

## СИНТЕЗ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЛЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ ЕМКОСТНОГО ТИПА С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

М.А. Цыканова, специалист, Л.Н. Бутенко, профессор,

О.А. Базрова, аспирант

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: [tsykanova-marina@yandex.ru](mailto:tsykanova-marina@yandex.ru)

**Н**астоящая работа посвящена разработке метода синтеза эвристических приемов для концептуального проектирования объектов различных предметных областей. Рассмотрен синтез частных эвристических приемов для концептуального проектирования химических реакторов емкостного типа с неподвижным слоем катализатора.

*This article is devoted to the development of a method for synthesizing heuristic techniques for conceptual designing of objects in different topical areas. The synthesis of specific heuristic techniques for conceptual designing of capacitive type chemical reactors with a stationary catalyst layer is considered.*

**Ключевые слова:** эвристический прием, межотраслевой фонд, концептуальное проектирование, химический реактор, интерпретация, инверсия.

**Key words:** heuristic reception, inter-industry fund, conceptual designing, chemical reactor, interpretation, inversion.

В настоящее время для создания новых химических реакторов емкостного типа с неподвижным слоем катализатора (ХРНК емкостного типа) требуется привлечение инструментария когнитивных технологий. Данный инструментарий использует знания о различных познавательных процессах в сфере мышления человека и при поддержке информационными технологиями позволяет их радикально интенсифицировать. Это приводит к резкому изменению технологии решения задач по проектированию систем любого вида, особенно на стадии концептуального проектирования, когда необходимо принимать решения в условиях высокой неопределенности. Для решения данных задач могут применяться эвристические приемы (ЭП). Существует несколько фондов ЭП, которые представлены в работах Альтшуллера Г.С. [1], А.И. Половинкина [2], И.Н. Дорохова [3]. Возрастающая сложность задач концептуального проектирования химических реакторов и сжатые сроки их решения требуют синтеза новых ЭП. Однако в литературных источниках не описан способ их получения, и поэтому особую актуальность приобретает разработка метода синтеза ЭП, что позволит формулировать новые ЭП для решения задач концептуального проектирования ХРНК емкостного типа.

Решение задач исследования и проектирования метода синтеза ЭП основывается на использовании методов поиска новых решений. Анализ особенностей существующих методов поиска новых решений позволил определить основные тенденции их развития: интенсификация процесса переноса знаний, формализация, изобретение нового инструментария и нового информационного обеспечения. Выявленные тенденции было предложено использовать при решении задач исследования и

проектирования метода синтеза ЭП.

В результате анализа существующих фондов ЭП было установлено:

- 1) большинство фондов ЭП не учитывают описания предметной области;
- 2) ЭП не учитывают структуры предметной области;
- 3) ЭП не обеспечивают получения новых свойств объектов.

В качестве информационной базы использован межотраслевой фонд ЭП преобразования объекта [2]. Выбор данного фонда основывается на его универсальности и системном, всестороннем охвате проблемы, задачи. Использование в качестве информационной базы обобщенных ЭП межотраслевого фонда позволяет именовать синтезируемые приемы как частные. Полученные результаты позволили перейти к постановке задачи: синтезировать из обобщенных ЭП частные, учитывающие описание и иерархическую структуру предметной области и обеспечивающие получение новых свойств объектов. Для достижения поставленных целей необходимо первоначально исследовать понятие «эвристический прием».

В результате исследования понятия «эвристический прием» с помощью метода концептуального анализа и синтеза [4] было получено следующее обобщенное определение: ЭП – это сложное правило, описывающее совокупность целенаправленных интеллектуальных действий над объектами в предметной области и используемое при исследовании, проектировании для порождения концептов, идей на основе процессов получения выводного знания. Поскольку обобщенный ЭП выражается в форме текста, то было проведено его исследование с помощью лингвистического подхода [5]. В результате было установлено, что текст обобщенного ЭП

представляет собой целостное образование, части которого взаимосвязаны семантически и синтаксически. Содержание обобщенного ЭП выражается в форме инфинитивного предложения. Данная синтаксическая конструкция предназначена для выражения модальности побуждения субъекта к действию. Языковое значение обобщенного ЭП формируется взаимным действием семантики образца инфинитивного предложения и лексической семантики тех слов, которые заняли позиции его компонентов. Следовательно, при синтезе частных ЭП необходимо использовать термины конкретной предметной области и инфинитивные конструкции.

Полученные результаты позволили сформулировать основные требования к ЭП как системе:

- 1) содержание описания совокупности интеллектуальных действий;
- 2) направленность на достижение определенной цели (исследования, проектирования);
- 3) обеспечение получения новых идей;
- 4) доступность для восприятия другими субъектами;
- 5) смысловая направленность;
- 6) информационная выразительность.

Для формулирования основных требований к методу синтеза ЭП было проведено исследование данного понятия с помощью метода концептуального анализа и синтеза [4]. На основе построенной концептуальной модели было получено следующее определение: метод синтеза ЭП – это система целенаправленных интеллектуальных процедур для получения правил, описывающих совокупности интеллектуальных действий над объектами в предметной области и используемых при исследовании, проектировании для порождения концептов, идей. На основе полученного определения были сформулированы основные требования к методу синтеза ЭП:

- 1) представление в виде системы целенаправленных интеллектуальных процедур;
- 2) направленность на получение текстов ЭП, используемых при исследовании, проектировании;
- 3) адаптивность к различным предметным областям;
- 4) доступность для восприятия другими субъектами.

На основе феноменологии [6] были выделены процедуры синтеза ЭП: генерация цели синтеза ЭП, поиск/построение иерархического описания объекта, анализ объекта, классификация параметров объекта, выбор обобщенных ЭП, интерпретация и конкретизация обобщенных ЭП [7]. Остановимся более подробно на рассмотрении некоторых из них.

Процедура поиска иерархического описания объекта состоит из следующих интеллектуальных операций: 1) поиск источников инфор-

мации; 2) поиск иерархического описания объекта в источниках информации. Процедура построения иерархического описания объекта состоит из следующих операций: 1) декомпозиция объекта; 2) выбор элемента объекта; 3) соединение объекта и его элемента(ов) в иерархическую структуру. Глубина многоуровневого разделения объекта на элементы определяется поставленной задачей и уровнем знаний об объекте. При этом интеллектуальные операции декомпозиции и выбора выполняются для элемента, соответствующего  $n$ -му уровню иерархии описания объекта, где  $n=1, \dots, m$ . Процедура анализа объекта состоит из следующих операций: 1) поиск источников информации; 2) сбор информации о параметрах и математических моделях физико-технических эффектов для  $n$  уровня иерархии описания объекта, где  $n=0, 1, \dots, m$ . Процедура принятия решения (выбор обобщенных ЭП) состоит из следующих интеллектуальных операций [8]: 1) разработка оценочных шкал критериев выбора; 2) оценка наименований групп межотраслевого фонда (обобщенных ЭП) по шкалам выделенных критериев; 3) упорядочение наименований групп межотраслевого фонда (обобщенных ЭП); 4) анализ результатов упорядочения.

Когнитивные процедуры интерпретации и конкретизации имеют очень сложную, скрытую структуру, затрудняющую их экспериментальное выявление и исследование. Поскольку предметом исследования герменевтики является текст, то при рассмотрении процедуры интерпретации был использован инструментарий герменевтики и, в частности, предложенная Х. Гадамером трехкомпонентная структура процесса понимания [9]. Было установлено, что интерпретация (истолкование) обобщенного ЭП – когнитивная процедура, обеспечивающая «перевод» текста обобщенного ЭП на язык, объединяющий речь текста, конкретной предметной области и самого интерпретатора. Интерпретация проводится с учетом контекста (целевые установки, психологические особенности личности субъекта) и в результате получается новый инструмент, в котором сохраняется целевая функция обобщенного ЭП.

Порождение частных ЭП предполагает переход к конкретной предметной области. Переход от абстракций и обобщений обратно к конкретной действительности основывается на процедуре конкретизации. Конкретизация реализует возврат ко всей полноте индивидуальной специфики осмысливаемого объекта при удержании всего богатства его абстрактных отношений. Процедуры интерпретации и конкретизации связаны между собой взаимной соподчиненностью, образуя иерархию приоритетов: верхний уровень – интерпретация, нижний уровень – конкретизация и процесс обработки

обобщенного ЭП протекает одновременно на двух взаимосвязанных уровнях [10].

Частный ЭП должен обладать системным свойством целостности. Для обеспечения целостности могут применяться различные подходы, однако в данном случае предлагается использование когнитивной процедуры инверсии. Одним из требований целостности является наличие противоположной процедуры. Применение инверсии позволяет получать целостные системы «прием-антиприем», которые могут быть использованы для выполнения противоположных функций, и обеспечивают получение новых свойств объектов.

На основе методов концептуального анализа и синтеза, лингвистики, феноменологии, герменевтики разработан метод синтеза ЭП для концептуального проектирования объектов различных предметных областей [11]. Разработанный метод включает 6 стадий:

$$G_n = \langle G_l(Ob, C_g), (S_r(P_s, Ob) \vee S_s(P_s, Ob, K_d, C_d, K_l, Re)), A_n(Ob_h) \rangle,$$

$$C_l(P_r^n, K_c, R_c), Ch(K_p^n, Inf, Kh, R_w), In(K_n(W_{HR}, K_p^n, M_t^n, Sp)), Inv(S, K_p^n, M_t^n, T_m) \rangle,$$

где  $G_l$  – процедура генерации цели синтеза ЭП,  $Ob$  – наименование объекта предметной области,  $C_g$  – условия генерации цели синтеза ЭП,  $S_r$  – процедура поиска иерархического описания объекта,  $P_s$  – цель синтеза ЭП,  $S_s$  – процедура построения иерархического описания объекта,  $K_d = \{kd_1, \dots, kd_t\}$  – множество критериев декомпозиции объекта,  $C_d$  – условия декомпозиции объекта,  $K_l = \{kl_1, \dots, kl_f\}$  – множество критериев выбора элемента объекта;  $Re$  – правило выбора элемента объекта,  $A_n$  – процедура анализа объекта,  $Ob_h$  – иерархическое описание объекта,  $C_l$  – процедура классификации параметров объекта для  $n$  уровня иерархии,  $P_r^n = \{pr_1^n, \dots, pr_e^n\}$  – множество параметров объекта для  $n$  уровня иерархии,  $K_c = \{kc_1, \dots, kc_w\}$  – множество классификационных признаков,  $R_c$  – классообразующая функция,  $Ch$  – процедура принятия решения (выбор обобщенных ЭП),  $K_p^n = \{kp_1^n, \dots, kp_u^n\}$  – множество классов параметров объекта для  $n$  уровня иерархии,  $Inf$  – межотраслевой фонд ЭП,  $Kh = \{kh_1, \dots, kh_v\}$  – множество критериев выбора обобщенных ЭП,  $R_w$  – правило выбора обобщенных ЭП,  $In$  – процедура интерпретации ЭП,  $K_n$  – процедура конкретизации ЭП,  $W_{HR}$  – обобщенные ЭП,  $M_t^n = \{mt_1^n, \dots, mt_b^n\}$  – множество математических моделей физико-технических эффектов для  $n$  уровня иерархии описания объекта,  $Sp$  – условия интерпретации/конкретизации ЭП,  $Inv$  – процедура инверсии частных ЭП,  $S$  – система частных ЭП после стадии интерпретации/конкретизации,  $T_m$  – условия инверсии частных ЭП.

Рассмотрим синтез частных ЭП для концептуального проектирования ХРНК емкостного типа:

1. Генерация цели синтеза ЭП. Целью

- 1) генерация цели синтеза ЭП;
- 2) поиск/построение иерархического описания объекта;
- 3) анализ объекта;
- 4) классификация параметров объекта для  $n$  уровня иерархии, где  $n=0, 1, \dots, m$ ;
- 5) выбор обобщенных ЭП;
- 6) интерпретация/конкретизация и инверсия ЭП для  $n$  уровня иерархии описания объекта, где  $n=0, 1, \dots, m$ .

Частные ЭП для  $n$  уровня иерархии используются при получении приемов для  $(n+1)$  уровня иерархии. При этом последовательность процедур интерпретации/конкретизации и инверсии применяется для каждого уровня иерархии описания объекта. В процессе синтеза происходит увеличение количества частных ЭП за счет применения различных видов инверсии.

Метод синтеза ЭП формально можно представить так:

синтеза ЭП является повышение эффективности концептуального проектирования ХРНК емкостного типа.

2. Поиск/построение иерархического описания ХРНК емкостного типа. На основе иерархического описания химико-технологических систем, представленного в работе [3], иерархическое описание ХРНК емкостного типа имеет следующий вид:

0 уровень (макроуровень) – ХРНК емкостного типа;

1 уровень (мезоуровень) – контактная ступень;

2 уровень (микроуровень) – контактное устройство.

3. Анализ ХРНК емкостного типа. В результате анализа выделено множество параметров и математических моделей физико-технических эффектов для 0, 1, 2 уровней иерархии описания ХРНК емкостного типа.

4. Классификация параметров ХРНК емкостного типа для 0, 1, 2 уровней иерархии. Множество параметров ХРНК емкостного типа разделено на следующие классы: технические, технологические, тепловые, теплофизические, механические, силовые, конструктивные. Множество параметров контактной ступени разделено на следующие классы: технологические, кинетические, тепловые, гидродинамические, силовые, геометрические. Множество параметров КУ разделено на следующие классы: технологические, кинетические, термодинамические, механические, силовые, геометрические.

5. Выбор обобщенных ЭП. Межотраслевой фонд содержит описания обобщенных ЭП для преобразования технических объектов. ХРНК емкостного типа относится к техническим объ-

ектам, поэтому для синтеза частных ЭП были отобраны все наименования групп межотраслевого фонда. Выбор обобщенных ЭП основывается на применении процедуры принятия решения, состоящей из следующих этапов [8]:

5.1. Разработка оценочных шкал критериев выбора. В результате исследования был выявлен критерий  $k$  – «применимость». Применимость – критерий, характеризующий возможность применения данного обобщенного ЭП для преобразования ХРНК емкостного типа, может оцениваться как: «высокая» – данный обобщенный ЭП может использоваться для преобразования ХРНК емкостного типа; «низкая» – данный обобщенный ЭП не может использоваться для преобразования ХРНК емкостного типа.

5.2. Оценка обобщенных ЭП по шкале выделенного критерия. Каждому обобщенному ЭП ставится в соответствие вербальная оценка.

5.3. Упорядочение обобщенных ЭП. На основе правила выбора – из двух вербальных оценок предпочтительнее оценка «высокая» – проводится сравнение и упорядочение обобщенных ЭП.

5.4. Анализ результатов упорядочения. В соответствии с полученным упорядочением определяется базовое множество обобщенных ЭП, имеющих вербальную оценку «высокая».

Из базового множества обобщенных ЭП был выбран следующий прием [2]: «сделать в объекте (элементе) отверстия или полости (инверсия приема)».

6. Интерпретация/конкретизация и инверсия ЭП для 0, 1, 2 уровней иерархии ХРНК емкостного типа. В результате получена следующая система частных ЭП:

6.1. Изготовить элемент химического реактора с отверстиями. Изготовить элемент химического реактора без отверстий.

6.1.1. Получить элемент контактной ступени реактора с высокой долей свободного объема. Получить элемент контактной ступени реактора с низкой долей свободного объема.

6.1.1.1. Получить контактное устройство реактора с высокой долей свободного объема. Получить контактное устройство реактора с низкой долей свободного объема.

На основе разработанного метода синтеза был сформирован объектно-ориентированный фонд ЭП для концептуального проектирования ХРНК емкостного типа, который содержит описание 226 частных ЭП. Ниже приведены примеры синтезированных частных ЭП.

1. Использовать элементы химического реактора одинаковой формы. Использовать элементы химического реактора разной формы.

1.1. Использовать элементы контактной ступени реактора одинаковой формы. Использовать элементы контактной ступени реактора разной формы.

1.1.1. Использовать контактные устройства реактора одинаковой формы. Использовать контактные устройства реактора разной формы.

2. Разработать конструкцию многофункционального химического реактора. Разработать конструкцию однофункционального химического реактора.

2.1. Разработать многофункциональную контактную ступень реактора. Разработать однофункциональную контактную ступень реактора.

2.1.1. Синтезировать многофункциональное контактное устройство реактора. Синтезировать однофункциональное контактное устройство реактора.

3. Использовать внешний источник энергии в химическом реакторе. Использовать получаемую в химическом процессе энергию в реакторе.

3.1. Использовать внешний источник энергии в химическом реакторе для обеспечения эффективной работы контактной ступени. Использовать получаемую в химическом процессе энергию для обеспечения эффективной работы контактной ступени.

3.1.1. Использовать внешний источник энергии в химическом реакторе для обеспечения эффективной работы контактных устройств. Использовать получаемую в химическом процессе энергию для обеспечения эффективной работы контактных устройств.

На этапе концептуального проектирования, в силу сложности объекта проектирования и неопределенности информации, необходимо использовать инструментарий информационных технологий. В плане интеграции когнитивных и информационных технологий спроектирована и реализована информационно-поисковая система по ЭП для концептуального проектирования ХРНК емкостного типа «Himreactor». Автоматизированная система разработана на основе использования иерархического описания ХРНК емкостного типа, множества параметров для каждого уровня иерархии и объектно-ориентированного фонда ЭП. Информационно-поисковая система предназначена для разрешения конфликтов между параметрами химического реактора на основе частных ЭП.

Таким образом, на основе использования методов концептуального анализа и синтеза, лингвистики, феноменологии, герменевтики разработан метод синтеза ЭП для концептуального проектирования объектов различных предметных областей. Разработанный метод синтеза использован при формировании объектно-ориентированного фонда ЭП для концептуального проектирования ХРНК емкостного типа. Разработана информационно-поисковая система «Himreactor», предназначенная для разрешения конфликтов между параметрами химического реактора на основе частных ЭП.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1973. 296 с.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. 368 с.
3. Дорохов И.Н., Меньшиков В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. – М.: Наука, 2005. 584 с.
4. Теслинов А.Г. Концептуальное проектирование сложных решений. – СПб.: Питер, 2009. 288 с.
5. Казарина В.И. Современный русский синтаксис: структурная организация простого предложения. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2007. 329 с.
6. Теслинов А.Г. Развитие систем управления: методология и концептуальные структуры. – М.: Глобус, 1998. 229 с.
7. Цыканова М.А., Бутенко Л.Н. Процедуры получения частных эвристических приемов объектно-ориентированного фонда для проектирования аппаратов химико-технологических систем // Известия ВолгГТУ. Сер. «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». 2008. № 4. С. 102–104.
8. Гудков П.А. Методы сравнительного анализа. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. 81 с.
9. Основные концепции философской герменевтики Х.-Г. Гадамера и лингвистика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruthenia.ru/> (дата обращения: 15.12.2011).
10. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта. – М.: Советское радио, 1975. 256 с.
11. Цыканова М.А., Бутенко Л.Н., Базрова О.А. Синтез частных эвристических приемов для проектирования химических процессов // Известия ВолгГТУ. Сер. «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». 2011. № 10. С. 125–128.