

УДК 001.51: 621.914

doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-34-44

# Разработка устройства подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства с системой автоматического управления температурным режимом

А.А. Яковлев<sup>1</sup>, С.В. Шостенко<sup>1</sup>, С.Н. Бориско<sup>2</sup>, С.Г. Поступаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волгоградский государственный технический университет

<sup>2</sup> Филиал Астраханского государственного университета в Знаменске

## The Development of a Feeding Device for a Cooling Lubricant Technological Tool with Automatic Temperature Control System

A.A. Yakovlev<sup>1</sup>, S.V. Shostenko<sup>1</sup>, S.N. Borisko<sup>2</sup>, S.G. Postupaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volgograd State Technical University

<sup>2</sup> Branch of Astrakhan State University in Znamensk

Разработаны устройство подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства и система автоматического управления температурным режимом деталей при фрезеровании. Устройство реализует новый способ раздельного охлаждения и смазки зоны резания распыленной жидкостью и ионизированным газом. Для проектирования устройства использован инженерно-физический метод поискового конструирования, позволяющий на основе построения модели физического принципа действия с помощью прикладной программы получить множество возможных вариантов технических решений искомого устройства и определить наиболее перспективные варианты для его конструктивной реализации. Предложена конструкция нового устройства, проведено математическое моделирование и рассчитаны параметры передаточной функции системы автоматического управления температурным режимом. Устройство позволяет повысить эффективность механической обработки заготовок при фрезеровании и добиться существенного улучшения условий труда путем уменьшения содержания в воздухе вредных примесей.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающее технологическое средство, физический принцип действия, техническое решение, экспертная оценка, система управления, устройство охлаждения

The article presents a feeding device designed for a cooling lubricant technological tool and an automatic control system for controlling the temperature mode of parts when milling. The device implements a new method of separate cooling and lubrication of the cutting area with sprayed liquid and ionized gas. To develop the device, an engineering-physical search design method is used, which makes it possible to obtain a set of possible options of technical solutions for the desired device and determine the most promising options for the design implementation. The method is based on constructing a model of the physical principle of operation using application software. The design of the new device is developed, mathematical modeling is performed, and the parameters of the transfer function of the automatic temperature control system are calculated. The proposed device can increase the efficiency of machining when milling workpieces and make a significant improvement to working conditions by reducing the content of harmful impurities in the air.

**Keywords:** cooling lubricant technological tool, physical principle of action, technical solution, expert review, control system, cooling device

Разработка и применение новых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) является одним из важных факторов повышения производительности труда при резании металлов. Однако такие средства зачастую оказывают негативное воздействие на санитарно-гигиенические условия труда [1–4].

Для преодоления этого недостатка в качестве СОТС используют ионизированный газ [5, 6]. Но с помощью газа нельзя отвести достаточное количество тепла, образующегося в процессе резания металла, поэтому такой способ можно применять только при окончательных, чистовых операциях.

В связи с этим разработан новый способ подачи СОТС в зону резания, основанный на одновременном использовании ионизированного воздуха (для смазки ювенильных поверхностей) и распыленной жидкости (для охлаждения заготовки и инструмента) [7].

Этот способ позволяет добиться существенно улучшения условий труда путем уменьшения содержания вредных примесей в воздухе. Кроме того, он дает возможность охладить детали на тех операциях механической обработки, где нельзя обеспечить их обильное охлаждение падающей струей (при обработке чугуновых деталей, точении и фрезеровании стальных деталей твердосплавными инструментами, фрезеровании концевыми фрезами по разметке и т. д.).

**Постановка задачи.** Указанные преимущества делают описанный способ весьма перспективным. Однако существуют объективные сложно-

сти его применения при обработке деталей многолезвийным инструментом, например, при фрезеровании. Для реализации этого способа требуются соответствующие устройства раздельной подачи компонентов СОТС в зону резания.

Цель работы — разработка конструкции устройства для подачи двухкомпонентной СОТС при фрезеровании деталей, а также системы автоматического управления (САУ) температурным режимом в зоне резания.

**Метод решения задачи.** Для повышения эффективности процесса проектирования технического решения (ТР) можно использовать различные методы проектирования [8–13]. Большинство из них основано на применении разных моделей физического принципа действия (ФПД), отражающих процессы в проектируемой системе. Разработка конструкции описываемого устройства подачи СОТС осуществлена с помощью инженерно-физического метода поискового конструирования, подробно изложенного в работе [14].

Его главное преимущество заключается в использовании новой модели ФПД, позволяющей на основе положений термодинамики выявить функции конструктивных элементов (КЭ). Затем путем информационного поиска в научно-технической литературе, патентном фонде, специализированных базах данных и других источниках информации формируется матрица возможных ТР для дальнейшей конструктивной проработки перспективных вариантов.

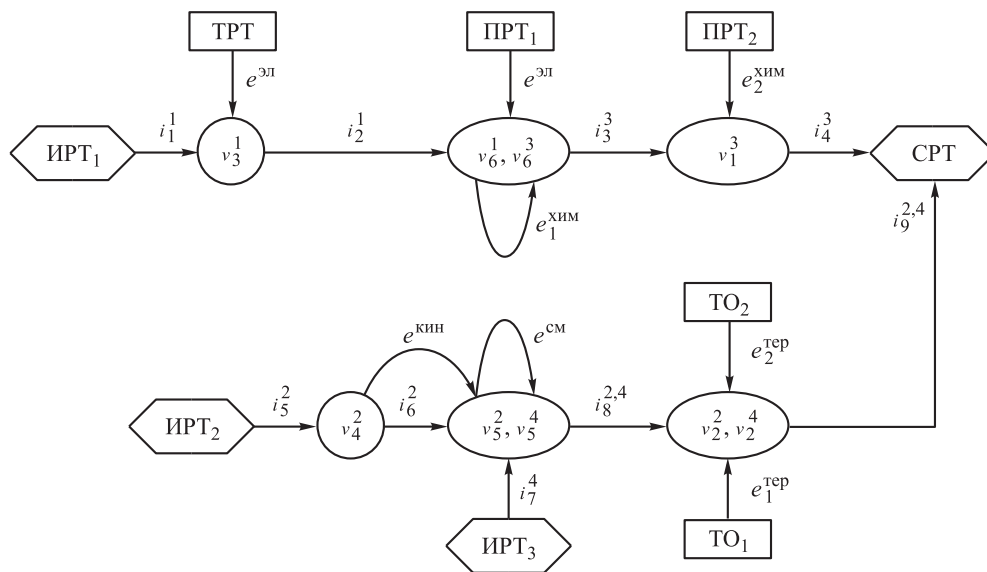


Рис. 1. Граф модели ФПД проектируемого устройства

**Разработка конструкции устройства.** На первом этапе проектирования устройства осуществляется разработка модели ФПД (рис. 1) в виде графа, на котором отражаются основные физические процессы, происходящие при подаче СОТС в зону резания.

Вершины графа обозначают места, где компоненты СОТС испытывают термодинамические

взаимодействия. Каждому взаимодействию (механическому, термическому, химическому, гидродинамическому) на графе соответствуют дуги с остроконечными стрелками. Перемещение компонентов СОТС обозначают маршрутными дугами.

На графе также показаны объекты окружения, взаимодействие с которыми имеет определенное функциональное назначение: изменение

Таблица 1

Описание элементов графа модели ФПД

| Обозначение элемента                | Описание элементов  |
|-------------------------------------|---|
| <i>Характерные точки</i>            |   |
| $v_1^3$                             | Ионизированный воздух в зоне резания  |
| $v_2^2, v_2^4$                      | Распыленная в воздухе жидкость на поверхности фрезы и детали                              |
| $v_3^1$                             | Воздух в нагнетателе  |
| $v_4^2$                             | Воздух в сопле эжектора   |
| $v_5^2, v_5^4$                      | Распыленная в воздухе жидкость в смесительной камере эжектора                             |
| $v_6^1, v_6^3$                      | Воздух в неионизированном и ионизированном состояниях в зоне коронного разряда ионизатора |
| <i>Объекты окружения</i>            |   |
| ИРТ <sub>1</sub>                    | Атмосфера   |
| ИРТ <sub>2</sub>                    | Цеховая пневмосеть  |
| ИРТ <sub>3</sub>                    | Источник жидкой среды (бак, емкость)  |
| СРТ                                 | Атмосфера   |
| ТО <sub>1</sub>                     | Деталь  |
| ТО <sub>2</sub>                     | Фреза   |
| ТРТ                                 | Электрический привод нагнетателя  |
| ПРТ <sub>1</sub>                    | Электрический источник питания  |
| ПРТ <sub>2</sub>                    | Ювенильные поверхности обрабатываемой детали  |
| <i>Потоки рабочего тела</i>         |   |
| $i_1^1$                             | Поток воздуха в нагнетатель   |
| $i_2^1$                             | Поток воздуха из нагнетателя в ионизатор  |
| $i_3^3$                             | Поток ионизированного воздуха в зону резания  |
| $i_4^3$                             | Поток ионизированного воздуха в атмосферу   |
| $i_5^2$                             | Поток воздуха из цеховой пневмосети в сопло эжектора                                      |
| $i_6^2$                             | Поток воздуха из сопла в смесительную камеру эжектора                                     |
| $i_7^4$                             | Поток жидкости в смесительную камеру эжектора   |
| $i_8^{2,4}$                         | Поток распыленной в воздухе жидкости на поверхность фрезы и детали                        |
| $i_9^{2,4}$                         | Поток распыленной в воздухе жидкости в атмосферу  |
| <i>Взаимодействия рабочего тела</i> |   |
| $e_1^{\text{тер}}$                  | Охлаждение детали   |
| $e_2^{\text{тер}}$                  | Охлаждение фрезы  |
| $e_1^{\text{хим}}$                  | Ионизация (озонирование) воздуха  |
| $e_2^{\text{хим}}$                  | Окисление ювенильных поверхностей   |
| $e^{\text{гид}}$                    | Нагнетание воздуха  |
| $e^{\text{кин}}$                    | Передача кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости                              |
| $e^{\text{см}}$                     | Смешивание воздуха и жидкости (образование распыленной жидкости)                          |
| $e^{\text{эл}}$                     | Электрический (коронный) разряд   |

Таблица 2

Описание элементарных конструктивных функций

| Обозначение                       |                      | Описание элементарной функции  |
|-----------------------------------|----------------------|--|
| элемента графа ФПД                | элементарной функции |  |
| $v_1^3$ , ТРТ                     | $f_3(e^{гид})$       | Нагнетание воздуха в канал подачи ионизированного газа                                 |
| $v_6^1, v_6^3$ , ПРТ <sub>1</sub> | $f_3(e^{эл})$        | Формирование коронного разряда   |
| $v_2^2, v_2^4$ , ТО <sub>1</sub>  | $f_3(e_1^{теп})$     | Отвод теплоты от детали  |
| $v_2^2, v_2^4$ , ТО <sub>2</sub>  | $f_3(e_2^{теп})$     | Отвод теплоты от инструмента   |
| $v_5^2, v_5^4$                    | $f_3(e^{кин})$       | Сообщение кинетической энергии воздуха подсосываемой жидкости                          |
| $v_5^2, v_5^4$                    | $f_3(e^{см})$        | Перемешивание воздуха с жидкостью (образование распыленной жидкости)                   |
| $v_1^3$                           | $f_3(e_2^{хим})$     | Обеспечение контакта (взаимодействия) ионизированного газа с ювенильными поверхностями |
| $e^{эл}$                          | $f_5(e^{эл})$        | Обеспечение электрического разряда между электродами в ионизаторе                      |
| $i_3^3$                           | $f_5(i_3^3)$         | Подача ионизированного воздуха в зону резания направленным потоком                     |
| $i_8^{2,4}$                       | $f_5(i_8^{2,4})$     | Подача распыленной жидкости на поверхность детали и инструмента                        |
| $i_5^2$                           | $f_5(i_5^2)$         | Подвод воздуха к соплу эжектора из цеховой пневмосети                                  |
| $i_7^4$                           | $f_5(i_7^4)$         | Подвод жидкости в смесительную камеру эжектора   |
| $i_2^1$                           | $f_5(i_2^1)$         | Подача воздуха в ионизатор   |
| $v_6^1, v_6^3$                    | $f_4(e_{01}^{эл})$   | Изоляция электрического разряда в ионизаторе от станочного приспособления              |
| $v_6^1, v_6^3$                    | $f_4(e_{02}^{гид})$  | Защита ионизатора от утечки ионизированного воздуха                                    |
| $i_3^1$                           | $f_6(e_{03}^{гид})$  | Защита проводящего канала от утечки ионизированного воздуха                            |

параметров (ПРТ), транспортирование (ТРТ), теплоотдача (ТО). Кроме того, указаны истоки компонентов СОТС (ИРТ) и стоки (СРТ).

Первый компонент СОТС — поток воздуха ( $i_1^1, i_2^1$ ) — поступает через ионизатор ( $v_6^1, v_6^3$ ) в зону резания ( $v_1^3$ ) и вступает во взаимодействие с ювенильными поверхностями обрабатываемой детали (ПРТ<sub>2</sub>). Второй компонент — воздух из цеховой сети ( $i_5^2, i_6^2$ ) — смешивается с потоком воды ( $i_7^4$ ) в камере эжектора ( $v_5^2, v_5^4$ ) и направляется на поверхности обрабатываемой детали (ТО<sub>1</sub>) и инструмента (ТО<sub>2</sub>). Описание элементов графа модели ФПД — характерных точек, взаимодействий компонентов СОТС и объектов окружения — приведены в табл. 1.

В результате анализа элементов графа модели ФПД определен состав элементарных функций, требующих конструктивной реализации. Часть функций связана с вершинами графа, другая — с его дугами. Подробное теоретическое обоснование и описание элементарных функций дано в работе [15]. Описание элементарных функций для проектируемого устройства охлаждения приведен в табл. 2.

Исходные данные для алгоритма формирования списков возможных ТР представляют в виде структуры

$$\langle K, F, P, E \rangle,$$

где  $K$  — множество описаний КЭ, из которых формируются ТР;  $F$  — множество наборов функций, выполняемых каждым КЭ и выявленных при анализе модели ФПД;  $P$  — множество показателей качества для оценки получаемых ТР;  $E$  — множество наборов экспертных оценок КЭ по каждому показателю качества.

Техническое решение устройства представляет список КЭ. Элементы, входящие в список, должны выполнять все функции, выявленные при анализе модели ФПД. В узлах списка, формируемого в оперативной памяти ЭВМ, хранятся указатели на описания КЭ. Узел списка элементов имеет структуру

$$N_{el} = \langle p_e, p_{se} \rangle,$$

где  $p_e$  — указатель на описание КЭ;  $p_{se}$  — указатель на следующий узел списка КЭ.

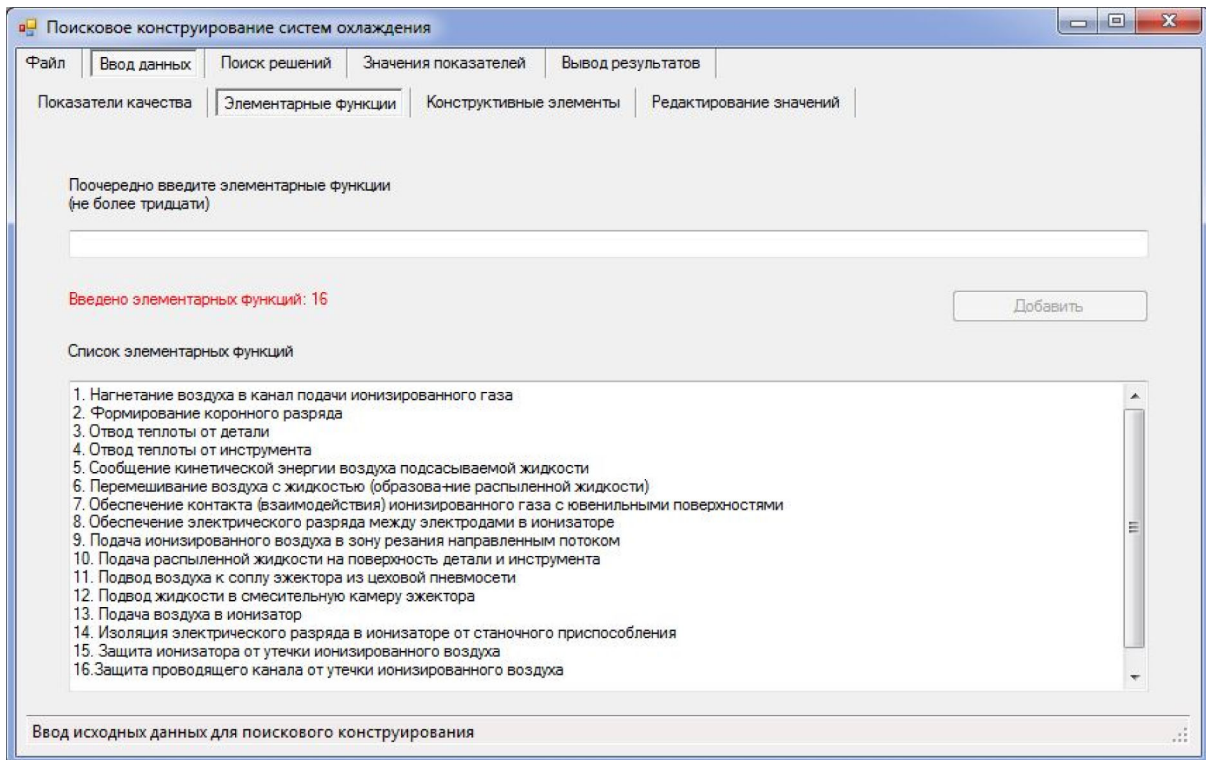


Рис. 2. Экранная форма программы синтеза ТР

Итоговый список ТР представляется как множество узлов типа

$$N_{td} = \langle E_{sum}, p_{se0}, p_{st} \rangle,$$

где  $E_{sum}$  — множество суммарных значений экспертных оценок КЭ по каждому показателю качества;  $p_{se0}$  — указатель на начало списка КЭ, входящих в данное ТР;  $p_{st}$  — указатель на следующий узел списка ТР.

Формирование списка возможных ТР осуществляется по методике, описанной в работах [16, 17]. Для заданной модели ФПД разработана программа, позволяющая сформировать полный список возможных ТР. На рис. 2 показана экранная форма программы синтеза ТР.

Метод, реализуемый в этой программе, позволил сформировать десятки тысяч вариантов ТР, состоящих из совместимых КЭ. Выбор самого перспективного варианта осуществлен с помощью метода экспертных оценок [17], реализованного в данной программе.

Для выбора наиболее перспективных вариантов введены экспертные оценки по следующим показателям качества:

- технико-эксплуатационным (эффективность смазывающего и охлаждающего воздействий, расход электроэнергии);
- надежности (вероятность безотказной работы, срок службы);

- технологическим (трудоемкость изготовления, коэффициент стандартизации и унификации);
- эргономическим (безопасность);
- патентно-правовым (показатель патентной защиты, показатель патентной чистоты);
- объемно-весовым (габаритные размеры, масса).

Частный показатель качества ТР, состоящего из  $n$  КЭ, рассчитывается по формуле

$$w_i = \left[ \frac{1}{l_i} \sum_{j=1}^n (m_j^{cp} t_j) \right]^{k_i},$$

где  $l_i$  — общее количество оценок по  $i$ -му показателю качества;  $m_j^{cp}$  — средняя оценка по данному показателю качества  $j$ -го КЭ;  $t_j$  — количество оценок, полученных  $j$ -м элементом по  $i$ -му показателю качества;  $k_i$  — коэффициент весомости  $i$ -го показателя качества.

**Устройство с САУ температурным режимом**, разработанное для подачи СОТС в зону резания фрезерного станка [18], приведено на рис. 3, а.

**Принцип функционирования устройства** следующий. Воздух поступает в корпус б устройства охлаждения через штуцер 11 с ионизатором. Последний выполнен в виде положительного ци-

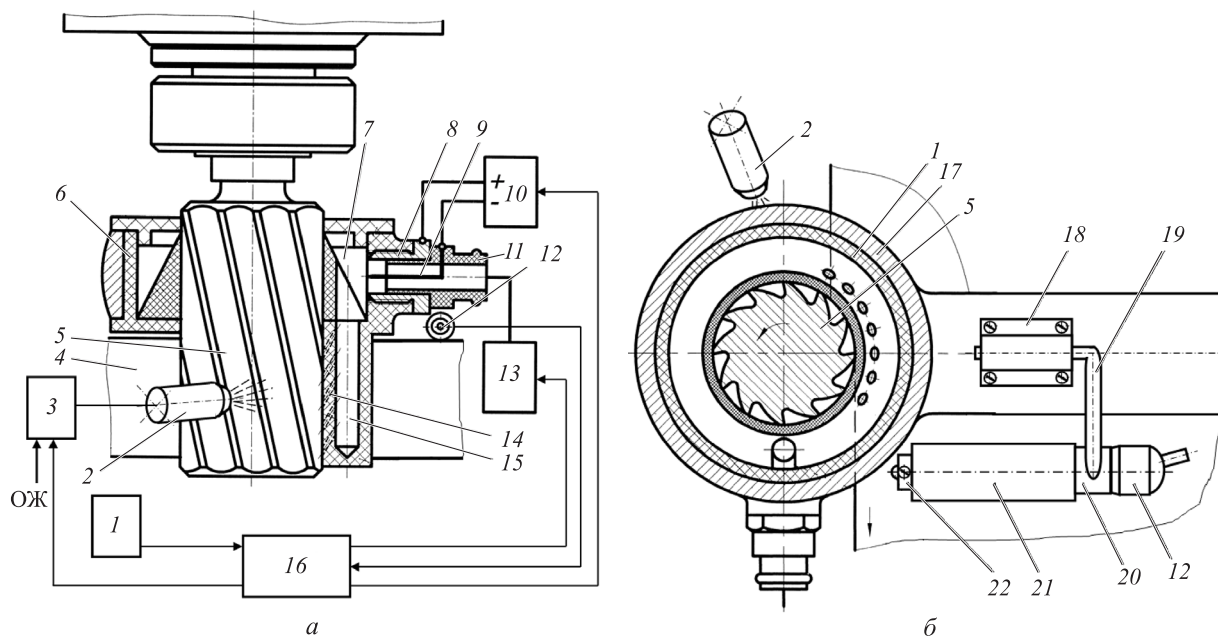


Рис. 3. Конструктивные схемы устройства с САУ температурным режимом (а) и расположения в нем датчика температуры (б)

цилиндрического 8 и отрицательного игольчатого 9 электродов, подключенных к блоку питания 10. Ионизированный воздух через внутреннюю кольцевую камеру 7, а также отверстия 14 и 15 поступает в зону резания.

Ионизированный воздух интенсифицирует процесс окисления ювенильных поверхностей, образующихся в процессе резания, что приводит к снижению трения между поверхностями обрабатываемой детали 4 и инструментом (фрезой) 5, уменьшает тепловыделение. Охлаждающая жидкость (ОЖ), например вода в распыленном состоянии, подается через форсунку 2 на зубья фрезы, находящиеся вне зоны резания, и на поверхность обрабатываемой детали.

Расход ОЖ регулируется управляемой задвижкой 3. Управление температурным режимом процесса фрезерования осуществляется от микропроцессорного устройства управления (регулятора) 16, к которой подключены блок задания температуры 1, датчик температуры (ДТ) 12, управляемая задвижка, блок подачи воздуха 13 и блок питания.

Схема расположения ДТ в рассматриваемом устройстве показана на рис. 3, б. Здесь на кронштейне 17 закреплена лапа 18 с встроенным пружинным механизмом амортизации рычага 19. На конце этого рычага выполнена втулка 20 с резьбовым отверстием для крепления ДТ. Торец втулки ограничивает продоль-

ные осевые перемещения ролика 21 снятия температуры, который свободно вращается на гильзе 22 ДТ.

В САУ температурным режимом применен косвенный метод измерения температуры зоны резания — по температуре нагрева детали при обработке. Для этого ролик расположен как можно ближе к зоне обработки, а поверхность гильзы смазана термопередающей смазкой, для лучшей передачи сигнала температуры от ролика к ДТ.

Работа САУ заключается в следующем. По сигналу микропроцессорного устройства управления (см. рис. 3, а) воздух от источника 13 через штуцер поступает в САУ. От блока питания на электроды ионизатора 8 и 9 подается напряжение, под действием которого между ними возникает коронный разряд.

В электрическом поле коронного разряда происходит ионизация потока воздуха. Основное охлаждение фрезы выполняется распылением ОЖ на открытые части инструмента и обрабатываемой детали с помощью форсунки. Расход жидкости регулируется задвижкой по сигналу микропроцессорного устройства управления.

В процессе фрезерования ролик (см. рис. 3, б) прижимается к детали и передает через гильзу сигнал температуры к ДТ. Подаваемый в систему управления сигнал ДТ является обратной связью САУ температурным режимом, началь-

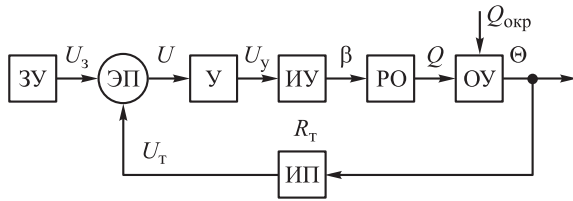


Рис. 4. Функциональная схема САУ температурным режимом

ные установки которого выполняет оператор через блок задания температуры (см. рис. 3, а).

Анализ общей схемы конструктивной реализации САУ температурным режимом позволил сформировать функциональную схему, приведенную на рис. 4.

В качестве задающего устройства ЗУ в САУ использован ступенчатый источник напряжения, предназначенный для задания температуры в зоне резания посредством сигнала  $U_3$ . Функцию элемента сравнения выполняет электронный преобразователь ЭП, сравнивающий напряжение  $U_3$  и напряжение  $U_T$  от термопреобразователя  $R_T$  (ДТ). Преобразователь подает на выход разницу напряжений  $U$ , являющуюся ошибкой регулирования.

Электронный усилитель постоянного тока У увеличивает входное напряжение  $U$ , преобразуя его в напряжение управления  $U_y$ . Исполнительным устройством ИУ служит задвижка-клапан с электрическим приводом, включающим в себя электродвигатель, редуктор и управляемый клапан с углом открытия  $\beta$ . Функцию рабочего органа РО выполняет форсунка для подачи ОЖ, которая получив сигнал  $\beta$  открытия клапана задвижки, формирует расход  $Q$ , обеспечивая заданную температуру  $\Theta$  в зоне резания при наличии возмущающих воздействий окружающей среды  $Q_{окр}$ .

Объектом управления ОУ САУ температурным режимом является зона резания, формируемая как схема инструмент-деталь с регулируемой температурой  $\Theta$ . Функцию измерительного преобразователя ИП САУ выполняет ДТ с роликом для съема сигнала — термопреобразователь  $R_T$ .

Таким образом, САУ температурным режимом при фрезеровании является замкнутой одноконтурной стабилизирующей системой с отрицательной обратной связью по температуре. Возмущающее воздействие в системе — температура окружающей среды при фрезеровании. Математическое описание элементов САУ как типовых устройств автоматики взято из работ [19, 20].

Полученная структурная схема САУ температурным режимом при фрезеровании приведена на рис. 5.

Передаточная функция разомкнутой САУ определяется выражением

$$W(p) = \frac{k_y k_k k_\phi k_3 k_T k_{к.т}}{p(T_3 p + 1)} = \frac{K}{p(T_3 p + 1)},$$

где  $K$  — общий коэффициент передачи,  $K = k_y k_k k_\phi k_3 k_T k_{к.т}$ .

Современные датчики температуры, характеризующиеся малой инерционностью, могут быть представлены усилительным звеном. Предварительные расчеты САУ, выполненные на структурной модели (составляемой на основе анализа технических характеристик типовых промышленных устройств — задвижки-клапана и ДТ) показали, что САУ температурным режимом при фрезеровании является устойчивой, так как имеет достаточно малый общий коэффициент передачи  $K$ .

Однако переходный процесс в системе может достигать нескольких сотен секунд. Определяющим фактором быстродействия САУ является инерционность общей цепи инструмент-деталь-ролик-ДТ. Постоянную времени запаздывания этой цепи необходимо сокращать.

При моделировании динамики САУ звено передачи канала измерения температуры с коэффициентом  $k_T$  более корректно можно выразить в виде инерционного звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_T}{(T_k p + 1)},$$

где  $T_k$  — постоянная времени канала измерения.

Введение инерционного звена в обратную связь САУ изменит динамику системы, что тре-

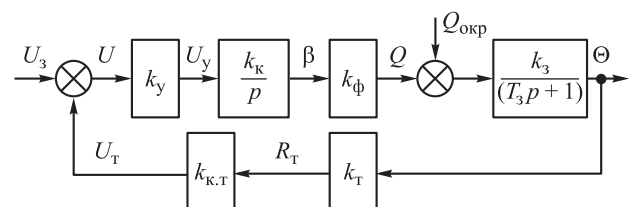


Рис. 5. Структурная схема САУ температурным режимом при фрезеровании:

$k_y$  — коэффициент усиления усилителя;  $k_k$  — коэффициент передачи задвижки-клапана;  $k_\phi$  — передаточный коэффициент форсунки;  $k_3$  — передаточный коэффициент температуры от зоны резания;  $k_T$ ,  $k_{к.т}$  — коэффициенты передачи ДТ и канала передачи температуры от ДТ к усилителю;  $T_3$  — постоянная времени зоны резания;  $p$  — оператор Лапласа

бует внесения корректив в алгоритм пуска САУ. Постоянная времени объекта управления  $T_3$  существенно меньше  $T_k$ , а температура в зоне резания при врезании фрезы растет с высокой скоростью, что не будет отслеживаться медленным каналом измерения температуры.

Подача ОЖ в зону резания в начале цикла фрезерования должна осуществляться исходя из расчетного номинального объема выделения теплоты в установившемся режиме работы фрезы. После включения в работу канала измерения температуры САУ начинает регулировать подачу ОЖ, что можно учесть при программировании системы ЧПУ станка.

Для проверки работоспособности предлагаемого устройства создана экспериментальная установка на универсально-фрезерном станке Weida FU-320. В качестве заготовки использован толстолистовой прокат толщиной 20 мм из стали марки Ст3сп.

Распыленная в потоке воздуха вода подавалась через сопло на деталь и неработающие зубья фрезы. Другой воздушный поток через ионизатор поступал в кольцевую камеру и далее через систему отверстий — в зону резания. Расход воды через сопло составлял 0,6...0,7 кг/ч.

При непрерывном фрезеровании заготовки в течение 10 мин концевой фрезой диаметром 28 мм (с пятью зубьями) из быстрорежущей стали Р9М3 в режиме черновой обработки средняя температура заготовки не превышала 45 °С. Таким образом, проведенный эксперимент полностью подтвердил работоспособность и промышленную применимость разработанного устройства.

## Выводы

1. Предложено новое устройство подачи СОТС в зону резания фрезерного станка с замкнутой САУ температурным режимом в зоне резания.

2. Для нахождения ТР использован инженерно-физический метод поискового конструирования, который существенно облегчает выполнение начальных этапов проектирования. Не-

тривиальная задача поиска различных вариантов конструкции устройства сводится к детерминированной последовательности действий. Такой метод позволяет получить значительно большее количество идей для конструктивного воплощения нового устройства по сравнению с традиционным подходом и создать устройство с уровнем новизны, присущим изобретениям и полезным моделям.

3. Разработка модели ФПД для устройства подачи СОТС выполнена на основе нового способа смазки и охлаждения заготовки и инструмента. Согласно этому способу, в качестве смазывающего компонента в зону резания поступает ионизированный воздух, а для отвода теплоты и обеспечения оптимального температурного режима использована вода в распыленном состоянии. Для реализации данного способа в патентном фонде соответствующих ТР обнаружено не было, что потребовало разработки нового устройства.

4. Анализ различных комбинаций КЭ методом экспертных оценок позволил выявить самый перспективный вариант ТР со стандартными концевыми фрезами, не требующими конструктивной доработки, с типовым промышленным ДТ и микропроцессорным устройством управления.

5. Проведено математическое моделирование и рассчитаны параметры передаточной функции САУ температурным режимом. Анализ динамики замкнутой САУ, выполненный по предлагаемой структурной модели, показал, что система управления устойчива и определяющим фактором ее быстродействия является инерционность общей цепи инструмент-деталь-ролик-ДТ.

6. Устройство подачи СОТС в зону резания при фрезеровании позволяет значительно улучшить условия труда и повысить эффективность механической обработки заготовок по сравнению со способом подачи СОТС падающей струей, а также осуществлять механическую обработку деталей на тех технологических операциях, где нельзя добиться их охлаждения падающей струей.

## Литература

- [1] Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В., Щуклина Л.М. Микробиологическая оценка уровня загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий смазочно-охлаждающими жидкостями. *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 10, с. 34–37.



- [2] Григорьев Л.Н., Шанова О.А., Оревицина А.Э. Оценка уровня ресурсо- и энергосбережения для технологий очистки выбросов, сбросов и обращения с отходами. *Безопасность в техносфере*, 2017, т. 6, № 6, с. 54–60.
- [3] Мельникова Д.В., Волков Д.А. Анализ токсикологического воздействия смазочно-охлаждающих технологических средств промышленных предприятий на организм человека и окружающую среду. *Фундаментальные исследования*, 2014, № 11–7, с. 1555–1559. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35806> (дата обращения 02 декабря 2019).
- [4] Васенина И.В., Сушко В.А. Промышленная экология региона и качество жизни местного населения. *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 11, с. 66–71.
- [5] Худобин Л.В., Бабичев А.П., Булыжев Е.М. *Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник*. Москва, Машиностроение, 2006. 543 с.
- [6] Кириллов А.К., Мосийчук М.М. Комплекс высокоэффективной технологии сухой токарной обработки изделий из специальных материалов. *Вестник МГТУ Станкин*, 2017, № 4(43), с. 28–32.
- [7] Яковлев А.А., Труханов В.М., Яковлева Е.В. *Способ подачи смазочно-охлаждающих технологических средств*. Пат. 2367556 РФ, 2009, бюл. № 26, 5 с.
- [8] Норенков И.П. *Основы автоматизированного проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.
- [9] Korobeynikov A.G., Fedosovsky M.E., Zharinov I.O., Shukalov A.V., Gurjanov A.V., Zharinov I.O., Shukalov A.V. Development of conceptual modeling method to solve the tasks of computer-aided design of difficult technical complexes on the basis of category theory. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 6, pp. 1114–1122.
- [10] Хабаров В.В., Шуталева Н.С., Костин В.И. Информационная система проектирования предприятий. *Информационные технологии*, 2018, т. 24, № 4, с. 256–265, doi: 10.17587/it.24.256-265
- [11] Sobolev A.N., Nekrasov A.Y. CAD/CAE modeling of Maltese cross mechanisms in machine tools. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 4, pp. 300–302, doi: 10.3103/S1068798X16040183
- [12] Papageorgiou E., Hakki Eres M., Scanlan J. Value modelling for multi-stakeholder and multi-objective optimization in engineering design. *Journal of Engineering Design*, 2016, vol. 27, iss. 10, pp. 697–724, doi: 10.1080/09544828.2016.1214693
- [13] Nam G., Park J., Kim S. Conceptual design of passive containment cooling system for APR-1400 using multipod heat pipe. *Nuclear Technology*, 2015, vol. 189, no. 3, pp. 278–293, doi: 10.13182/NT13-121
- [14] Яковлев А.А. *Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии*. Москва, Машиностроение-1, 2007. 128 с.
- [15] 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.
- [16] Яковлев А.А., Яковлева Е.В. Автоматизация синтеза и выбора технических решений преобразователей энергии. *Информационные технологии*, 2010, № 11, с. 71–78.
- [17] Яковлев А.А., Камаев В.А., Сорокин В.С., Мишустина С.Н. Поиск конструирования систем охлаждения на основе инженерно-физического подхода. *Информационные технологии*, 2016, т. 22, № 11, с. 819–826.
- [18] Яковлев А.А., Мишустина С.Н., Сорокин В.С., Мишустин О.А. *Устройство для подачи смазочно-охлаждающего технологического средства*. Пат. 154326 РФ, 2015, бюл. № 23, 9 с.
- [19] Ким Д.П. *Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2007. 312 с.
- [20] Савин М.М., Елсуков В.С., Пятина О.Н., Лачин В.И., ред. *Теория автоматического управления*. Ростов-на-Дону, Феникс, 2007. 469 с.

## References

- [1] Sakayeva E.Kh., Rudakova L.V., Shchuklina L.M. Microbiological Assessment of the Level of Potting Soil Contamination in Urban Areas of Metal Cutting Oils. *Ecology and Industry of Russia*, 2018, vol. 22, no. 10, pp. 34–37 (in Russ.).
- [2] Grigor'yev L.N., Shanova O.A., Orevinina A.E. Assessment of Resource and Energy Conservation Level for Technologies related to Emissions and Emptying Treatment, and Waste Handling. *Safety in Technosphere*, 2017, vol. 6, no. 6, pp. 54–60 (in Russ.), doi: [https://doi.org/10.12737/article\\_5af029c462cd67.51343889](https://doi.org/10.12737/article_5af029c462cd67.51343889)
- [3] Mel'nikova D.V., Volkov D.A. Analysis of toxicological influence of lubricoolants in industrial enterprises on human organism and environment. *Fundamental research*, 2014, no. 11–7, pp. 1555–1559 (in Russ.). Available at: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35806> (accessed 02 December 2019).
- [4] Vasenina I.V., Sushko V.A. Industrial Ecology of the Region and Quality of Life of the Local Population. *Ecology and Industry of Russia*, 2018, vol. 22, no. 11, pp. 66–71 (in Russ.).
- [5] Khudobin L.V., Babichev A.P., Bulyzhev E.M. *Smazochno-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskiye sredstva i ikh primeneniye pri obrabotke rezaniyem: spravochnik* [Lubricating and cooling technological tools and their use in cutting: a reference book]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 2006. 543 p.
- [6] Kirillov A.K., Mosiychuk M.M. Development of high efficiency technology of dry turning products from special materials. *Vestnik MSTU Stankin*, 2017, no. 4(43), pp. 28–32 (in Russ.).
- [7] Yakovlev A.A., Trukhanov V.M., Yakovleva E.V. *Sposob podachi smazochno-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstv* [The method of supplying coolant technology]. Patent RF no. 2367556, 2009. 5 p.
- [8] Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proyektirovaniya* [Basics of computer aided design]. Moscow, Bauman Press, 2009. 430 p.
- [9] Korobeynikov A.G., Fedosovsky M.E., Zharinov I.O., Shukalov A.V., Gurjanov A.V., Zhari-nov I.O., Shukalov A.V. Development of conceptual modeling method to solve the tasks of computer-aided design of difficult technical complexes on the basis of category theory. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, vol. 12, no. 6, pp. 1114–1122.
- [10] Khabarov V.V., Shutaleva N.S., Kostin V.I. Information System for Design Enterprises. *Information technologies*, 2018, vol. 24, no. 4, pp. 256–265 (in Russ.), doi: 10.17587/it.24.256-265
- [11] Sobolev A.N., Nekrasov A.Y. CAD/CAE modeling of Maltese cross mechanisms in machine tools. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 4, pp. 300–302, doi: 10.3103/S1068798X16040183
- [12] Papageorgiou E., Hakki Eres M., Scanlan J. Value modelling for multi-stakeholder and multi-objective optimization in engineering design. *Journal of Engineering Design*, 2016, vol. 27, iss. 10, pp. 697–724, doi: 10.1080/09544828.2016.1214693
- [13] Nam G., Park J., Kim S. Conceptual design of passive containment cooling system for APR-1400 using multipod heat pipe. *Nuclear Technology*, 2015, vol. 189, no. 3, pp. 278–293, doi: 10.13182/NT13-121
- [14] Yakovlev A.A. *Razrabotka mnozhestv tekhnicheskikh resheniy ustanovok dlya preobrazovaniya energii* [Development of a set of technical solutions for energy conversion plants]. Moscow, Mashinostroyeniye-1 publ., 2007. 128 p.
- [15] Yakovlev A.A. Development of the matrix of technical solutions for energy converters and the algorithm for generating lists of functionally compatible structural elements. *Handbook. An Engineering journal with appendix*, 2007, no. 10, pp. 34–39 (in Russ.).
- [16] Yakovlev A.A., Yakovleva E.V. Avtomatizatsiya sinteza i vybora tekhnicheskikh resheniy preobrazovateley energii. *Informatsionnyye tekhnologii*, 2010, no. 11, pp. 71–78.
- [17] Yakovlev A.A., Kamayev V.A., Sorokin V.S., Mishuchstina S.N. Search Engine Design Systems Cooling Based Engineering and Physical Approach. *Information technologies*, 2016, vol. 22, no. 11, pp. 819–826 (in Russ.).

- [18] Yakovlev A.A., Mishuchstina S.N., Sorokin V.S., Mishuchstin O.A. *Ustroystvo dlya podachi smazochno-okhlazhdayushchego tekhnologicheskogo sredstva* [Device for supplying coolant technology]. Patent RF no. 154326, 2015. 9 p.
- [19] Kim D.P. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. T. 1. Lineynyye sistemy* [The theory of automatic control. Vol. 1. Linear systems]. Moscow, FIZMATLIT publ., 2007. 312 p.
- [20] *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Automatic control theory]. Ed. Savin M.M., El-sukov V.S., Pyatina O.N., Lachin V.I. Rostov-on-Don, Feniks publ., 2007. 469 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2019

## Информация об авторах

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

**ШОСТЕНКО Сергей Валентинович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов». Волгоградский государственный технический университет (400005, Волгоград, Российская Федерация, проспект им. В.И. Ленина, д. 28).

**БОРИСКО Сергей Николаевич** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математики и информатики. Филиал Астраханского государственного университета в Знаменске (416540, Астраханская область, Знаменск, Российская Федерация, ул. Островского, 16).

**ПОСТУПАЕВА Светлана Геннадьевна** — старший преподаватель кафедры «Автоматизация производственных процессов». Волгоградский государственный технический университет (400005, Волгоград, Российская Федерация, проспект им. В.И. Ленина, д. 28. e-mail: posvetlana@mail.ru).

## Information about the authors

**YAKOVLEV Aleksei Andreevich** — 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).

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

**BORISKO Sergei Nikolaevich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of Department of Mathematics and Informatics. Branch of Astrakhan State University in Znamensk (416540, Astrakhan region, Znamensk, Russian Federation, Ostrovskiy St., Bldg. 16).

**POSTUPAEVA Svetlana Gennadievna** — Senior Lecturer. Department of Automation of Manufacturing Processes. Volgograd State Technical University (400005, Volgograd, Russian Federation, Lenin Ave., Bldg. 28, e-mail: posvetlana@mail.ru).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Яковлев А.А., Шостенко С.В., Бориско С.Н., Поступаева С.Г. Разработка устройства подачи смазывающе-охлаждающего технологического средства с системой автоматического управления температурным режимом. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 8, с. 34–44, doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-34-44

### Please cite this article in English as:

Yakovlev A.A., Shostenko S.V., Borisko S.N., Postupaeva S.G. The Development of a Feeding Device for a Cooling Lubricant Technological Tool with Automatic Temperature Control System. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 8, pp. 34–44, doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-34-44