

УДК 001.51: 621.914

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-3-81-91

# Разработка технического решения устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка методом поискового конструирования


А.А. Яковлев, Е.Г. Крылов, В.С. Сорокин

Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, Российская Федерация, пр-кт им. В.И. Ленина, д. 28

## Developing a Technical Solution for a Cooling Device for the Cutting Zone of a Milling Machine Using Search Engineering

A.A. Yakovlev, E.G. Krylov, V.S. Sorokin

Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, Volgograd region, Lenin Ave., Bldg. 28

 e-mail: yaa\_777@mail.ru, s.o.r.o.k.i.n@mail.ru

**i** Использование методов поискового конструирования при разработке новых изделий и технологий позволяет существенно сократить сроки и стоимость конструкторских изысканий. При реализации новых способов охлаждения зоны резания разработка конструкции соответствующего устройства является нетривиальной задачей. Описан процесс создания такого устройства с использованием инженерно-физического метода поискового конструирования. Метод заключается в построении модели физического принципа действия и в определении связанных с ней элементарных функций конструктивных элементов. Это позволяет получить множество вариантов технических решений искомого устройства, а затем с помощью вычислительной машины найти наиболее перспективные варианты для его конструктивной реализации. Таким образом, разработка вариантов конструкции нового устройства сводится к детерминированной последовательности действий, благодаря чему можно снизить квалификационные требования к разработчикам новых изделий, а также использовать теоретические основы метода для обучения студентов и начинающих конструкторов.

**Ключевые слова:** поисковое конструирование, физический принцип действия, техническое решение, техническая система, устройство охлаждения, зона резания

**i** The application of search design methods in the development of new products and technologies can significantly reduce the time and cost of engineering. When implementing new methods of cooling the cutting zone, designing an appropriate cooling device presents a challenge. The article describes the process of creating such a device using the engineering and physical method of search design. The method involves constructing a model of the physical principle of operation and defining elementary functions of the structural elements associated with the model. This allows obtaining a large variety of possible options for technical solutions of the desired device, followed by determining the most promising options for implementation using computing. Thus, the development of design options for a new device is reduced to a deterministic sequence of actions, leading to lower qualification re-

quirements to the developers of new products. The theoretical foundations of the method can also be used for teaching students and novice designers.

**Keywords:** search design, physical principle of operation, technical solution, technical system, cooling device, cutting zone

В настоящее время разработка новых конструкций высокоэффективных технических систем в области машиностроения характеризуется широким использованием различных методов поискового конструирования, что обеспечивает существенное повышение производительности труда на начальных творческих этапах проектирования. На этих этапах определяется физический принцип действия (ФПД) будущего устройства, разрабатывается его структура и осуществляется подбор функциональных элементов для его конструктивной реализации [1–3]. В данной статье описан инженерно-физический метод поискового конструирования [4] для разработки наиболее рациональных конструкций систем охлаждения обрабатываемых заготовок и инструмента на металлорежущих станках разного типа.

**Постановка задачи.** Согласно новому способу смазки и охлаждения заготовки и инструмента [5], в качестве смазывающего компонента в зону резания подается ионизированный воздух, а для отвода теплоты и обеспечения оптимального температурного режима используется вода в распыленном состоянии.

Такой метод охлаждения водяным туманом в сочетании со смазкой ионизированным воздухом имеет очень важные преимущества перед другими способами. Во-первых, при применении воды в распыленном состоянии ее расход невелик, благодаря чему значительно улучшаются условия труда, т. е. становится чище рабочее место и облегчается уход за ним, уменьшается содержание в воздухе вредных примесей (пыли, щелочи и масляного тумана). Во-вторых, появляется возможность выполнить охлаждение на тех операциях механической обработки деталей, где нельзя осуществить обильное охлаждение падающей струей. К ним относятся разнообразные операции обработки чугунных деталей, точение и фрезерование стальных изделий твердосплавными инструментами, обработка деталей на карусельных, радиально-сверлильных, строгальных станках и фрезерование концевыми фрезами по разметке.

Указанные преимущества делают этот метод весьма перспективным, но для его применения

на различных технологических операциях требуется разработка соответствующих устройств охлаждения зоны резания.

Цель работы — повышение производительности труда конструктора с помощью проектных процедур инженерно-физического метода поискового конструирования на примере разработки технического решения устройства охлаждения зоны резания при обработке деталей концевыми фрезами.

**Метод решения задачи.** Согласно этому методу, на первом этапе проектирования устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка осуществляется разработка его модели ФПД (рис. 1), в которой отражаются основные физические процессы, происходящие в рабочем теле (РТ). Теоретическое обоснование модели дано в работе [6], а метод ее построения — в работе [7]. Модель представляет собой ориентированный граф, вершины которого обозначают места — так называемые характерные точки, где РТ испытывает взаимодействия, сопровождающиеся изменением энергии. При этом каждому виду работы (механической, термической, химической, гидродинамической) соответствует определенное взаимодействие, отображаемое дугами графа (в виде «остроконечных» стрелок). Перемещение РТ между характерными точками в модели ФПД обозначено маршрутными дугами (в виде «тупоконечных» стрелок).

На графе также показаны объекты окружения, взаимодействие с которыми имеет определенное функциональное назначение: изменение параметров РТ (ПРТ), транспортирование РТ (ТРТ), теплоотдача (ТО). Кроме того, указаны истоки РТ (ИРТ) и стоки РТ (СРТ).

РТ — поток воздуха ( $i_6^1$ ) на выходе из компрессора разделяется на две части. Первая из них ( $i_1^3, i_2^3$ ) поступает через ионизатор ( $v_6^1, v_6^3$ ) в зону резания ( $v_1^3$ ), а вторая смешивается с водой в камере эжектора ( $v_5^1, v_5^2$ ) и направляется на поверхности инструмента и обрабатываемой детали ( $v_2^1, v_2^2$ ). Обозначения характерных точек, взаимодействий компонентов РТ и объектов окружения приведены в табл. 1.

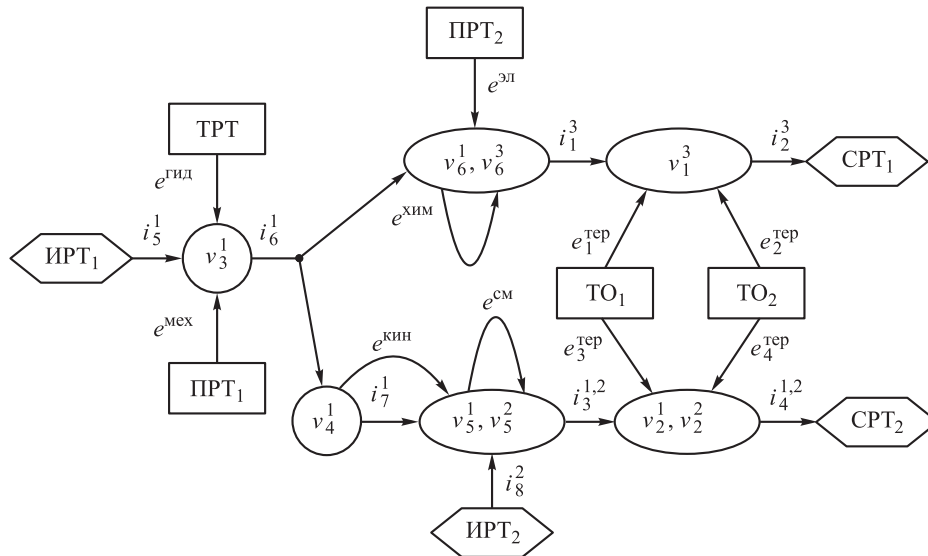


Рис. 1. Граф модели ФПД устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка

Таблица 1

Описание элементов графа модели ФПД

Обозначение вершины/дуги	Тип элемента	Семантическая нагрузка (описание) вершины/дуги
$v_1^3$	Характерная точка	Ионизированный воздух в зоне резания
$v_2^1, v_2^2$	То же	Распыленная в воздухе жидкость на поверхности фрезы и детали
$v_3^1$	»	Воздух в рабочей камере компрессора
$v_4^1$	»	Воздух в сопле эжектора
$v_5^1, v_5^2$	»	Распыленная в воздухе жидкость в смесительной камере эжектора
$v_6^1, v_6^3$	»	Воздух в неионизированном и ионизированном состояниях в ионизаторе
ИРТ <sub>1</sub>	Объект окружения	Атмосфера (исток РТ)
ИРТ <sub>2</sub>	То же	Источник жидкой среды/бак/емкость (исток РТ)
СРТ <sub>1</sub>	»	Атмосфера (сток РТ)
СРТ <sub>2</sub>	»	Атмосфера (сток РТ)
ТО <sub>1</sub>	»	Деталь (теплоотдатчик)
ТО <sub>2</sub>	»	Фреза (теплоотдатчик)
ТРТ	»	Механический привод компрессора (объект окружения для транспортирования РТ)
ПРТ <sub>1</sub>	»	Механический привод компрессора (объект окружения для изменения параметров РТ)
ПРТ <sub>2</sub>	»	Электрический источник питания (объект окружения для изменения параметров РТ)
$i_1^3$	Поток РТ	Поток ионизированного воздуха в зону резания через радиальные каналы в теле фрезы
$i_2^3$	То же	Поток ионизированного воздуха в атмосферу
$i_3^{1,2}$	»	Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность фрезы и детали

Окончание табл. 1

Обозначение вершины/дуги	Тип элемента	Семантическая нагрузка (описание) вершины/дуги
$i_4^{1,2}$	Поток РТ	Поток распыленной в воздухе жидкости в атмосферу
$i_5^1$	То же	Поток воздуха в рабочую камеру компрессора
$i_6^1$	»	Поток воздуха из рабочей камеры компрессора
$i_7^1$	»	Поток воздуха в смесительную камеру эжектора
$i_8^2$	»	Поток жидкости в смесительную камеру эжектора
$e_1^{\text{тер}}$	Взаимодействие	Охлаждение детали
$e_2^{\text{тер}}$	»	Охлаждение фрезы
$e_3^{\text{тер}}$	»	Охлаждение детали
$e_4^{\text{тер}}$	»	Охлаждение фрезы
$e^{\text{гид}}$	»	Нагнетание воздуха
$e^{\text{мех}}$	»	Сжатие воздуха
$e^{\text{кин}}$	»	Передача кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости
$e^{\text{см}}$	»	Перемешивание воздуха и жидкости (образование распыленной жидкости)
$e^{\text{эл}}$	»	Электрический разряд
$e^{\text{хим}}$	»	Ионизация воздуха

Каждому элементу графа модели ФПД соответствуют элементарные конструктивные функции (ЭКФ), которые были определены при анализе таких абстрактных понятий термодинамики, как «термодинамическая система», «контрольная поверхность», «внешние и внутренние степени свободы» [8–10].

Одна часть ЭКФ связана с вершинами графа, другая — с его дугами. В первом случае конструктивная реализация таких функций в устройстве необходима для обеспечения взаимодействий РТ и изоляции РТ от нежелательных взаимодействий, во втором — для подвода и отвода потоков факторов экстенсивности (обобщенных координат), организующих соответствующие взаимодействия, и для управления этими потоками. Подробное теоретическое обоснование и описание ЭКФ даны в работах [4, 6].

Путем анализа элементов графа модели ФПД определен состав ЭКФ, требующих конструктивной реализации. Кроме того, выявлены нежелательные и недопустимые взаимодействия РТ, снижающие эффективность устройства или приводящие к его неработоспособности. Для них также получены соответствующие функции. Полный список ЭКФ для проектируемого устройства охлаждения приведен в табл. 2.

По смысловому содержанию ЭКФ в патентном фонде и специальной технической литературе выполнен поиск описаний альтернативных вариантов конструктивных элементов (КЭ), позволяющих реализовать эти функции. В процессе информационного поиска технические решения КЭ подбирались таким образом, чтобы на каждую ЭКФ из табл. 2 приходилось по несколько альтернативных вариантов. Вследствие очень большого количества КЭ, выявленных в процессе информационного поиска, в табл. 3 представлена только часть из них.

Несколько альтернативных вариантов КЭ авторы разработали самостоятельно. На них в табл. 3 сделаны ссылки ИИ 1–ИИ 5, а также указаны наборы ЭКФ, соответствующие каждому из найденных технических решений КЭ. При этом видно, что даже сходным по технической сущности элементам (находящимся в одном и том же классе международной патентной классификации) соответствуют разные наборы ЭКФ. Это объясняет несовместимость некоторых сочетаний КЭ в одном техническом решении устройства, так как в большинстве случаев нельзя сочетать в одной конструкции элементы, выполняющие одинаковые ЭКФ.

Таблица 2

Описание ЭКФ для проектируемого устройства охлаждения

Обозначение элемента графа ФПД	Обозначение ЭКФ	Описание ЭКФ
$v_6, ПРТ_2$	$f_3(e^{эл})$	Формирование коронного разряда
$v_1, ТО_1$	$f_3(e_1^{теп})$	Отвод теплоты от детали
$v_1, ТО_2$	$f_3(e_2^{теп})$	Отвод теплоты от инструмента
$v_4, v_5$	$f_3(e^{кин})$	Передача кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости
$v_5$	$f_3(e^{см})$	Перемешивание воздуха с жидкостью (образование распыленной жидкости)
$v_2, ТО_1$	$f_3(e_3^{теп})$	Отвод теплоты от детали
$v_2, ТО_2$	$f_3(e_4^{теп})$	Отвод теплоты от инструмента
$e^{эл}$	$f_5(e^{эл})$	Подвод электрического заряда к электродам
$i_1^3$	$f_5(i_1^3)$	Подвод ионизированного воздуха в зону резания направленным потоком
$i_3^{1,2}$	$f_5(i_3^{1,2})$	Подвод распыленной жидкости на поверхности детали и инструмента
$v_6$	$f_4(e_{03}^{эл})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от станочного приспособления
$v_6$	$f_4(e_{02}^{гид})$	Защита ионизатора от утечки ионизированного воздуха
$i_1^3$	$f_6(e_{05}^{гид})$	Защита проводящего канала от утечки ионизированного воздуха

Таблица 3

КЭ, выявленные в процессе информационного поиска

Обозначение КЭ	Наименование КЭ	Источник информации (ИИ)	ЭКФ
$k_1^1$	Устройство для подачи смазочно-охлаждающей жидкости	Пат. 2203165 РФ, МПК В23С 5/28	$f_3(e_1^{теп}); f_3(e_2^{теп}); f_5(i_1^3); f_6(e_{05}^{гид})$
$k_1^2$	Устройство для подачи смазочно-охлаждающей жидкости	Пат. 994214 РФ, МПК В23Q 11/10	$f_3(e_1^{теп}); f_5(i_1^3); f_6(e_{05}^{гид})$
$k_1^3$	Устройство охлаждения зоны резания	ИИ 1	$f_3(e_1^{теп}); f_3(e_2^{теп}); f_5(i_1^3); f_5(i_3^{1,2})$
$k_1^4$	Устройство для подачи охлаждающей жидкости	А.с. 1454651 СССР, МПК В23Q 11/10	$f_3(e_1^{теп}); f_5(i_1^3); f_5(i_3^{1,2}); f_6(e_{05}^{гид})$
$k_1^5$	Система охлаждения зоны резания	ИИ 2	$f_3(e_2^{теп}); f_5(i_1^3)$
$k_1^6$	Устройство для подачи смазочно-охлаждающей жидкости	А.с. 848278 СССР, МПК В23Q 11/10	$f_3(e_2^{теп}); f_5(i_1^3); f_6(e_{05}^{гид})$
$k_2^1$	Трубчатый озонатор	Пат. 2326812 РФ, МПК С01В 13/11	$f_3(e^{эл}); f_3(e_1^{теп}); f_5(e^{эл}); f_4(e_{02}^{гид})$
$k_2^2$	Электрический озонатор	Пат. 2227119, МПК С01В 13/11	$f_3(e^{эл}); f_3(e_1^{теп}); f_5(e^{эл}); f_4(e_{02}^{гид})$
$k_2^3$	Портативное охлаждающее устройство с использованием «ионного ветра» в коронном разряде	Пат. 113083 РФ, МПК Н01Т 19/00	$f_3(e^{эл}); f_5(e^{эл}); f_4(e_{03}^{эл}); f_4(e_{02}^{гид})$
$k_2^4$	Озонатор	Пат. 2078027 РФ, МПК С01В 13/11	$f_3(e^{эл}); f_4(e_{03}^{эл}); f_4(e_{02}^{гид}); f_6(e_{05}^{гид})$
$k_2^5$	Способ генерирования озона и устройство для его осуществления	Пат. 2211800 РФ, МПК С01В 13/11	$f_3(e^{эл}); f_3(e_1^{теп}); f_3(e^{кин}); f_3(e^{см}); f_5(e^{эл}); f_4(e_{03}^{эл}); f_4(e_{02}^{гид}); f_6(e_{05}^{гид})$

Окончание табл. 3

Обозначение КЭ	Наименование КЭ	Источник информации (ИИ)	ЭКФ
$k_3^1$	Сопло	ИИ 3	$f_3(e^{\text{кин}})$
$k_3^2$	Распылительная головка	Пат. на полезную модель 85367 РФ, МПК В05В 7/04	$f_3(e^{\text{кин}}); f_3(e^{\text{см}})$
$k_3^3$	Устройство для распределения жидкости в форме капель	Пат. 2534419 РФ, МПК В05В 11/04	$f_3(e^{\text{кин}}); f_3(e^{\text{см}}); f_3(e_3^{\text{теп}}); f_3(e_4^{\text{теп}})$
$k_3^4$	Центробежная форсунка	Пат. 2634776 РФ, МПК В05В 1/34	$f_3(e^{\text{кин}})$
$k_3^5$	Устройство для охлаждения	ИИ 4	$f_3(e^{\text{кин}}); f_3(e_3^{\text{теп}}); f_3(e_4^{\text{теп}})$
$k_3^6$	Сопло для подачи газожидкостной смеси	Пат. 98100089 РФ, МПК В05В 7/06	$f_3(e^{\text{кин}}); f_3(e^{\text{см}}); f_3(e_3^{\text{теп}})$
$k_4^1$	Распылитель жидкости	Пат. 94015545 РФ, МПК В05В 17/04	$f_3(e_3^{\text{теп}})$
$k_4^2$	Центробежный распылитель жидкости	Пат. 2618260 РФ, МПК 3/02	$f_3(e_3^{\text{теп}}); f_3(e_4^{\text{теп}})$
$k_4^3$	Центробежный увлажнитель	Пат. 96110764 РФ, МПК В05В 3/02	$f_3(e_3^{\text{теп}}); f_3(e_4^{\text{теп}})$
$k_4^4$	Устройство охлаждения детали	ИИ 5	$f_3(e_1^{\text{теп}}); f_3(e_4^{\text{теп}})$
$k_5^1$	Изоляционная оболочка	Пат. 2153723 РФ, МПК Н01В 7/18	$f_4(e_{03}^{\text{эл}})$
$k_5^2$	Композиция для оболочки кабеля	Пат. 2137788 РФ, МПК С08L 23/20, Н01В 3/30	$f_4(e_{03}^{\text{эл}})$
$k_6^1$	Фреза	Пат. на полезную модель 134468, МПК В23С 5/00	$f_5(i_3^{1,2})$
$k_6^2$	Режущий инструмент	Пат. 2412025 РФ, МПК В23С 5/00	$f_5(i_3^{1,2})$

Возможные варианты технического решения устройства для охлаждения зоны резания показаны в виде таблицы (табл. 4). Методика разработки таких таблиц подробно изложена в работе [4]. В качестве атрибутов (заголовков столбцов) в нее включены ЭКФ из табл. 2, определяющие конструкцию проектируемого устройства. Каждая строка табл. 4 соответствует одному КЭ. Поля таблицы содержат значения предикатной функции, которая принимает истинное (затемненное поле) или ложное значение (светлое поле) в зависимости от выполнения данным КЭ соответствующей ЭКФ  $f_i$ , указанной в заголовке таблицы.

В большинстве случаев КЭ образуют разные подмножества ЭКФ, поэтому технические решения проектируемого устройства представляют собой комбинации элементов  $k_j^i$ , которые обеспечивают выполнение всех ЭКФ  $f_i$ , ука-

занных в заголовке табл. 4. Возможная комбинация КЭ для одного из вариантов технического решения  $\{k_1^6, k_2^2, k_3^2, k_4^2, k_5^1, k_6^2\}$  в таблице выделена штриховкой. Как видно из этой таблицы, даже при сравнительно небольшом объеме информации без использования ЭВМ нельзя составить все возможные варианты технических решений, а тем более сравнить их технический уровень.

Для этого использована прикладная программа, позволяющая формировать списки возможных технических решений, вводить экспертные оценки и выбирать лучшие решения по разным показателям качества. Основной алгоритм программы и методика расчета средневзвешенных показателей подробно описаны в работах [11, 12]. Исходными данными для программы являются: множество ЭКФ, выявленных при анализе модели ФПД; описания КЭ,



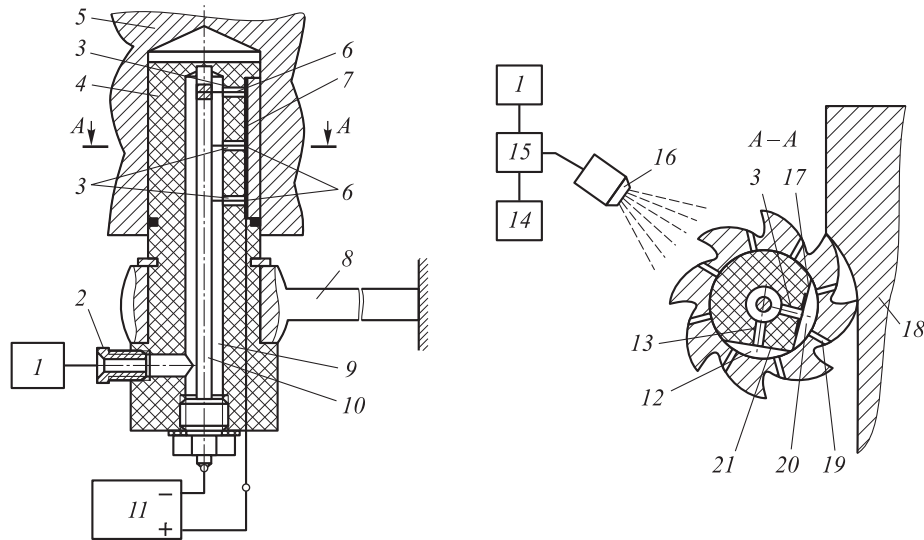


Рис. 2. Схема устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка:

- 1 — источник сжатого воздуха; 2 — штуцер; 3, 13 — отверстия; 4 — стержень; 5 — фреза; 6 — игольчатые электроды; 7 — металлическая пластина; 8 — кронштейн; 9 — центральное отверстие; 10 — металлический штифт; 11 — источник электропитания; 12 — камера подачи воздуха; 14 — источник жидкости; 15 — эжектор; 16 — сопло; 17, 21 — плоские поверхности на штифте; 18 — обрабатываемая деталь; 19 — радиальные каналы в теле фрезы; 20 — камера подачи ионизированного воздуха

Охлаждение фрезы 5 и обрабатываемой детали 18 осуществляется посредством их обдува распыленной жидкостью (например, водой) через сопло 16, куда она поступает по трубопроводу из эжектора 15. Одновременно сжатый воздух попадает в центральное отверстие 9 и далее через отверстия 13 и 3 в камеры подачи воздуха 12 и ионизированного воздуха 20. При прохождении через отверстия 3 воздух ионизируется и подается в зону резания через камеру 20 и радиальные каналы 19. Ионизатор изготовлен в виде игольчатых электродов 6 и отверстий 3 в металлической пластине 7, которые выполняют функцию кольцевых электродов. Такое конструктивное решение позволяет вести подачу ионизированного воздуха непосредственно на рабочие поверхности режущих зубьев, которые в данный момент времени находятся в зоне резания.

Таким образом, инженерно-физический метод поискового конструирования существенно облегчает проведение начальных этапов проектирования. Нетривиальная задача поиска вариантов конструкции нового устройства сводится к детерминированной последовательности действий, что позволяет снизить квалификационные требования к разработчикам изделий, а также использовать теоретические основы метода для обучения студентов и начинающих конструкторов.

## Выводы

1. Использование описанного метода позволяет многократно расширить область поиска конструктивных исполнений проектируемого изделия по сравнению с традиционным подходом, так как в таблице технических решений содержатся сотни тысяч вариантов комбинаций КЭ. Это повышает вероятность создания технических решений с форсированным уровнем качества, а также с уровнем новизны, присущим изобретениям и полезным моделям.

2. Рассмотренный метод носит достаточно универсальный характер, о чем свидетельствует практика его применения для поиска технических решений двигателей внутреннего сгорания, технологических лазеров, холодильных установок и других классов технических систем [4, 6, 14–16]. Для адаптации метода к новым классам технических систем требуется уточнение функционального назначения объектов окружения, отдельных процедур разработки модели ФПД, а также специфических характеристик элементарных функций КЭ.

3. В отличие от морфологического метода анализа и синтеза метод поискового конструирования учитывает факторы несовместимости КЭ друг с другом, так как функции КЭ выявляются на основе предварительно разработанной модели ФПД. В морфологических таблицах,



составленных для устройств данного класса, приходится вручную вводить запреты на комбинации элементов, что практически неосуществимо в случае их большого количества. Кроме того, морфологические таблицы всегда содержат одинаковое количество КЭ в техническом решении. В описанном методе количество КЭ не является постоянной величиной и определяется присущими им ЭКФ. Оно может быть раз-

личным, что находит подтверждение на практике.

4. Результаты практического использования инженерно-физического метода поискового конструирования различных технических систем в области машиностроения позволяют сделать положительное заключение о его работоспособности и эффективности на начальных этапах проектирования.

## Литература

- [1] Половинкин А.И., ред. *Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании)*. Москва, Радио и связь, 1981. 344 с.
- [2] Воинов Б.С. *Информационные технологии и системы. В 2 кн. Кн. I. Методология синтеза новых решений*. Нижний Новгород, Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2001. 404 с.
- [3] Норенков И.П. *Основы автоматизированного проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.
- [4] Яковлев А.А. *Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии*. Москва, Машиностроение-1, 2007. 128 с.
- [5] Яковлев А.А., Труханов В.М., Яковлева Е.В. *Способ подачи смазочно-охлаждающих технологических средств*. Пат. № 2367556 РФ, МПК В23Q 11/10, 2009, бюл. № 26, 5 с.
- [6] Камаев В.А., Яковлев А.А. Обучение концептуальному проектированию преобразователей энергии на базе системного подхода. *Открытое образование*, 2005, № 5, с. 62–69.
- [7] Яковлев А.А. Метод синтеза технических решений двигателей внутреннего сгорания на начальных стадиях проектирования. *Двигателестроение*, 2005, № 3, с. 26–31.
- [8] Гухман А.А. *Об основаниях термодинамики*. Москва, Изд-во ЛКИ, 2010. 384 с.
- [9] Алексеев Г.Н. *Энергоэнтропика*. Москва, Знание, 1983. 192 с.
- [10] Вейник А.И. *Термодинамическая пара*. Минск, Наука и техника, 1973. 382 с.
- [11] Яковлев А.А. Разработка матрицы технических решений преобразователей энергии и алгоритм формирования списков функционально-совместимых конструктивных элементов. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*, 2007, № 10, с. 34–39.
- [12] Яковлев А.А., Яковлева Е.В. Автоматизация синтеза и выбора технических решений преобразователей энергии. *Информационные технологии*, 2010, № 11, с. 71–78.
- [13] Яковлев А.А., Сорокин В.С., Чибисов А.В., Позднякова П.Е., Чурсина С.В. *Устройство для охлаждения зоны резания фрезерного станка*. Патент № 130536 РФ, МПК В23Q11/10, 2013, бюл. № 21, 8 с.
- [14] Яковлев А.А., Камаев В.А., Сорокин В.С., Мишустина С.Н. Поисковое конструирование систем охлаждения на основе инженерно-физического подхода. *Информационные технологии*, 2016, т. 22, № 11, с. 819–826.
- [15] Yakovlev A.A., Sorokin V.S., Mishustina S.N., Proidakova N.V., Postupaeva S.G. A new method of search design of refrigerating systems containing a liquid and gaseous working medium based on the graph model of the physical operating principle. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 803, no. 1. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012181> (дата обращения 15 ноября 2017).
- [16] Yakovlev A.A., Sorokin V.S., Mishustina S.N., Barabanov V.G., Shostenko S.V. A New Method of Search Design of Cooling Systems and Refrigerating Systems Containing a Liquid and Gaseous Working Medium Based on the Engineering Physical Approach. *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Proceedings, Ser. Communications in Computer and Information Science*, Volgograd, 12–14 September 2017, Volgograd, Volgograd State Technical University, Springer International Publishing AG, 2017, vol. 754, pp. 528–550.

## References

- [1] *Avtomatizatsiia poiskovogo konstruirovaniia (iskusstvennyi intellekt v mashinnom proektirovani)* [Automation of search design (artificial intelligence in the engine design)]. Ed. Polovinkin A.I. Moscow, Radio i sviaz' publ., 1981. 344 p.
- [2] Voinov B.S. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy. V 2 kn. Kn. 1. Metodologiya sinteza novykh reshenii* [Information technology and systems. In 2 b. B. 1. The methodology for the synthesis of new solutions]. Nizhniy Novgorod, NNSU im. N.I. Lobachevskogo publ., 2001. 404 p.
- [3] Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniia* [Fundamentals of CAD]. Moscow, Bauman Press, 2009. 430 p.
- [4] Iakovlev A.A. *Razrabotka mnozhestv tekhnicheskikh reshenii ustanovok dlia preobrazovaniia energii* [Developing sets of technical solutions of installations for energy conversion]. Moscow, Mashinostroenie-1 publ., 2007. 128 p.
- [5] Iakovlev A.A., Trukhanov V.M., Iakovleva E.V. *Sposob podachi smazochno-okhlazhdaiushchikh tekhnologicheskikh sredstv* [Method of supplying lubricating and cooling technological means]. Patent RF no. 2367556, 2009. 5 p.
- [6] Kamaev V.A., Iakovlev A.A. *Obuchenie kontseptual'nomu proektirovaniu preobrazovatelei energii na baze sistemnogo podkhoda* [Training in conceptual design of energy converters based on the system approach]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education]. 2005, no. 5, pp. 62–69.
- [7] Iakovlev A.A. *Metod sinteza tekhnicheskikh reshenii dvigatelei vnutrennego sgoraniia na nachal'nykh stadiiakh proektirovaniia* [Synthesis of Technical Solutions on Initial Stages of Designing Internal Combustion Engines]. *Dvigatelistroenie* [Dvigatelistroyeniye]. 2005, no. 3, pp. 26–31.
- [8] Gukhman A.A. *Ob osnovaniikh termodinamiki* [On the grounds of thermodynamics]. Moscow, LKI publ., 2010. 384 p.
- [9] Alekseev G.N. *Energoentropika* [Energotropic]. Moscow, Znanie publ., 1983. 192 p.
- [10] Veinik A.I. *Termodinamicheskaya para* [Thermodynamic steam]. Minsk, Nauka i tekhnika publ., 1973. 382 p.
- [11] Iakovlev A.A. *Razrabotka matritsy tekhnicheskikh reshenii preobrazovatelei energii i algoritm formirovaniia spiskov funktsional'no-sovmestimykh konstruktivnykh elementov* [The development of the matrix technical solutions energy converters and the algorithm of formation of the lists of functionally-compliant structural elements]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. An Engineering journal with appendix]. 2007, no. 10, pp. 34–39.
- [12] Iakovlev A.A., Iakovleva E.V. *Avtomatizatsiia sinteza i vybora tekhnicheskikh reshenii preobrazovatelei energii* [Technologies of Construction of Lie-Detector on the Basis of Device of Artificial Neural Networks]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 2010, no. 11, pp. 71–78.
- [13] Iakovlev A.A., Sorokin V.S., Chibisov A.V., Pozdniakova P.E., Chursina S.V. *Ustroistvo dlia okhlazhdeniia zony rezaniia frezernogo stanika* [Device for cooling the cutting zone of the milling machine]. Patent RF no. 130536, 2013. 8 p.
- [14] Iakovlev A.A., Kamaev V.A., Sorokin V.S., Mishustina S.N. *Poiskovoe konstruirovaniie sistem okhlazhdeniia na osnove inzhenerno-fizicheskogo podkhoda* [Search Engine Design Systems Cooling Based Engineering and Physical Approach]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 2016, vol. 22, no. 11, pp. 819–826.
- [15] Yakovlev A.A., Sorokin V.S., Mishustina S.N., Proidakova N.V., Postupaeva S.G. *A new method of search design of refrigerating systems containing a liquid and gaseous working medium based on the graph model of the physical operating principle*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 803, no. 1. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012181> (accessed 15 November 2017).
- [16] Yakovlev A.A., Sorokin V.S., Mishustina S.N., Barabanov V.G., Shostenko S.V. *A New Method of Search Design of Cooling Systems and Refrigerating Systems Containing a Liquid and Gaseous Working Medium Based on the Engineering Physical Approach*. *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Proceedings, Ser. Communications*

*in Computer and Information Science*, Volgograd, 12–14 September 2017, Volgograd, Volgograd State Technical University, Springer International Publishing AG, 2017, vol. 754, pp. 528–550.

Статья поступила в редакцию 27.12.2017

## Информация об авторах

**ЯКОВЛЕВ Алексей Андреевич** (Волгоград) — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов». Волгоградский государственный технический университет (400005, Волгоград, Российская Федерация, пр-кт им. В.И. Ленина, д. 28, e-mail: yaa\_777@mail.ru).

**КРЫЛОВ Евгений Геннадьевич** (Волгоград) — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов». Волгоградский государственный технический университет (400005, Волгоград, Российская Федерация, пр-кт им. В.И. Ленина, д. 28).

**СОРОКИН Вадим Сергеевич** (Волгоград) — аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов». Волгоградский государственный технический университет (400005, Волгоград, Российская Федерация, пр-кт им. В.И. Ленина, д. 28, e-mail: s.o.r.o.k.i.n@mail.ru).

## Information about the authors

**YAKOVLEV Aleksey Andreevich** (Volgograd) — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Automation of Manufacturing Processes. Volgograd State Technical University (400005, Volgograd, Russian Federation, Lenin Ave., Bldg. 28, e-mail: yaa\_777@mail.ru).

**KRYLOV Evgeniy Gennadievich** (Volgograd) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Automation of Manufacturing Processes. Volgograd State Technical University (400005, Volgograd, Russian Federation, Lenin Ave., Bldg. 28).

**SOROKIN Vadim Sergeevich** (Volgograd) — Postgraduate, Department of Automation of Manufacturing Processes. Volgograd State Technical University (400005, Volgograd, Russian Federation, Lenin Ave., Bldg. 28, e-mail: s.o.r.o.k.i.n@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет 4-е издание учебного пособия  
**В.П. Строгалева, И.О. Толкачевой**  
**«Имитационное моделирование»**

Изложены основные вопросы, связанные с построением моделей реальных систем, проведением компьютерных экспериментов на моделях и управлением этими экспериментами. Подробно рассмотрены принципы имитационного моделирования и представлен соответствующий математический аппарат с большим количеством примеров.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических вузов, специализирующихся в области разработки сложных технических систем, а также для специалистов, занимающихся прикладными исследованиями, и руководителей различного рода предприятий.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru