическом аппарате, инвариантном к природе протекающих физических процессов, и позволяет описывать физический принцип действия технического устройства как сложную структуру элементарных преобразований физических величин различной природы (представленных в базе знаний системы как физико-технические эффекты – ФТЭ). Для поиска конструктивной реализации полученных решений используется метод морфологического анализа и синтеза, который легко поддается автоматизации и позволяет существенно расширить поле генерируемых ре-

шений. Отличие подхода, принятого в ЭИМЦ, состоит в том, что морфологические матрицы составляются на каждый ФТЭ, а не на все техническое решение в целом, что позволяет многократно использовать результаты морфологического анализа при синтезе новых конструктивных решений и существенно увеличивает количество возможных решений.

Впервые идеи морфологического подхода были изложены швейцарским астрономом Ф. Цвикки в 30-х гг. XIX в. [10] и в дальнейшем были развиты рядом исследователей, в частности, В.М. Одриным и С.С. Картавовым [4], А.И. Половинкиным [5] и др. На Западе исследованиями в области морфологического анализа серьезно занимались Т. Ритчи [9] и Р. Койл [9]. Классический морфологический подход по Цвикке основан на первоначальном выделении измерений (или параметров) исследуемой системы, определении многообразия решений (или значений) для каждого из выделенных ранее измерений и последующем построении многомерного пространства поиска решений (морфологического ящика Цвикки), где каждая ось представлена множеством возможных вариантов решения одного из параметров системы. Таким образом, каждая ячейка морфологического пространства поиска представляет собой комбинацию значений параметров системы. Поиск решения представляет собой процедуру перебора ячеек морфологического ящика.

Морфологический подход имеет ряд преимуществ по сравнению с классическим структурным подходом к проектированию технических реализаций элементов систем управления:

- в результате морфологического анализа определяется морфологическое множество, описывающее все структурные решения устройств рассматриваемого класса, как реально существующие, так и потенциально возможные, патентоспособные структуры. При классическом подходе пространство поиска ограничено набором аналогов цельной конструкции устройства и воображением изобретателя;
- морфологический синтез представляет собой комбинаторную операцию и покрывает таким образом все пространство поиска решений, а также легко поддается автоматизации;
- мощность морфологического множества легко наращивается. При этом могут быть использованы справочные издания, патенты, научная литература и иные источники, отражающие тематику проблемы, что уменьшает зависимость от первоначальных знаний изобретателя по предметной области;
- метод позволяет легко выявить недостаточность или поверхностность описания морфологического множества на этапе анализа полученных решений.

Наполнение морфологического множества связано с первым этапом метода морфологического исследования – морфологическим анализом.

На этом этапе перед экспертом или группой экспертов стоят следующие задачи:

1. предельно точно сформулировать проблему;
2. выявить и охарактеризовать все параметры возможных решений (определить классификационные признаки и их значения);
3. сконструировать морфологический ящик, который будет содержать все решения проблемы, оформив его в виде морфологической таблицы или каким-либо иным образом.

После наполнения морфологического множества и качественной или количественной оценки классификационных параметров инженер-проектировщик должен решить следующие задачи:

- 1) проанализировать решения, содержащиеся в морфологическом ящике с точки зрения поставленных целей (целевой функции);
- 2) выбрать и реализовать наилучшее решение (наилучшие решения).

При этом необходимо учитывать, что по окончании этапа синтеза инженер-проектировщик получает структурированное описание технического изобретения, ограниченное

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

знаниями экспертов по классу проектируемых устройств и количеством проанализированных на предыдущем этапе аналогов и прототипов устройств, принадлежащих данному классу.

Методы комбинаторно-морфологического анализа и синтеза на множестве физико-математических эффектов (ФТЭ), используемые в ЭИМЦ, предназначены для поиска новых решений на основе комбинирования конструктивных решений ФТЭ, входящих в цепочку, определяющую физический принцип действия системы. Конструктивная реализация каждого ФТЭ определяется на основе его морфологического множества, представляющего собой совокупность всех существующих и мыслимых конструктивных реализаций этого физикотехнического эффекта. Морфологическая матрица, соответствующая этому множеству, описывается на этапе создания паспорта ФТЭ и заносится вместе с паспортом в базу данных. При появлении новых конструктивных решений ФТЭ они могут быть занесены в его морфологическую таблицу, благодаря чему поддерживается актуальность базы данных. Разработанная классификация методов морфологического анализа и синтеза позволила выявить достоинства и недостатки вышеприведенного метода.

Метод дает большие преимущества по сравнению со стандартными методами морфологического анализа и синтеза: сужение области поиска на этапе морфологического анализа, возможность многократного использования результатов проведенного морфологического анализа при синтезе различных устройств, уменьшение трудозатрат по поддержке базы данных конструктивных реализаций в актуальном состоянии.

Однако при этом он обладает рядом недостатков:

- инкапсулированный характер описания морфологического множества ФТЭ подразумевает, что в случае необходимости ФТЭ может быть описан как отдельное независимое устройство, для чего в морфологическое множество ФТЭ включаются несущественные морфологические признаки, которые обеспечивают целостность конструкции, но при этом не влияют на принцип действия ФТЭ. Однако при синтезе технического решения на основе цепочки ФТЭ эти несущественные признаки излишне перегружают полученную конструкцию и в ряде случаев служат причиной неверного восприятия конструкции;

- принцип действия многих устройств основан на последовательности ФТЭ, объединенных единой физической средой протекания процесса. Для элементов на основе электрокинетических эффектов такой средой служит рабочая жидкость, описываемая на этапе морфологического анализа как один из признаков. При автоматизированном синтезе этот признак может принимать различные значения в зависимости от его влияния на рабочие характеристики каждого ФТЭ, однако в электрокинетических элементах, как правило, используется одна и та же рабочая жидкость на всех участках цепи;

- в случае некорректного морфологического анализа либо морфологического анализа узкого класса устройств в морфологическое описание ФТЭ могут быть внесены признаки, улучшающие некоторые характеристики ФТЭ и не влияющие при этом ни на физический принцип действия ФТЭ, ни на его конструктивную целостность. Эти признаки заведомо усложняют разрабатываемую конструкцию. При этом их введение может ухудшить ряд характеристик полученного комплексного решения, таких как цена, вес, надежность. Таким образом, использование дополнительных признаков как постоянных элементов морфологического синтеза не является целесообразным;

- результаты обзора методов морфологического анализа [2] показали, что в методе используется ограниченный перечень классификационных параметров и отсутствует разделение по типам классификационных параметров объекта.

Для нахождения морфологического множества конструктивных реализаций ФТЭ используется следующий алгоритм.

- Определение класса устройств, в которых задействован принцип действия, присущий данному ФТЭ.

- Подбор справочных источников, патентов и технических описаний устройств данного класса.

- Анализ отобранных текстовых источников, выделение деталей общей конструкции, которые отвечают за реализацию данного физического эффекта и явления:

- выделение классификационных параметров (морфологических признаков);

- формирование множества всех возможных реализаций и технических решений выделенных морфологических признаков (значений признаков). Описание значения признака содержит словесное описание и эскизный чертеж, а также сравнительные балльные оценки эксплуатационных характеристик.

- Составление морфологической матрицы ФТЭ. Морфологическая матрица ФТЭ содержит: наименование признака; наименование каждого значения признака; эскизный чертеж, представляющий агрегатное состояние, взаиморасположение и взаимодействие элементов значения признака и/или значений признака; вектор сравнительных оценок значимых характеристик, представляющих описание эксплуатационных и экономических показателей значения признака как физического объекта (цена, надежность, чувствительность и т.д.).

- Составление матрицы несочетаемых значений признаков, которые не могут быть одновременно использованы в одной и той же комбинации значений признаков.

- Пополнение морфологической матрицы ФТЭ признаками и/или значениями признаков при последующем анализе справочной информации по устройствам, использующим данный эффект.

Выбрать из морфологической таблицы наиболее приемлемые или эффективные комбинации технических решений нелегко из-за большого числа комбинаций. Согласно принципам комбинаторики число возможных вариантов технических решений, которые можно получить (синтезировать) на основе морфологической таблицы равно (формула 1):

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m \quad (1)$$

где n – число альтернативных вариантов в столбце; m – число столбцов.

Таким образом, перед инженером стоит задача сужения поля поиска или формирования жестких критериев выбора полученных вариантов. Наиболее эффективные технические решения из множества всех возможных вариантов можно выбрать путем последовательного сокращения этого множества за счет исключения наименее эффективных и наименее перспективных технических решений.

Другой путь уменьшения числа N заключается в сокращении числа столбцов (признаков) в морфологической таблице. При этом среди всех столбцов (признаков) выделяют главные, или основные, которые решающим образом влияют на эффективность и качество изделия, а также самые второстепенные и малозначащие функциональные узлы, которые можно исключать.

Анализ разработанных морфологических матриц электрокинетических ФТЭ и вторичный анализ патентосодержащей литературы позволил разработать модель морфологического синтеза с разделением на основополагающие (общие O , первичные M_1 , вторичные M_2) и дополнительные признаки (U), позволяющую сузить область поиска решений и устранить недостатки метода комбинаторно-морфологического анализа на основе цепочек ФТЭ, выявленные на этапе классификации методов морфологического анализа и синтеза.

При этом основополагающие признаки отбираются по принципу их необходимости для реализации ФПД (первичные: например, электроды) и целостности конструкции полученного элемента (вторичные: например, форма и материал корпуса), а дополнительные признаки могут быть исключены из этапа морфологического синтеза для упрощения конструкции без какого-либо ущерба для ФПД и представляют собой схемные решения и приемы для улучшения эксплуатационных характеристик изделия. Общие признаки характеризуют

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

физическую среду протекающего процесса. Для класса электрокинетических эффектов таким признаком является *рабочая жидкость*.

Разработанная модель наглядно отражена на рисунке. $O_1 \dots O_n$ – матрица способов реализации общего признака «рабочая жидкость». Выбран рабочий вариант O_2 . Морфологическая матрица каждого ФТЭ состоит из первичных признаков $P_{11} \dots P_{1L}$, каждый из которых участвует в процессе синтеза, и вторичных признаков $P_{21} \dots P_{2K}$, которые могут быть исключены из этапа морфологического синтеза. Каждому значению признака соответствует перечень патентов АМ, в которых он упоминается.

После завершения процедуры синтеза множество патентов, соответствующих задействованным значениям морфологических признаков ФТЭ, отображается на таблице улучшающих приемов и схемных решений, в которой каждому патенту соответствует набор применяемых в нем схемных решений и улучшающих приемов. При желании пользователь может выбрать несколько схемных приемов и решений для полученного ранее конструктивного решения.

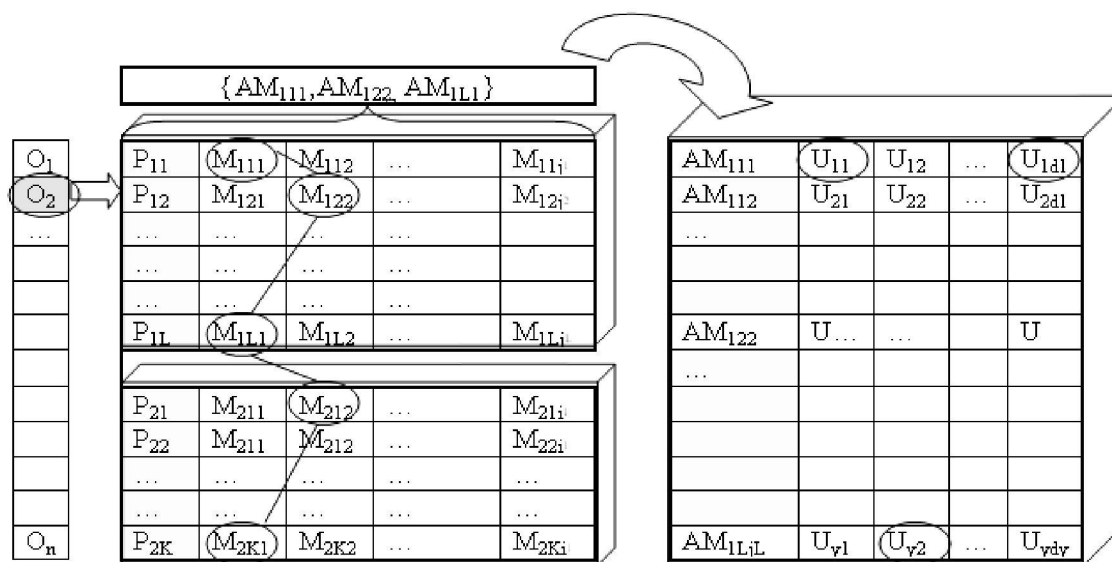


Рис. Модель морфологического синтеза

Для получения прототипов и аналогов конструктивных решений, найденных в процессе морфологического синтеза, и более точного подбора решения в соответствии с требованиями технического задания на основе созданных морфологических матриц электрокинетических ФТЭ была разработана подсистема морфологического синтеза [1]. Она базируется на основе разработанного алгоритма морфологического синтеза с разделением морфологических признаков физико-технических эффектов (ФТЭ) на основные и дополнительные.

Разработанный алгоритм пошагового морфологического синтеза состоит из следующих этапов.

1. Выделение единого морфологического признака (например, рабочей жидкости, для всех электрокинетических ФТЭ).
2. Исключение единого морфологического признака из морфологических матриц ФТЭ цепочки.
3. Поиск базовой конструкции с минимумом суммы экспертных оценок характеристик значений первичных признаков (поиск патентов-аналогов).
4. Усовершенствование конструкции изделия за счет включения вторичных признаков (поиск патентов-прототипов).

5. Усовершенствование свойств изделия за счет использования обобщенной таблицы приемов и схемных решений для выявленных патентов.

На основе разработанных морфологических матриц был проведен морфологический синтез с целью поиска наиболее оптимального сочетания, соответствующего результатам ранжирования полученных решений по набору значимых характеристик. Было дано задание на морфологический синтез: найти те морфологические признаки, которые служат для увеличения чувствительности электрокинетических преобразователей. Результат проведения морфологического синтеза представлен в таблице.

Таблица

Результат морфологического синтеза

Эффект механического прогиба мембраны	Форма упругого элемента Круглый	Материал упругого элемента Диэлектрик	Структура упругого элемента Сплошной		
Эффект зависимости гидростатического давления от столба жидкости	Рабочая жидкость Вода	Форма оболочки Цилиндр	Перегородка Мембрана		
Параметр гидравлической проводимости	Форма сечения канала течения жидкости Круглый	Рабочая жидкость Дистиллированная вода	Признак изменения площади сечения канала Сужение		
Параметр гидравлической жесткости	Перегородка Диэлектрическая мембрана с отверстием	Способ подачи жидкости Множество трубок	Рабочая жидкость Дистиллированная вода	Форма резервуара Цилиндр	
Эффект тока течения	Форма корпуса В виде двух коаксиальных металлических цилиндров	Материал корпуса Металлический	Электроды Перфорированные, нанесенные на перегородку	Рабочая жидкость Дистиллированная вода	Капиллярная структура Пористый керамический диск

Таким образом, физический принцип действия предлагаемого устройства следующий:

1) первоначальное механическое воздействие оказывается на круглый диэлектрический сплошной упругий элемент (1);

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2) прогиб упругого элемента вызывает движение рабочей жидкости (воды) (2), которая проходит через мембрану (2) с круглым отверстием (3) в резервуар (4) в который дополнительно закачивается рабочая жидкость через множество трубок (4);

3) под давлением жидкость просачивается через перегородку (4) в виде пористого керамического диска (5);

4) при действии давления рабочей жидкости на капиллярную структуру на перфорированных, нанесенных на перегородку электродах (5) возникает электрический ток.

Этот результат полностью соответствует конструкции электрокинетического преобразователя [8].

На основе автоматизированной системы [1] синтезированы два новых устройства под названием «Электрокинетический преобразователь» [8] и «Электрокинетический датчик давления на МДП-транзисторе» [7], на которые были получены патенты РФ на полезную модель в Федеральном институте промышленной собственности.

Таким образом, разработан алгоритм и модель пошагового морфологического синтеза на основе разделения совокупности морфологических признаков ФТЭ на основные и дополнительные, позволяющий целенаправленно улучшать требуемый набор эксплуатационных характеристик базовой конструкции за счет ввода дополнительных элементов или изменения применяемых материалов.

Эксплуатация разработанной на основе данного алгоритма подсистемы морфологического синтеза показала возможность ее использования для поиска патентоспособных решений.

Библиографический список

1. *Автоматизированная* подсистема морфологического анализа технической реализации чувствительных элементов систем управления на основе методики разделения конструктивных признаков на основные и дополнительные : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010610921 [Текст] / Гурская Т. Г., Литвинов С. С., Зарипова В. М. ; правообладатель Астрахан. гос. ун-т. – № 2009616899 ; заявл. 02.12.09 ; опубл. 29.01.10.

2. *Гурская, Т. Г.* Энерго-информационные модели электрокинетических эффектов для синтеза микроэлементов систем управления [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Татьяна Геннадиевна Гурская. – Астрахань : Изд. дом «Астраханский университет», 2010. – 24 с.

3. *Зарипов, М. Ф.* Энерго-информационный метод научно-технического творчества : учеб.-метод. пос. [Текст] / М. Ф. Зарипов, Н. Р. Зайнуллин, И. Ю. Петрова. – М. : ВНИИПИ, 1988, 124 с.

4. *Одрин, В. М.* Метод морфологического анализа технических систем [Текст] / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989.

5. *Половинкин, А. И.* Основы инженерного творчества [Текст] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.

6. *Представление* физических знаний для автоматизированных систем обработки информации [Текст] : монография / С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, В. А. Камаев, Д. А. Давыдов. – Волгоград : ТОО «Принт», 1998. – 152 с.

7. *Электрокинетический* датчик давления на МДП-транзисторе Патент на полезную модель 67255 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 L 9/18. Электрокинетический датчик давления на МДП-транзисторе [Текст] / Гурская Т. Г., Петрова И. Ю. ; заявитель и патентообладатель Астрахан. гос. ун-т. – № 2007113829/22 ; заявл. 12.04.2007, опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. – 2 с.

8. *Патент* на полезную модель 63526 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 L 9/18. Электрокинетический преобразователь [Текст] / Гурская Т. Г., Петрова И. Ю. ; заявитель и патентообладатель Астрахан. гос. ун-т. – № 2006141023/22, заявл. 20.10.2006, опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15. – 4 с.

9. *Ritchey, T.* Problem Structuring using Computer-Aided Morphological Analysis [Text] / T. Ritchey // Journal of the Operational Research Society, Special Issue on Problem Structuring Methods. – 2006. – Vol. 25. – P. 792–801.

10. *Zwicky, F.* Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach [Text] / F. Zwicky. – N.Y. : McMillan, 1969. – 33 p.