

Д.М. Коробкин, С.А. Фоменков, С.Г. Колесников  
**МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ СИНТЕЗИРОВАННОЙ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОСРЕДСТВОМ  
ПОСТРОЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

*Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, Россия*

*В данной статье предлагается разработанный метод верификации синтезированной функциональной структуры (ФС) технической системы (ТС). Синтезированная конструктивная ФС верифицируется посредством построения физического принципа действия (ФПД) ТС на основе базы данных выполняемых физическими эффектами (ФЭ) технических функций (ТФ) и критериальных оценок ФЭ. Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются технические объекты (ТО), а ребрами – ТФ. На основе хранимых связей между ТО, ТФ и ФЭ конструктивная ФС преобразуется в сетевую структуру физических эффектов, которую необходимо проверить на совместимость ФЭ. Структура ФПД задана на основе конструктивной ФС, поэтому необходимо из списков ФЭ, соответствующих ТФ и ТО, выбрать совместимые (по воздействия и объектам ФЭ) и оценить полученные цепочки ФЭ на основе критериальных оценок физических эффектов. Разработаны алгоритмы проверки совместимости воздействий ФЭ, структур и фаз объектов ФЭ. При формировании потоковой функциональной структуры требуется сформировать задание на синтез физического принципа действия. «Субъект» (S) и «Объект» (O) из семантической структуры SAO, на основе которой была сформирована техническая потребность, определяются как начальное входное и конечное выходное воздействия требуемой ФПД.*

**Ключевые слова:** функциональная структура, физический принцип действия, технические функции, физические эффекты

### **Введение**

Современные подходы к синтезу новых технических решений [1] предлагаются в работах Кристенсена К.[2] (метод подрывных инноваций, disruptive innovation), Норманна Д. [3] (метод приоритета потребностей, желаний и ограничений пользователей продукта на этапе его проектирования, user-centered design). Литвин С.С. продолжает разрабатывать предложенную Г.С. Альтшуллером идею об использовании известных решений для близких задач из ведущих отраслей (функционально-ориентированный поиск, Function-Oriented Search, FOS) [4]. Основным недостатком FOS - огромный объем исходной информации (в пределе - знания человечества), недостаточная инструментальность выявления лидирующих областей науки и техники, поиска конкретной наилучшей технологии. Даниловский Ю.Э. развивает методiku поиска по

недостаткам (Disadvantage Oriented Search, DOS) [5] и теорию развития систем (Trends of Engineering Systems Evolution, TESE) [6]. Развиваются такие методы инновационного моделирования как функциональное моделирование (Functional Analysis System Technique, FAST) [7], анализ причинно следственных цепочек (Cause Effect Chain Analysis, CECA) [8] и определение главных функциональных параметров значимости продукта (Main Parameter of Value, MPV) [9]. Однако они имеют недостатки: цепочки CECA могут быть построены только для какого-то частного случая (системы); в MPV нет четких методических наработок по поводу того, на каком иерархическом уровне функциональных параметров следует остановиться в ходе причинно-следственного анализа; методы, основанные только на морфологическом анализе структуры, позволяют получить огромное количество решений, большая часть которых не имеет практического смысла. В большинстве своем современные методы генерации новых технических решений - прецедент-ориентированные, и для их применения требуется разработка и актуализация баз данных аналогий, причем рассчитанная на ручное пополнение.

В России одним из наиболее востребованных подходов концептуального проектирования технических систем является использование физико-технических эффектов, которые применяются для синтеза физического принципа действия технической системы: комбинаторный метод поиска принципов действия [10], модели «Вещество-поле» ТРИЗ [11], энергоинформационная модель цепей и метод параметрических структурных схем [12], компьютерные методы поискового конструирования [13,14] и др. На базе данных подходов реализованы следующие автоматизированные системы: «Новатор», «Интеллект», «СОФИ».

В данной работе применим подход, связанный с использованием физико-технических знаний, к проверке синтезированного нового технического решения.

**Цель работы** - разработать метод верификации синтезированной функциональной структуры (ФС) на основе построения физического принципа действия (ФПД) технической системы для выбранной ФС.

### **Материалы и методы**

1. Синтезированная конструктивная функциональная структура технической системы (ТС) может верифицироваться посредством построения физического принципа действия ТС на основе базы данных выполняемых физическими эффектами (ФЭ) технических функций (ТФ) и критериальных оценок ФЭ.

Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются технические объекты (ТО), а ребрами – технические функции (Рисунок 1).

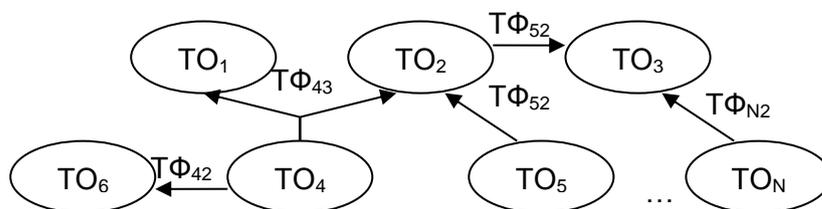


Рисунок 1 – Конструктивная функциональная структура

На основе хранимых связей между техническим объектом, выполняемыми техническими функциями, физическими эффектами [15] конструктивная ФС преобразуется в сетевую структуру физических эффектов (Рисунок 2), которую необходимо проверить на совместимость ФЭ. Технические объекты, оказывающие воздействие на другие ТО, заменяются на список ФЭ, выполняющих данную техническую функцию. Технические объекты, на которые оказывается воздействие, заменяются на список ФЭ, лежащих в основе ФПД данного ТО.

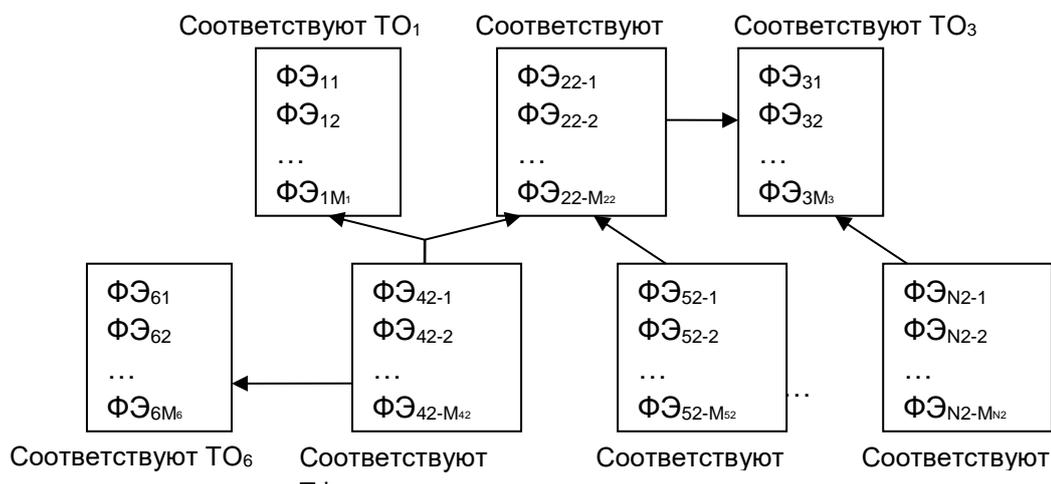


Рисунок 2 – Сетевая структура физических эффектов

Исходя из обобщенной модели описания ФЭ:  $F_i = (A_i, B_i, C_i)$ , где  $A_i$  – входное воздействие ФЭ;  $B_i$  – объект ФЭ (конечное и начальное состояние);  $C_i$  – выходное воздействие ФЭ, выделим два типа проверок ФЭ на совместимость: по воздействиям и по объектам. Согласно обобщенной

модели у ФЭ может быть несколько входных воздействий (в базе данных содержатся ФЭ с не более чем двумя входными воздействиями), но всегда одно выходное. Пример проверки совместимости ФЭ (по воздействиям) для синтеза ФПД показан на Рисунке 3.

В данном методе структура ФПД уже задана на основе конструктивной ФС, поэтому необходимо из списков ФЭ, соответствующих ТФ и ТО, выбрать совместимые и оценить полученные цепочки ФЭ на основе критериальных оценок физических эффектов.

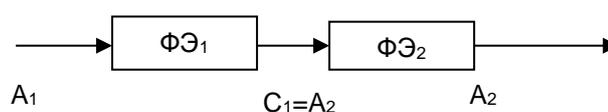


Рисунок 3 – Синтез ФПД

2. Проверка на совместимость физических эффектов по воздействиям. Выделяют два типа воздействий [14]: параметрические и непараметрические, соответственно возможны следующие варианты выходного и входного воздействий: 1) оба воздействия параметрические; 2) оба воздействия непараметрические; 3) параметрическое и непараметрическое воздействие (считаются несовместимыми). Первых два случая можно объединить в единый алгоритм.

Параметрическое / непараметрическое воздействие описывается следующим образом: 1) тип входа/выхода; 2) название воздействия (или раздел физики); 3) название физической величины; 4) характер изменения физической величины; 5) диапазон изменения физической величины; 6) пространственные характеристики (отсутствуют в параметрическом); 7) временные характеристики (отсутствуют в параметрическом); 8) специальные характеристики (отсутствуют в параметрическом).

Алгоритм проверки непараметрических воздействий на совместимость представлен на Рисунке 4.

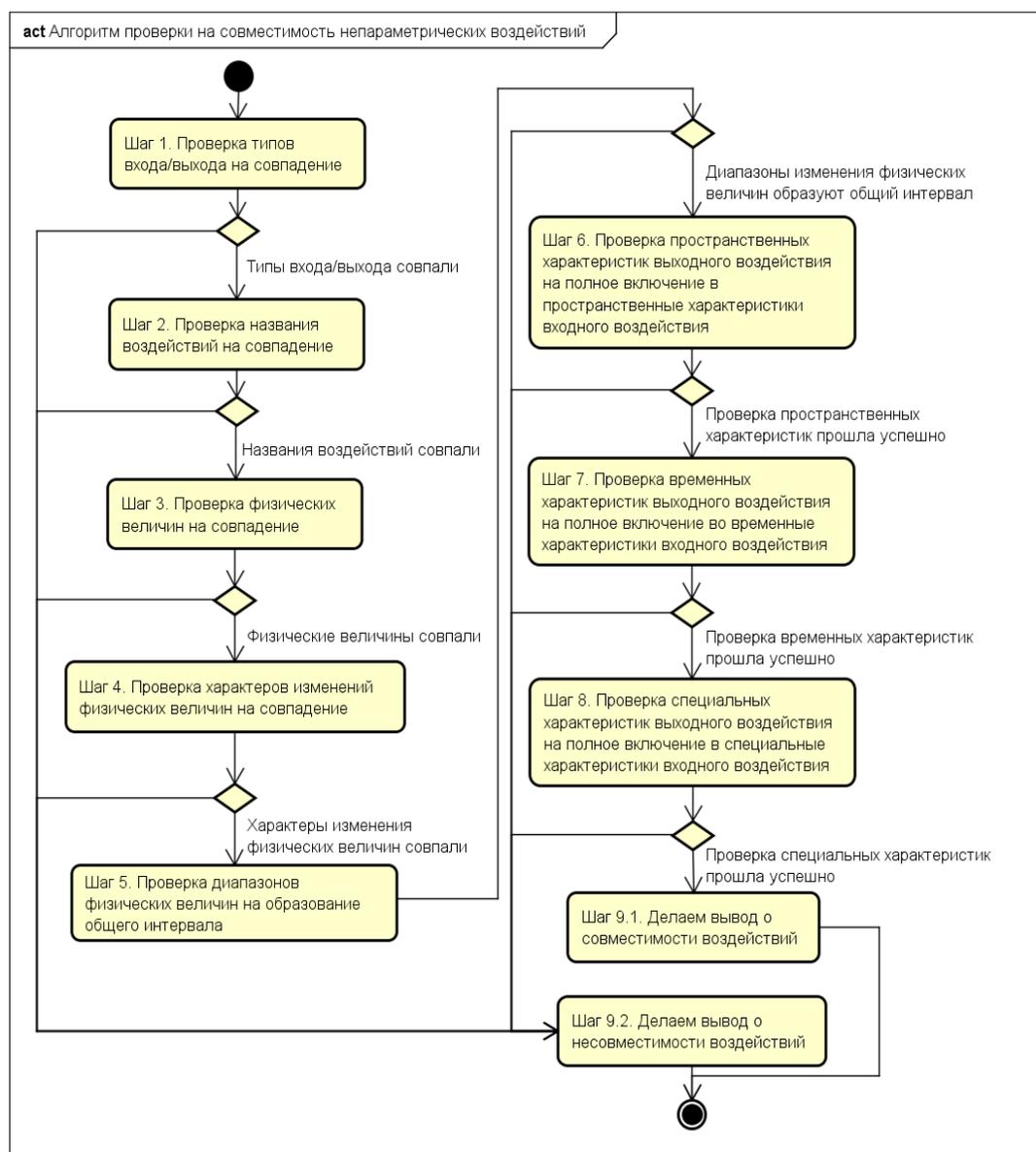


Рисунок 4 – Алгоритм проверки на совместимость воздействий

3. Проверка на совместимость физических эффектов по объектам происходит в следующих случаях: 1) воздействия входа/выхода непараметрические и тип входа/выхода внешний; 2) воздействия входа/выхода параметрические.

При проверке ФЭ на совместимость по объекту будем учитывать его возможное структурное преобразование. В связи с этим возникает три варианта комбинаций: 1) объекты совмещаемых ФЭ без структурного преобразования; 2) оба объекта со структурным преобразованием; 3) один

объект - без структурного преобразования, другой – со структурным преобразованием.

Все комбинации сводятся ко второй, так как будем считать, что объект, у которого отсутствует структурное преобразование, имеет одинаковые начальные и конечные состояния.

Описание состояния объекта выглядит следующим образом: 1) число фаз; 2) общая структура; 3) вид контакта или смеси.

Описание общей структуры объекта состоит из: 1) фазового состояния; 2) химического состава; 3) магнитной структуры; 4) электропроводности; 5) механического состояния; 6) оптического состояния; 7) специальных характеристик.

Алгоритм проверки структуры объектов ФЭ на совместимость представлен на Рисунке 5.

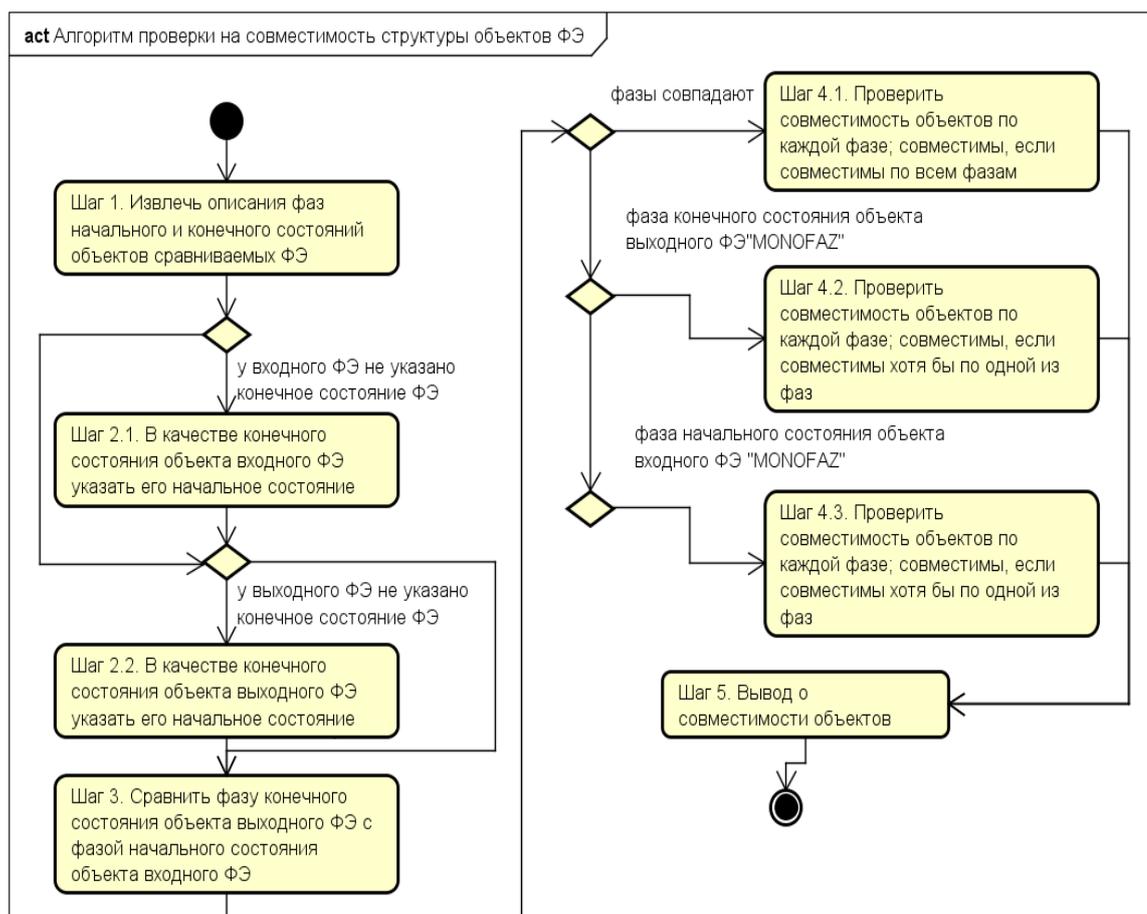


Рисунок 5 – Алгоритм проверки на совместимость структуры объектов ФЭ

Алгоритм проверки фаз объектов ФЭ на совместимость представлен на Рисунке 6.

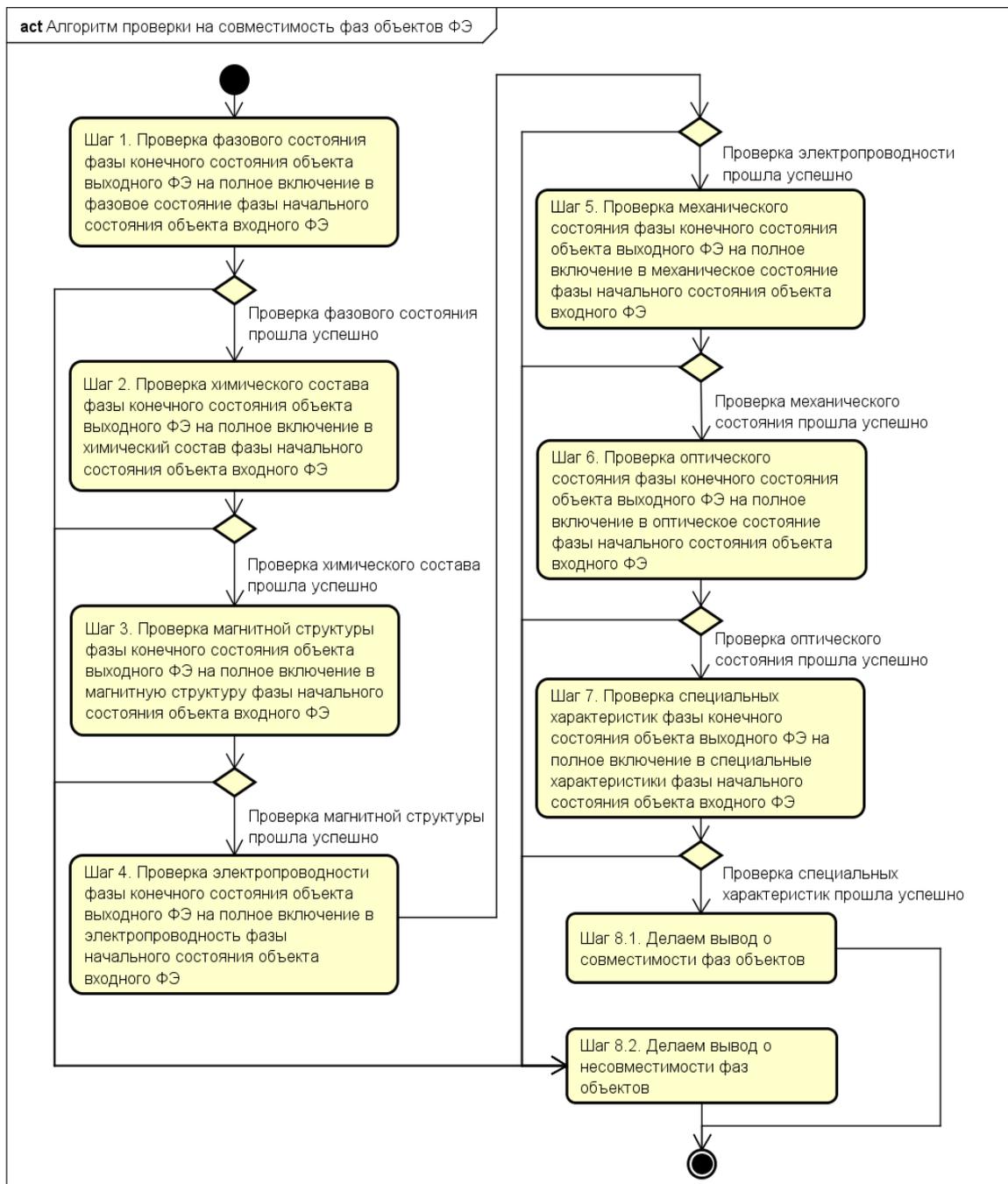


Рисунок 6 – Алгоритм проверки на совместимость фаз объектов ФЭ

4. В результате могут получиться несколько верифицированных цепочек физических эффектов (Рисунок 7), которые можно ранжировать на основе критериальных оценок практической реализуемости ФЭ [16]:

$$w(\Phi ПД_k) = \sum_{i=1}^{N_k} w(\Phi Э_i), \quad (1)$$

где  $w(\Phi ПД)$  – вес  $k$ -ой структуры  $\Phi ПД$ ,  $N_k$ - длина цепочки  $\Phi Э$  ( $k$ -ой структуры  $\Phi ПД$ ),  $w(\Phi Э)$  – критериальная оценка практической реализуемости  $i$ -го  $\Phi Э$ , участвующего в  $k$ -ой структуре  $\Phi ПД$ .

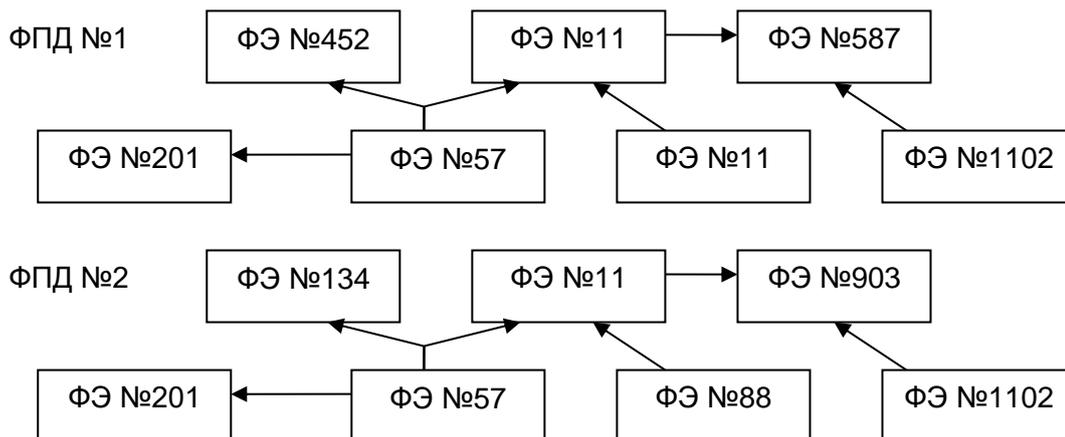


Рисунок 7 – Пример нескольких верифицированных цепочек  $\Phi Э$

5. При синтезе потоковой функциональной структуры, если она не реализуется одним физическим эффектом, требуется сформировать задание на синтез физического принципа действия. «Субъект» (S) и «Объект» (O) из семантической структуры SAO, на основе которой была сформирована техническая потребность, проверяются на наличие в тезаурусах описаний входных (A) и выходных (C) воздействий  $\Phi Э$ . Если «Субъект» (S) и «Объект» (O) проходят проверку, то соответствуют входным и выходным воздействиям требуемой  $\Phi ПД$ .

Алгоритм синтеза структур  $\Phi ПД$  представлен на Рисунке 8.

## Результаты

1. Синтезированная конструктивная ФС технической системы (ТС) верифицируется посредством построения  $\Phi ПД$  ТС на основе разработанной матрицы « $\Phi Э$ -ТФ» и критериальных оценок  $\Phi Э$ . Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются технические объекты (ТО), а ребрами – ТФ. На основе хранимых связей между ТО, ТФ и  $\Phi Э$  (матрицы « $\Phi Э$ -ТФ» и «ТО- $\Phi Э$ ») конструктивная ФС преобразуется (посредством замены ТО и ТФ на  $\Phi Э$ ) в сетевую структуру физических эффектов, которую необходимо проверить на совместимость  $\Phi Э$ . Структура  $\Phi ПД$  задана на основе конструктивной ФС, поэтому необходимо из списков  $\Phi Э$ , соответствующих

ТФ и ТО, выбрать совместимые (по воздействию и объектам ФЭ) и оценить полученные цепочки ФЭ на основе критериальных оценок физических эффектов. Разработаны алгоритмы проверки совместимости воздействий ФЭ, структур и фаз объектов ФЭ.

2. При формировании потоковой функциональной структуры требуется сформировать задание на синтез физического принципа действия. «Субъект» (S) и «Объект» (O) из семантической структуры SAO, на основе которой была сформирована техническая потребность, проверяются на наличие в тезаурусах описаний входных (А) и выходных (С) воздействий ФЭ. В результате определяются начальное входное и конечное выходное воздействия требуемой ФПД, используемые в качестве задания в разработанном алгоритме синтеза структур физического принципа действия.

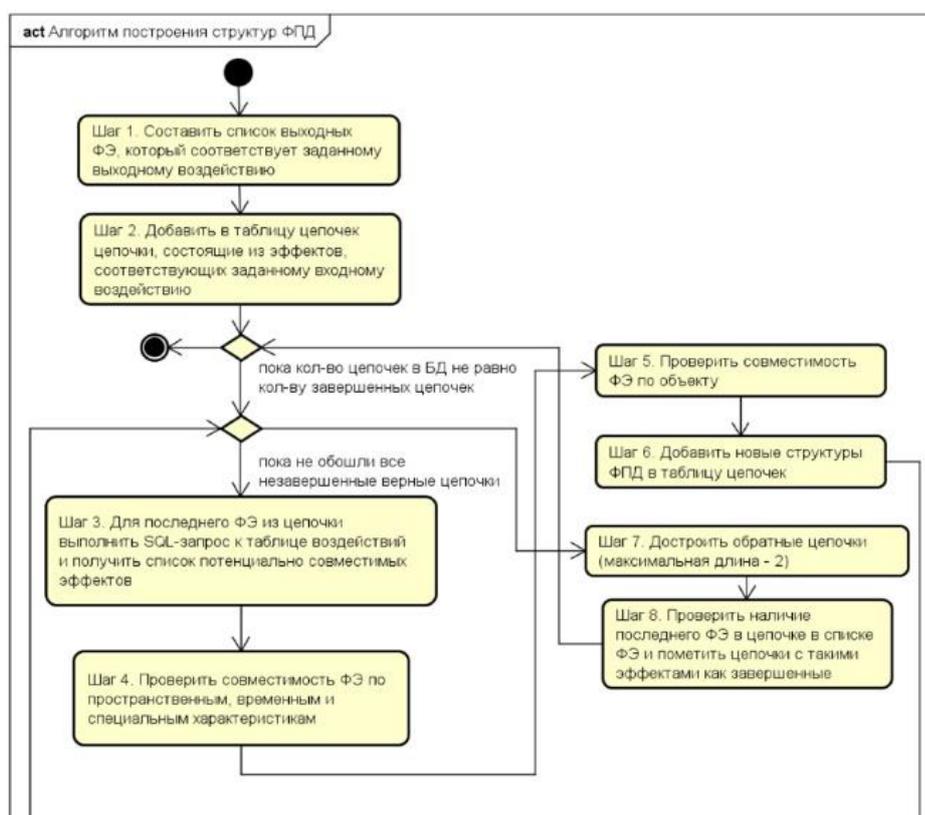


Рисунок 8 – Алгоритм синтеза структур ФПД

## Обсуждение

Теоретическая ценность данной работы заключается в разработанном методе верификации синтезированной функциональной структуры посредством построения физического принципа действия технической

системы для выбранной ФС на основе базы данных выполняемых физическими эффектами технических функций и критериальных оценок ФЭ.

### **Заключение**

*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 р\_а, 19-41-340016 р\_а*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества: учеб. пособие / Половинкин А.И.; ВПИ. - Волгоград, 1984. - 365 с.
2. Christensen, Clayton M.; Horn, Michael (2008), *Disrupting class: how disruptive innovation will change the way the world learns*, New York, New York, USA: McGraw-Hill, ISBN 978-0-07-159206-2.
3. Norman, Donald (1988), *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books. ISBN 978-0-465-06710-7.
4. Litvin, SS (2004), *New TRIZ-based tool—Function-oriented search (FOS)*. In: ETRIA conference TRIZ future, pp 505–509
5. Даниловский, Ю.Э. и др. (2015), *Формирование новых решений и развитие изобретательского мышления на основе справочника по недостаткам*. Известия ВолГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. - Волгоград, 2015. - № 14 (178). - С. 98-116.
6. Liubomirsky, A., Litvin S. (2003), *Trends of engineering systems evolution*, GEN3 Partners, February 2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metodolog.ru/00767/00767.html>
7. Anil Kumar Mukhopadhyaya (2013), *Function Analysis System Technique (A Stimulating Tool)*. ISBN-10: 9381141886
8. Abramov, O.Y. (2015), *TRIZ-Based Cause and Effect Chains Analysis vs Root Cause Analysis*. Proceedings of the 11th TRIZfest-2015 International Conference. September 10-12, 2015, Seoul, South Korea. pp. 283-291.
9. Ефимов А.В. (2008), *Методика МРV анализа*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metodolog.ru/01472/01472.html>
10. Глазунов В.Н. (2010), *Технология идей: экспертные системы "НОВАТОР" и "ЭДИСОН"*. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/system\\_novator.pdf](http://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/system_novator.pdf)

11. Зарипова, В.М., Цырульников, Е.С., Киселев, А.А. (2012), «Интеллект» для развития навыков инженерного творчества. *Alma mater (Вестник высшей школы)*. 2012. № 1. С. 58-61.
12. Альтшуллер, Г.С. (2004), Творчество как точная наука. 2 изд., дополн. — Петрозаводск: Скандинавия.
13. Автоматизация поискового конструирования. /Под ред. А.И. Половинкина. - М.: Радио и связь, 1981.-344 с.
14. Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Камаев В.А. (2004), Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний: монография - М.: Машиностроение-1, 2004. - 278 с.
15. Шабанов Д.В., Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г. Метод извлечения описаний технических функций из патентных текстов. *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2018. № 5 (215). С. 68-76.
16. Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г., Аль-Хадша Ф.А.Х. Синтез и анализ физических принципов действия технических систем с использованием сетей Петри. *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2018. № 8 (218). С. 83-88.

D.M. Korobkin, S.A. Fomenkov, S.G. Kolesnikov  
**METHOD FOR VERIFICATION OF SYNTHESIZED  
FUNCTIONAL STRUCTURE ON BASE OF BUILDING A PHYSICAL  
OPERATION PRINCIPLE OF THE TECHNICAL SYSTEM**

*Volgograd State Technical University,  
Volgograd, Russia*

*This paper proposes a developed method for verifying the synthesized functional structure of a technical system. The synthesized constructive functional structure is verified by building a physical operating principle of the vehicle based on a database of technical functions performed by physical effects. The constructive functional structure is a directed graph, the vertices of which are technical objects, and the edges are technical functions. Based on the stored relationships between technical objects, technical functions and physical effects, the constructive functional structure is transformed into a network structure of physical effects that needs to be checked for compatibility of the physical effects. Algorithms for verifying the compatibility of the effects of the physical effects, the structures and phases of the objects of the physical effects are developed. When forming a streaming functional structure, it is required to form a task for the synthesis of a physical operating principle. "Subject" (S) and "Object" (O) from the semantic structure of SAO, on the basis of which a technical need was formed, are defined as the initial input and final output effects of the required physical operating principle.*

**Keywords:** functional structure, physical operation principle, technical functions, physical effects.

## REFERENCES

1. Polovinkin A.I. *Metody inzhenerenogo tvorchestva: ucheb. posobie / Polovinkin A.I.; VPI. - Volgograd, 1984. - 365 s.*
2. Christensen, Clayton M.; Horn, Michael (2008), *Disrupting class: how disruptive innovation will change the way the world learns*, New York, New York, USA: McGraw-Hill, ISBN 978-0-07-159206-2.
3. Norman, Donald (1988), *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books. ISBN 978-0-465-06710-7.
4. Litvin, SS (2004), *New TRIZ-based tool—Function-oriented search (FOS)*. In: ETRIA conference TRIZ future, pp 505–509
5. Danilovskij, YU.E. i dr. (2015), *Formirovanie novyh reshenij i razvitie izobretatel'skogo myshleniya na osnove spravochnika po nedostatkam. Izvestiya VolgGTU. Ser. Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noj tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemah. - Volgograd, 2015. - № 14 (178). - S. 98-116.*
6. Liubomirsky, A., Litvin S. (2003), *Trends of engineering systems evolution, GEN3 Partners, February 2003. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.metodolog.ru/00767/00767.html>*
7. Anil Kumar Mukhopadhyaya (2013), *Function Analysis System Technique (A Stimulating Tool)*. ISBN-10: 9381141886
8. Abramov, O.Y. (2015), *TRIZ-Based Cause and Effect Chains Analysis vs Root Cause Analysis. Proceedings of the 11th TRIZfest-2015 International Conference. September 10-12, 2015, Seoul, South Korea. pp. 283-291.*
9. Efimov A.V. (2008), *Metodika MPV analiza. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.metodolog.ru/01472/01472.html>*
10. Glazunov V.N. (2010), *Tekhnologiya idej: ekspertnye sistemy "NOVATOR" i "EDISON". [Elektronnyj resurs]. URL: [http://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/system\\_novator.pdf](http://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/system_novator.pdf)*
11. Zaripova, V.M., Cyrul'nikov, E.S., Kiselev, A.A. (2012), *«Intellect» dlya razvitiya navykov inzhenerenogo tvorchestva. Alma mater (Vestnik vysshej shkoly). 2012. № 1. S. 58-61.*
12. Al'tshuller, G.S. (2004), *Tvorchestvo kak tochnaya nauka. 2 izd., dopoln. — Petrozavodsk: Skandinaviya.*

13. Avtomatizaciya poiskovogo konstruirovaniya. /Pod red. A.I. Polovinkina. - M.: Radio i svyaz', 1981.-344 s.
14. Fomenkov, S.A., Davydov, D.A., Kamaev, V.A. (2004), Modelirovanie i avtomatizirovannoe ispol'zovanie strukturirovannyh fizicheskikh znaniy: monografiya - M.: Mashinostroenie-1, 2004. - 278 s.
15. Shabanov D.V., Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G. Metod izvlecheniya opisaniy tekhnicheskikh funkciy iz patentnyh tekstov. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. № 5 (215). S. 68-76.
16. Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G., Al'-Hadsha F.A.H. Sintez i analiz fizicheskikh principov dejstviya tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem setej Petri. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. № 8 (218). S. 83-88.