

Д. М. Коробкин¹, С. А. Фоменков¹, С. Г. Колесников¹, Ф. А. Х. Аль-Хадша²

**СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ***

¹ Волгоградский государственный технический университет

² University of Saba Region-Yemen-Marib City

dkorobkin80@mail.ru

В работе рассматривается синтез и анализ структур физического принципа действия технических систем на основе математического аппарата сетей Петри в программной среде CPN Tools.

Ключевые слова: физический принцип действия, техническая система, сеть Петри, CPN Tools.

D. M. Korobkin¹, S. A. Fomenkov¹, S. G. Kolesnikov¹, F. A. H. Al-Hadsha²

**SYNTHESIS AND ANALYSIS OF THE PHYSICAL PRINCIPLES
OF OPERATION OF TECHNICAL SYSTEMS BASED ON PETRI NETS**

¹ Volgograd State Technical University

² University of Saba Region- Yemen-Marib City

The authors developed a synthesis and analysis of physical operation principle of technical systems based on Petri nets. Implemented a software of synthesis and analysis of POP structures in the software's environment CPN Tools.

Keywords: physical operation principle, technical system, Petri nets, CPN Tools.

© Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Колесников С. Г., Аль-Хадша Ф. А. Х., 2018

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-07-00534-а, № 18-07-01086-а).

В настоящее время одной из важнейших задач является создание новых высокоэффективных технических систем (ТС). Известен ряд подходов к реализации начальных этапов проектирования ТС, среди них одним из наиболее перспективных является подход, связанный с привлечением структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ) [1–9] для автоматизированного формирования и выбора физического принципа действия (ФПД) разрабатываемой ТС.

Анализ работ, связанных с использованием физических эффектов на начальных этапах проектирования ТС, показал ряд проблем, тормозящих эффективное и широкое внедрение данных методов [10–13]. Одной из таких проблем является представление результатов синтеза структур ФПД. Наиболее распространена выдача цепочек ФЭ в порядке их получения. Актуальной проблемой автоматизации выбора ФПД ТС является разработка методов оценки синтезируемых структур, то есть способов определения их физической реализуемости.

При помощи разработанной автоматизированной системы извлечения описаний физических эффектов из русско- и англоязычных текстов документов был произведен подсчет частот встречаемости описаний ФЭ в патентном массиве. В качестве веса ФЭ используется инверсная частота IDF , значение которого тем меньше, чем чаще описание ФЭ встречается в патентном массиве.

$$IDF = \log \frac{|D|}{|D_i|}, \quad (1)$$

где $|D|$ – число всех патентов в массиве; $|D_i|$ – число патентов, содержащих описание некоторого ФЭ t .

$$w(POP_k) = \sum_{i=1}^{N_k} IDF_i, \quad (2)$$

где w – вес структуры ФПД POP_k ; N_k – длина цепочки (структуры) ФПД POP_k ; IDF_i – обратная документная частота описания i -го ФЭ, участвующего в цепочке ФПД POP_k .

На основе значения веса ФЭ, отражающего его практическую реализуемость (встречаемости описания в патентном массиве), определяется оптимальная структура ФПД как частный случай решения проблемы нахождения кратчайшего пути на взвешенном графе.

Пусть имеется некоторое конечное множество физических эффектов $PhE = \{PhE_i\}$, $i=1, N$. Сопоставим этому множеству ориентированный граф:

$G(V, E)$, где V – конечное непустое множество вершин графа (физических эффектов из БД); E – множество дуг графа.

Ребро e_{ij} существует тогда и только тогда, когда i -й ФЭ совместим с j -м ФЭ ($i, j=1, N$). Вес ребра e_{ij} определяется весом j -го ФЭ. ФПД – это путь $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,3}, \dots, e_{k-1,k}, v_k$ в графе G длины $k-1$ (налагаемое пользователем ограничение на длину искомого ФПД). Путь $v_1, v_2, v_3, \dots, v_k$ определяется заданием начального воздействия ФПД A_1 , которое эквивалентно входному воздействию эффекта v_1 , и результирующего воздействия ФПД C_k (выход эффекта v_k эквивалентен воздействию C_k). Задача оценки практической реализуемости синтезированных ФПД новых технических систем состоит в нахождении всех таких кратчайших путей в графе G , удовлетворяющих заданным ограничениям.

Для решения данной задачи было принято решение использовать теорию сетей Петри. Введем соответствие между разработанной моделью представления ФЭ и сформированным процессом синтеза ФПД с одной стороны и имитационным процессом, созданным на основе сетей Петри.

Процесс синтеза ФПД в виде цветных сетей Петри будет характеризоваться следующим:

множество маркеров представляют собой множество ФЭ;

множество позиций – база физических эффектов, входное и выходное воздействие ФПД согласно заданию на синтез, множество синтезированных ФПД;

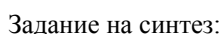
условия срабатывания перехода – соответствие ФЭ входному и выходному воздействию ФПД согласно заданию на синтез, а также совпадение выходного воздействия одного и входного воздействия другого ФЭ из структуры ФПД.

Физический эффект представлен сложным составным типом POP , который состоит из входного и выходного воздействия (voz) (первое и четвертое поле маркера), качественных характеристик входных (второе поле маркера) и выходных (пятое поле маркера) воздействий ($char$), физических величин входа и выхода (третье и шестое поле маркера) ($fizvel$), номера физического эффекта ($numfe$) (седьмое поле маркера), веса (критерия практической реализуемости) физического эффекта (восьмое поле маркера) ($weight$). Список $plist$ (девятое поле маркера) используется для сохранения номеров ФЭ, составляющих цепочку (структуру) ФПД. На выходе имитационного процесса получаем множество маркеров, представляющих собой син-

ФПД физических эффектов, а также результирующий вес ФПД. Описания множеств цветов (colset) используемые в имитационной модели в среде CPN Tools, представлены на рис. 1.

Рис. 1. Описания множеств цветов

ФПД, полученные в результате синтеза; переход «Verify POP input action» – отбор из БД ФЭ маркеров (ФЭ), имеющих входное воздействие, совпадающее с заданием на синтез, «Check POP length» – проверка условия останова процесса синтеза (длина цепочки ФПД).



Вход: электрическое поле (voz1), постоянное (vrem1), однородное (pros1), слабое (spec1), напряженность электрического поля (fizvel1). **Выход:** электрический ток (voz2), постоянное (vrem1), однородное (pros1), электронный (spec1), сила электрического тока (fizvel1). **Длина пути:** 5.

Рис. 2. Проверка на входное воздействие ФПД

В процессе синтеза требуется получить цепочку ФПД с заданным входным и выходным воздействиями и не больше заданной длины. В позиции «PhE Database» находятся маркеры, представляющие собой все множество ФЭ. Переход «Verify POP input action» активен, если входное воздействие маркера (первое, второе и третье поле) из позиции «PhE Database» соответствует заданному входному воздействию синтезируемой ФПД. Используется подстановка

перехода «Synthesis» на сеть более низкого уровня иерархии «Synthesis» (рис. 3). В позицию «PhE» через переход «Verify input & output PhE action» из всего множества маркеров позиции «PhE Database» переходят только те фишки, для каждого из которых выполняется условие: входное воздействие (первое, второе и третье поле маркера) переходящей фишки должно быть равно выходному воздействию (четвертое, пятое и шестое поле) маркера из позиции «inpPhE».

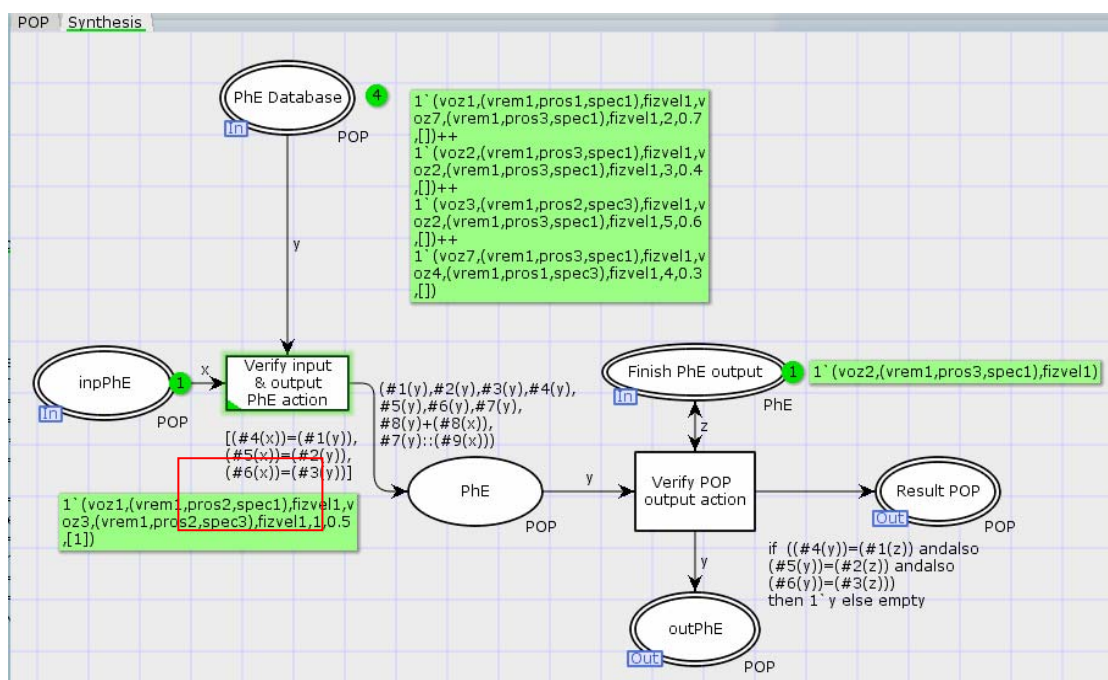


Рис. 3. Проверка на совместимость ФЭ

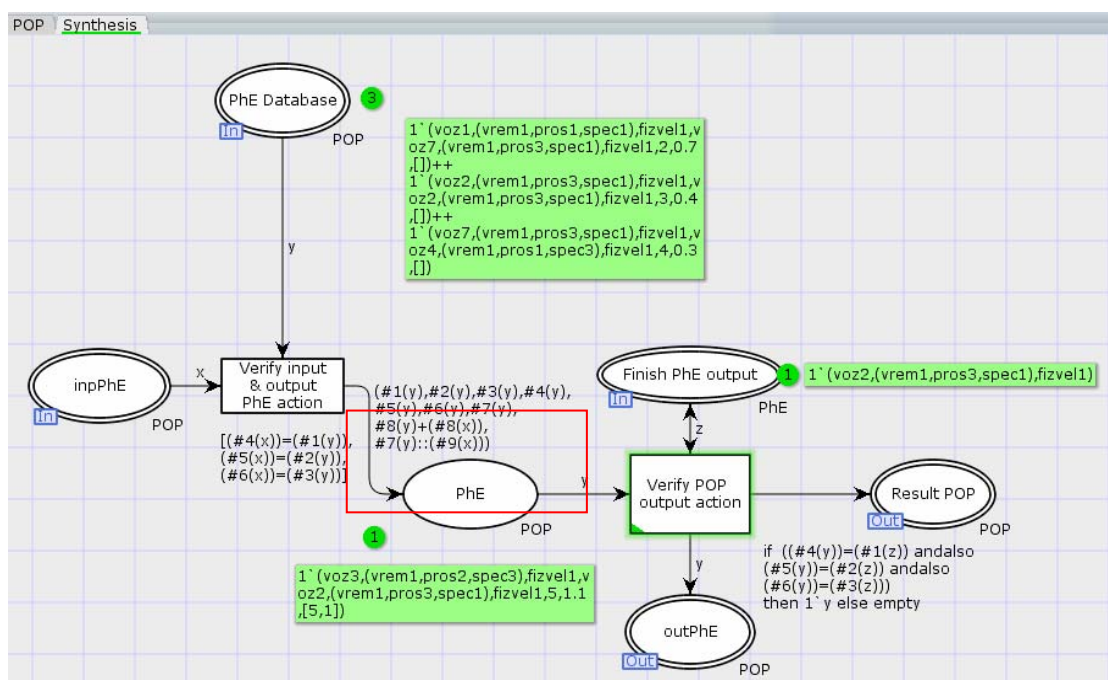


Рис. 4. Порождение цепочки ФПД

На выходной дуге перехода «Verify input & output PhE action» происходит порождение новых маркеров (рис. 4). Заменяются первое – седьмое поля маркера на значения совместимого ФЭ из БД, т. е. теперь он представляет собой

следующий ФЭ в цепочке ФПД. Цепочка ФПД до текущего элемента хранится в поле «plist» маркера. Вес всех ФЭ в ФПД суммируется и сохраняется в поле «weight».

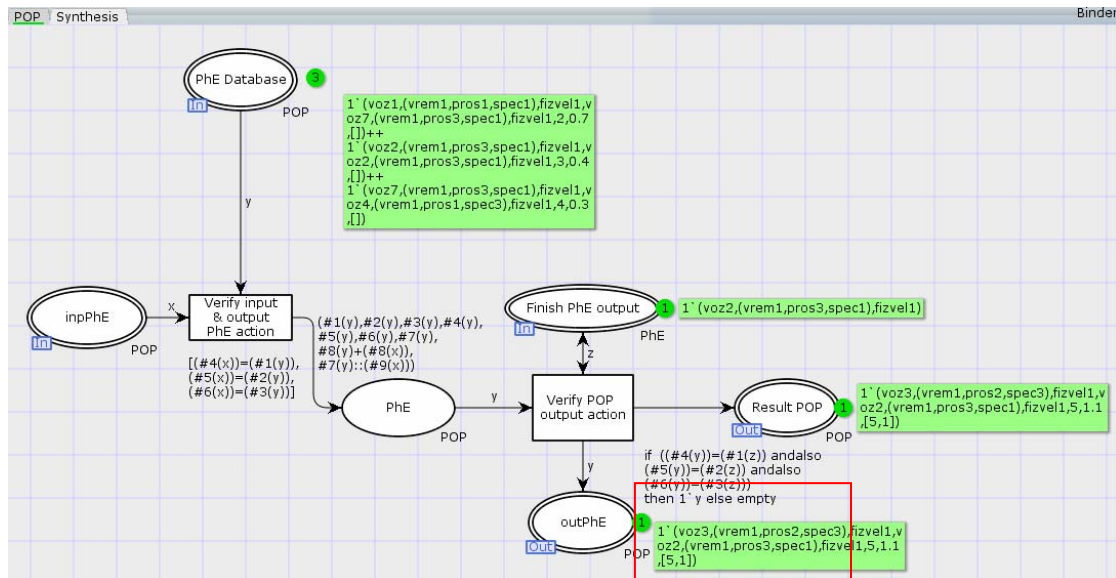


Рис. 5. Проверка на выходное воздействие ФПД

На выходной дуге перехода «Verify POP output action» осуществляется проверка условия выхода из процесса синтеза ФПД. В позицию «Result POP» (рис. 5) попадают маркеры, выходное воздействие (четвертое, пятое и шестое поля) которых соответствует выходному воздействию искомой цепочки ФПД (задание на синтез). Данный маркер представляет собой последний ФЭ цепочки ФПД, в первом – седьмом полях такой фишки содержится информация о последнем завершающем ФЭ, в поле «weight» находится значение веса всей цепочки ФПД, в поле «plist» перечислены номера всех ФЭ данной цепочки ФПД в обратном порядке. В позицию «outPhE» помещаются все маркеры, удовлетворяющие и не удовлетворяющие данному условию (т. е. не достроенные структуры ФПД), и переходят в позицию «inpPhE» для продолжения синтеза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Колесников С.Г. Автоматизированный информационный поиск физических эффектов // Информационные технологии. 2004. № 7. С. 30–34.
2. Фоменков С.А., Колесников С.Г. Представление физических знаний в автоматизированном банке физических эффектов // Известия вузов. Машиностроение. 1998. № 1–3. С. 55–61.

3. Фоменков С.А., Колесников С.Г. Информационное наполнение баз данных по физическим эффектам // Информационные технологии. 2004. № 6. С. 60–62.
4. Fomenkov S., Korobkin D., Kolesnikov S. Method of Ontology-Based Extraction of Physical Effect Description from Russian Text // Communications in Computer and Information Science. 2014. Т. 466 CCIS. С. 321–330.
5. Фоменков С.А., Колесников С.Г., Коробкин Д.М. Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 10. № 14. С. 166–170.
6. Фоменков С.А., Колесников С.Г., Деврянкин А.М. Использование структурированных физических знаний для прогнозирования новых нанотехнических систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 4. № 13. С. 80–82.
7. Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г. Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2005. № 3. С. 22–25.
8. Петрухин А.В., Фоменков С.А., Колесников С.Г. Архитектура автоматизированной системы концептуального проектирования технических объектов и технологий с использованием структурированного описания физической информации (СОФИ) // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1998. № 4–6. С. 52–56.
9. Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G., Voronin Y.F. System of Physical Effects Extraction from Natural Language Text in the Internet // World Applied Sciences Journal (WASJ). 2013. Т. 24. № 24. С. 55–61.

10. *Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G., Orlova Y.A.* A Multi-Stage Algorithm for Text Documents Filtering Based on Physical Knowledge // WORLD APPLIED SCIENCES JOURNAL. 2013. T. 24. № 24. С. 91–97.

11. *Fomenkov S.A., Korobkin D.M., Kolesnikov S.G., Dvoryankin A.M., Kamaev V.F.* Procedure of Integration of the Systems of Representation and Application of the Structured Physical Knowledge. // Research Journal of Applied Sciences. 2014. T. 9. № 10. С. 700–703.

12. *Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G.* Ontology-based extraction of physical effect description from

russian text // В сборнике: Proceedings of the European Conference on Data Mining 2014 and International Conferences on Intelligent Systems and Agents 2014 and Theory and Practice in Modern Computing 2014 - Part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems, MCCSIS 2014. С. 260–262.

13. *Korobkin D.M., Fomenkov S.A., Kolesnikov S.G.* Semantic network of physical effects descriptions in natural language context // В сборнике: Proceedings of the IADIS International Conference WWW/Internet 2013, ICWI 2013. С. 342–346.