

Д.М. Коробкин, С.А. Фоменков, С.Г. Колесников
**МЕТОД СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НОВЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПАТЕНТНЫХ
МАССИВОВ**

*Волгоградский государственный технический университет,
Волгоград, Россия*

Задача автоматизации синтеза инновационных решений в области технических систем и технологий на основе новейшей патентной информации является одной из наиболее приоритетных проблем науки. Одной из целей синтеза новых технических систем является улучшение характеристик отдельных элементов технического объекта (ТО) и соответственно самого объекта. Для этого требуется детализировать конструктивную функциональную структуру ТО, т.е. определить элементы (компоненты) ТО и функции элементов ТО. Другой задачей синтеза новых технических решений является реализация некоторой потребности (технической функции). В статье представлен разработанный метод синтеза функциональной структуры новых технических решений, основанный на использовании морфологической Таблицы, формируемой в результате семантической обработки информации патентных массивов. Посредством извлеченных из формулы изобретения SAO (Subject-Action-Object, Субъект-Действие-Объект) определяются взаимосвязи между техническим объектом и его компонентами (элементами ТО). На основе морфологической матрицы конфигурируются новые технические решения и ранжируются с помощью метода совместного анализа (СА); критерий полезности СА вычисляется на основе количества цитирований патента/патентов, из которых была извлечена выбранная техническая функция. Для реализации требуемой потребности (технической функции) используется информация из разработанной Таблицы, связывающей физические эффекты (ФЭ) и выполняемые ими технические функции (ТФ). На основе требуемой ТФ формируется задание на синтез физического принципа действия (ФПД). Выбирается оптимальная, исходя из критериальных оценок всех входящих в нее ФЭ, структура ФПД, на основе которой формируется потоковая функциональная структура синтезированной технической системы.

Ключевые слова: морфологический синтез, технические функции, физические эффекты, патенты

Введение

Задача автоматизации синтеза инновационных решений [1] в области технических систем и технологий является одной из наиболее приоритетных проблем науки. Генерация новых идей является обязательным для успешного инновационного продукта и технологического развития. Способность генерировать новые идеи означает способность создавать интеллектуальную собственность (ИС), которая либо используется в новом продукте или предлагается в качестве самого

продукта. Статистика по ИС (в виде патентов) показывает, что генерация ИС и торговля ею являются важными пунктами анализа изобретательской способностей физических лиц и компаний. Кроме того, наблюдается положительная корреляция между долей ИС в валовом внутреннем продукте страны и валовым внутренним продуктом на душу населения.

Существует несколько известных подходов для поддержки стадии концептуального проектирования технической системы: теория решения изобретательских задач (TRIZ, ТРИЗ) [2,3], а также связанные с ней разделы структурирования (развертывания) функций качества (Quality Function Deployment, QFD) [4], аксиоматического проектирования (Axiomatic Design, AD) [5], проектирования для производств, сборки, надежности и т.д. (Design for Robustness, Manufacturability, Assembly) [6], и бережливого производства (Lean manufacturing) [7]. Исследования [8], основанные на анализе индексированных документов базы Scopus, свидетельствуют о популярности приведенных методов и их комбинации (TRIZ-QFD, TRIZ-AD и т.д.).

Одним из перспективных подходов является развитие ТРИЗ на основе функционального анализа [9,10], который совместно с конструкцией «Субъект-Объект-Действие» (SAO) [11], используемой для семантической обработки запроса на естественном языке, сформировали идеологическую основу для инновационного проектирования. Это направление исследований нашло отражение в коммерчески доступном программном обеспечении корпорации Invention Machine (TechOptimizer, Goldfire, Ko-Brain и Knowleadgist), а также в ПО «IdeaFinder+», «Innovation WorkBench».

Также среди методов концептуального проектирования технических систем перспективным видится подход, связанный с использованием структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ), которые используются для синтеза физического принципа действия технической системы [1, 12]. Физический принцип действия (ФПД) – некоторая структура, отражающая взаимосвязь физических эффектов, в своей совокупности приводящих к выполнению функции технической системы.

Однако описанные выше подходы не лишены недостатков и таким образом, существует потребность в новых методах концептуального проектирования технических систем и технологий с использованием знаний, накопленных в мировом патентном массиве

Цель работы - осуществить разработку метода синтеза функциональной структуры новых технических решений посредством использования морфологической Таблицы, формируемой в результате семантической обработки информации патентных массивов.

Материалы и методы

Одной из целей синтеза новых технических решений является улучшение характеристик отдельных элементов технического объекта и соответственно самого технического объекта (ТО). Для этого нужно детализировать конструктивную функциональную структуру ТО, т.е. определить элементы (компоненты) ТО и функции элементов ТО.

1. Для извлечения описаний функций технического объекта воспользуемся семантической конструкцией «Subject-Action-Object, Субъект-Действие-Объект» (SAO) [13]. Структура SAO является ключевой концепцией, которая может показать взаимосвязь между различными понятиями, используемыми в соответствующем патенте.

Структура SAO показывает с помощью разделительных и атрибутивных отношений (глаголов) соответственно элементы (компоненты) технического объекта (ТО) и потребности (функции ТО).

а) Разделительное отношение определяет слово или фразу, которая указывает на часть чего-либо, отличного от целого. Если «Действием» (A) являются глаголы или отглагольные существительные, такие как «иметь», «состоять из», «включать», «быть составленным из» («have», «composed of», «include», «bemade of» и т.д.), то «Субъект» (S), выступающий в роли ТО, может включать «Объект» (O) в качестве элемента (компонента) ТО.

б) Атрибутивное отношение определяет слово или фразу, являющуюся результатом определенной ситуации, события или действий. Если «Действием» (A) является атрибутивный глагол, такой как «уменьшить», «улучшить», «увеличить» и т.д. («reduce», «improve», «increase» и т.д.), то «Субъект» (S) может повлиять на «Объект» (O) как на проблему или потребность. Т.е. структура SAO может быть организована в формате «проблема-решение», где «Объект-действие» (AO) формирует проблему или потребность, а «Субъект» (S) устанавливает решение. Например, в предложении «The sealing material having excellent chemical tolerance with to electrolyte solution prevents the decrease in photoelectric conversion efficiency», проблема – связка «Действие-Объект» «prevents (A) the decrease in photoelectric conversion efficiency (O)», решение – «Субъект» (S) «The sealing material having excellent chemical tolerance».

Таким образом, разделительные SAO отвечают на вопрос «Какие компоненты (элементы) содержит технический объект?», атрибутивные SAO - «Как решаются проблемы (потребности)?», при этом будем опираться на тот факт, что понятие потребности в инженерной практике тождественно совпадает с понятием функции технического объекта.

При извлечении описаний функций технических объектов из русско- и англоязычных патентов были выявлены особенности построения предложений в патентных документах РосПатента и USPTO (Таблица 1).

Таблица 1. Примеры описаний функций технического объекта

Текст	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Изобретение относится к области измерения искусственных и естественных вариаций элементного состава в условиях повышенного радиационного фона и (или) повышенной температуры.	изменение	искусственные и естественные вариации элементного состава	в условиях повышенного радиационного фона и (или) повышенной температуры
Изобретение может быть использовано для получения холода для промышленного, бытового и специального охлаждения	получения	холод	для промышленного, бытового и специального охлаждения
A signal converter operable to form a code word of the digital data in accordance with the code word building method	operable to form	code word of digital data	in accordance with code word building method
An IFFT calculator performs inverse fast Fourier transformation on post-operation data	perform	inverse fast Fourier transformation	on post-operation data

В результате описание функции технического объекта в русско- и англоязычном тексте будем представлять в следующем виде: $F = \langle D, G, H \rangle$ [14], где D – множество действий (actions), производимых и приводящих к желаемому результату; G – множество объектов (objects), на которые эти действия направлены; H – множество особых условий (conditions) выполняемых действий.

Для извлечения функций технических объектов в формате DGH из русско- и англоязычных текстов патентов будем использовать следующий разработанный метод [14].

Семантический разбор сегмента патентной формулы осуществляется с помощью программного обеспечения Link Grammar Parser, использующего грамматику связей. Парсер принимает на вход сегменты предложения на естественном языке и выдает связи, найденные в предложении, с разметкой морфологических признаков слов сегмента. В

результате работы парсера получаем не синтаксические связи (субъект/объект), а отношения между парами слов.

Отношения, найденные парсером, интерпретируются для представления технической функции согласно модели DGH и разработанной контекстно-зависимой грамматики [15]. Путем анализа определенных типов связей можно обнаружить слова, которые являются объектами действия (G), самим действием (D) и условием выполнения действия (H).

Технические функции извлекаются из описания технического результата применения патента (поле «Description» патента). При этом в качестве наименования технического объекта принимается устройство из описания формулы изобретения (поле «Claim»): «Аккумулятор, содержащий корпус, сепаратор, отрицательный электрод, положительный электрод из углеродного материала и раствор электролита, содержащий галогенид-ионы, отличающийся тем, что ...». В данном случае, наименование ТО – «Аккумулятор».

Из формулы изобретения выделяются взаимосвязи между техническим объектом и его компонентами (элементами ТО). В разделительных SAO «Субъект» (S) представляет собой технический объект (ТО), соответственно «Объект» (O) - это компонент (элемент) ТО. Например, в указанном предложении «Аккумулятор» является техническим объектом, а «корпус», «сепаратор», «электрод» и «раствор электролита» - его компонентами (элементами ТО).

Данная информация извлекается из всего патентного массива и формирует матрицу «ТО – компоненты (элементы) ТО». Вероятны ситуации, что ТО сам может являться элементом другого ТО и наоборот.

Элементы технического объекта, представляемые в виде отдельных ТО, имеют определенные функциональные связи между собой, и на их основе возможно построить конструктивную функциональную структуру – ориентированный граф, вершинами которого являются наименования ТО, а ребрами – функции ТО.

При формировании списка морфологических признаков ТО будем использовать атрибутивные отношения. Атрибутивное SAO определяет «Субъект» (S) как решение проблемы (потребности), сформированного парой «Действие-Объект» (АО). Мы определили «Действие-Объект» (АО) в качестве функции технического объекта. Если значение «Субъекта» (S) совпадает с элементом из списка наименований ТО, то в качестве функции ТО берем «Действие-Объект» (АО), расширенное до структуры DGH (Таблица 2).

Таблица 2. Пример извлечения функций технического устройства «Аккумулятор» из разных патентов

Наименование ТО	Функция ТО		
	<i>D</i> -действие, производимое ТО	<i>G</i> – объект, на которого направлено действие	<i>H</i> - Указание условий или ограничений, в которых производится действие
Аккумулятор (патент РФ 2193261)	накопление	адсорбированный галоген	на поверхности положительного электрода
Аккумулятор (патент WO 2017105277 A1)	поддержани	необходимый ток/напряжение	при помощи управляющего электрода
Аккумулятор (патент US 2760518)	producing	exceptionally high discharge	rates over-long periods of use with a minimum of wear of said parts

При формировании морфологической Таблицы в качестве признаков берутся технические объекты, которые в свою очередь могут являться компонентами для другого ТО, в качестве альтернатив – потребности, которые они удовлетворяют, или технические функции (ТФ) (Таблица 3).

Таблица 3. Морфологическая Таблица «ТО-ТФ»

ТО ₁ = «Аккумулятор»	ТО ₂ = «Трансформатор»	...	ТО _N
ТФ ₁₁ = { D=накопление, G=адсорбированный галоген, H=на поверхности положительного электрода} ТФ ₁₂ = {D=поддержа ние, G=необходимый ток/напряжение, H=при помощи управляющего электрода} ... ТФ _{1M} = { D, G, H }	ТФ ₂₁ = {D=преобразова ние, G=электрическая энергия, H=с помощью индуктивно связанных обмоток} ТФ ₂₂ = { D, G, H } ... ТФ _{2K} = { D, G, H }	...	ТФ _{N1} = { D, G, H } ТФ _{N2} = { D, G, H } ... ТФ _{NL} = { D, G, H }

На основе морфологической матрицы сконфигурируем новые технические решения и ранжируем их с помощью метода совместного анализа (СА) [16]. В морфологической Таблице для каждого ТО, представляющего собой элемент (компонент) улучшаемого ТО, возможно выбрать любую реализуемую техническую потребность (функцию ТО).

В совместном анализе используется понятие «атрибут» (в нашем случае, технический объект, столбец морфологической Таблицы) и «уровни атрибута» – совокупность значений, которые может принимать атрибут (соответственно, функции технического объекта, строка).

Наиболее перспективная конфигурация исследуемой технологии (улучшаемого ТО) определяется путем объединения наиболее полезных уровней в каждом атрибуте.

Понятие полезности, используемое в СА, представляет численное выражение степени предпочтения уровня атрибута (частичная полезность) или улучшаемого технического объекта в целом (общая полезность как сумма полезностей уровней атрибутов всех элементов ТО). Полезность будет основываться на количестве цитирований патента/патентов, из которых была извлечена выбранная техническая функция. Вес патента определяется как количество его цитирований в других патентах.

$$w_i = \sum_{j=1}^M c_j, \quad (1)$$

где w_i – «полезность» технической функции $TechFunc_i$,

M – количество патентов, из которых была извлечена техническая функция $TechFunc_i$,

c_j – вес патента Pat_j ,

Выбранная перспективная конфигурация (конструктивная функциональная структура технической системы) может верифицироваться посредством построения ее физического принципа действия на основе базы данных выполняемых физическими эффектами технических функций и критериальных оценок ФЭ. Для перспективной функциональной структуры техническому объекту, извлеченному из определенного патентного документа/ов, соответствует выбранная техническая функция, а технической функции – список релевантных ФЭ (Таблица 4). Процесс построения физического принципа действия технической системы на основе физических эффектов, соответствующих ее заданной функциональной структуре, основывается на алгоритмах, указанных в [17].

Таблица 4. Морфологическая Таблица «ТФ-ФЭ»

ТФ ₁ = {D=преобразовать, G=электрический ток, H=в теплоту}	ТФ ₂	...	ТФ _N
ФЭ ₁₁ «Закон Джоуля-Ленца» Объект ФЭ (В): проводник. Вход (А): электрический ток. Выход (С): теплота.	ФЭ ₂₁	...	ФЭ _{N1}
ФЭ ₁₂ «Термоэлектронная эмиссия»	ФЭ ₂₂		ФЭ _{N2}
ФЭ ₁₃ «Шумовой эффект»
	ФЭ _{2M1}		ФЭ _{NM_N}

2. Другой задачей синтеза новых технических решений является реализация некоторой потребности (технической функции).

Описание функции технического объекта содержит потребность и физическую операцию, реализующую потребность (ФО). В общем случае ФО описывается с использованием операции Коллера, например, для ТО «электроплитка»: А – электрический ток, Е – преобразование (операция Коллера), С – теплота. В данном методе будем использовать информацию

из разработанной Таблицы [18], связывающей физические эффекты и выполняемые ими технические функции.

При формировании морфологической Таблицы (Таблица 3) в качестве признаков берутся технические функции, в качестве альтернатив – физические эффекты, которые реализуют данные ТФ.

Требуемая техническая функция может быть реализована напрямую физическим эффектом. Тогда происходит выбор альтернативных ФЭ, соответствующих технической функции. При этом учитываются критериальные оценки практической реализуемости физических эффектов, сформированные на основе разработанного ранее метода [19].

Если же требуемая функция не найдена в столбцах морфологической Таблицы, то необходимо проанализировать семантическую структуру SAO, на основе которой была сформирована ТФ. Если «Субъект» (S) и «Объект» (O) (учитываются также их синонимы, с помощью которых они представляются в тексте патента) содержатся в тезаурусах описаний входных и выходных воздействий ФЭ, то формируется задание на синтез физического принципа действия.

Например, из предложения патента РФ 2129316 «Обмотки трансформатора служат для создания магнитного поля, посредством которого осуществляется передача электрической энергии» извлечена семантическая структура SAO, соответствующая технической функции, в которой S = «магнитное поле», A = «передача», O = «электрическая энергия». Задание на синтез ФПД: начальное входное воздействие (A) – «магнитное поле», конечное выходное воздействие (C) – «электрический ток».

Среди построенных структур ФПД выбирается оптимальная, исходя из критериальных оценок всех входящих в нее физических эффектов. На основе оптимальной ФПД формируется потоковая функциональная структура синтезированной технической системы посредством замены объекта ФЭ на технический объект (на базе хранимых связей между техническим объектом, выполняемыми техническими функциями и физическими эффектами [20]).

Результаты

1) Одной из задач синтеза новых технических решений является улучшение характеристик отдельных элементов технического объекта и соответственно самого объекта. Для этого нужно детализировать конструктивную функциональную структуру ТО, т.е. определить элементы (компоненты) ТО и функции элементов ТО. На основе извлеченных из формулы изобретения разделительных SAO определяются взаимосвязи между техническим объектом и его компонентами (элементами ТО).

Извлеченные атрибутивные SAO используются для выявления функций технического объекта. При формировании морфологической Таблицы в качестве признаков берутся технические объекты, в качестве альтернатив – технические функции. Посредством морфологической матрицы конфигурируем новые технические решения и ранжируем их с помощью метода совместного анализа (СА); критерий полезности СА вычисляется на основе количества цитирований патента/патентов, из которых была извлечена выбранная техническая функция.

2) Другой задачей синтеза новых технических решений является реализация некоторой потребности (технической функции). Описание функции технического объекта содержит потребность и физическую операцию, реализующую потребность (ФО). В данном методе будем использовать информацию из разработанной Таблицы, связывающей физические эффекты и выполняемые ими технические функции. При формировании морфологической Таблицы в качестве признаков берутся ТФ, в качестве альтернатив – ФЭ, которые реализуют данные ТФ. Требуемая ТФ может быть реализована напрямую ФЭ; если же ТФ не найдена в столбцах морфологической Таблицы, то необходимо проанализировать структуру SAO, на основе которой была сформирована ТФ. Если «Субъект» (S) и «Объект» (O) (с учетом синонимов) содержатся в тезаурусах описаний входных и выходных воздействий ФЭ, то формируется задание на синтез физического принципа действия. Среди построенных структур ФПД выбирается оптимальная, исходя из критериальных оценок всех входящих в нее ФЭ. На основе оптимальной ФПД формируется потоковая функциональная структура синтезированной технической системы посредством замены объекта ФЭ на ТО (на базе хранимых связей между техническим объектом, выполняемыми техническими функциями и физическими эффектами).

Заключение

Теоретическая ценность данной работы заключается в разработанном методе синтеза функциональной структуры новых технических решений, основанном на использовании морфологической Таблицы, формируемой в результате семантической обработки информации патентных массивов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-07-01086 а; РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научных проектов № 19-47-340007, 19-41-340016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества: учеб. пособие / Половинкин А.И.; ВПИ. - Волгоград, 1984. - 365 с.
2. Альтшуллер Г. С. Найти идею. 3-е изд., доп.. — Петрозаводск: Скандинавия, 2003.
3. Salamatov Y. P. TRIZ: the Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving. (O. Kraev, Trans.) (2nd ed., p. 254). Krasnoyarsk: Institute of Innovative Design, 1999.
4. Sakaо T. A QFD-centred design methodology for environmentally conscious product design, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 18–19, pp. 4143–4162, 2007.
5. Kremer G. O., Chiu M.-C., Lin C.-Y., Gupta S., Claudio D., Thevenot H. Application of axiomatic design, TRIZ, and mixed integer programming to develop innovative designs: a locomotive ballast arrangement case study, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 5–8, pp. 827–842, 2012.
6. Bariani P. F., Berti G., Lucchetta G. A Combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 218, no. 8, pp. 1023–1027, 2004.
7. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. — М.: «Альпина Паблицер», 2011.
8. G. Cascini and D. Russo, “Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions,” *Int. J. Prod. Dev.*, vol. 4, no. 1/2, pp. 52–67, 2007.
9. Gerasimov, V., Kalish, V., Kuzmin, A., & Litvin, S. S. (1991). Basics of Function-Cost Analysis approach. Guidelines (in Russian) (p. 40). Moscow: Moscow, Inform-FSA.
10. Devoino, I. G., Koshevoy, O. E., Litvin, S. S., & Tsourikov, V. (2001). Computer based system for imaging and analyzing a process system and indicating values of specific design changes. US Patent 6,202,043.
11. Tsourikov, V. M., Batchilo, L. S., & Sovpel', I. V. (2000). Document semantic analysis/selection with knowledge creativity capability utilizing subject-action-object (SAO) structures. US Patent 6,167,370.
12. Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Камаев В.А. Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний: монография - М.: Машиностроение-1, 2004. - 278 с.
13. Фоменкова М.А., Коробкин Д.М., Кравец А.Г., Фоменков С.А. Методика идентификации SAO структур. Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2017. Т. 5. С. 85-88.

14. Коробкин Д.М., Тюлькина Е.А., Фоменков С.А., Колесников С.Г. Система извлечения технических функций из патентного массива. ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. № 2 (2). С. 24-30.
15. Васильев С.С., Харитонов А.А., Коробкин Д.М., Фоменков С.А. Извлечение описаний морфологических признаков технических объектов из русскоязычных патентов. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 4 (23). С. 421-433.
16. Green, P. E. and Srinivasan V. Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice. Journal of Marketing, Vol. 54, 1990, pp. 3-19.
17. Фоменков С.А., Коробкин Д.М., Карачунова Г.А., Копасов А.Н. Модификация модели описания физического эффекта для задачи синтеза линейных и сетевых структур физических принципов действия. Известия ВолгГТУ. 2015. № 6 (163). С. 200-207.
18. Коробкин Д.М., Фоменков С.А. Method of detection of technical functions performed by physical effects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – [IOP Publishing], 2018. – 7 p. – URL : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/2/022014/pdf>.
19. Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Кравец А.Г. Extraction of physical effects practical applications from patent database. PISA 2017. – [Publisher : IEEE], 2017. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/PISA.2017.8316402.
20. Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г.. The method for detecting the dependencies between technical functions and physical effects. MCCSIS 2018. – [Madrid], 2018. – P. 225-228.

D.M. Korobkin, S.A. Fomenkov, S.G. Kolesnikov
**SYNTHESIS METHOD FOR THE FUNCTIONAL STRUCTURE
OF NEW TECHNICAL DECISIONS BASED ON PATENT MASSIFT
DATA**

*Volgograd State Technical University,
Volgograd, Russia*

The authors of the paper present a developed method for synthesizing the functional structure of new technical systems based on the use of a morphological matrix formed as a result of semantic processing of patent corpus. One of the goals of the synthesis of new technical solutions is to improve the characteristics of individual components of a technical object (TO). For this, it is necessary to detail the TO constructive functional structure, i.e. define the TO components and the functions of the TO components. On the basis of the extracted SAO from

the claims, the relationships between the technical object and its components are determined. The extracted attribute SAOs are used to define the functions of a technical object. Based on the morphological matrix, we configure new technical solutions and rank them using the method of conjoint analysis (CA). The CA's criterion is calculated based on the number of patents from which the selected technical function was extracted. Another task of the synthesis of new technical solutions is the realization of technical function. In this method, we use the information from the developed matrix linking physical effects (PE) and the technical functions (TF) performed by them. The required TF can be implemented directly by the PE, otherwise the task for the synthesis of the physical operating principle (POP) is formed. Among the POP structures constructed, an optimal one is selected based on the criterion estimates of all the PE included in it. Based on the optimal POP, the flow functional structure of the synthesized technical system is formed.

Keywords: morphological analysis, technical functions, physical effects, patents

REFERENCES

1. Polovinkin A.I. *Metody inzhenerenogo tvorchestva: ucheb. posobie* / Polovinkin A.I.; VPI. - Volgograd, 1984. - 365 s.
2. Altshuller G. S. *Najti ideyu. 3-e izd., dop.* — Petrozavodsk: Skandinaviya, 2003.
3. Salamatov Y. P. *TRIZ: the Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving.* (O. Kraev, Trans.) (2nd ed., p. 254). Krasnoyarsk: Institute of Innovative Design, 1999.
4. Sakao T. A QFD-centred design methodology for environmentally conscious product design, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 18–19, pp. 4143–4162, 2007.
5. Kremer G. O., Chiu M.-C., Lin C.-Y., Gupta S., Claudio D., Thevenot H. Application of axiomatic design, TRIZ, and mixed integer programming to develop innovative designs: a locomotive ballast arrangement case study, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 5–8, pp. 827–842, 2012.
6. P. F. Bariani, G. a Berti, and G. Lucchetta, “A Combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 218, no. 8, pp. 1023–1027, 2004.
7. Vumek Dzhejms P., Dzhons Daniel T. *Berezhlivoe proizvodstvo. Kak izbavit'sja ot poter' i dobit'sja procvetaniya vashej kompanii.* — M.: «Al'pina Pabliher», 2011.
8. Cascini G., Russo D. “Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions,” *Int. J. Prod. Dev.*, vol. 4, no. 1/2, pp. 52–67, 2007.
9. Gerasimov V., Kalish V., Kuzmin A., & Litvin S. S. *Basics of Function-Cost Analysis approach.* Moscow: Moscow, Inform-FSA, p. 40, 1991

10. Devoino I. G., Koshevoy O. E., Litvin S. S., & Tsourikov V. Computer based system for imaging and analyzing a process system and indicating values of specific design changes. US Patent 6,202,043, 2001
11. Tsourikov V. M., Batchilo L. S., & Sovpel' I. V. Document semantic analysis/selection with knowledge creativity capability utilizing subject-action-object (SAO) structures. US Patent 6,167,370, 2000.
12. Fomenkov S.A., Davydov D.A., Kamaev V.A.. Modelirovanie i avtomatizirovannoe ispol'zovanie strukturirovannyh fizicheskikh znaniy: monografija - M.: Mashinostroenie-1, 2004. - 278 s.
13. Fomenkova M.A., Korobkin D.M., Kravec A.G., Fomenkov S.A. Metodika identifikacii SAO struktur. Matematicheskie metody v tehnikе i tehnologijah - MMTT. 2017. T. 5. S. 85-88.
14. Korobkin D.M., Tjul'kina E.A., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G. Sistema izvlechenija tehniceskikh funkcij iz patentnogo massiva. ITNOU. 2017. № 2 (2). S. 24-30.
15. Vasilyev S.S., Haritonov A.A., Korobkin D.M., Fomenkov S.A. Izvlechenie opisaniy morfologicheskikh priznakov tehniceskikh ob#ektov iz ruskojazychnyh patentov. Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii. 2018. T. 6. № 4 (23). S. 421-433.
16. Green, P. E. and Srinivasan V. Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice. Journal of Marketing, Vol. 54, 1990, pp. 3-19.
17. Fomenkov S.A., Korobkin D.M., Karachunova G.A., Kopasov A.N. Modifikacija modeli opisaniya fizicheskogo jeffekta dlja zadachi sinteza linejnyh i setevyh struktur fizicheskikh principov dejstvija. Izvestija VolgGTU. 2015. № 6 (163). S. 200-207.
18. Korobkin D.M., Fomenkov S.A. Method of detection of technical functions performed by physical effects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – [IOP Publishing], 2018. – 7 p. – URL : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/2/022014/pdf>.
19. Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kravets A.G. Extraction of physical effects practical applications from patent database. IISA 2017. – [Publisher : IEEE], 2017. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/IISA.2017.8316402.
20. Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G.. The method for detecting the dependencies between technical functions and physical effects. MCCSIS 2018. – [Madrid], 2018. – P. 225-228.