

С. Г. Поступаева, А. Ю. Дуденков, А. А. Яковлев, Ж. С. Тихонова

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА
ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ
НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: posvetlana@mail.ru, tosha1net@yandex.ru,
yaa_777@mail.ru, tikhonovazhs@yandex.ru

В статье показано применение инженерно-физического метода для разработки автоматического устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка с ЧПУ на начальных этапах проектирования. Рассмотренные этапы конструирования технического решения позволяют связать модель ФПД устройства с его последующей конструктивной реализацией на основе выделения элементарных конструктивных функций.

Ключевые слова: поисковое конструирование, инженерно-физический метод, модель физического принципа действия, фрезерный станок с ЧПУ

S. G. Postupaeva, A. Yu. Dudenkov, A. A. Yakovlev, Zh. S. Tikhonova

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DEVICE FOR COOLING
THE CUTTING ZONE OF A CNC MILLING MACHINE
AT THE INITIAL STAGES OF DESIGN**

Volgograd State Technical University

The article shows the application of the engineering-physical method for the development of an automatic cooling device for the cutting zone of a CNC milling machine at the initial stages of design. The considered stages of designing a technical solution allow us to link the FPD model of the device with its subsequent design implementation based on the allocation of elementary design functions.

Keywords: search design, engineering-physical method, model of the physical principle of action, CNC milling machine

В настоящее время в области машиностроения широко применяются методы поискового конструирования. Эти методы позволяют значительно ускорить и усовершенствовать начальные, наиболее креативные этапы проектирования сложных технических систем, в частности, при разработке высокоэффективных устройств и механизмов. На ранних этапах проектирования определяют не только физический принцип действия (ФПД) будущего устройства и его общую архитектуру, но и тщательно подбирают функциональные элементы, учитывая множество параметров. В этой связи становится актуальной задача оптимизации систем охлаждения, особенно

важных для многих технологических процессов, таких как обработка металлов резанием.

Данная статья посвящена использованию инженерно-физического метода для разработки оптимальной конструкции автоматического устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка с ЧПУ на этапах построения модели ФПД и выявления элементарных функций устройства [1]. Предлагаемый метод представляет собой эффективный инструмент, позволяющий моделировать сложные физические процессы, происходящие в системе охлаждения зоны резания, с учетом передвижения рабочего тела между элементами системы, последова-

тельности и длительности взаимодействий рабочего тела при работе устройства. В отличие от традиционных эмпирических подходов, инженерно-физический метод позволяет прогнозировать эффективность различных конструктивных решений на ранних этапах проектирования, минимизируя затраты на экспериментальные исследования и позволяя выбирать

наиболее рациональные варианты еще до физического изготовления прототипа.

На основе анализа возможности конструктивной реализации автоматического устройства для охлаждения зоны резания фрезерного станка были определены основные функциональные модули технической системы для последующего ее проектирования (рис. 1).

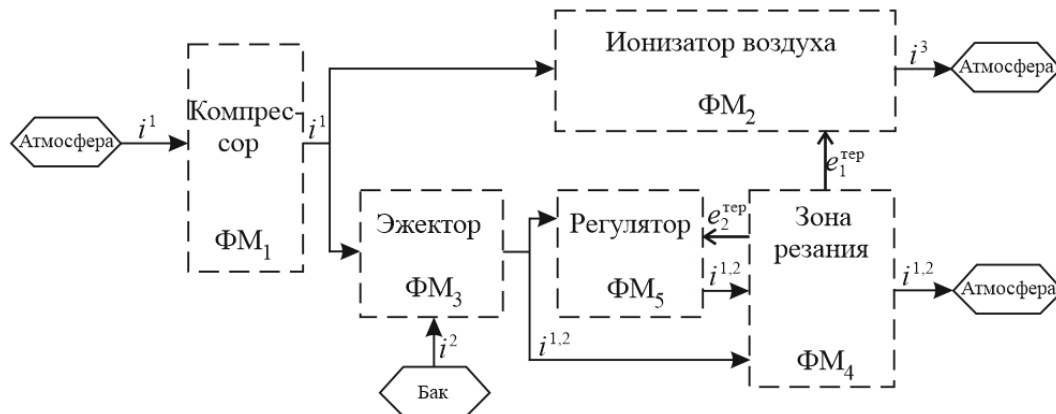


Рис. 1. Структурная схема автоматического устройства охлаждения зоны резания для фрезерного станка:

i^1 – поток воздуха; $i^{1,2}$ – поток распыленной в воздухе жидкости; i^2 – поток жидкости; i^3 – поток ионизированного воздуха; $e_1^тер$ – охлаждение детали и фрезы; $e_2^тер$ – процесс термического взаимодействия между деталью и датчиком температуры

Согласно инженерно-физическому методу на первом этапе проектирования устройства охлаждения осуществляется разработка

его модели ФПД (рис. 2), теоретическое обоснование и метод построения которой дано в работе [2].

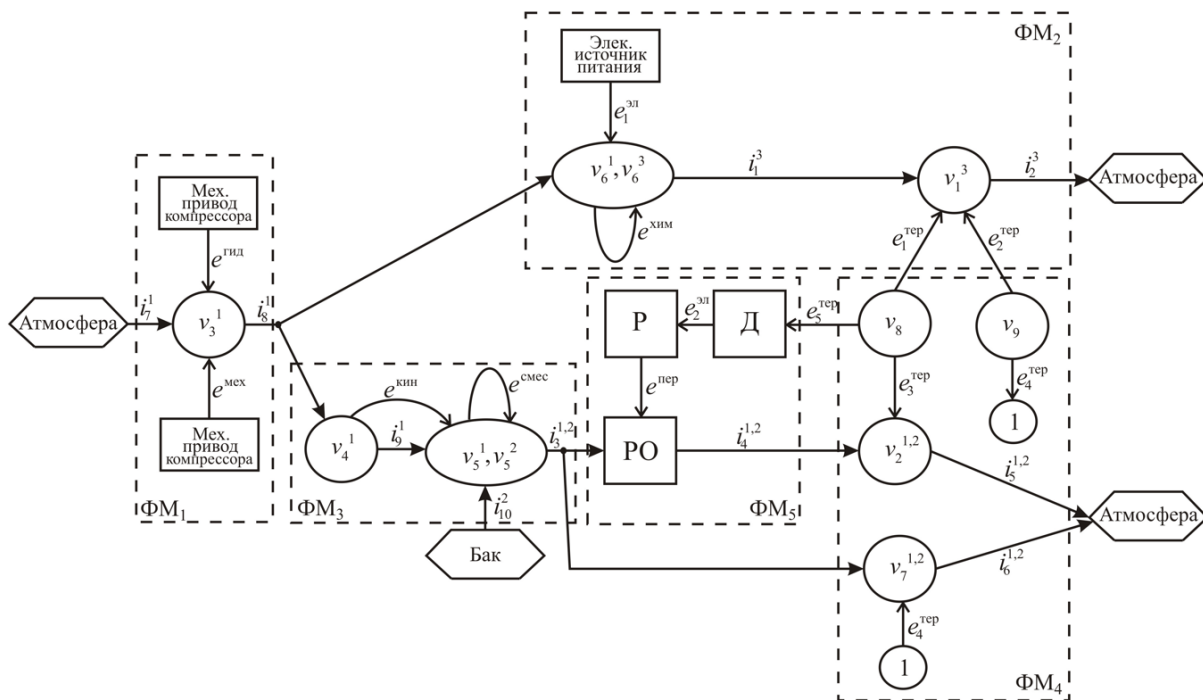


Рис. 2. Модель ФПД для автоматического устройства охлаждения зоны резания для фрезерного станка

Описание всех элементов модели ФПД для функциональных модулей, изображенных на рис. 2, представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание элементов модели ФПД

Обозначение элемента	Тип вершины или дуги	Семантическое описание
Функциональный модуль ФМ ₁		
v_3^1	Характерная точка	Воздух в рабочей камере компрессора
i_7^1	Маршрутная дуга	Поток воздуха из атмосферы в камеру компрессора
i_8^1	То же	Поток воздуха из камеры компрессора
$e^{\text{мех}}$	Взаимодействие	Процесс сжатия воздуха
$e^{\text{гид}}$	То же	Процесс нагнетания воздуха
Функциональный модуль ФМ ₂		
v_6^1, v_6^3	Характерная точка	Воздух в неионизированном и ионизированном состоянии в ионизаторе
v_1^3	То же	Ионизированный воздух в зоне резания
i_1^3	Маршрутная дуга	Поток ионизированного воздуха в зону резания через радиальные каналы в теле фрезы
i_2^3	То же	Поток ионизированного воздуха в атмосферу
$e^{\text{хим}}$	Взаимодействие	Процесс ионизации воздуха
$e_1^{\text{эл}}$	То же	Электрический разряд
$e_1^{\text{тер}}$	—//—	Процесс охлаждения детали
$e_2^{\text{тер}}$	—//—	Процесс охлаждения фрезы
Функциональный модуль ФМ ₃		
v_4^1	Характерная точка	Воздух в сопле эжектора
v_5^1, v_5^2	То же	Распыленная в воздухе жидкость в смесительной камере эжектора
i_9^1	Маршрутная дуга	Поток воздуха в смесительную камеру эжектора
i_{10}^2	То же	Поток жидкости в смесительную камеру эжектора
$i_3^{1,2}$	—//—	Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность фрезы и детали
$e^{\text{кин}}$	Взаимодействие	Процесс передачи кинетической энергии воздуха подсасываемой жидкости
$e^{\text{смес}}$	То же	Перемешивания воздуха и жидкости (образование распыленной жидкости)
Функциональный модуль ФМ ₄		
$v_2^{1,2}$	Характерная точка	Распыленная в воздухе жидкость на поверхности детали
$v_7^{1,2}$	То же	Распыленная в воздухе жидкость на поверхности фрезы
v_8	—//—	Деталь
v_9	—//—	Фреза
$i_4^{1,2}$	Маршрутная дуга	Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность детали
$i_5^{1,2}, i_6^{1,2}$	То же	Поток распыленной в воздухе жидкости в атмосферу
$e_3^{\text{тер}}$	Взаимодействие	Процесс охлаждения детали
$e_4^{\text{тер}}$	То же	Процесс охлаждения фрезы
$e_5^{\text{тер}}$	—//—	Процесс термического взаимодействия между деталью и датчиком температуры
Функциональный модуль ФМ ₅		
Д	—	Датчик температуры
Р	—	Регулятор
РО	—	Регулирующий орган
$e^{\text{пер}}$	Взаимодействие	Изменение положения регулирующего органа в зависимости от сигнала с регулятора
$e_2^{\text{эл}}$	То же	Электрическое взаимодействие между датчиком температуры и регулятором

Следующим этапом проектирования устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка выступает выявление элементарных функций системы. Подробное теоретическое обоснование и описание элементарных кон-

структивных функций дано в работе [3]. Путем анализа элементов графа модели ФПД определяют состав элементарных функций, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Описание элементарных конструктивных функций

Элемент	Функция	Семантическое описание функции
v_3	$f_3(e^{\text{мех}})$	Обеспечение возможности сжатия воздуха
v_3	$f_3(e^{\text{гид}})$	Обеспечение возможности перемещения сжатого воздуха
v_6	$f_3(e_1^{\text{эл}})$	Обеспечение возможности формирования коронного разряда
v_6	$f_3(e^{\text{хим}})$	Обеспечение возможности ионизации воздуха
v_1, v_8	$f_3(e_1^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
v_1, v_9	$f_3(e_2^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от фрезы
v_4, v_5	$f_3(e^{\text{кин}})$	Обеспечение возможности передачи кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкостью
v_5	$f_3(e^{\text{смес}})$	Обеспечение возможности перемешивания воздуха с жидкостью (образования распыленной жидкости)
v_2, v_8	$f_3(e_3^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от детали
v_2, v_9	$f_3(e_4^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности отвода теплоты от фрезы
$v_8, Д$	$f_3(e_5^{\text{теп}})$	Обеспечение возможности измерения значения температуры детали датчиком
$Д, Р$	$f_3(e_2^{\text{эл}})$	Обеспечение возможности формирования электрического сигнала
$Р, РО$	$f_3(e^{\text{пер}})$	Обеспечение возможности перемещения задвижки для подачи распыленной жидкости
i_1^3	$f_5(i_1^3)$	Возможность подвода ионизированного воздуха в зону резания направленным потоком
i_2^3	$f_5(i_2^3)$	Возможность отвода ионизированного воздуха в атмосферу
$i_3^{1,2}$	$f_5(i_3^{1,2})$	Возможность подвода распыленной жидкости на поверхность фрезы
$i_4^{1,2}$	$f_5(i_4^{1,2})$	Возможность подвода распыленной жидкости на поверхность детали
$i_{5,6}^{1,2}$	$f_5(i_{5,6}^{1,2})$	Возможность отвода распыленной жидкости в атмосферу
i_7^1	$f_5(i_7^1)$	Возможность подвода воздуха в рабочую камеру компрессора
i_8^1	$1f_5(i_8^1)$	Возможность подвода воздуха в сопло эжектора
i_8^1	$2f_5(i_8^1)$	Возможность подвода воздуха в ионизатор
i_9^1	$f_5(i_9^1)$	Возможность подвода воздуха в смесительную камеру эжектора
i_{10}^2	$f_5(i_{10}^2)$	Возможность подвода жидкости в смесительную камеру эжектора
v_3	$f_4(e_{01}^{\text{гид}})$	Защита рабочей камеры компрессора от утечки воздуха
v_6	$f_4(e_{01}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения искрового разряда
v_6	$f_4(e_{02}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от возникновения дугового разряда
v_6	$f_4(e_{03}^{\text{эл}})$	Изоляция электрического заряда в ионизаторе от станочного приспособления
v_6	$f_4(e_{02}^{\text{гид}})$	Защита ионизатора от утечки ионизированного воздуха
v_4	$f_4(e_{03}^{\text{гид}})$	Защита сопла эжектора от утечки воздуха
v_5	$f_4(e_{04}^{\text{гид}})$	Защита смесительной камеры эжектора от утечки распыленной жидкости
i_1^3	$f_6(e_{05}^{\text{гид}})$	Защита проводящего канала от утечки ионизированного воздуха
$i_{3,4}^{1,2}$	$f_6(e_{06}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки распыленной жидкости
i_8^1	$f_6(e_{07}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха
i_9^1	$f_6(e_{08}^{\text{гид}})$	Защита трубопровода от утечки воздуха

После выявления всех элементарных функций, согласно разработанной модели ФПД, определяется состав конструктивных элементов устройства на основе предварительного группирования найденных функций.

Далее подбираются источники информации, в которых описаны конструкции подобранных элементов. В качестве источников информации могут выступать научно-техническая литература, патентный фонд, специализированные базы данных и другие источники информации.

Рассмотренные этапы конструирования технического решения для охлаждения зоны резания фрезерного станка позволяет связать разработанную ранее модель ФПД устройства с его последующей конструктивной реализацией на основе выделения элементарных конструктивных функций [4]. Такой подход позволяет существенно расширить область поиска вариантов конструктивного исполнения проектируемого изделия и учесть факторы несов-

местимости конструктивных элементов друг с другом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. Инженерно-физический метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии : монография / А. А. Яковлев ; Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2004. – 160 с.

2. Яковлев, А. А. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Построение модели физического принципа действия устройства / А. А. Яковлев, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (260) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 83–87.

3. Поступаева, С. Г. Разработка автоматизированного устройства охлаждения зоны резания фрезерного станка. Выявление элементарных функций устройства / С. Г. Поступаева, Н. В. Федорова // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3(262) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – С. 69–73.

4. Разработка устройства подачи смазочно-охлаждающего технологического средства методом поискового конструирования / А. А. Яковлев, В. С. Сорокин, С. Н. Бориско, С. Г. Поступаева // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7(217) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018.