

УДК 664.951.022.62.002.5

UDC 664.951.022.62.002.5

**ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ  
РАЗДЕЛОЧНО-ФИЛЕТИРОВОЧНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ  
(Часть II. Реализация прямого цифрового  
управления шаговым приводом)**

**APPROACH TO THE CREATION OF SYSTEM  
OF AUTOMATIC MANAGEMENT OF  
WORKING ORGANS OF PREPARATION-  
FILLET EQUIPMENT  
(PART II. REALIZATION OF DIRECT  
NUMERICAL MANAGEMENT WITH  
STEPPING DRIVE)**

Фатыхов Юрий Адгамович  
д. т. н., профессор

Fatykhov Yury Adgamovich  
Dr. Sci. Tech., professor

Агеев Олег Вячеславович  
соискатель

Ageev Oleg Vyacheslavovich  
post-graduate student

Шлемин Аркадий Васильевич  
к. т. н., доцент

Shlemin Arkady Vasilievich  
Cand. Tech. Sci., associate professor

Пономарев О.П.  
к. т. н., доцент

Ponomarev O.P.  
Cand. Tech. Sci., associate professor

*Калининградский государственный технический  
университет, Калининград, Россия*

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad,  
Russia*

В статье рассмотрен подход к определению параметров шагового привода для системы автоматического управления рабочими органами мехатронного разделочно-филетировочного оборудования. Приводятся расчетные методики для определения параметров шарико-винтовой и реечной передач. Рассмотрена структура лабораторной установки, предназначенной для исследования динамических характеристик шаговых двигателей. Приводится схема управления шаговым двигателем с использованием программируемого логического контроллера, микроконтроллера и мостового драйвера.

Approach to the determination of parameters of stepping drive for system of automatic management of working organs of mechatronic preparation-fillet equipment was considered in the article. Calculation methods for determination of parameters of ball-helical and rack-and-gear transmission are casted. Structure of laboratory installation, intended for research of dynamic characteristics of stepping drives was considered. Scheme of stepping drive management with the use of programming logical controller, microcontroller and bridge driver is casted.

Ключевые слова: ФИЛЕТИРОВАНИЕ,  
ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ШАРИКО-ВИНТОВАЯ  
ПЕРЕДАЧА, РЕЕЧНАЯ ПЕРЕДАЧА,  
МИКРОКОНТРОЛЛЕР, МОСТОВОЙ ДРАЙВЕР.

Key words: FILLETING, STEPPING DRIVE,  
BALL-HELICAL TRANSMISSION, RACK-AND-  
GEAR TRANSMISSION, MICROCONTROLLER,  
BRIDGE DRIVER.

Выбор шагового двигателя для системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования должен осуществляться с учетом требований по обеспечению момента нагрузки на валу двигателя, получению заданной дискретности системы и обеспечению необходимой скорости следящего вала. Выбор двигателя производится на основе следующей системы уравнений [1]:

$$M_H = iM'_H; J_H = i^2 J'_H, \quad (1)$$

$$w = \frac{w'}{i}; a = \frac{a'}{i}; e = \frac{e'}{i}, \quad (2)$$

где  $M_H$ ,  $M'_H$  – момент сопротивления нагрузки;  $J_H$ ,  $J'_H$  – момент инерции нагрузки;  $w$ ,  $w'$  – скорость вращения;  $e$ ,  $e'$  – ускорение;  $a$ ,  $a'$  – единичный угол поворота (переменные, отмеченные штрихом, соответствуют исполнительной оси, без штрихов – валу шагового двигателя).

Обозначим передаточное число редуктора, определяемое условиями обеспечения заданной нагрузки и дискретности системы, через  $i_1$ , а передаточное число редуктора, определяемое необходимой скоростью исполнительной оси, через  $i_2$ . В этом случае оптимальное передаточное число  $i$  может быть определено неравенством:

$$i_1 > i > i_2. \quad (3)$$

Передаточное число редуктора следует уменьшать для получения более высокого быстродействия. Одновременно, для обеспечения заданных требований по нагрузке и дискретности системы передаточное число редуктора следует увеличивать. В связи с таким противоречием не всегда удастся удовлетворить требованиям неравенства (3). Сделать сходящимся неравенство (3) позволяет искусственное дробление шага двигателя, так как при неизменном значении  $i_2$  величина  $i_1$  уменьшается в  $n$  раз [1].

Исходными данными для выбора двигателя являются значения  $M'_H$ , Н·м;  $J'_H$ , кг·м<sup>2</sup>;  $a'$ , рад;  $w'$ , рад/с;  $e'$ , рад/с<sup>2</sup>. Предварительный выбор двигателя осуществляется на основании общих требований к приводу по нагрузке, скорости, ускорению и дискретности исполнительного вала, а также частных требований, связанных с габаритами, массой и потребляемой мощностью.

Для предварительно выбранного шагового двигателя определяется передаточное число редуктора, исходя из требований по скорости исполнительного вала:  $i_2 = w'/w$ .

Если значение полученного коэффициента редукции удовлетворяет требованиям по нагрузке (2), то определяется необходимая степень дробления шага двигателя для обеспечения заданной дискретности системы:  $n = a/(a' \cdot i_2)$ , которая определяет алгоритм коммутатора по числу тактов коммутации обмоток управления для получения требуемого дробления шага [1].

В зависимости от конфигурации обмоток шаговые двигатели разделяют на биполярные и униполярные. Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, которая для изменения направления магнитного поля должна переполусовываться электронной схемой коммутации – драйвером. Для такого типа двигателя требуется мостовой драйвер или полумостовой с двухполярным питанием. Всего биполярный двигатель имеет две обмотки и, соответственно, четыре вывода (А, В, С, D).

Униполярный двигатель также имеет одну обмотку в каждой фазе, но в середине обмотки имеется отвод. Это позволяет изменять направление магнитного поля, создаваемого обмоткой, простым переключением половин обмотки. При этом существенно упрощается схема драйвера. Драйвер должен иметь только четыре простых ключа.

Средние выводы обмоток могут быть объединены внутри двигателя, поэтому такой двигатель может иметь 5 или 6 выводов. При соответствующем соединении обмоток такой двигатель можно использовать как униполярный и как биполярный. Униполярный двигатель с двумя обмотками и отводами тоже можно использовать в биполярном режиме, если отводы остаются неподключенными.

Для преобразования вращательного движения вала шагового двигателя в поступательное движение исполнительного вала для перемещения рабочего органа разделочно-филетировочного оборудования требуется наличие механической передачи. Для этой цели наиболее целесообразно использовать шарико-винтовую или реечную передачу.

Передача винт-гайка качения предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот [2]. Будучи более сложной по конструкции и изготовлению, чем винтовая передача скольжения, и обладая теми же достоинствами, она дополнительно отличается обратимостью, значительно большим КПД (до 0,9), меньшим износом, большей точностью хода, повышенной долговечностью. Кроме того, в такой передаче может быть полностью выбран зазор и создан предварительный натяг, обеспечивающий высокую осевую жесткость. Все это обуславливает целесообразность применения шарико-винтовой передачи для настройки рабочих органов разделочно-филетировочного оборудования.

Типовая передача винт-гайка качения (рисунок 1) состоит из: винта 1, гайки 2, стальных шариков 3, помещенных между рабочими винтовыми поверхностями винта и гайки, и направляющей 4. При вращении винта шаговым двигателем шарики, расположенные в винтовых канавках между поверхностями винта и гайки, перекатываются между ними и передают движение от винта к гайке, перемещающейся поступательно. Поскольку скорость перемещения шариков отличается от скорости ведущего и

ведомого звеньев, для обеспечения непрерывной циркуляции шариков концы рабочей части резьбы соединены возвратным каналом 5.

Замкнутую цепь шариков условно делят на активную (рабочая часть нарезки) и пассивную (возвратный канал) части. Активная часть обычно составляет 1–2,5 витка, так как при большем числе рабочих витков снижается КПД шарико-винтовой передачи из-за увеличения трения шариков друг о друга.

Профили резьбы шарико-винтовой передачи могут быть треугольными, круглыми и круглыми с канавкой. Элементы шарико-винтовых передач – шарики, винты и гайки – изготавливают из углеродистых легированных сталей марок: ШХ15, ХВГ, 8ХВ, 9ХС, 18ХГТ, 12ХНЗА и других с объемной или поверхностной закалкой, азотированием или цементацией до очень высоких твердостей (HRC 60 и выше).

Кинематические соотношения для случая преобразования вращательного движения в поступательное являются следующими. Передаточное отношение  $j$ , величину перемещения гайки  $S$ , скорость перемещения гайки  $V$ , передаточное число  $u$  определяют по формулам:

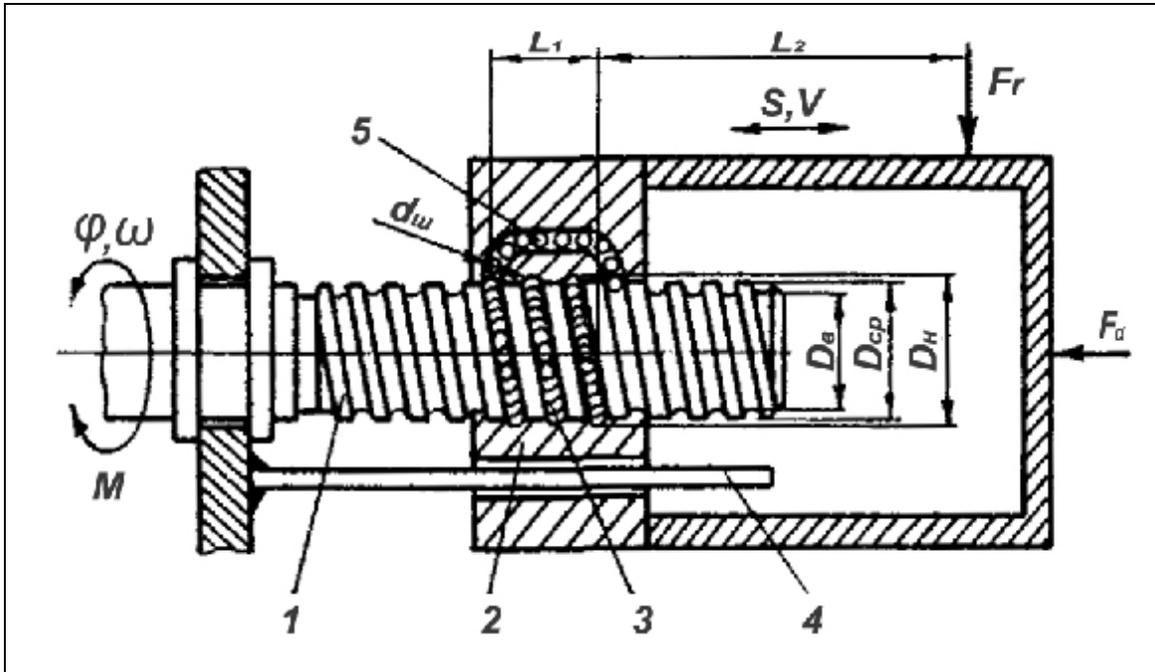
$$j = \frac{w}{V} = \frac{j}{S} = \frac{2p}{p_z} = \frac{2p}{pz}, \quad (4)$$

где  $w$  – угловая скорость винта,  $c^{-1}$ ;  $V$  – скорость перемещения гайки,  $m \cdot c^{-1}$ ;  $j$  – угол поворота винта, рад;  $S$  – величина перемещения гайки, м;  $p_z$  – ход винта, м;  $p$  – шаг винта, м;  $z$  – число заходов винтовой линии.

Перемещение гайки, м:

$$S = \frac{j}{j} = \frac{j p_z}{2p} = \frac{j p z}{2p}, \quad (5)$$

где  $j$  – угол поворота винта, рад.



**Рисунок 1 – Схема шарико-винтовой передачи, согласно [2]**

Скорость перемещения гайки, м·с<sup>-1</sup>:

$$V = \frac{w}{j} = \frac{wp_z}{2p} = \frac{wpz}{2p}. \quad (6)$$

Передаточное число:

$$u = \frac{V_{\dot{A}}}{V} = \frac{2p/tD_{\dot{A}}/2}{p_z/t} = \frac{pD_{\dot{A}}}{p_z} = \frac{pD_{\dot{A}}}{pz}, \quad (7)$$

где  $V_{\dot{A}}$  – окружная скорость вращения винта на окружности диаметром  $D_{\dot{A}}$  (маховик и пр.), м·с<sup>-1</sup>;  $V$  – скорость перемещения гайки, м·с<sup>-1</sup>;  $t$  – время

полного оборота винта, с;  $D_A$  – расчетный входной диаметр на винте (маховика и пр.), м.

КПД шарико-винтовой пары:

$$h_{\dot{A}-I} = (0,90 - 0,95) \frac{tg b}{tg(b + r_{\dot{E}})}, \quad (8)$$

где  $b$  – угол подъема винтовой линии по цилиндру диаметром  $D_{\dot{N}D}$ ;  $r_{\dot{E}} = arctg[f_{\dot{E}}/(0,5d_o)]$  – приведенный угол трения качения;  $f_{\dot{E}}$  – приведенный коэффициент трения качения;  $d_o$  – диаметр шарика, мм. Поскольку  $r_{\dot{E}} \ll b$ , то КПД шарико-винтовой пары даже при малых углах подъема винтовой линии достигает 80–90 %.

Силловые соотношения в шарико-винтовой паре следующие.

Вращающий момент, приложенный к винту, Н·м:

$$M = F_A \frac{D_{\dot{N}D}}{2} tg(b + r_{\dot{E}}), \quad (9)$$

где  $F_A$  – осевая сила, Н;  $D_{\dot{N}D}$  – диаметр окружности, на которой располагаются центры шариков, мм.

Мощность на ведущем звене, Вт:

$$N = \frac{F_A V}{h_{\dot{A}-I}}. \quad (10)$$

Если ведомое звено, движущееся поступательно, нагружено, кроме осевой, также радиальной силой  $F_R$ , то на ведущем винте возникает дополнительный момент трения, Н·м:

$$M_F = F_R f_{\dot{\epsilon}} \frac{D_{\dot{N}D}}{2} \left( 1 + 2 \frac{L_2}{L_1} \right), \quad (11)$$

где  $L_2$  – расстояние между точкой приложения радиальной нагрузки и ближним рабочим витком, м;  $L_1$  – расстояние между крайними рабочими витками винтовой поверхности гайки, м (см. рисунок 1).

Реечная передача служит для преобразования вращательного движения шестерни в поступательное движение рейки [2]. Передача проста по конструкции и изготовлению, компактна и отличается высокой надежностью. Недостатком реечной передачи является отсутствие выигрыша в силе, так как ее передаточное число равно единице.

Реечная передача (рисунок 2) состоит из шестерни 1 и зубчатой рейки 2 и может рассматриваться как частный случай цилиндрической зубчатой передачи, у которой колесо обращено в рейку. В качестве материалов для реечных пар, как и для зубчатых передач применяют углеродистые конструкционные и легированные стали с объемной или поверхностной термообработкой [2].

Кинематические соотношения для преобразования вращательного движения в поступательное следующие.

Передаточное отношение,  $m^{-1}$ :

$$j = \frac{w}{V} = \frac{j}{S} = \frac{2p}{pd_1} = \frac{2}{d_1}, \quad (12)$$

где  $w$  – угловая скорость шестерни,  $c^{-1}$ ;  $V$  – скорость перемещения рейки,  $m \cdot c^{-1}$ ;  $j$  – угол поворота шестерни, рад;  $S$  – величина перемещения рейки, м;  $d_1 = mz_1$  – делительный диаметр шестерни, м;  $m$  – модуль зубьев, м;  $z_1$  – число зубьев шестерни.

Перемещение рейки, м:

$$S = \frac{j}{j} = \frac{w}{2/d_1} = j \frac{d_1}{2}. \quad (13)$$

Скорость перемещения рейки, м·с<sup>-1</sup>:

$$V = \frac{w}{j} = \frac{j}{2/d_1} = w \frac{d_1}{2}, \quad (14)$$

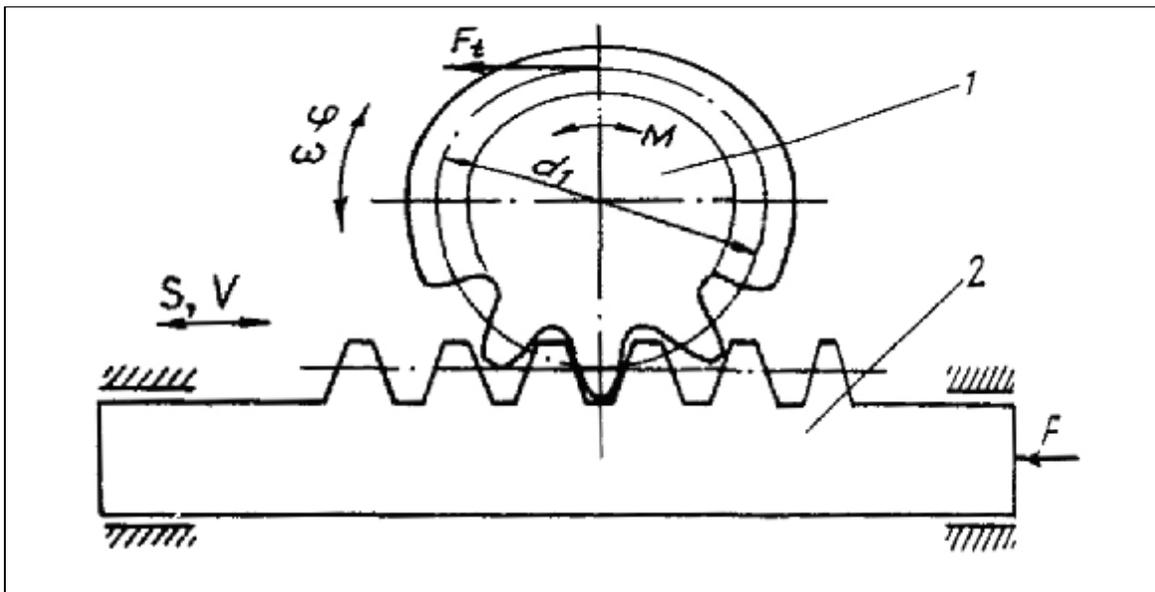


Рисунок 2 – Схема реечной передачи, согласно [2]

Передаточное число:

$$u = \frac{V_{\phi}}{V} = \frac{wd_1/2}{wd/2} = 1, \quad (15)$$

где  $V_{\phi}$  – окружная скорость шестерни по делительной окружности, м·с<sup>-1</sup>.

КПД реечной передачи достаточно высок и в зависимости от точности изготовления находится в пределах от 0,94 до 0,98.

Осевая сила, приложенная к рейке, равная окружной силе, действующей на шестерню, Н:

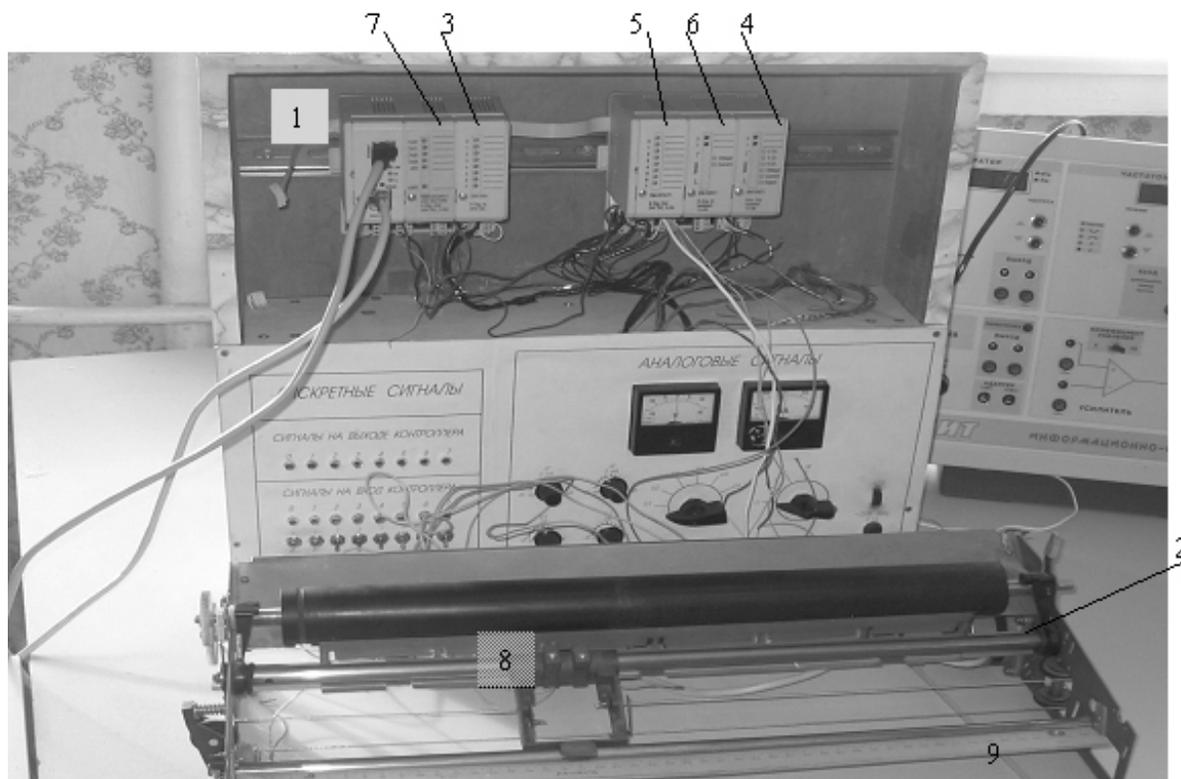
$$F = F_t = 2M/d_1, \quad (16)$$

где  $F$  – осевая сила, приложенная к рейке, Н;  $F_t$  – окружная сила, приложенная к шестерне, Н;  $M$  – вращающий момент, приложенный к шестерне, Н·м.

Лабораторная установка (рисунок 3) содержит в качестве основной составной части имеющийся стенд для исследования динамических характеристик шаговых двигателей. Стенд содержит микропроцессорный блок, который служит для управления работой шагового двигателя, а также ряд устройств для получения, преобразования и подготовки измерительной информации с целью обработки на управляющей ЭВМ. Стенд предусматривает режим работы с управляемой механической нагрузкой. На рисунке 4 приведена обобщенная структурная схема лабораторной установки.

Управляющая ЭВМ выполняет следующие функции:

- задающего устройства, связанные с формированием закона движения цифрового следящего привода;
- чувствительного элемента привода, связанные с определением рассогласования между заданием на привод и его текущим положением;
- виртуального датчика для измерения высоты рыбы, связанные с моделированием работы лазерного сканера;
- цифрового регулятора положения, связанные с вычислением управляющего сигнала, обеспечивающего отработку приводом заданного ему движения.



**Рисунок 3 – Общий вид лабораторной установки для исследования динамических характеристик шаговых двигателей**

Установка, соответствующая схеме на рисунке 4, позволяет реализовать следующие функции:

- запуск шаговых двигателей различного типа в различных режимах работы (изменение порядка подачи управляющих воздействий на обмотки шаговых двигателей и частоты вращения ротора);

- возможность изменения режимов механического нагружения шаговых двигателей (в том числе регулирование их как по силе, так и по временным рамкам);

- возможность определения положения двигателя как по сигналам виртуального датчика, так и по сигналам обратной связи;

- получение характеристик управляющих токов с различным порядком и частотой опроса каналов;

- связь с управляющей ЭВМ верхнего уровня для дальнейшей обработки данных и управления режимами работы стенда.

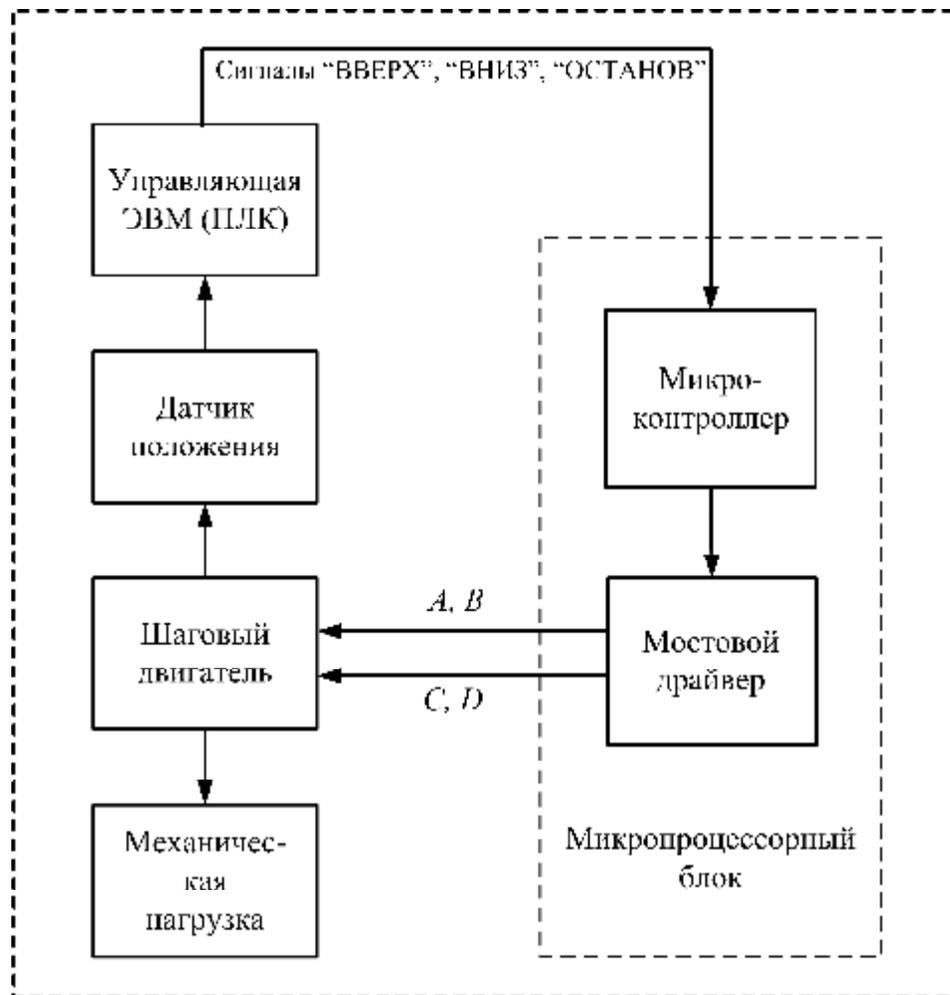
Обобщенная блок-схема алгоритма работы управляющей ЭВМ, входящей в состав лабораторной установки, приведена на рисунке 5.

В качестве управляющей ЭВМ использован программируемый логический контроллер (ПЛК) SMART-2 фирмы PEP Modular Computers (Германия). Контроллер SMART-2 выполнен по модульному принципу. В состав контроллера входят следующие модули:

- модуль центрального процессора SM2-CPU с интерфейсными модулями SM2-DP (для работы с полевой шиной PROFIBUS), SM2-CAN (для работы по CAN-интерфейсу), SM2-ETH (для линии Ethernet);

- комплект модулей ввода/вывода, включающий модули: SM-DIN1 – ввода дискретных сигналов (позиция 3 на рисунке 3), SM-DOUT1 – вывода дискретных сигналов (позиция 4), SM-ADC1 – модуль аналого-цифрового преобразования (позиция 5), SM-DAC1 – модуль цифро-аналогового преобразования (позиция 6), модуль источника питания SM2-DC24V (позиция 7).

Модуль центрального процессора является автономной единицей контроллера и может использоваться вне конструктива SMART2 BASE. Работа SM2-CPU поддерживается инструментальной средой ISaGRAF 3.32 и операционной системой реального времени OS-9. Основные характеристики модуля: тип процессора Motorola 68LC302; частота ядра: 20МГц; DRAM емкостью 512 КБ – 1,5 КБ; FLASH-память емкостью 1 МБ; SRAM емкостью 256 КБ; физические интерфейсы: последовательный асинхронный RS-232 (разъем RJ45); сетевой порт Ethernet (RJ45).



**Рисунок 4 – Обобщенная структурная схема лабораторной установки для исследования динамических характеристик шаговых двигателей**

В качестве микроконтроллера, входящего в состав микропроцессорного блока, использован микроконтроллер семейства PIC (Peripheral Interface Controller) компании Microchip. Эти приборы объединяют наиболее передовые технологии микроконтроллеров: электрически программируемые ППЗУ, минимальное энергопотребление, высокую производительность, хорошо развитую RISC-архитектуру, функциональную законченность и минимальные размеры.

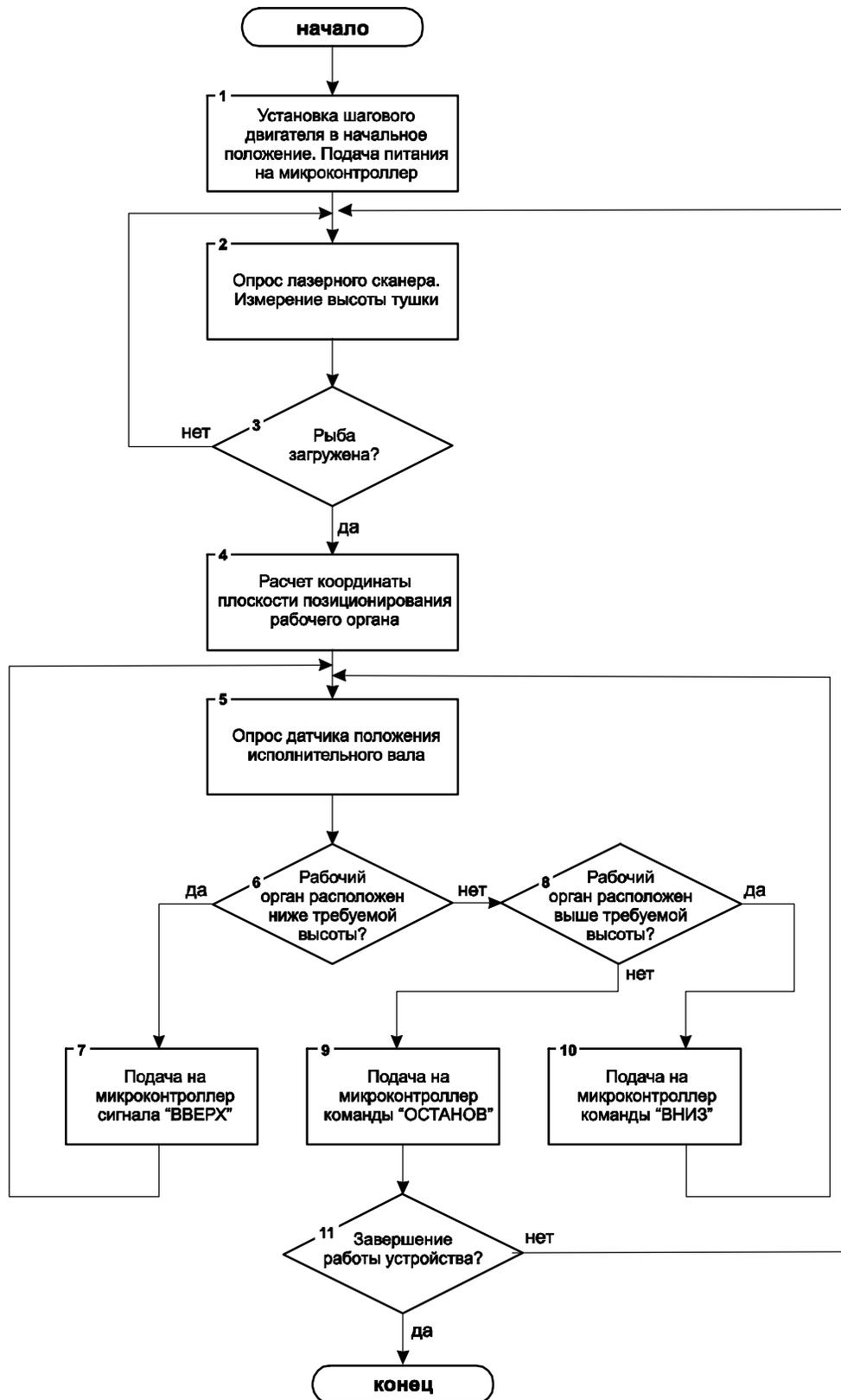


Рисунок 5 – Обобщенная блок-схема алгоритма работы управляющей ЭВМ

Микроконтроллеры PIC содержат RISC-процессор с симметричной системой команд, позволяющей выполнять операции с любым регистром, используя произвольный метод адресации. Предусмотрена возможность сохранения результата операции в самом регистре-аккумуляторе или во втором регистре, используемом для операции.

Архитектура основана на концепции отдельных шин и областей памяти для данных и команд (Гарвардская архитектура). Шина данных и память данных (ОЗУ) имеют ширину 8 бит, а программная шина и программная память (ПЗУ) – 12 бит. Такая концепция обеспечивает простую, но эффективную систему команд, разработанную так, что битовые, байтовые и регистровые операции работают с высокой скоростью и с перекрытием по времени выборок команд и циклов выполнения.

Для управления шаговым двигателем подходят микроконтроллеры PIC16C5х. Это базовое семейство микроконтроллеров с 12-разрядными командами, выпускаемое в 18-, 20- и 28-выводных корпусах. В лабораторной установке использована модель микроконтроллера PIC16C54. Из программных средств отладки для микроконтроллеров наиболее известны и доступны различные версии ассемблеров, а также интегрированная программная среда MPLAB. Существуют как специализированные программаторы для микроконтроллеров, такие как PICPROG, программирующие почти весь спектр PIC-микроконтроллеров, так и универсальные: UNIPRO и STEPX, поддерживающие наиболее известные версии PIC-контроллеров.

Функциональная схема биполярного шагового двигателя приведена на рисунке 6. Последовательности сигналов, подаваемых на обмотки двигателя для полношагового и полушагового поворота постоянно намагниченного ротора, приведены на рисунке 7.

Для управления шаговым двигателем необходимо переключение мощности, подводимой к обмоткам. В связи с этим, использована интегральная микросхема L293, включающая две транзисторные мостовые цепи и логические элементы (рисунок 8). Интегральная микросхема рассчитана на максимальный ток 1 А при рабочем напряжении до 36 В.

Выбранный шаговый двигатель имеет обозначение FL57ST41. Данную модель двигателя широко применяют в: этикетировочных машинах, полиграфических автоматах, насосах, приводах исполнительных механизмов конвейеров, гравировально-фрезерных станках, координатных столах для резки. Параметры двигателя FL57ST41 приведены в таблице.

### Параметры шагового двигателя FL57ST41

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	12
Рабочий ток, А	0,4
Сопротивление/фаза, Ом	30
Индуктивность/фаза, мГн	30
Максимальный квазистатический синхронизирующий момент, кг·см	2,88
Момент инерции ротора, г·см <sup>2</sup>	57
Вес, кг	0,54
Длина, мм	41
Величина полного шага, градусов	1,8
Погрешность углового шага, градусов	± 0,09
Погрешность сопротивления обмоток двигателя, %	10
Погрешность индуктивности обмоток двигателя, %	20
Максимальное радиальное биение вала двигателя, мм	0,02
Максимальное осевое биение вала двигателя, мм	0,08
Максимальная допустимая осевая нагрузка на валу, Н	15
Максимальная допустимая радиальная нагрузка на валу, Н	75
Температурный диапазон эксплуатации, °С	от – 20 °С до + 50 °С

Электрическая принципиальная схема микропроцессорного блока для управления шаговым двигателем приведена на рисунке 9.

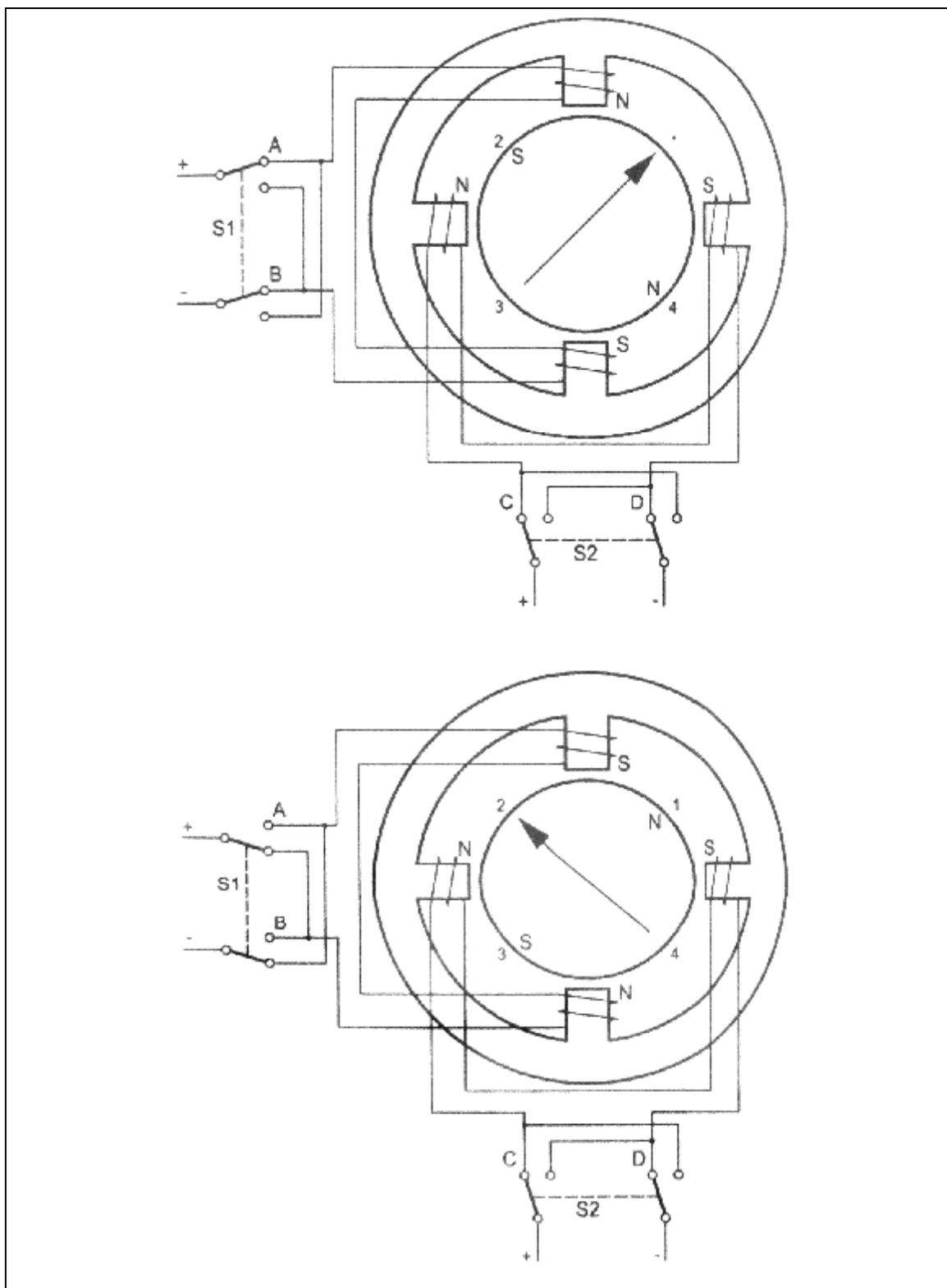
### Выводы

1. Предлагаемый подход к синтезу системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования создает практическую основу для повышения точности настройки и быстродействия режущих инструментов при обработке рыбы. Применение данного подхода на разделочных производствах позволит обеспечить энерго- и ресурсосберегающую технологию обработки рыбы за счет цифрового управления настройкой рабочих органов, существенно расширит функциональные возможности, повысит качество рыбного филе, надежность и производительность оборудования.

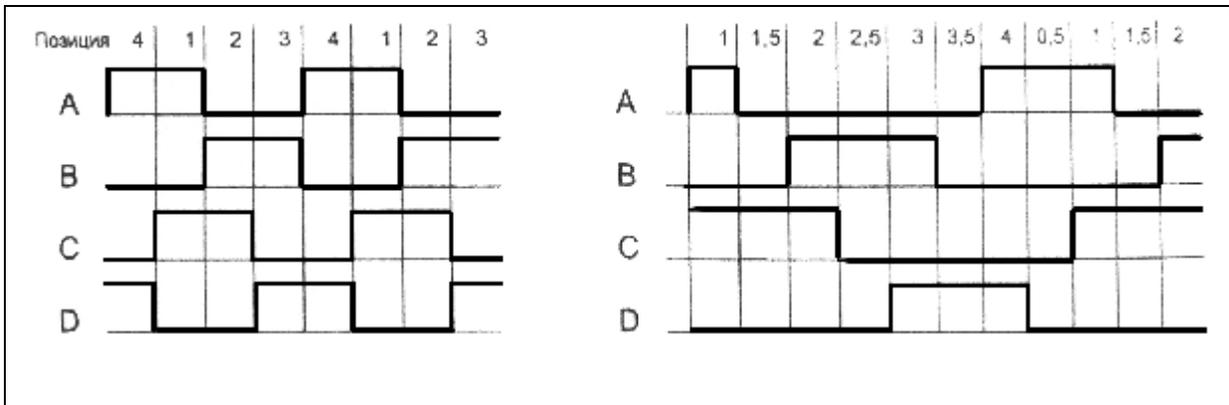
2. Предложена приближенная математическая модель системы управления ЦСП на основе электромеханического шагового позиционера.

3. Исследованы графоаналитические модели систем управления ЦСП, динамические характеристики приближенной модели системы управления ЦСП, рассчитаны импульсные переходные характеристики с различными коэффициентами настроек ПД-регулятора.

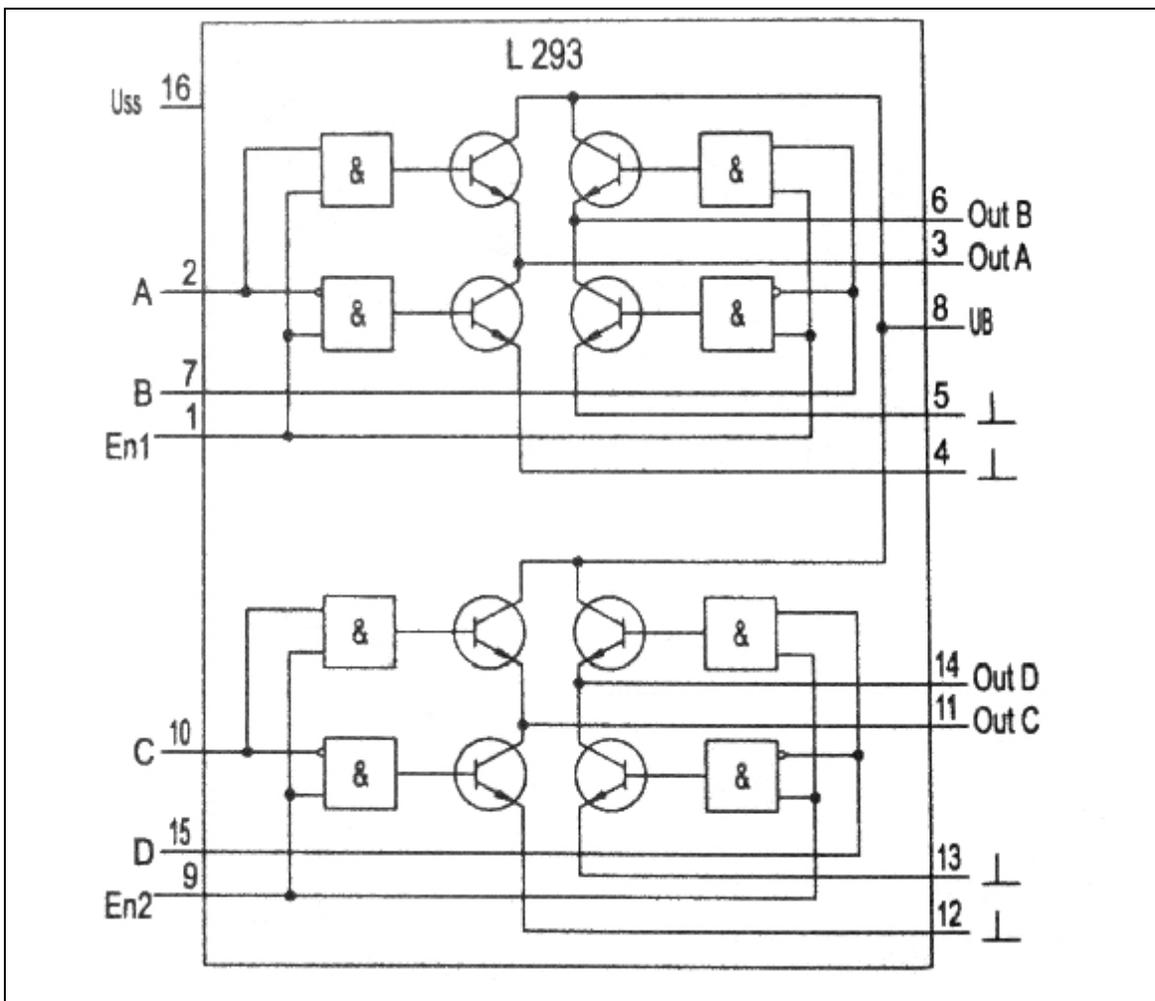
4. Предложен подход к практической реализации прямого цифрового управления шаговым приводом для автоматической настройки рабочих органов разделочно-филетировочного оборудования на основе программируемого логического контроллера, микроконтроллера PIC16C54 и мостового драйвера в виде микросхемы L293.



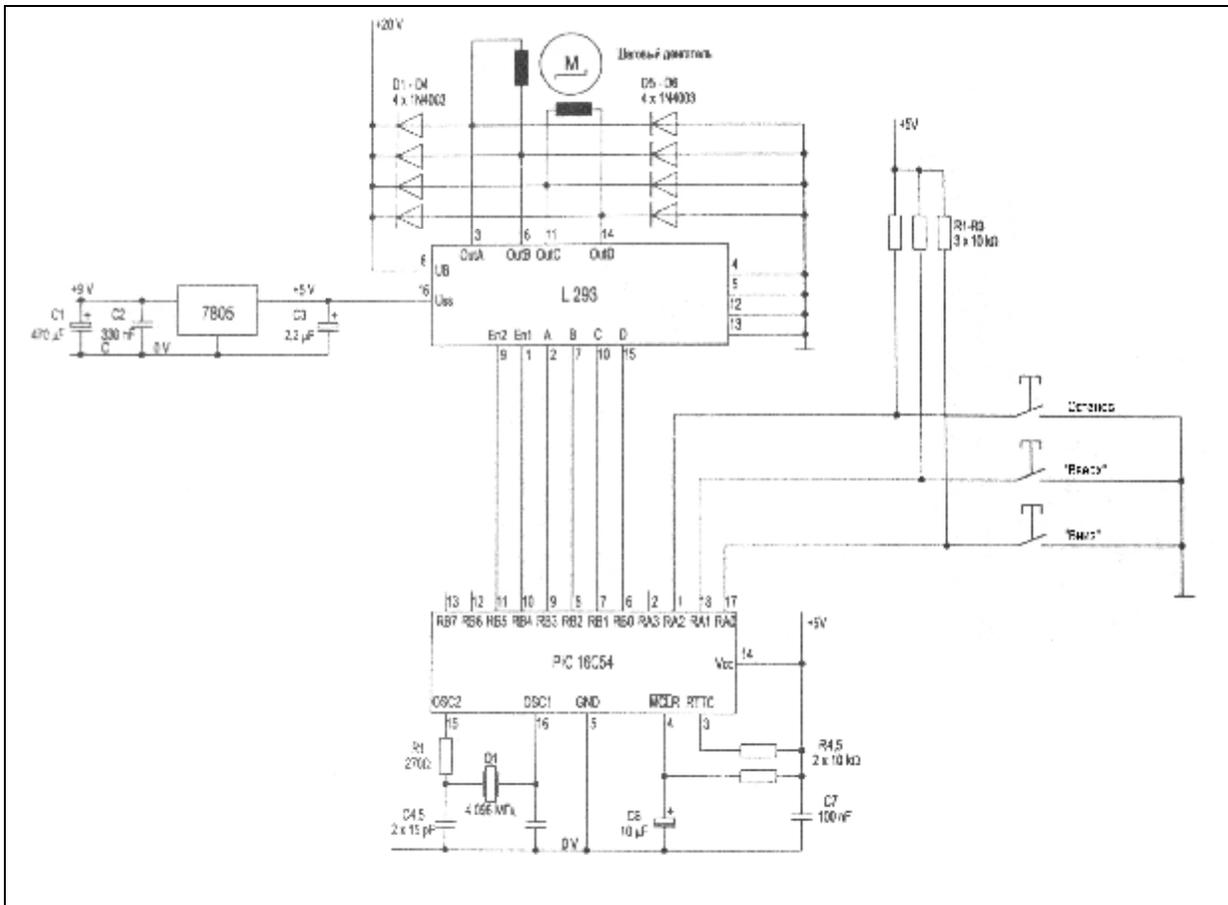
**Рисунок 6 –Функциональная схема биполярного шагового двигателя, согласно [3]**



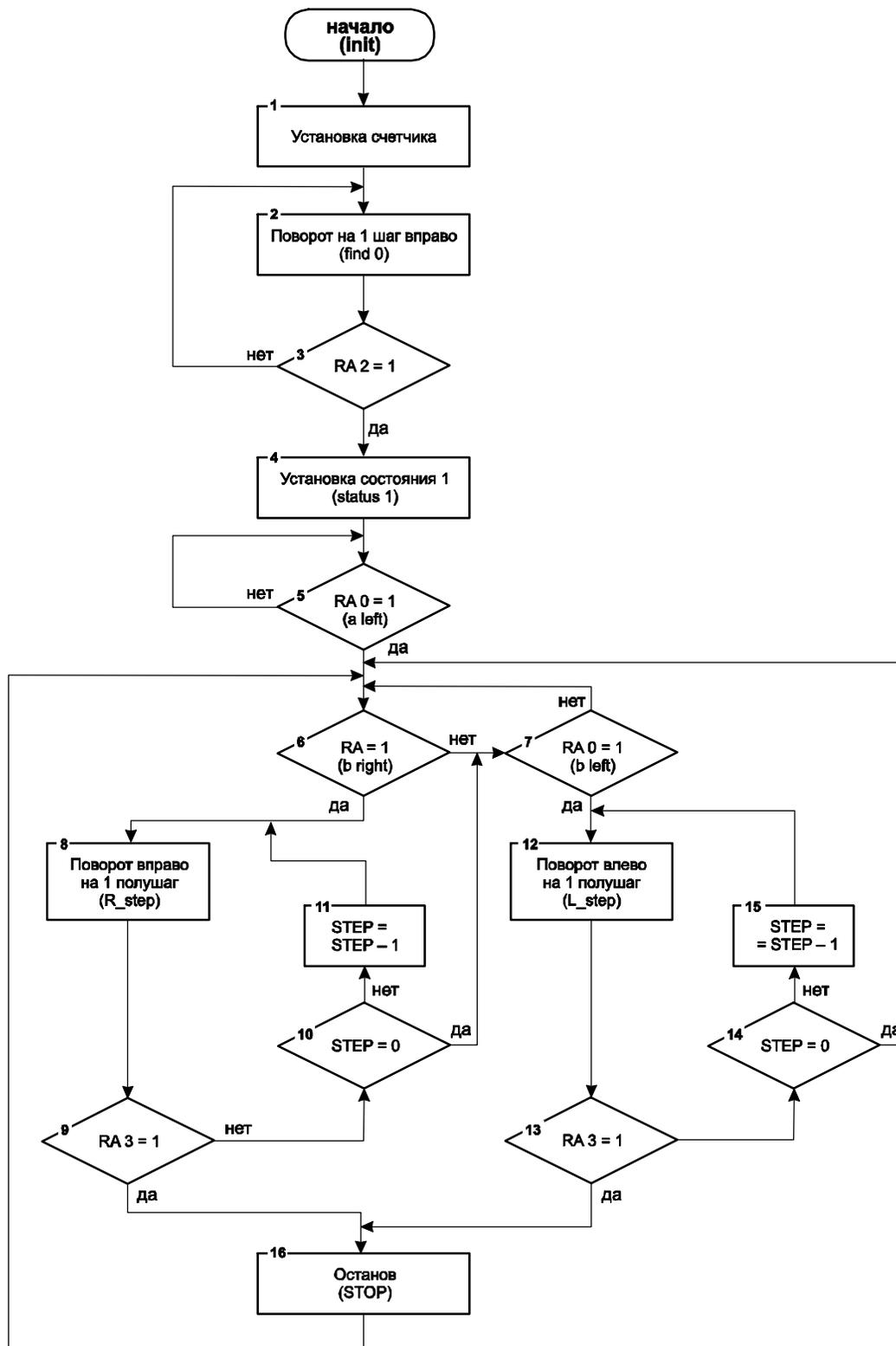
**Рисунок 7 – Последовательности сигналов, подаваемых на обмотки биполярного шагового двигателя, согласно [3]**



**Рисунок 8 – Структура интегральной микросхемы L293 для управления биполярным шаговым двигателем, согласно [3]**



**Рисунок 9 – Электрическая принципиальная схема микропроцессорного блока для управления биполярным шаговым двигателем, согласно [3]**



**Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма работы программы микроконтроллера для управления биполярным шаговым двигателем**

### Список литературы

1. Гумен, В.Ф. Следящий шаговый электропривод / В.Ф. Гумен, Т.В. Калининская. – Л.: Энергия, 1980. – 168 с.
2. Основы робототехники / Н.В. Василенко, К.Д. Никитин, В.П. Пономарев, А.Ю. Смолин; Под ред. К.Д. Никитина. – Томск: МПИ “РАСКО”, 1993. – 475 с.
3. Kohtz D. Messen, Steuern und Regeln mit PIC-Mikrocontrollern / D. Kohtz. – 4. Auflage. – Franzis Verlag GmbH, 2003. – 191 s.
4. Динамика машин и управление машинами: Справочник / В.К. Асташев и др.; Под общ. ред. Г.В. Крейнина. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
5. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Б.А. Ивоботенко и др. Под общ. ред. М.Г. Чиликина. – М.: Энергия, 1971. – 624 с.
6. Кобринский, А.А. Манипуляционные системы роботов / А.А. Кобринский, А.Е. Кобринский. – М.: Наука. глав. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 344 с.
7. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
8. Конструирование роботов: Пер. с франц. Д.М. Далечиной, М.С. Фанченко, В.И. Чебуркова / П. Андре и др. Под общ. ред. А.М. Долгова. – М.: Мир, 1986. – 360 с.
9. Мехатроника: Пер. с япон. С.Л. Масленникова / Т. Исии и др. Под общ. ред. В.В. Василькова. – М.: Мир, 1988. – 318 с.
10. Остром, К. Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. / К. Остром, Б. Виттенмарк. Под ред. С.П. Чеботарева. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
11. Jost R. Experimente mit Programmierbarer Logik / R. Jost. – Franzis Verlag GmbH, 2006. – 312 s.