

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9.02-3

doi:10.30987/2658-6436-2022-1-33-42

УПРАВЛЕНИЕ ОСЬЮ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ОБОРУДОВАНИЯ И ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Михаил Сергеевич Чепчуров¹, Виктория Евгеньевна Минасова²

^{1,2} Белгородский государственный технический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород,
Россия

¹avtpost@mail.ru

²vika314TM@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования авторов является оценка результатов использования программируемого контроллера для управления точным приводом подачи металлорежущего станка, а конечной целью работы – модернизации выведенного из эксплуатации оборудования и расширение его функциональных возможностей. Задача, поставленная авторами, в реализации проекта модернизации резьбошлифовального станка, заключалась в оценки точности позиционирования рабочего органа оборудования, с оперативной коррекцией дискретности привода оборудования. В качестве привода использовался шаговый двигатель, управляемый от логического контроллера, этот же контроллер обрабатывал данные, получаемые от датчика линейных перемещений. Авторы использовали статистические методы оценки погрешности позиционирования рабочего органа оборудования, в зависимости от его скорости перемещения. При этом выполнялся отброс минимального и максимального значений погрешности по критерию Граббса. В эксперименте использовалась оперативная обработка результатов замер, с последующей сразу в системе управления коррекцией дискретности. Результаты исследования позволили получить новую методику коррекции дискретности при управлении приводом, позволяющую сразу дать оценку результатов модернизации, без выполнения исследования передаточных механизмов оборудования. Внедрение результатов позволило продлить срок эксплуатации оборудования, но уже в новом качестве.

Ключевые слова: станок, привод, подача, управление, позиционирование, контроллер, измерение, датчик, скорость

Финансирование: статья подготовлена в рамках реализации Федеральной программы подготовки университета «Приоритет 2030», с использованием оборудования на базе центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Для цитирования: Чепчуров М. С., Минасова В. Е. Управление осью перемещения рабочего органа оборудования и варианты реализации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №1 (15). С. 33-42. doi: 10.30987/2658-6436-2022-1-33-42.

Original article

Open Access Article

CONTROLLING THE MOVEMENT AXIS OF THE OPERATING DEVICES OF THE FACILITIES AND IMPLEMENTATION OPTIONS

Mikhail S. Chepchurov¹, Victoria E. Minasova²

^{1,2} Belgorod State Technical University named after V.I. Shukhov

¹avtpost@mail.ru

²vika314TM@yandex.ru

Abstract. The aim of the authors' research is to evaluate the results of using a programmable controller to manage the precise feed drive of a metal-cutting machine, and the ultimate aim of the research is to modernize decommissioned equipment and expand its functionality. The task set by the authors in the project implementation for modernizing the thread grinding machine was to assess the positioning accuracy of the working devices of the facilities, with the operational correction of the equipment drive discretization. A stepper motor managed by a logic controller

was used as a drive; the same controller processed the data received from the linear displacement sensor. The authors used statistical methods for estimating the positioning error of the operating devices of the facilities, depending on its movement speed. In this case, the minimum and maximum values of the error were discarded according to the Grubbs criterion. In the experiment, the operational processing of the measurement results was used, followed immediately by the discrete correction in the control system. The findings of the study allowed obtaining a new method for discreet correction in the drive control, which made it possible to immediately evaluate the modernization results, without studying the facility transmission mechanisms. Implementing the findings allowed extending the equipment service life in the new capacity.

Keywords: machine tool, drive, feed, control, positioning, controller, measurement, sensor, speed

Financing: the article was prepared as part of implementing the Federal programme for preparing the university «Priority 2030», using the facilities based on the high technology centre of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov.

For citation: Chepchurov M. S., Minasova V. E. Controlling the movement axis of the operating devices of the facilities and implementation options. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 1 (15). pp. 33-42. doi: 10.30987/2658-6436-2022-1-33-42.

Введение

Модернизация оборудования с использованием программного управления наиболее эффективный способ продления срока его эксплуатации. В том случае, если модернизация не требует замены основных узлов и органов, например, металлорежущего оборудования, оснащение его дополнительным автоматизированным приводом с автоматическим управлением требует небольших капитальных затрат, как на привод, так и на систему управления [1].

Не рациональным является использование устройств ЧПУ [2] для управления одной осью оборудования, т.к. остальные оси являются не задействованы, но их наличие требует дополнительной оплаты в комплекте с устройством ЧПУ. Наиболее рациональными, по мнению авторов, является использование программируемого логического контроллера (ПЛК) [4] в минимальной требуемой комплектации. Именно такой контроллер серии ОВЕН ПЛК100 был использован авторами при модернизации резьбошлифовального станка, а последовательность выполнения процедуры модернизации приведена в настоящей публикации. Сам подход, принятый авторами, можно использовать и при модернизации других видов оборудования или при проектировании и изготовлении нового не стандартного оборудования.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Оборудование. Для модернизации был принят привод поперечного перемещения шлифовального круга станка мод. 5K822. Суппорт и привод, расположенный на нем, имеют значительную массу, хотя сила, действующая на него, не значительная, т.е. привод перемещает значительную массу и при этом требуется почти одинаковый момент на валу двигателя, как для рабочих, так и ускоренных перемещений суппорта. Механизм коробки скоростей поперечных подач имеет значительное передаточное число, т.е. авторы исходили из того, что небольшой мощности привода поперечных перемещений круга достаточно для его позиционирования.

Таким образом, имея – n – передаточное число коробки скоростей, из него и составим расчетную схему, представленную на рис. 1.

На схеме дополнительно показан электрический двигатель, который дополнительно устанавливает в механизм поперечного перемещения и энкодер, пока на ходовом винте суппорта, т.е. имеем:

$$M_{дв} = \frac{M_{п.п}}{n \cdot \eta}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где η – коэффициент полезного действия передачи.

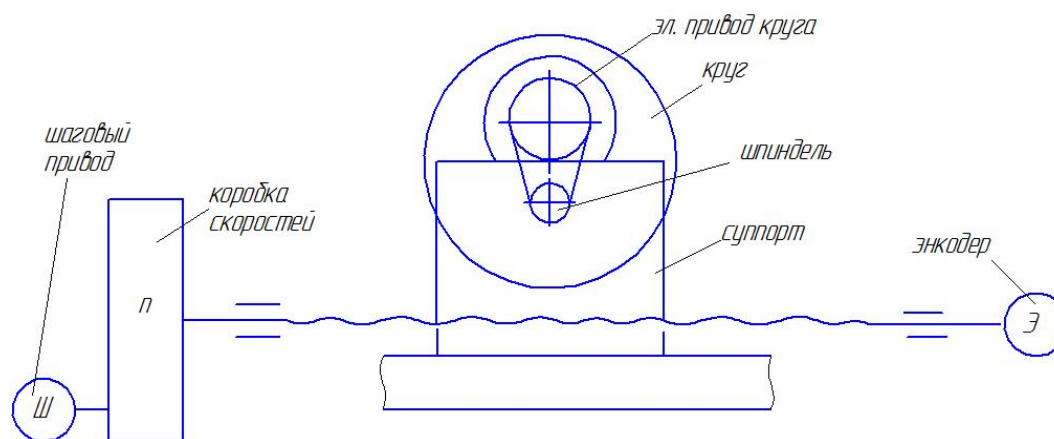


Рис. 1 Схема поперечной подачи
Fig.1 Cross feed scheme

Расчет прост в том случае, если известен момент на ходовом винте механизма поперечной подачи – $M_{п.п.}$, но чаще всего он не известен, поэтому его необходимо измерять любым из известных и доступных способов, либо рассчитать по тоже известной массе шпиндельной бабки и передаточного числа механизма перемещения. Но масса шпиндельной бабки в модернизируемом оборудовании может быть неизвестна, при отсутствии документации. Для определения передаточного числа можно выполнить измерения, например: количество оборотов ходового винта механизма перемещений, приходящиеся на 1 мм (или другое число) перемещения шпиндельной бабки.

Определение момента достаточно сложная и затратная процедура, по этой причине, можно воспользоваться данными предельного требуемого момента для ручного перемещения рабочего органа [3, 6], на основании этого авторами был подобран двигатель с максимальным моментом на валу до 2 Н·м. Двигатель должен обеспечивать глубокую регулировку значения подачи, в случае с модернизацией, выполняемой авторами, порядка 1000, таким образом, из технических условий: минимальное значения подачи – 0,05 мм/мин; максимальное – 50 мм/мин, что при заданном моменте позволяет выбрать шаговый двигатель *NEMA34*, обеспечиваемый частоту вращения на валу до 2000 об/мин. Драйвер или устройство управления двигателем должен иметь максимальный допустимый ток, превышающий ток двигателя. Следует учесть, что для использования двигателя в пределах, где требуется повышенная точность позиционирования, необходимо назначать дробный шаг. То есть имеем величину шага (паспортное значение для выбранного привода – $1,8^\circ$) и эту величину делим на число от 2 до 16. Что для привода может быть задано как программно, так и аппаратно с помощью переключателей. Шаговый двигатель позволяет выполнить систему с позиционным управлением, для чего стоит оценить величину шага линейного перемещения (дискреты), отображающую, с учетом шага ходового винта в мм.

Позиционная система управления позволяет задавать только позицию вала, а позиция рабочего органа устанавливается с учетом зазоров в передачах. Причем, величина этих зазоров не одинакова в направлениях перемещения рабочего органа. Используя индикатор часового типа и контроллер, позволяющий задавать количество импульсов на привод, можно убедиться, что зазоры в направлениях различны, в рассматриваемом случае, на 0,1 мм, что не допустимо в металлорежущем оборудовании, а погрешность, вызванная зазорами может накапливаться и изменяться при нагреве/охлаждении элементов передачи. Также считается неприемлемым расположение энкодера, как на валу электродвигателя, так и на ходовом винте (см. рис. 1). Более подходящим является применение линейного датчика перемещений, например, оптической линейки ЛИР8 или подобной ей, обеспечивающей точность измерений до 0,01 мм, при шаге 0,005 мм.

Если датчик линейных измерений является относительным, необходимо предусмотреть его ручную или автоматическую установку на 0.

Реализация метода. Модернизацию с автоматизацией управления приводами разделяют на две взаимосвязанных задачи: аппаратную и программную. Аппаратная задача – подбор и монтаж оборудования, программная – составление и отладка программы управления приводом.

Рассмотрим реализацию перемещений, на основе рассуждений, приведенных выше:

1. Двигатель числовой управляемый по протоколу *DIR-STEP-ENABLE*, т.е. с использованием тормоза и задаваемым от контролера направлением и величиной перемещения (*STEP* или *PULSE* – количество импульсов).

2. Датчик линейных перемещений, подвижная часть которого закреплена на шпиндельной бабке, как показано на рис. 2.



Рис. 2. Выключатели, определяющие конечное положение рабочего органа
Fig. 2. Switches that determine the final position of the working body

Выбор органов управления и отображения информации. Поскольку в системе управления используется ПЛК, то и в качестве устройства управления им и отображения состояния системы, а также выполнения операций обработки, стоит использовать панель оператора с сенсорным управлением. Но при этом необходимо продублировать часто используемые органы управления механическими кнопками, выключатель «СТОП» должен быть электромеханическим, с фиксацией выключенного положения. Выводятся кнопки ручного перемещения в обоих направлениях, с переключением на ускоренное перемещение, как это показано на рис. 3.



Рис. 3. Пульта управления оборудованием
Fig. 3. Equipment control panel

3. Выбор ПЛК, с учетом поставленной задачи, из условия обеспечения высокой скорости выходных импульсов. Причем количество высокоскоростных входов должно быть не меньше, чем количество выходных сигналов датчика перемещений. Драйвер шагового двигателя требует подачи на вход импульсов амплитудой не более 5 В, а транзисторные выходы большинства ПЛК обеспечивают 24 В. Высокоскоростные входы ПЛК допускают подачу напряжения не менее 24 В, а выход датчика имеет не более 5 В или не обеспечивает необходимый ток входа.

Задачи согласования входов/выходов выполняют специальные модули, пример использования подобных модулей представлен на рис. 4.

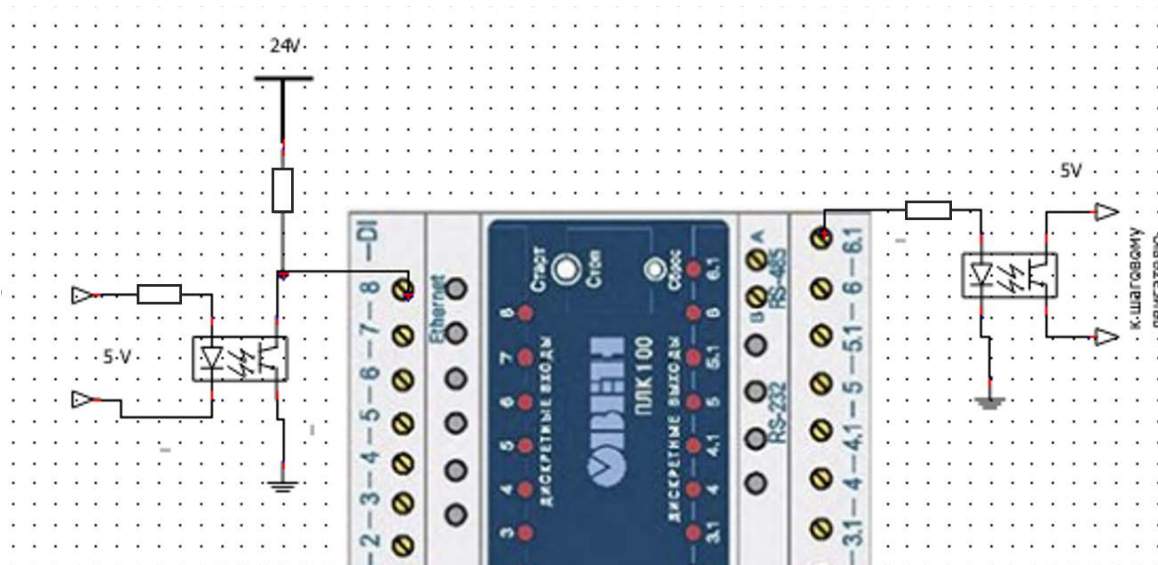


Рис. 4. Согласование входов/выходов ПЛК с устройствами входа/выхода
 Fig. 4. Matching of PLC inputs/outputs with input/output devices

В качестве ПЛК авторами выбран ПЛК100-24К, один из бюджетных вариантов, имеющих 6 дискретных выходов, допускающих вывод импульсов с частотой до 10 000 Гц, и 8 дискретных входов, два из которых высокоскоростные, рассчитанные на частоту до 10 000 Гц, учитывая максимальную скорость перемещения рабочего органа до 0,5 мм/с это является достаточным для реализации проекта. Требуемую допустимую частоту входных импульсов можно определить из условия:

$$f = V_{\max} \cdot p,$$

где V_{\max} – максимальная скорость перемещения рабочего органа, мм/с; p – количество рисок (импульсов) на мм из паспорта датчика.

При составлении программы основным является реализация управления перемещением рабочего органа, т.е. задание частоты подаваемых на вход драйвера управления шагового двигателя необходимого количества импульсов с частотой, обеспечивающей заданную скорость перемещения. И здесь, реальную величину дискретности необходимо определить экспериментально.

Экспериментальные исследования по определению величины дискретности заключаются в определении величин допустимого отклонения реального пройденного пути рабочего органа от заданного. Но если эксперимент начинается с определения точки, в которой будут выполняться измерения величины перемещения рабочего органа, то наиболее приемлемой является точка, расположенная на том же узле оборудования, что и подвижная часть датчика линейных перемещений, т.е. фронтальная часть шпиндельной бабки станка расположена по нормали к боковой поверхности шлифовального круга (рис. 5).

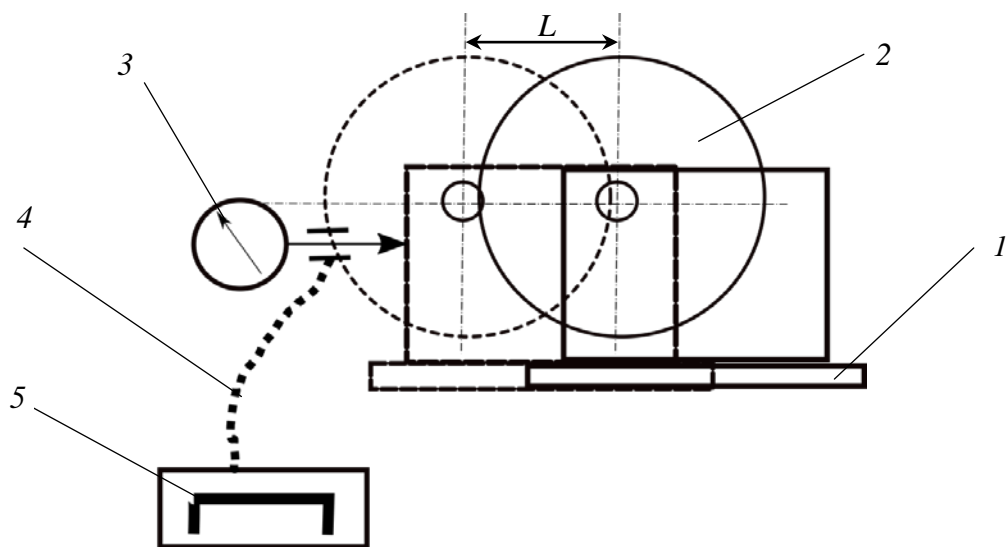


Рис. 5. Схема измерения перемещений:

1 – шпиндельная бабка; 2 – шлифовальный круг; 3 – индикатор часового типа; 4 – гибкий штатив;
5 – магнитное крепление

Fig. 5. Displacement measurement scheme:

1 – spindle headstock; 2 – grinding wheel; 3 – hour-type indicator; 4 – flexible tripod; 5 – magnetic mount

Измерения выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 8.050-73 [7], обработка полученных данных выполнялась в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 [8].

Измерения выполнялись следующим образом: в загруженной в ПЛК программе с панели оператора задавались величина (на рис. 5 – L) и скорость линейных перемещений рабочего органа. При этом для каждого значения скорости перемещения рабочего органа выполнялось не менее 10 измерений, а значения скорости принимались в диапазоне 1...60 мм/мин (из следующего ряда: 1; 2; 4; 8; 16; 32; 60), при этом рабочий орган перемещается на заданную величину, случайно выбранную, в диапазоне 10...20 мм, а координата позиционирования также назначалась случайно в диапазоне 5...40, т.к. диаметр обрабатываемых изделий составляет от 10 до 80 мм. Вычитая значения измеренной величины перемещения от заданной, определяем погрешность позиционирования рабочего органа (табл. 1). В таблице погрешности измерения перемещений присутствуют повторяющиеся данные, т.к. измерения выполнялись индикатором часового типа ИЧЦ-25 с дискретностью 0,001 мм, погрешность 2 мкм, ГОСТ 577-68 [9].

Таблица 1

Погрешность измерения перемещений рабочего органа

Table 1

Error of relocation measurement of operating device

Номер измерения	Скорость, мм/мин						
	1	2	4	8	16	32	60
1	0,004	-0,012	-0,007	-0,015	-0,012	0,002	-0,012
2	-0,007	-0,019	0,018	-0,007	-0,002	-0,023	0,018
3	-0,005	0,014	0,002	-0,001	0,026	0,015	-0,021
4	0,008	-0,009	-0,022	-0,026	-0,052	0,019	0,012
5	0,009	-0,020	0,029	0,008	0,054	0,024	0,026
6	-0,009	0,017	-0,020	-0,026	0,058	0,004	0,005
7	0,001	0,011	0,010	-0,028	0,060	-0,024	-0,056
8	0,007	-0,009	0,003	-0,022	0,008	0,013	-0,013
9	-0,004	0,007	-0,007	-0,030	-0,052	0,022	-0,050
10	0,005	0,001	0,003	0,015	0,032	-0,004	-0,030
среднее	0,0059	0,0119	0,0121	0,0178	0,0356	0,015	0,0243

В реальности измерений величины перемещения рабочего органа проводилось больше, поскольку процедуры обработки результатов измерений были автоматизированы, а для исключения грубых ошибок, в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 применялся критерий Граббса [8]:

$$G_1 = \frac{|X_{\max} - \bar{X}|}{S}, G_2 = \frac{|\bar{X} - X_{\min}|}{S},$$

где S – среднее квадратичное отклонение группы, содержащей n результатов измерений, вычисляемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1,5}}.$$

При исключении грубых погрешностей принимался уровень значимости 5 %, и в этом случае исключалось одно наибольшее значение.

Аналогично проводилась проверка в диапазоне перемещения круга при съёме припуска со скоростью от 1 мм/с до 10 мм/с, измерение диаметра получаемой канавки выполнялись штангенциркулем *NORGAU ABS 200* мм, тип *NCD-AD*, внесенный в Государственный реестр средств измерений под номером 61563.

Таким образом, величина дискреты может быть выполнена по формуле:

$$d = \frac{L}{f \cdot T},$$

где L – измеренная величина перемещений; f – заданная частота импульсов на входе драйвера двигателя; T – измеренное время перемещения на заданное расстояние, с шагом до 0,01 с.

На рис. 6 представлен график изменения отклонения измеряемого расстояния в зависимости от заданного. Некоторые величины погрешности выпадают из общей закономерности, что можно объяснить состоянием передач механизма поперечного перемещения станка. Несмотря на это было найдено корректное значение величины дискреты, что позволяет успешно использовать станок для получения точных канавок инструментальной оснастки.

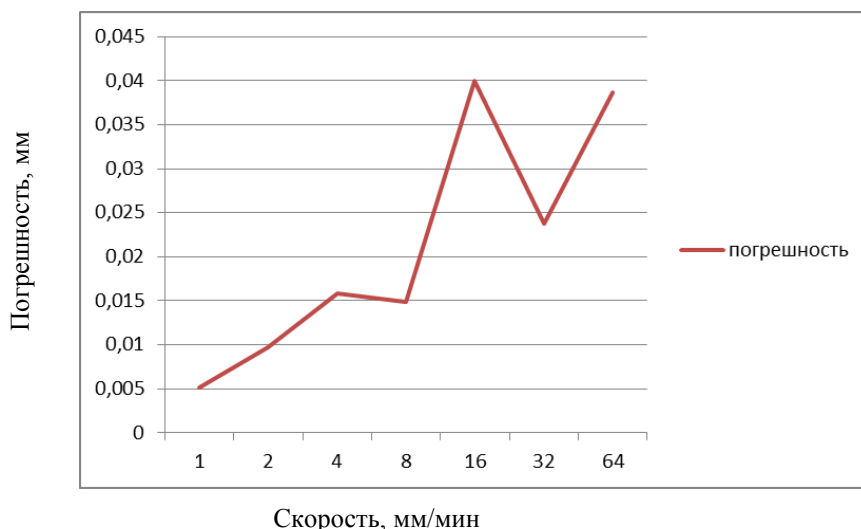


Рис. 6. График изменения отклонения измеряемого расстояния в зависимости от заданного
Fig. 6. Graph of the variation of the deviation of the measured distance depending on the set

Программа для ПЛК составлена на языке *FBD*, и наибольший интерес представляет ее фрагмент, представленный на рис. 7.

Так как ПЛК 100 не разрабатывалось как устройство управления шаговыми приводами в стандартном и расширенном наборе его команд отсутствует специальная функция управления серво или шаговым двигателем, по этой причине авторы разработали собственный алгоритм управления скоростью перемещения рабочего органа и определения

его норм, с использованием набора функций *CoDeSys* [5].

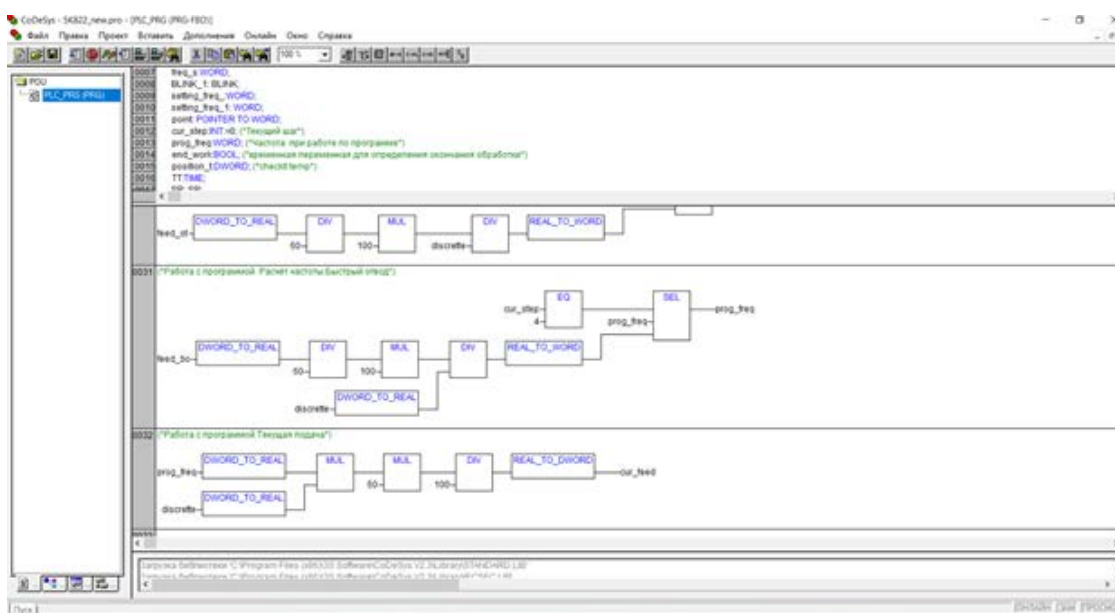
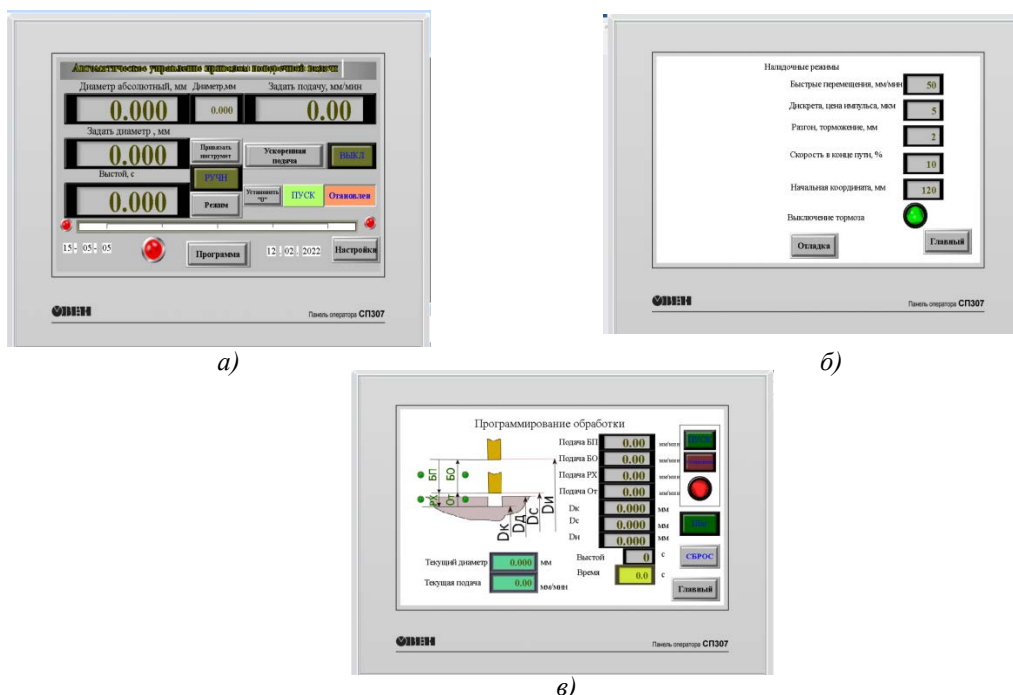


Рис. 7. Фрагмент программного кода управления перемещениями
Fig. 7. A fragment of the movement control program code

Полную рабочую версию программы [10] можно загрузить по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/QrMQ/ijTmxnjWC>.

Интерфейс программы выполнен в панели оператора СП300, связанной по протоколу *ModBus RTU* с ПЛК, экраны разделены, как это представлено на рис. 8: 1 – главный экран (рис. 8, а); 2 – экран параметров (рис. 8, б); 3 – экран оператора (рис. 8, в). Экспериментальное определение величины дискретности выполняется в экране наладки.



а)

б)

в)

Рис. 8. Экраны панели оператора:
а – главный экран; **б** – экран параметров; **в** – экран оператора
Fig. 8. Operator panel screens:
а – main screen; **б** – parameters screen; **в** – operator screen

Заключение

Последовательность изложения материала в настоящей статье совпадает с последовательностью работ, выполняемых при модернизации оборудования, что позволяет представить написанное в виде краткой методики, позволяющей систематизировать полученный опыт:

1. Оценка возможности модернизации оборудования в соответствии с заявленной целью.
2. Подбор приводов, датчиков, контроллера, устройства ввода и отображения информации.
3. Монтаж приводов, датчиков, системы управления.
4. Составление начальной программы управления перемещениями.
5. Оценка погрешности позиционирования по скоростным диапазонам.
6. Вычисление дискреты системы управления приводом.
7. Отладка программы.
8. Оценка результатов модернизации по пробной партии изделий.

Изложенное в настоящей работе можно представить, как эффективный способ бюджетной модернизации оборудования, но обеспечивающий не только заводскую точность, но и при условии выполнения незначительных по времени экспериментов, позволяющих повысить его точность и расширить технологические возможности оборудования. Стоит отметить, что по результатам анализа графика погрешности позиционирования (см. рис. 6), принято решение в качестве диапазона рабочих подач использовать значения до 16 мм/мин, что в принципе и требовалось при постановке цели модернизации.

Список источников:

1. **Чепчуров, М.С.** Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК/ М.С. Чепчуров.- Текст: непосредственный // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2008. – №7. – С. 13-15.
2. **Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве: Ч.1: учебное пособие для вузов / В.И. Аверченков, А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек и др. – М.: Изд-во Флинта, 2011. – 216 с. – Текст: непосредственный.**
3. **Программируемые контроллеры: рук-во для инженера. – 3-е изд: пер. англ. – М.: БИНОМ, 2007. – Текст: непосредственный.**
4. **Исмаилов, Ш.Ю.** Автоматические системы и приборы с шаговыми двигателями / Ш.Ю. Исмаилов. – М.: Энергия, 1986. – 136 с. – Текст: непосредственный.
5. **ГОСТ 21753-76*** Группа Т58. Государственный стандарт союза ССР система ЧЕЛОВЕК-МАШИНА. Рычаги управления. Общие эргономические требования Man-machine system. Control levers. General ergonomic requirements Дата введения 1977-01-01. Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27 апреля 1976 г. N 952 срок введения установлен с 01.01.77.
6. **ГОСТ 8.050-73 (СТ СЭВ 1155-78).** Государственная система обеспечения единства измерений. НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. Введён Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 21 февраля 1973 г. N 425 срок введения установлен с 01.01.75. – М.: Издательство стандартов, 1988.
7. **ГОСТ Р 8.736-2011.** ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМЫЕ МНОГОКРАТНЫЕ. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: национальный

References:

1. Chepchurov M.S. Modernization of the Drive Control of a Computer Numeric Control Milling Machine Using a PC. Repair, Reconditioning, Modernization. 2008, no. 7, pp. 13-15.
2. Averchenkov V.I., Zholobov A.A., Mrochek Zh.A. et al. CNC Machines in the Engineering of Production: Part 1. Moscow: Flint Publishing House, 2011. 216 p.
3. Programmable Controllers: an Engineer's Guide. Moscow: BINOM, 2007.
4. Ismailov Sh.Yu. Automatic Systems and Devices with Step Motors. Moscow: Energiya, 1986. 136 p.
5. State Standard 21753-76*. Group T58. The State Standard of the USSR, Man-Machine System. Control Levers. General Ergonomic Requirements. Introduced on the 1st of January 1977 by the Decree of the USSR National Committee on Standards at the Cabinet of Ministers of April 27th, 1976 N 952, the introduction period was set from the 1st of January 1977.
6. State Standard 8.050-73. State System for Ensuring Uniformity of Measurements. Reference Conditions for Linear and Angular Measurements. Introduced by the Decree of the USSR National Committee on Standards at the Cabinet of Ministers dated February 21st, 1973 N 425, the introduction period was set from the 1st of January 1975. Moscow: Publishing House of Standards, 1988.
7. State Standard R 8.736-2011. Multiple Direct Measurements. Methods of Measurement Results Processing. Main Principles: National Standard of the

стандарт Российской Федерации: издание официальное: УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. N 1045-ст: дата введения 2013-01-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – Текст: непосредственный.

8. ГОСТ 577-68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия ГОСТ 577-68. Clock-type dial indicators graduated in unit divisions of 0,01 mm. Specifications 17.040.30: дата введения 1968-07-01 Действует. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

9. Петров, И.В. Отладка прикладных ПЛК программ в CoDeSys / И.В. Петров, Р. Вагнер // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – №4. – Текст: непосредственный

10. Свид. 2021660722 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа управления перемещением рабочего органа оборудования/ М. С. Чепчуров; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (RU). – №2021661722; заявл. 07.07.2021; опубл. 14.07.2021.

Russian Federation: Approved and Introduced by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 13d, 2011 No 1045-st: introduced on the 1st of January 2013. Moscow: Standartinform, 2019.

8. State Standard 577-68. Clock-Type Dial Indicators Graduated in Unit Divisions of 0,01 mm. Specifications 17.040.30: introduced on the 1st of July 1968. Moscow: IPK Standards Publishing House, 2002.

9. Petrov I.V., Wagner R. Debugging of Applied PLC Programmes in CoDeSys. Industrial Controllers ACS, 2006, no. 4.

10. Chepchurov M.S. Certificate 2021660722. Russian Federation. Certificate of Official Registration of the Computer Programme. The Programme for controlling the Movement of Operating Devices of the Facilities; Applicant and Copyright Holder Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. No. 2021661722; introduced on the 7th of July 2021; published on the 14th of July 2021.

Информация об авторах:

Михаил Сергеевич Чепчуров

профессор, доктор технических наук, тел.: +79103229816, профессор Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова

Виктория Евгеньевна Минасова

тел.: +79192248079, аспирант Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова

Information about authors:

Mikhail Sergeevich Chepchurov

Professor, Doctor of Technical Sciences, tel.: +79103229816, Professor of Belgorod State Technical University named after V.I. Shukhov, Belgorod, Russia

Victoria Evgenievna Minasova

tel.: +79192248079, post graduate student of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 14.02.2022; одобрена после рецензирования 18.02.2022; принята к публикации 19.02.2022.

The article was submitted 14.02.2022; approved after reviewing 18.02.2022; accepted for publication 19.02.2022.

Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет, член редакционного совета журнала «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении».

Reviewer – Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Bryansk State Technical University, Member of the Editorial Board Journal «Automation and modeling in design and management».