



Р.С. Саразов
 Московский авиационный институт
 (национальный исследовательский университет)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассматриваются вопросы создания автоматизированной системы управления для металлорежущего оборудования (вертикальный консольно-фрезерный станок, Heckert FS). Определены режимы работы, разработан комплект документации на шкаф системы управления, составлен алгоритм для примененного программируемого контроллера. Описываемый станок был полностью восстановлен и введен в эксплуатацию, а примененное решение в дальнейшем было адаптировано для возможности восстановления иных станков данного семейства.

Автоматизация процессов, алгоритмизация, математическая логика, система управления, программируемые контроллеры, промышленная автоматика, машиностроение, Heckert FS.

Металлообрабатывающее оборудование Heckert производилось на машиностроительном заводе «Fritz Heckert» в городе Карл-Маркс-Штадт (Хемниц), в ГДР. Восстанавливаемый экземпляр относится к вертикальным консольно-фрезерным станкам и называется Heckert FSS-400 (рис. 1).

Данная разновидность станков, в отличие от более массовых аналогов (6P12, 6P13 и др.), помимо прочих преимуществ, обладает ключевой важной особенностью: Heckert FSS-400 позволяет производить механическую обработку деталей в полуавтоматических циклах с минимальным участием оператора. По этой же причине создание системы управления для такого станка сильно отличается от «восстановления» обычного широкоуниверсального консольно-фрезерного.

К тому же описываемый экземпляр имел интересную историю: приблизительно в начале 1980-х

годов он был поставлен на предприятие, где простоял в заводской обрешетке нетронутым до середины 1990-х. С развалом СССР и разорением предприятия перешел в частные руки. Попытки расконсервации и ввода в эксплуатацию к успеху не привели, в связи с выявленными неполадками в стойке (системе) управления. После чего станок простоял без дела еще двадцать лет, пока в нем не возникла острая потребность. Таким образом, станок совсем не имел механического износа (выработки) и фактически был в состоянии «нового». Именно это стало главным аргументом при постановке вопроса о его восстановлении.

Иной момент, который требовал внимания, – это целесообразность ремонта и восстановления «родной» системы управления.



Рис. 1. Общий вид станка

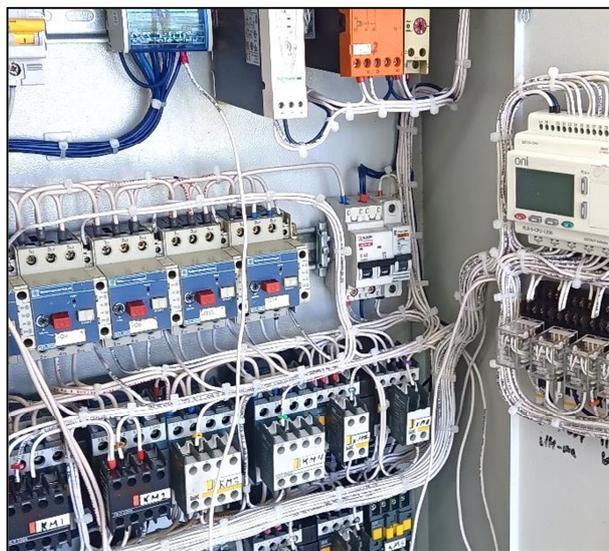


Рис. 2. Созданная СУ

Типовая проблема, с которой сталкиваются при восстановлении (проведении капитального ремонта) подобного технически сложного оборудования, – практически полное отсутствие документации на управляющую электронику: принципиальных электрических схем, спецификации и паспортов на используемую элементарную компонентную базу, структурированного и понятного описания алгоритма работы, схем и таблиц коммутации (подключения) всех проводников и клемм, таблиц логических функций.

Еще больше неприятностей связаны с самим внутренним устройством этой электроники – в ней применялись системы управления на основе первых программируемых логических контроллеров (ПЛК) конца 1970-х годов, собранных на примитивных логических интегральных схемах и дискретных элементах [1]. Такой контроллер представляет собой «корзину» (монтажную панель), в которую монтируются «платы» (модули), каждая из которых отвечает за ту или иную функцию. Эти устройства сложны в ремонте без вышеупомянутой документации либо наличия комплекта заведомо исправных плат (модулей). В особо тяжелых случаях (при выходе из строя центрального процессора контроллера или его модулей ПЗУ) ремонт становится невозможен: найти прошивку для ПЛИС (как и сами микросхемы ПЛИС, используемые в модуле ПЗУ) в настоящее время практически невозможно. Отсутствуют и данные о методе прошивки (обновлении микропроцессорной программы), документация и информация о программаторе [2].

Отсюда компонентный ремонт оригинальной системы управления не осуществим и/или не рационален в подавляющем большинстве случаев [3]. Такой вариант сразу был исключен из рассмотрения. Исходя из этого было принято решение восстанавливать си-

стему управления, разрабатывая ее полностью, с нуля (рис. 2). Следовательно, возникла необходимость детально разобраться во внутреннем устройстве и принципах работы станка. Отсутствие документации (кинематических схем, схемы расположения основных частей и узлов) снова осложнило процесс. Ниже, на рисунках 3 и 4, условно-схематично (с некоторыми допущениями) представлены основные узлы консольно-фрезерных станков семейства Heckert и их взаимное расположение.

Рабочий инструмент (фреза) приводится в движение приводом (1) через коробку передач (скоростей). Она имеет рукоять переключения с датчиком положения (3) и тормозное устройство (2), состоящее из системы электромагнитных муфт. Механизм фиксации инструмента (4) одинаков для всех типов данных станков, представляет собой дополнительный электромотор, вращение которого передается на заторможенный шпиндель через фрикционную муфту, приводимую электромагнитом, при помощи системы датчиков положения (подробнее далее).

Линейные перемещения (рис. 4) по осям X, Y, Z производятся при помощи стола, крестового суппорта и консоли соответственно. Автоматическое перемещение по координатам осуществляется одним электроприводом с помощью сложной системы электроэлектромагнитных муфт [4]: привод M2 через коробку скоростей (Y1 – «подача», Y2 – «ускоренная подача») передает вращение на три параллельных вала, а уже каждый из них механически связан с шаровинтовой передачей (ШВП) соответствующей оси. В свою очередь, каждый вал оси X, Y, Z имеет муфту, подключающую его к коробке скоростей (Y3, Y4, Y5) и тормозящую муфту, блокирующую вращение (Y7, Y8, Y9). Ось X содержит механизм компенсации люфта (гидравлический насос M3, который поджимает ведущую гайку вплотную к ШВП).

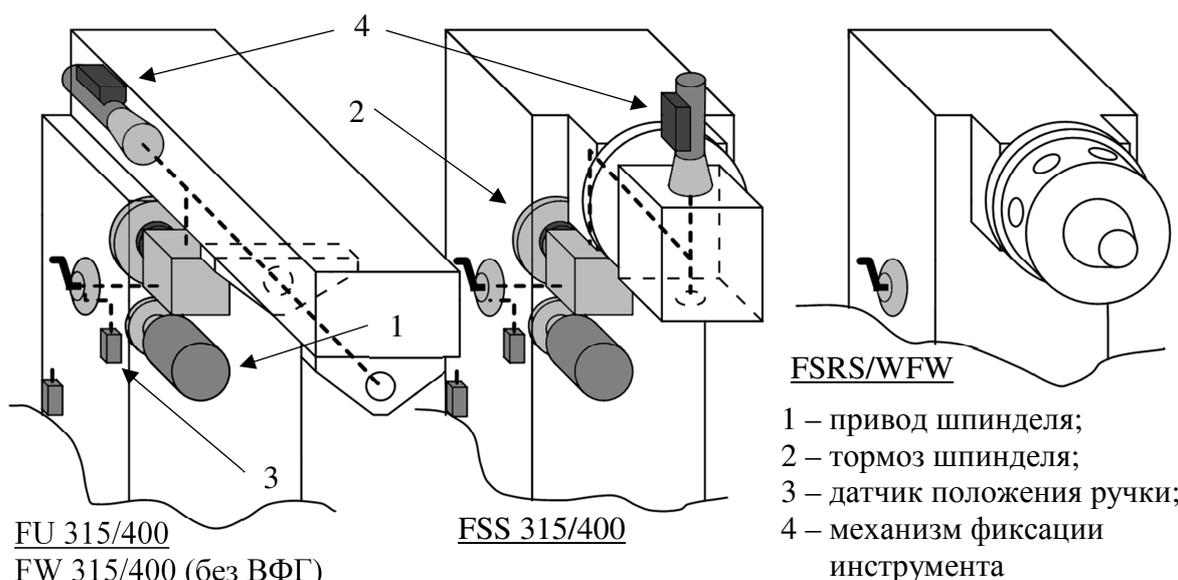


Рис. 3. Типы станков и их устройство

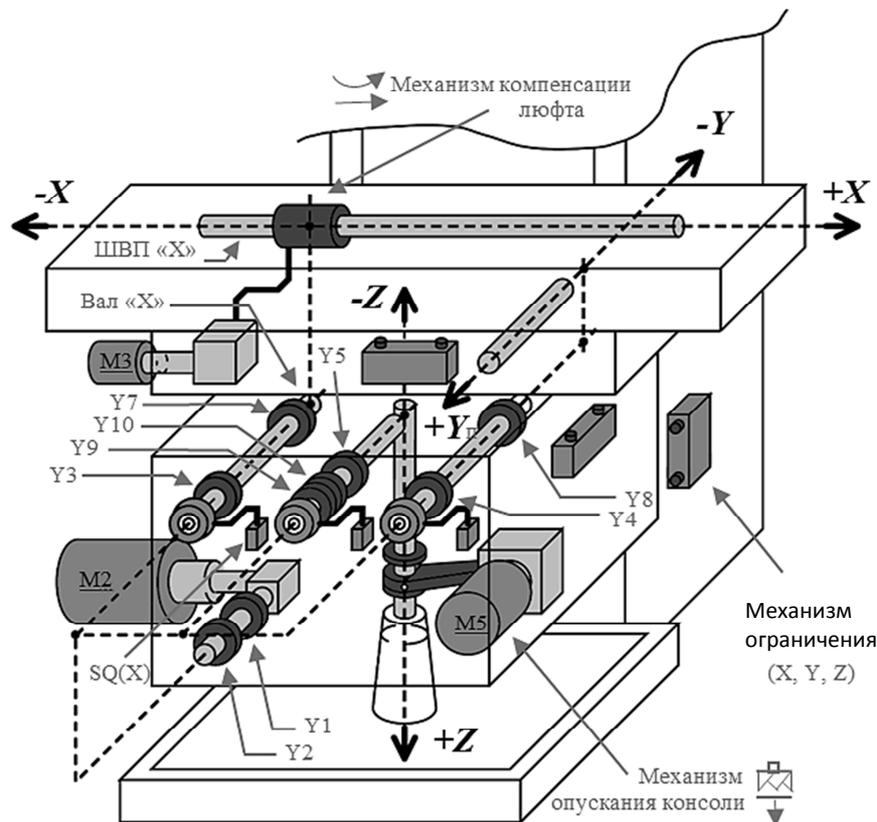


Рис. 4. Консоль

Таблица

Режимы работы муфт

Y3 (Перемещение)	Y7 (Блокировка)	Функция	AND	OR	XOR
Отключено («0»)	Отключено («0»)	Ручной режим	0	0	0
Отключено («0»)	Включено («1»)	Блокировка оси	0	1	1
Включено («1»)	Отключено («0»)	Перемещение	0	1	1
Включено («1»)	Включено («1»)	НЕДОПУСТИМО	1	1	0

Ось Z имеет механизм опускания консоли (гидравлический насос M5, который с помощью специальной передачи припускает консоль на небольшое расстояние, для отвода инструмента в автоматических циклах обработки [5]), а также дополнительную муфту Y9, включающую режим замедленного перемещения. Каждая ось снабжена концевыми выключателями (ограничение максимального хода и подача команд для автоматических циклов). Имеется возможность ручного перемещения каждой оси с помощью специальной съемной рукоятки, которая при установке взаимодействует с датчиками (SQ(X), SQ(Y), SQ(Z)).

Бесперебойное и надежное функционирование станка определяется взаимосвязью и совместной работой всех вышеописанных элементов по определенному алгоритму. Его восстановление по образу и подобию исходного являлось самой сложной частью всей работы. Ошибки (к примеру, неправильная сработка тормоза и блокировки осей, шпинделя, ускоренного и замедленного перемещения) могли привести к серьезным поломкам оборудования. Для предотвращения таких ситуаций составлялись табли-

цы режимов работы, которые впоследствии сопоставлялись с таблицами истинности логических функций (табл.).

К примеру, электромагнитная муфта Y7 блокировки (тормоза) оси не должна (ни при каких условиях) включаться одновременно с муфтой Y3, отвечающей за подключение оси к коробке скоростей. Тогда как отключение обеих муфт позволяет перевести ось в ручной режим и осуществлять перемещение вращением съемной рукоятки.

В рассмотренном случае наиболее подходила таблица истинности функции «XOR» (исключающее «ИЛИ»). Получаемые части алгоритма удобнее всего записать в виде выражений на языке математической логики:

$$Y3 \text{ XOR } Y7 \Leftrightarrow Y3 \oplus Y7.$$

Направлением вращения привода M2 задается направление линейного перемещения («+» или «-»), обозначено как «KM3» и «KM4». Тогда автоматическое перемещение по осям происходит при следующих условиях:

$$X = Y3 \cdot \overline{Y7} \cdot \overline{SQ(X)} \cdot (Y1 \oplus Y2) \cdot (KM3 \oplus KM4),$$

$$Y = Y4 \cdot \overline{Y8} \cdot \overline{SQ(Y)} \cdot (Y1 \oplus Y2) \cdot (KM3 \oplus KM4),$$

$$Z = Y5 \cdot \overline{Y10} \cdot \overline{SQ(Z)} \cdot (Y1 \oplus Y2) \cdot (KM3 \oplus KM4).$$

(линия над элементом – инверсия, КМ – «контактор магнитный»)

Конструкцией станка предусмотрено одновременное перемещение только по одной оси с одной скоростью в одном направлении, две другие оси в этот момент времени должны быть заблокированы. К примеру, **ускоренное** перемещение в «+X» описывается выражением:

$$(Y3 \cdot \overline{Y7} \cdot \overline{SQ(X)} \cdot Y2 \cdot KM3) \cdot (Y8 \cdot Y10).$$

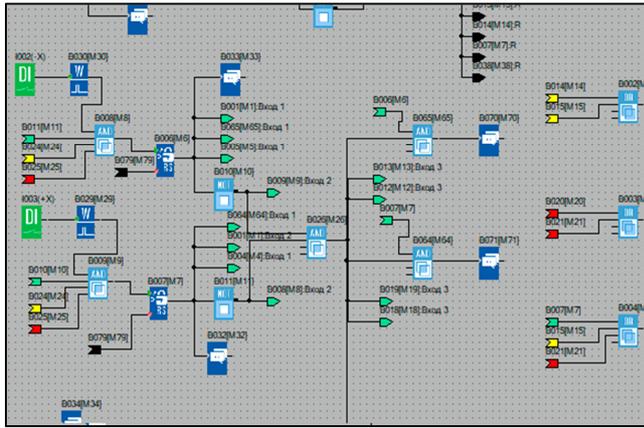


Рис. 5. Часть программы, отвечающая за условия выбора и включения перемещения по X

При перемещении по X в определенных режимах обработки детали возможно использование механизма компенсации люфта **M3**. Для этого нужно: $(SA4.2 \oplus SA4.4) \cdot (Y3 \cdot \overline{Y7} \cdot (KM3 \oplus KM4)) \cdot Y1 \cdot \overline{Y2}$.

(SA4.2 и SA4.4 – переключатель, отвечающий за выбор данного режима)

Используя законы алгебры логики, можно привести эти формулы к тому или иному виду [6–8]. Остается только определить, какие элементы данных функций доверить программе, а какие – реализовать аппаратно, с помощью электромеханики [9]. К примеру, на рисунках 5–6 показана реализация вышеупомянутого перемещения.

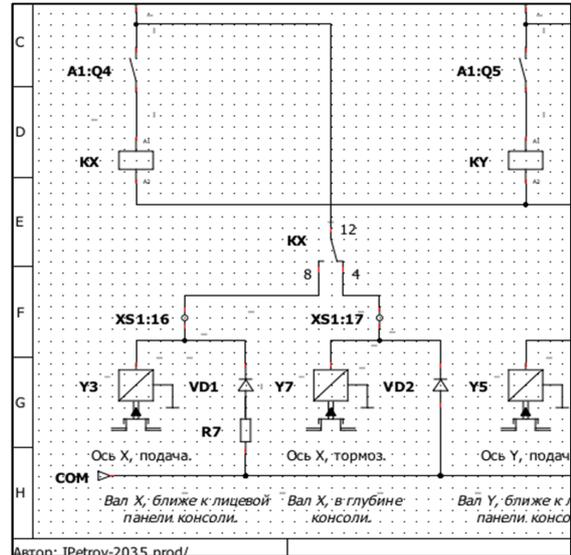
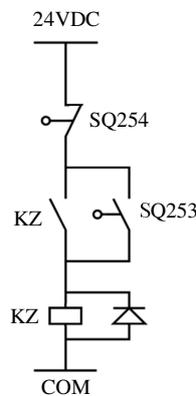
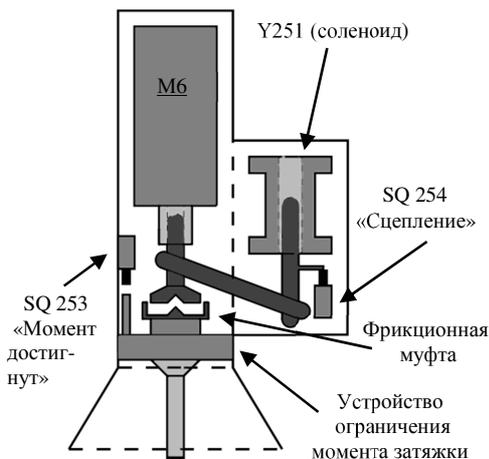


Рис. 6. Реализация выбора Y3 и Y7 с помощью логики электромеханических реле



Натяжение: $(Y251 \cdot \overline{SQ254} \cdot M6 \ll + \gg^1) \cdot Y6^2 \cdot \overline{KZ}^3;$

Инструмент зажат: $(\overline{Y251} \cdot SQ254 \cdot \overline{M6}) \cdot KZ;$

Отпускание: $(Y251 \cdot \overline{SQ254} \cdot M6 \ll - \gg) \cdot Y6 \cdot \overline{KZ};$

¹ M6«+», M6«-» направление вращения привода M6 (KM9 \oplus KM10)

² Y6 = $\overline{M1}$ – тормоз шпинделя (KM1 \oplus KM2);

³ KZ = $\overline{SQ254} + (SQ253 \cdot KZ);$

*SQ254 срабатывает с некоторой задержкой t

Рис. 7. Алгоритм работы механизма зажима инструмента (упрощенно) [10]

Таким образом, были воссозданы все исходные функции оригинальной системы управления: подачи по осям, вращение и остановка шпинделя, зажим/разжим инструмента, ручной режим и автоматические циклы. Получившийся полный алгоритм работы (рис. 7) достаточно сложен и содержит более 300 логических выражений. В конечной программе проработаны все «внештатные» ситуации, обеспечивающие его надежную и бесперебойную работу, особое внимание уделено функциям безопасности («защита от дурака», защита оборудования от ненормированных режимов работы). Наиболее «ответственные» части реализованы (либо дополнительно продублированы) аппаратно, с помощью электромеханики (релейная логика).

В качестве основы для системы управления выбран максимально простой по функционалу программируемый контроллер, поддерживающий модули расширения входов – выходов [11]. Вся система управления представляет собой небольшой электрический шкаф, габаритные размеры которого позволяют закрепить его сбоку станка. Однако по причине вышеописанных проблем с документацией интеграция новой системы управления со станком сопряжена с рядом сложностей и некоторыми трудозатратами (большой объем электромонтажных работ).

Литература

1. Электроавтоматика станков / О. П. Михайлов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1974. – 184 с.
2. Numerik ps2000/1. – URL: <https://www.stanoks.net/forum/viewtopic.php?f=71&t=1863> (дата обращения: 10.08.2021). – Текст : электронный.
3. Ремонт стойки PS2000/1. – URL: <https://www.chipmaker.ru/topic/109493/?page=5> (дата обращения: 10.03.2021). – Текст : электронный.
4. ГОСТ 21573-76. Государственный стандарт СССР. Муфты электромагнитные многодисковые с магнитопроводящими дисками. Основные параметры и размеры : введен 1979-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 16 с.
5. Кучер, А. М. Металлорежущие станки. Альбом общих видов, кинематических схем и узлов / А. М. Кучер, М. М. Киватицкий, А. А. Покровский. – Москва : Машиностроение, 1972. – 307 с.
6. Яблонский, С. В. Функции алгебры логики и классы Поста / С. В. Яблонский, Г. П. Гаврилов, В. Б. Кудрявцев. – Москва : Наука, 1966. – 120 с.
7. Агарева, О. Ю. Математическая логика и теория алгоритмов / О. Ю. Агарева, Ю. В. Селиванов. – Москва : МАТИ, 2011. – 80 с.
8. Петров, И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
9. Шальто, А. А. Логическое управление. Методы аппаратной и программой реализации алгоритмов / А. А. Шальто. – Санкт-Петербург : Наука, 2000. – 780 с.
10. Приводы зажима EDU – руководство по обслуживанию (отсканированный документ). – URL: <https://www.chipmaker.ru/files/file/10031/> (дата обращения: 15.08.2021). – Текст : электронный.
11. Шишов, О. В. Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации / О. В. Шишов. – Москва : Инфра-М, 2016. – 365 с.

R.S. Sarazov

Moscow Aviation Institute (National Research University)

DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR METALWORKING EQUIPMENT RESTORATION

The article discusses the issues of creating an automated control system for metal-cutting equipment (vertical cantilever milling machine, Heckert FS). The operating modes are determined, a set of documentation for the control system cabinet is developed, an algorithm for the applied programmable controller is compiled. The described machine was completely restored and put into operation, and the applied solution was later adapted for the possibility of restoring other machines of this family.

Process automation, algorithmization, mathematical logic, control system, programmable controllers, industrial automation, mechanical engineering, Heckert FSS.