

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Разработка системы оптимального управления электроприводами шпинделей и
электроавтоматики металлообрабатывающего центра «Shtarragg»
тема

Руководитель	_____	доцент, к.т.н.	<u>Е.Я. Глушкин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>К.А.Белякин</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>И. А. Кычакова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка системы оптимального управления электроприводами шпинделей и электроавтоматики металлообрабатывающего центра «Shtarragg»» содержит 50 страниц текстового документа, 16 рисунков, 5 таблиц, 19 использованных источника, 3 листа графического материала.

УСТРОЙСТВО ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ПРОГРАММА ЛОГИКИ, ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ШПИНДЕЛЬ

Объектом исследования является металлообрабатывающий центр «Shtarragg»

Цель работы заключается в разработке системы оптимального управления электроприводами шпинделей и электроавтоматикой станка.

Научная новизна – использование современной системы ЧПУ и технических новшеств в процессе разработки системы управления электроприводами шпинделей.

В процессе исследования проводились: графическое моделирование в системе MATLAB при помощи пакета Simulink, разработка программы логики и подбор оборудования для станка.

Практическая значимость работы – изготовленная система цифрового управления с использованием УЧПУ позволила увеличить кол-во изготавливаемой продукции, способствовала снижению брака, добавила возможность быстрого изготовления деталей сложной формы.

После тестирования и отладки программы система оптимального управления электроприводами шпинделей и электроавтоматикой металлообрабатывающего станка «Shtarragg» внедрена на предприятии «Абакан–Пласт».

Область применения – работа может быть предложена как рекомендация к модернизации технического оборудования на предприятиях.

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты:

- разработана система оптимального управления электроприводами шпинделей и электроавтоматикой станка.

ABSTRACT

The final qualification work on the topic "Development of a system for optimal control of electric drives of spindles and electrical automation of the metalworking center" Shtarragg "" contains 46 pages of a text document, 16 figures, 3 tables, 22 used sources, 3 sheets of graphic material.

NUMERIC PROGRAM CONTROL DEVICE, FREQUENCY INVERTER, LOGIC PROGRAM, OPTIMAL CONTROL SYSTEM, SPINDLE

The object of the study is the Shtarragg metalworking center

The purpose of the work is to develop a system for optimal control of electric drives of spindles and electroautomatics of the machine.

Scientific novelty – the use of a modern CNC system and technical innovations in the development of a control system for electric drives of spindles. In the course of the research, the following were carried out: graphic modeling in the MATLAB system using the Simulink package, the development of a logic program and the selection of equipment for the machine.

The practical significance of the work – the manufactured digital control system using the CNC system allowed to increase the number of manufactured products, helped to reduce scrap, added the ability to quickly manufacture parts of complex shapes.

After testing and debugging the program, the system of optimal control of electric drives of spindles and electric automatics of the Shtarragg metal-working machine was implemented at the Abakan-Plast enterprise.

Scope – the work can be offered as a recommendation for the modernization of technical equipment at enterprises.

In the process of performing the work, the following results were obtained:
– developed a system for optimal control of electric drives of spindles and electric automatics of the machine.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Общие сведения о станках с ЧПУ	7
2 Назначение и характеристики универсального копировального–фрезерного станка «Shtarragg»	9
3 Разработка системы оптимального управления электроприводами и электроавтоматикой станка.....	11
3.1 Оптимальные системы управления.....	11
3.1.1 Критерий максимального быстродействия	12
3.1.2 Критерий качества переходного процесса	12
3.1.3 Критерий аналитического конструирования регулятора	13
3.2 Расчет мощности двигателя станка.....	14
3.2.1 Расчет мощности двигателей шпинделей станка	18
3.3 Выбор преобразователя частоты	22
4 Моделирование системы частотный преобразователь–асинхронный двигатель в среде Matlab	26
5 Программирование УЧПУ	30
5.1 Структурная схема УЧПУ NC–210	30
5.2 Конструкция УЧПУ	32
5.3 Программное обеспечение УЧПУ	36
5.4 Программа логики станка.....	37
5.5 Входные и выходные сигналы станка.....	40
5.6 Ввод программы в память и ее компиляция	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире научно–технический прогресс не стоит на месте, именно поэтому модернизация станков и разработка программного обеспечения для них является приоритетными задачами развития современной промышленности.

Применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяет значительно повысить производительность и автоматизировать производство, а также качество выпускаемой продукции. Благодаря внедрению вычислительной техники стала возможной высокоточная и высокоскоростная обработка сложных деталей, особенно в условиях мелко и среднесерийного производства.

Оснащение станков устройствами ЧПУ позволяет увеличить производительность труда, автоматизирует технологический процесс, улучшит качество производимой продукции, а также уменьшит время обработки деталей.

Объектом исследования в данной работе является модернизация вертикально–фрезерного станка «Shtarragg» под современную высокоэффективную технологию механической обработки.

Цель работы – разработка системы автоматического цифрового управления электроприводами шпинделей и электроавтоматикой двух–шпиндельного универсального копировально–фрезерного станка «Shtarragg» швейцарской фирмы «Shtarragg AG»

В процессе работы была разработана и изготовлена система цифрового управления электроприводами шпинделей и электроавтоматики вертикально–фрезерного станка «Shtarragg» путем изготовления нового шкафа управления, разработки программ электроавтоматики станка для УЧПУ NC–210 компании «Балт–Систем».

1 Общие сведения о станках с ЧПУ

Числовое программное управление – область техники, связанная с применением цифровых вычислительных устройств для управления производственными процессами

Аббревиатура ЧПУ соответствует двум англоязычным словам – NC и CNC:

Системы типа NC (Numerical control), предусматривали использование жестко заданных схем управления обработкой. Программа задавалась с помощью штекеров или переключателей, хранились программы на внешних носителях. Информация по управляющим процессам не записывалась в устройства оперативного хранения данных.

Системы типа CNC (Computer numerical control), основаны на системе управления, использующей микроконтроллер или компьютер. Не допускают изменение управляющей программы в процессе работы

Основное преимущество станков с ЧПУ – возможность увеличить производительность труда, автоматизировать технологический процесс, улучшить качество производимой продукции, а также уменьшит время обработки деталей по сравнению с другими формами металлообрабатывающего оборудования.

Станки с ЧПУ в основном используются для работ, оправданных техническим назначением станка, размерами фрез сверл, резцов.

Одна из основных особенностей заготовок на станках с ЧПУ – полуавтоматический цикл обработки деталей (совокупность движений рабочих органов станка, которые повторяются при обработке каждой заготовки). Станки с ЧПУ относятся к полуавтоматам, так как все движения цикла автоматизированы, а загрузка обычно ручная.

По технологическому назначению системы ЧПУ делятся на позиционные, контурные, комбинированные.

Позиционные системы ЧПУ обеспечивают высокоточное перемещение

исполнительного органа станка в заданную программой позицию за минимальное время. Системы используют для автоматизации сверлильных, координатно-сверлильных, координатно-расточных станков.

Контурные системы ЧПУ обеспечивают не только перемещение по каждой координате, но и закон перемещения (перемещения по осям функционально связаны друг с другом. Системы используют для автоматизации токарных, фрезерных и расточных станков станков.

Комбинированные системы ЧПУ сочетают в себе свойства позиционных и контурных устройств. Применяются для управления многоцелевых станков или обрабатывающих центров.

2 Назначение и характеристики универсального копировально–фрезерного станка «Shtarragg»

Универсальный копировально–фрезерный двухшпиндельный станок «Shtarragg» предназначен для широкого спектра металлообрабатывающих операций по мягким и твердым сплавам металлов и полимеров методом фрезерования пары заготовок по имеющемуся копиру, либо по заданной в ЧПУ программе, либо в ручном режиме.

Копировально–фрезерные станки предназначены для обработки заготовок с сложной формой поверхности.

Фрезерные станки обрабатывают детали фрезой при поступательном перемещении заготовки. Процесс обработки материала происходит с помощью фрезы которая крепится на шпиндель.

В двухшпиндельных станках обработка детали ведется как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Достигается это за счет применения второго мотора (шпинделя). Причем горизонтальная головка станков имеет способность перемещаться лишь в горизонтальной оси.

Консольный стол, вертикальные и продольные салазки выполняют на стойке продольное перемещение. Салазки оборудованы направляющими для поперечного движения обоих хоботов, к которым привинчены коробки скоростей (картеры) шпинделей. На правом картере смонтирован рычаг копирного щупа с установочными элементами для копирной головки.

Направляющие планки для консольного стола выполнены из стали. Рабочие поверхности стола имеют скользящие покрытия и оснащены автоматической импульсной смазкой. Продольные направляющие планки соединены со станиной методом литья. Компенсация нагрузки на опорные поверхности салазок выполняется гидростатически, причем удержание контропоры осуществляется с помощью колодок на роликах,двигающихся на закаленных стальных шинах. Остальные направляющие поверхности салазок имеют покрытия скольжения и импульсную смазку. Такая же система

используется и для направляющей у хоботов.

Электрический шкаф включает в себя электрическое и электронное управление двигателями, а также коммутирующие функции. Пульт управления размещается на консольном столе.

3 Разработка системы оптимального управления электроприводами и электроавтоматикой станка

3.1 Оптимальные системы управления

Оптимальная система – это такая система автоматического управления, которая обеспечивает наилучшее (оптимальное) с некоторой точки зрения функционирование управляемого объекта. Его характеристики и внешние возмущающие воздействия могут изменяться непредвиденным образом, но, как правило, при определённых ограничениях. Наилучшее функционирование системы управления характеризуется критерием оптимального, который представляет собой величину, определяющую эффективность достижения цели управления и зависящую от изменения во времени или в пространстве координат и параметров системы.

Оптимальное управление – это один из основных разделов технической кибернетики. Рассмотрим некоторые особенности оптимального управления электромеханическими системами, которые базируются на использовании прямых методов вариационного исчисления, например, метод множителей Лагранжа, и косвенных – принцип максимума Л.С. Понтрягина, метод динамического программирования Р. Беллмана и на модификации этих косвенных методов [1].

Силовую электрическую часть электромеханической системы строят по одной из следующих систем: генератор–двигатель (Г–Д), тиристорный преобразователь–двигатель (ТП–Д), преобразователь частоты–двигатель (ПЧ–Д). Пренебрегая инерционностью тиристорного преобразователя, две последние конкурентоспособные системы (при определенных допущениях) могут быть описаны одинаково.

3.1.1 Критерий максимального быстродействия

Если функция $F(x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_n; r_1, \dots, r_n \frac{l}{s \cdot n}) = 1$, то критерий оптимальности в виде минимизации функционала

$$J_1 = \int_{t_0}^{t_1} 1 dt = t_1 - t_0 = T_{min}.$$

является критерием максимального быстродействия. Он означает, что система переводится из начального положения x_0 в конечное положение x_k за минимально возможное время.

На базе этого критерия построены многие системы: оптимальные по быстродействию приводы прокатных станов, металлорежущих станков, механизмов передвижения. Данная теория широко освещается в литературе, и результаты ее могут быть применены к другим критериям.

Недостаток этого критерия: система, оптимальная по быстродействию, будет давать отличные результаты только при управляющем воздействии.

3.1.2 Критерий качества переходного процесса

Обозначим за x отклонение выходной координаты от установившегося значения. Алгоритм управления должен быть построен таким образом, чтобы площадь под кривой x^2 была минимальной. Для уменьшения колебаний необходимо минимизировать и квадратичные отклонения от производной выходной координаты.

Критерий качества переходного процесса

$$J_2 = \int_{t_0}^{t_1} (x^2 - x^{2'}) dt.$$

Физический смысл: алгоритм управления должен быть таким, чтобы

запрещались не только квадратичные отклонения выходной величины, но и ее производной. В результате переходный процесс будет наименее возможно колебательным. При минимизации этого критерия работают системы подчиненного регулирования.

Недостатком критерия является ограниченность его применения только при управляющем воздействии (пускотормозные режимы и режим реверса).

3.1.3 Критерий аналитического конструирования регулятора

В общем виде критерий оптимальности

$$J_3 = \int_{t_0}^{t_1} (k_i^x x_i^2 + k_i^u u_i^2) dt.$$

Физический смысл: алгоритм управления должен быть построен таким образом, чтобы обеспечивался минимум квадратичных отклонений всех координат при минимальном расходе энергии управления.

Этот критерий наиболее подходит для решения космических задач, где необходимо свести к минимуму отклонение всех координат: притяжение Земли, притяжение со стороны других планет и т. д. при минимальном расходе топлива.

Для электромеханических систем этот критерий не совсем подходит, так как при управляющем воздействии (пуск, реверс, торможение) необходимо, чтобы минимальным было квадратичное отклонение скорости, причем требование одновременно минимального отклонения тока не только не нужно, но и вредно.

Следовательно, при управляющем воздействии необходим такой алгоритм управления, который минимизировал бы функционал

$$J_4 = \int_{t_0}^{t_1} (x_2^2 + u_1^2) dt.$$

При возмущающем воздействии необходим такой алгоритм управления, который минимизировал бы функционал

$$J_5 = \int_{t_0}^{t_1} (x_3^2 + u_2^2) dt.$$

При возмущающем воздействии необходимо, чтобы алгоритм управления был таким, при котором квадратичные отклонения усилия минимальны, причем практически безразлично, как будет вести себя скорость. Это особенно важно, например, для электромеханических систем, где режимы стопорения являются рабочими. Желательно использовать устройство, которое осуществляет переключение с алгоритма, построенного по критерию J_4 , на алгоритм, построенный по критерию J_5 .

Ценность критерия аналитического регулирования регуляторов заключается в том, что алгоритм управления получается в виде линейной функции от координат системы. Алгоритм управления определяется на основании математических методов оптимального управления. Система управления называется оптимальной в смысле выбранного критерия оптимальности, например, оптимальная по быстродействию система.

3.2 Расчет мощности двигателя станка

Для корректного подбора электродвигателя необходимо произвести расчет мощности электроприводов. При завышенной мощности происходит ухудшение коэффициентов активной мощности, а также к увеличению потерь в электроприводе. При заниженной мощности происходит увеличение нагрузки на двигатель, и как следствие быстрый износ оборудования. Следовательно, основная задача при определении мощности двигателей сводится к обеспечению высокой производительности станка при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

При расчете мощности электродвигателя с регулированием скорости необходимо учитывать механическую характеристику механизма.

Для механизма главного движения, где осуществляется двухзонное регулирование скорости: с постоянным моментом и постоянной мощностью, мощность электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$P = M_{\text{макс}} \cdot \omega_n,$$

где $M_{\text{макс}}$ – максимальное сопротивление при продолжительной нагрузке и максимальное эквивалентное сопротивление при повторно–кратковременной нагрузке; ω_n – максимальная скорость при регулировании с постоянным моментом (при номинальном потоке).

Для привода подач мощность определяется, исходя из максимального эквивалентного момента и максимальной скорости. При большом диапазоне регулирования скорости целесообразно применять электродвигатели с независимой вентиляцией или закрытого типа. При применении электродвигателя с самовентиляцией необходимо учитывать ухудшение его охлаждения на малых скоростях.

Для нерегулируемых двигателей, как правило, работающих в режиме S6 (если цикл не превышает 10 мин) расчет мощности осуществляется следующим образом.

Мощность электродвигателя для каждой операции определяется по формуле:

$$P_i = \frac{P_{zi}}{\eta},$$

где P_{zi} , η – мощность резания и КПД станка соответственно.

КПД в зависимости от нагрузки определяется, исходя из потерь мощности, принимая за основу выражение:

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{HZ} + \beta \cdot P_{ZI},$$

где P_{HZ} – номинальная мощность резания; α и β – коэффициенты постоянных и переменных потерь.

С учетом коэффициент загрузки

$$K = \frac{P_{zi}}{P_{HZ}},$$

$$\Delta P = P_{ZI} \cdot \left(\frac{\alpha}{K} + \beta \right),$$

Коэффициент полезного действия станка

$$\eta = \frac{P_{zi}}{P_{zi} + \Delta P},$$

Для случая $K=1$

$$\eta = \frac{1}{1 + \alpha + \beta},$$

Разделение потерь для определения КПД при любой нагрузке дает

$$\alpha + \beta = \frac{1 - \eta}{\eta},$$

Ориентировочно для практических расчетов принимается

$$\alpha = 0,6 \cdot (\alpha + \beta),$$

$$\beta = 0,4 \cdot (\alpha + \beta),$$

Для приводов главного движения токарных, фрезерных, сверлильных станков КПД при постоянной нагрузке составляет 0,7...0,8, для шлифовальных станков 0,8...0,9. Мощность электродвигателя при холостом ходе станка определяется по формуле:

$$P_0 = \alpha \cdot P_{ZI},$$

Продолжительность операции для каждого перехода определяется по формуле:

$$t_i = \frac{l}{S \cdot n},$$

где l – длина перехода, мм; S – подача, мм/об; n – скорость вращения шпинделя, об/мин.

Время на установку и снятие детали принимается равным 1–3 мин. По расчетной мощности и времени для каждой операции строится нагрузочная диаграмма и определяется эквивалентная мощность.

При применении электропривода с регулированием скорости при выборе двигателя по мощности берется наиболее тяжелый режим работы, как по нагрузке, так и по частоте включений в час.

Предварительный выбор электродвигателя в этом случае производят по эквивалентному моменту с учетом коэффициента запаса на динамику в пределах $K_d=1,1-1,5$ и наиболее вероятной продолжительности включения.

$$M_{\text{эк}} = K_d \cdot \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{i=m} (M_t^2 \cdot t_i) \cdot \text{ПВ}_p}{\sum_{t=1}^{i=m} (\beta_{iii}^2 \cdot t_i) \cdot \text{ПВ}_{\text{ст}}}},$$

где β_i – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения электродвигателя на i -м интервале при снижении скорости ниже номинальной;

$$\beta_i = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_i}{\omega_n},$$

β_0 – коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном якоре; ПВ_p , $\text{ПВ}_{\text{ст}}$ – расчетное и стандартное значение продолжительности включения.

Мощность двигателя определяется из формулы

$$P = M_{\text{э}} \cdot \omega_{\text{ном}}$$

Затем производится проверка на перегрузочную способность и на нагрев с учетом реального момента инерции двигателя, заготовки и механических частей станка.

3.2.1 Расчет мощности двигателей шпинделей станка

Мощность и частота вращения двигателя металлорежущих станков зависят от скорости и режимов резания. Скорость резания зависит от свойств обрабатываемого материала, вида обработки, материала резца и определяется по формуле [20]:

$$v_z = \frac{c_v \cdot d}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^k \cdot Z^n}, \quad (3.1)$$

где C_v – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала и фрезы.

d – диаметр фрезы, мм; T – стойкость фрезы (продолжительность работы до затупления), мин; t – глубина фрезерования, мм; S – подача, мм на зуб; B – ширина фрезерования, мм; Z – число зубьев фрезы;

m, x, y, k, n – показатели степеней, характеризующие вид обработки. Выбираются из справочников по режимам резания.

Усилие резания зависит от режимов резания и определяется по формуле [20]:

$$F_z = 9,81 \cdot C_F \cdot t^x \cdot S^y \cdot Z \cdot d, \quad (3.2)$$

где C_F – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала и фрезы; u, x – показатели степеней, характеризующие вид

обработки.

По значениям скорости резания и усилия резания определяют мощность резания по формуле [20]:

$$P_z = \frac{F_z \cdot v_z}{60 \cdot 1000}, \quad (3.3)$$

Мощность двигателя фрезерных станков зависит от мощности резания и определяется по формуле [20]:

$$P_{дв} = \frac{P_z}{\eta_{ст}}, \quad (3.4)$$

где $\eta_{ст}$ – КПД станка, принимается равным $\eta_{ст}=0,75 \dots 0,8$.

По найденному значению скорости резания определяется частота вращения двигателя [20]:

$$n_{2расч} = \frac{1000 \cdot v_z}{\pi \cdot d}, \quad (3.5)$$

Исходя из расчетных значений мощности и частоты вращения двигателя, выбирается двигатель стандартной мощности [20]:

$$P_{ст. дв} \geq P_{расч. дв}, \quad (3.6)$$

$$n_{2.ст. дв} \geq n_{2.расч. дв}, \quad (3.7)$$

Согласно формулам (3.1–3.7) произведем расчет мощности двигателей фрезерного станка:

$$v_{z1} = \frac{43 \cdot 8}{60^{0,25} \cdot 5^{0,6} \cdot 0,4^{0,5} \cdot 60^{0,3} \cdot 4^{0,3}} = 14,03 \text{ (м/мин)},$$

$$F_{z1} = 9,81 \cdot 22,5 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,4^{0,7} \cdot 4 \cdot 8 = 15831 \text{ (Н)},$$

$$P_{z1} = \frac{15831 \cdot 14,03}{(60 \cdot 1000)} = 3,7 \text{ (кВт)},$$

$$P_{дв1} = \frac{3,7}{0,8} = 4,627 \text{ (кВт)},$$

$$n_{2расч1} = \frac{1000 \cdot 14,03}{3,14 \cdot 8} = 558 \text{ (об/мин)}.$$

$$v_{z2} = \frac{43 \cdot 8}{60^{0,25} \cdot 5^{0,6} \cdot 0,4^{0,5} \cdot 20^{0,3} \cdot 4^{0,3}} = 10 \text{ (м/мин)},$$

$$F_{z2} = 9,81 \cdot 22,5 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,4^{0,7} \cdot 4 \cdot 4 = 7,915 \text{ (Н)},$$

$$P_{z2} = \frac{15831 \cdot 14,03}{(60 \cdot 1000)} = 1,32 \text{ (кВт)},$$

$$P_{дв2} = \frac{3,7}{0,8} = 1,64 \text{ (кВт)},$$

$$n_{2расч2} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot 4} = 796 \text{ (об/мин)}.$$

Для привода двигателя шпинделя, как правило, выбирают односкоростные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

По результатам расчета по каталогу выбирали электродвигатели шпинделя, номинальная мощность которых P_n не менее расчетной $P_{дв}$.

Выбираем асинхронный электродвигатель АИР132М8 со следующими характеристиками:

Таблица 3.1 – Технические характеристики электродвигателя АИР132М8

Мощность, кВт	5,5
Номинальная частота вращения, об/мин	700
Номинальный ток при напряжении 220/380В, А	23,9 / 13,9
Номинальный крутящий момент, Н*м	75,0
КПД, %	84,0
Сos φ	0,72
Ипуск/Іном	6
Мпуск/Мном	1,8
Ммакс/Мном	2,2
Ммин/Мном	1,4
Масса, кг	62,2

Выбираем асинхронный электродвигатель АИР100L6 со следующими характеристиками:

Таблица 3.2 – Технические характеристики электродвигателя АИР100L6

Мощность, кВт	2,2
Номинальная частота вращения, об/мин	940
Номинальный ток при напряжении 220/380В, А	10,1 / 5,9

Номинальный крутящий момент, Н*м	22,4
КПД, %	77,7

Продолжение таблицы 3.2

Cos φ	0,74
Ипуск/Ином	6
Мпуск/Мном	1,9
Ммакс/Мном	2,2
Ммин/Мном	1,6
Масса, кг	27,0

3.3 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты – это устройство, которое изменяет частоту выходного сигнала под действием управляющих сигналов, при этом частота входного сигнала постоянная величина. Основой всех преобразователей частоты являются полупроводниковые элементы (транзисторы, диоды и тиристоры)

По полученным характеристикам электродвигателя производится выбор частотного преобразователя необходимого для экономии энергии при использовании оборудования, повышения эксплуатационных характеристик и предупреждении перегрузок.

Выбор частотного преобразователя производится по нескольким параметрам:

По мощности – один из основных параметров выбора. Частотный преобразователь выбирается исходя из мощности электродвигателя или его номинального рабочего тока. Выбор ПЧ необходимо осуществлять по величине тока, потребляемого двигателем от частотного преобразователя, с учетом перегрузочной способности частотного преобразователя [9]. Обычно перегрузочная способность учитывается совместно с её временем

продолжительности перегрузки. Перегрузочная способность определяет время срабатывания непосредственной защиты электропривода и указывается в процентах от номинального тока электродвигателя.

По питающему напряжению. Как правило, оборудование запитывается от трехфазной промышленной электросети напряжением 380 В. Также встречаются приводы, адаптированные для работы от однофазной сети 220/240 В.

Диапазон регулирования. В случае, когда показатели скорости вращения электродвигателя не опускаются ниже 10% от номинала, подбор преобразователя частоты не предусматривает соблюдения каких-либо специальных условий. Однако в ситуации, требующей дальнейшего снижения скорости при соблюдении номинального крутящего момента на валу, важно убедиться в том, что ПЧ сможет обеспечить работу на частотах, приближенных к нулю.

Режим торможения. Инерционное торможение по своим характеристикам схоже с отключением электродвигателя от питающей сети. Оба процесса могут занять немало времени, но, правильно подобрав преобразователь частоты и опции к нему, можно выполнить останов или торможение двигателя с переходом на более низкую скорость за короткий промежуток времени.

Способ управления электродвигателем. Существуют два основных метода частотного регулирования двигателем скалярное управление векторное управление.

Метод скалярно управления является наиболее распространенным. Применяется как правило для управления двигателей в насосных и вентиляторных агрегатах, компрессорной технике, а также механизмов, где необходимо поддерживать технологический параметр посредством датчика обратной связи. Диапазон регулирования частоты вращения при таком методе достигает 1:10.

При векторном управлении закладывается математическая модель двигателя, позволяющая рассчитать момент и скорость вращения вала.

Из полученной информации и характеристикам двигателей подбираем 2 преобразователя частоты:

1,5/2,2кВт 3х400В VECTOR–100 EKF PROxima

4/5,5кВт 3х400В VECTOR–100 EKF PROxima



Рисунок 3.1 – Преобразователь частотный 1,5/2,2 кВт



Рисунок 3.2 – Преобразователь частотный 4/5,5кВт

Общепромышленные преобразователи частоты VECTOR EKF PROxima применяются в системах автоматизации вентиляции, насосного оборудования, в системах электроприводов конвейеров, лифтов и т.д. Обеспечивают:

- плавный пуск электродвигателя;
- регулирование частоты вращения электродвигателя;
- защиту электродвигателя от перегрузок;
- уменьшение пусковых токов;

4 Моделирование системы частотный преобразователь--асинхронный двигатель в среде Matlab

Чтобы асинхронный двигатель работал с максимальным КПД, необходимо чтобы при всех значениях частоты и нагрузки выполнялось условие:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

Для решения задачи энергетической эффективности электропривода создадим программно-ориентированную модель преобразователя частоты-асинхронного двигателя в среде Matlab [6],[8] и исследуем энергетические характеристики системы.

Модель ПЧ-АД представлена на рисунке 4.1

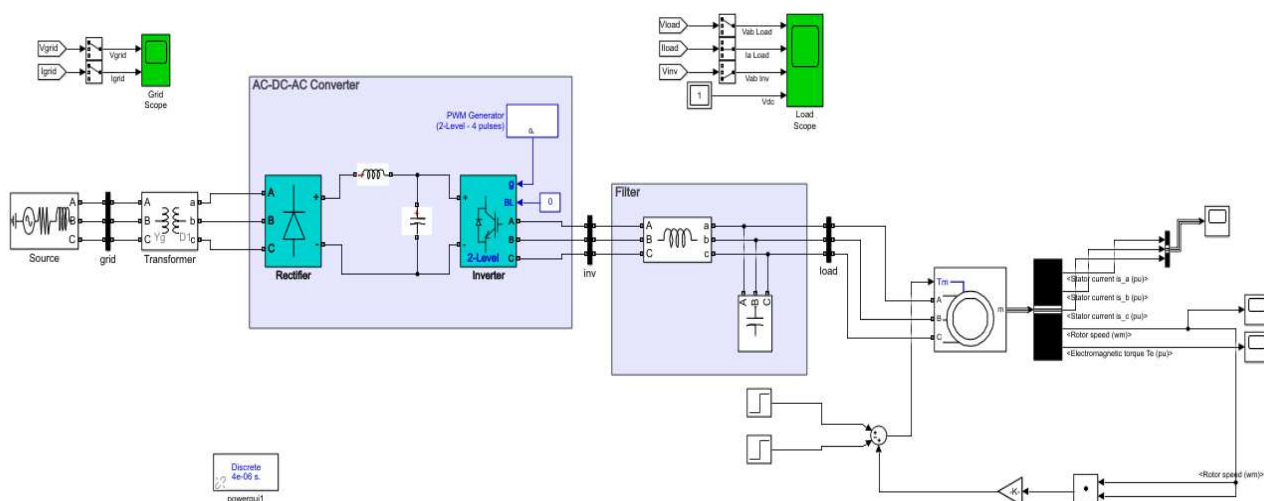


Рисунок 4.1 – Модель ПЧ-АД

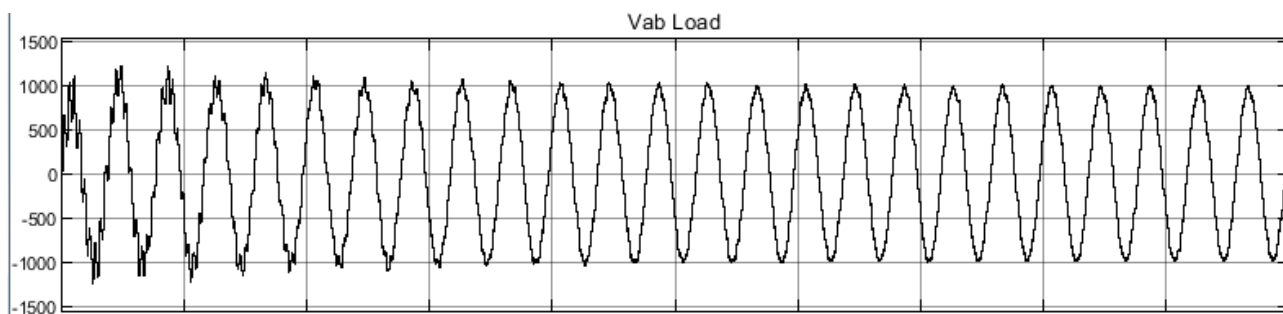


Рисунок 4.2 – Напряжение на нагрузке

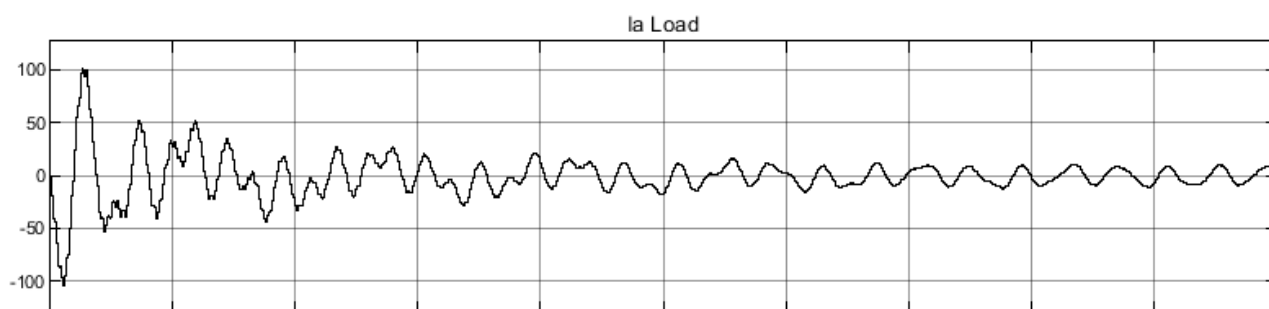


Рисунок 4.3 – Ток на нагрузке

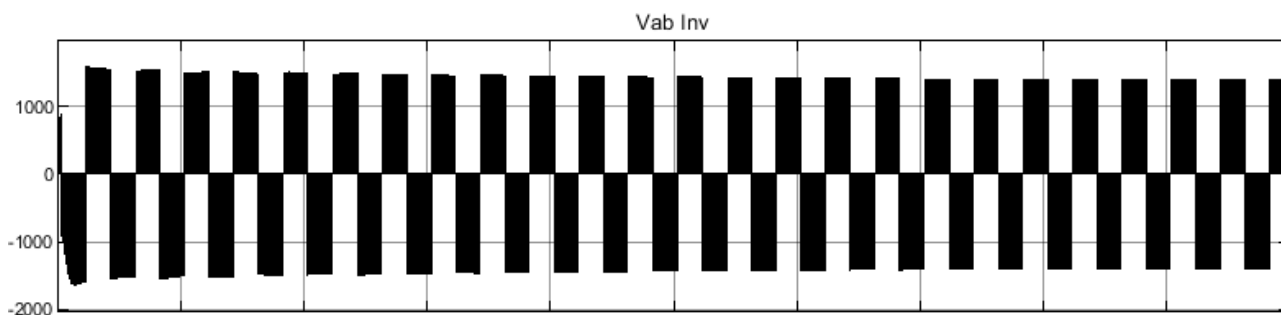


Рисунок 4.4 – Импульсное напряжение

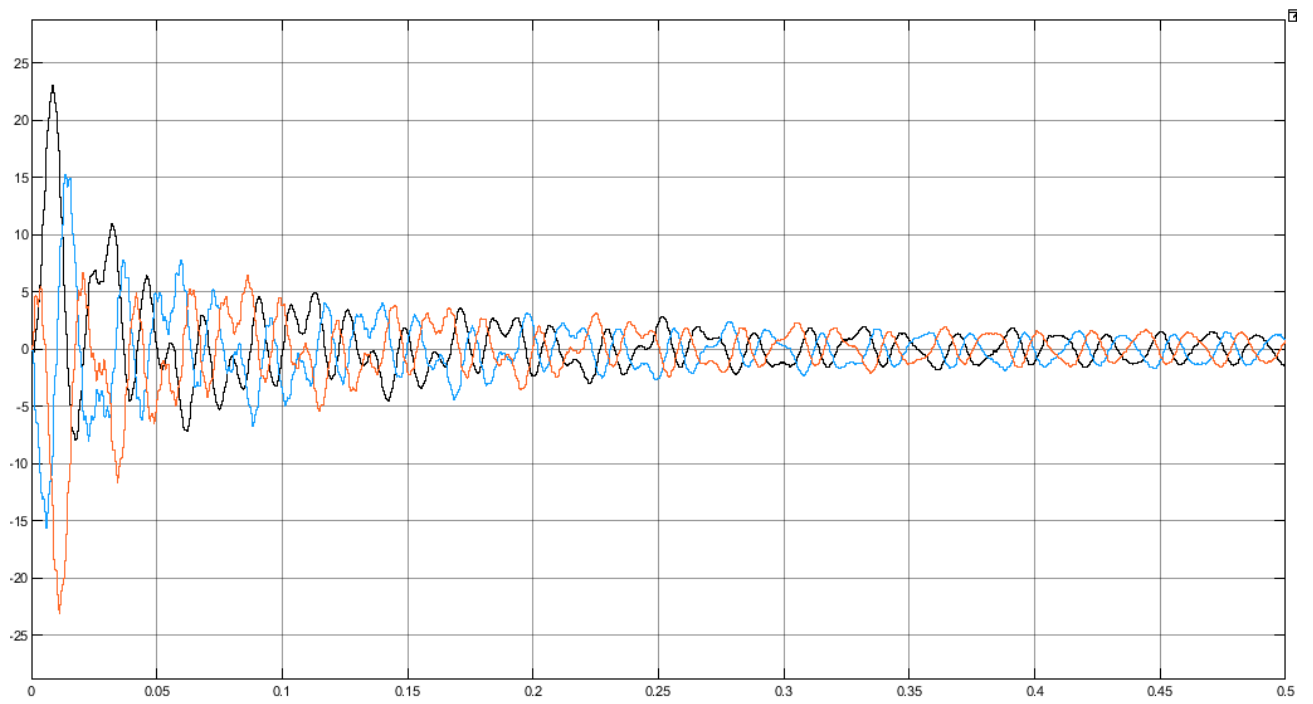


Рисунок 4.5 – Токи фаз а, b, с на статоре

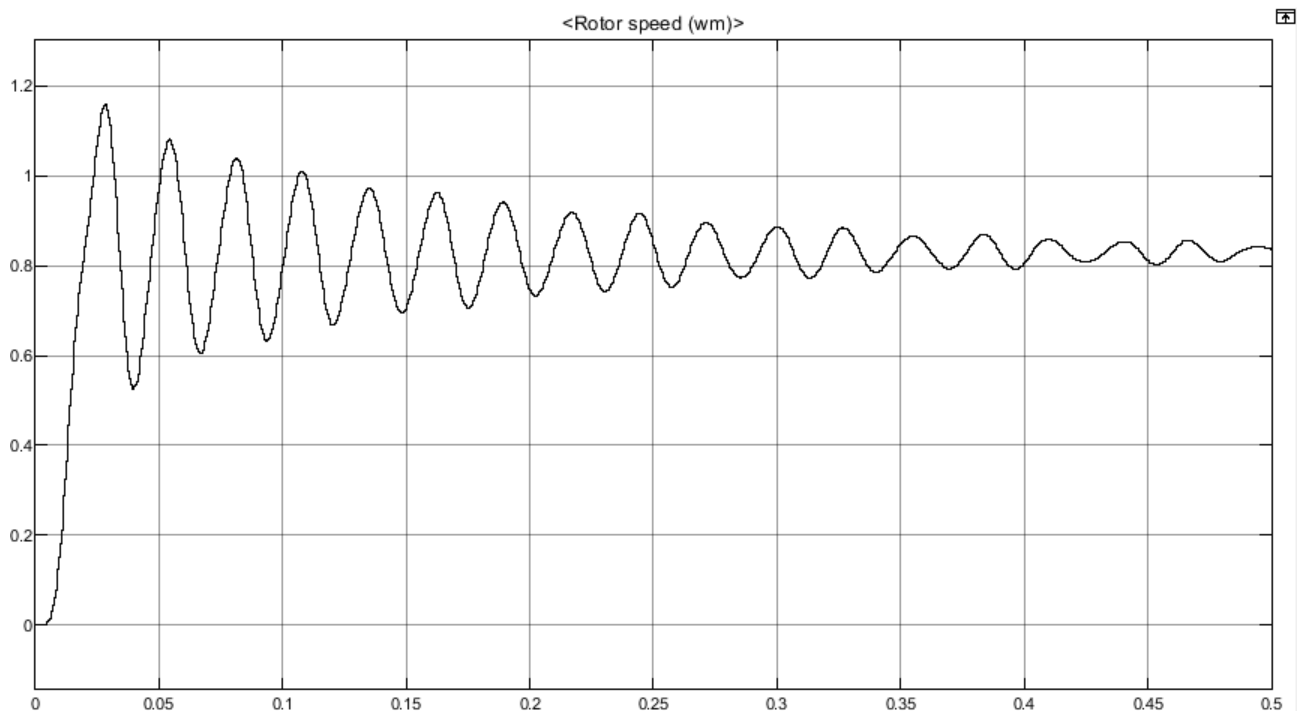


Рисунок 4.6 – Скорость ротора

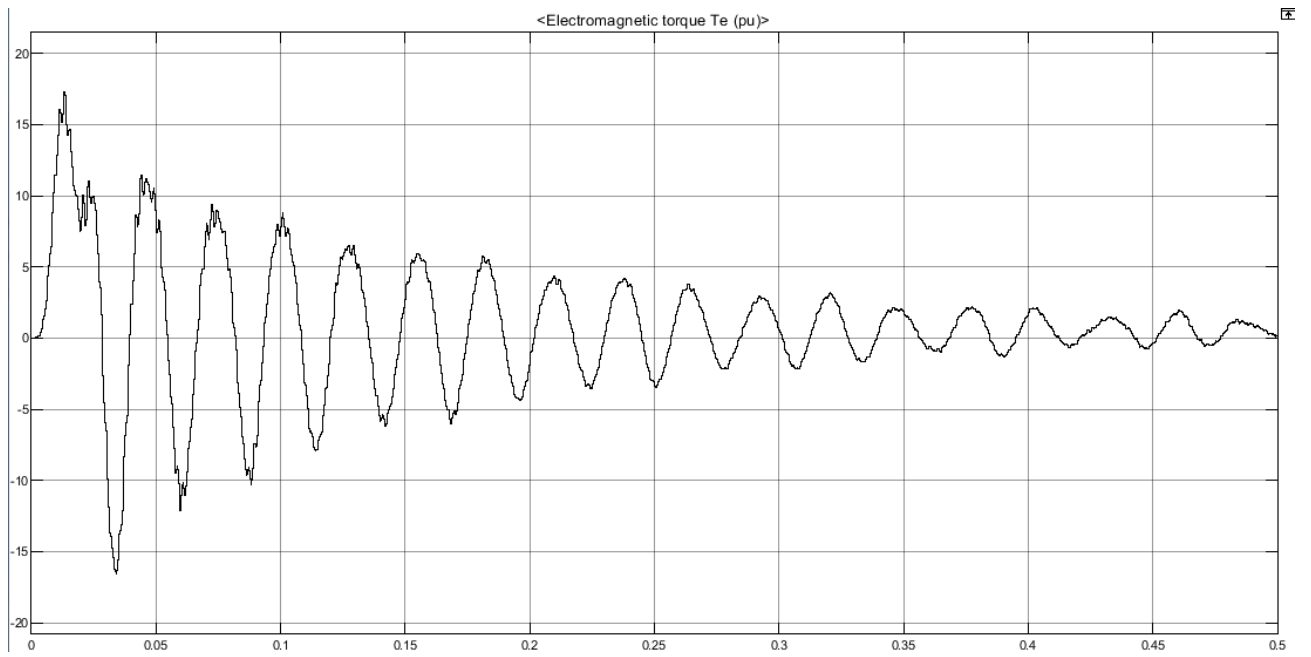


Рисунок 4.7 – Электромагнитный момент на валу

5 Программирование УЧПУ

5.1 Структурная схема УЧПУ NC–210

ЧПУ NC–210 это устройство, в котором объединены в единое целое блок управления, пульт оператора, станочный пульт и программное обеспечение [8].

УЧПУ является программно управляемым устройством, имеет аппаратную и программную части. Структурная схема УЧПУ представлена на рисунке 9.1.

БУ управляет работой УЧПУ и внешнего подключаемого оборудования. БУ включает модули CPU ECDA, I/O и модуль шины УЧПУ NC210–4. Ядром БУ является плата CPU. Взаимодействие плат CPU и ECDA в модуле CPU ECDA обеспечивают сигналы внешней локальной шины процессора ISA BUS 16. Сигналы интерфейса УЧПУ формируются в плате ECDA NC210–25, где расположен контроллер периферии, который управляет всеми каналами связи с объектом управления.

Модуль шины NC210–4 представляет собой конструктивное решение интерфейса УЧПУ. Модуль шины конструктивно и электрически объединяет периферийные модули CPU ECDA и I/O, через каналы которых осуществляется связь БУ с объектом управления, а также модуль шины обеспечивает связь БУ с ПО и БП.

Через каналы платы ECDA осуществляется управление периферийным оборудованием:

- следящими электроприводами подач и главного движения (управление по входу аналоговым напряжением +10В) с обратной связью;
- преобразователями угловых перемещений фотоэлектрического типа в качестве ДОС (напряжение питания плюс 5В, тип выходного сигнала – прямоугольные импульсы);
- электронным штурвалом фотоэлектрического типа (напряжение

питания плюс 5В, тип выходного сигнала – прямоугольные импульсы);

– датчиком касания.

По каналам входа/выхода модуль I/O обеспечивает двунаправленную связь между УЧПУ и электрооборудованием управляемого объекта. Обмен информацией происходит под управлением ПрО. Управление дополнительными устройствами ввода/вывода производится процессором CPU через интерфейсы внешних устройств: RS-232, FDD, USB, VGA, LAN, KEYBOARD&MOYSE.

БП обеспечивает УЧПУ необходимым набором питающих напряжений. Напряжение от источника питания поступает в модуль шины УЧПУ, а затем через разъёмы подаётся на составные части УЧПУ.

Связь УЧПУ с объектом управления и внешними устройствами ввода/вывода осуществляется через внешние разъёмы.

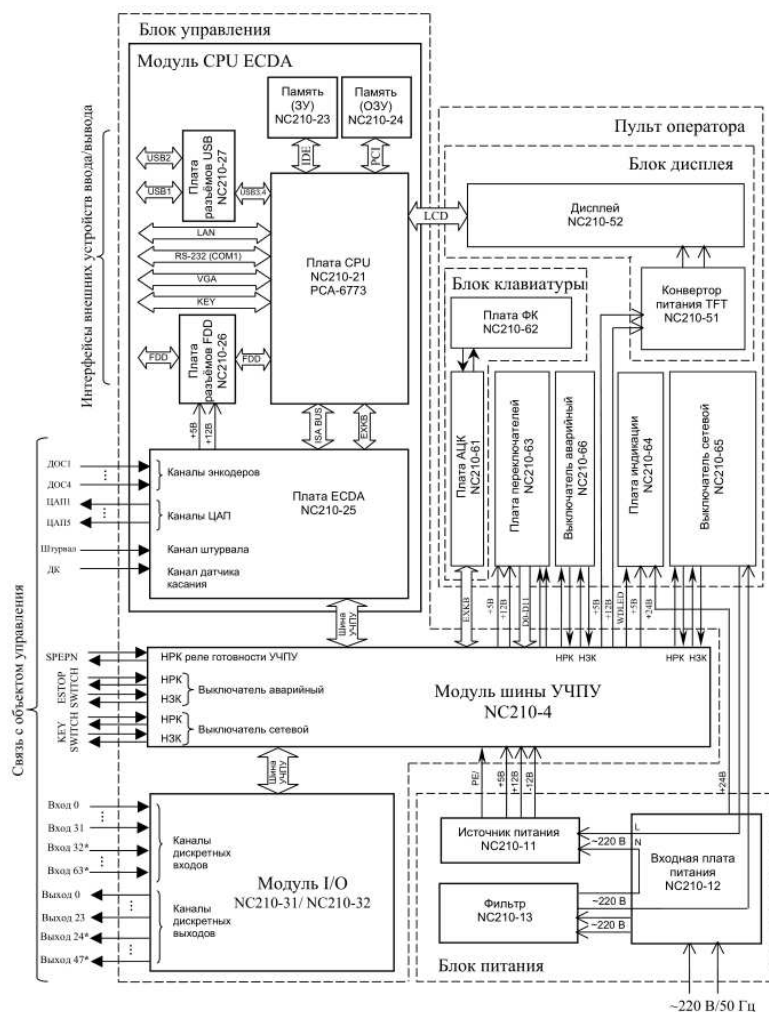


Рисунок 5.1 – Структурная схема УЧПУ NC–210

5.2 Конструкция УЧПУ

Конструктивно УЧПУ представляет собой моноблок встраиваемого исполнения, в котором соединены вместе БУ, ПО и БП. Основные габаритные и установочные размеры УЧПУ (корпус А) указаны на рисунке 5.3. Вид задней панели УЧПУ представлен на рисунке 5.5. Корпус моноблока состоит из лицевой панели и кожуха. Моноблок имеет корпус типа А. Корпус А имеет пластмассовую накладку на лицевой панели УЧПУ [2].

В корпусе А с обратной стороны лицевой панели установлены четыре винта (по 2 винта сверху и снизу) для крепления моноблока в шкаф или в оборудование объекта управления.



Рисунок 5.2 – Стойка NC–210

Основу моноблока представляет металлическая рама с двумя отсеками. В один отсек устанавливается БП, в другой – БУ. Металлические стенки рамы выполняют функцию защитного экрана. Элементы ПО устанавливаются на лицевую панель УЧПУ, которая крепится к раме винтами.

Модуль шины УЧПУ устанавливается на металлическую перегородку между отсеками БУ и БП. Модули CPU ECDA и I/O являются конструктивно законченными, имеют лицевые панели с разъёмами для подключения кабелей от управляемого оборудования. Модули устанавливаются в отсек БУ с левой стороны УЧПУ по направляющим до стыковки с разъёмами модуля шины, затем крепятся к раме винтами, установленными на лицевых панелях модулей. Лицевые панели модулей образуют панель разъёмов УЧПУ, как показано на рисунке 5.3.

Элементы ПО на лицевой панели УЧПУ разделены пластмассовой накладкой на 4 секции:

- секция дисплея;
- секция алфавитно–цифровой клавиатуры (АЦК);
- секция функциональной клавиатуры (ФК);
- секция станочной консоли (СК), на которой расположены элементы индикации, переключатели, сетевой выключатель и аварийный выключатель.

Съёмный кожух закрывает всю конструкцию, кроме лицевой панели. Крепление кожуха к раме производится винтами. Внутри кожуха на уровне БУ установлен вентилятор. На боковых стенках кожуха имеются прорези для воздуха. В нижней части внешней стороны кожуха, который образует заднюю панель УЧПУ, установлен винт заземления. Кожух имеет прорезы для доступа к разъёмам, которые выведены на заднюю панель УЧПУ.

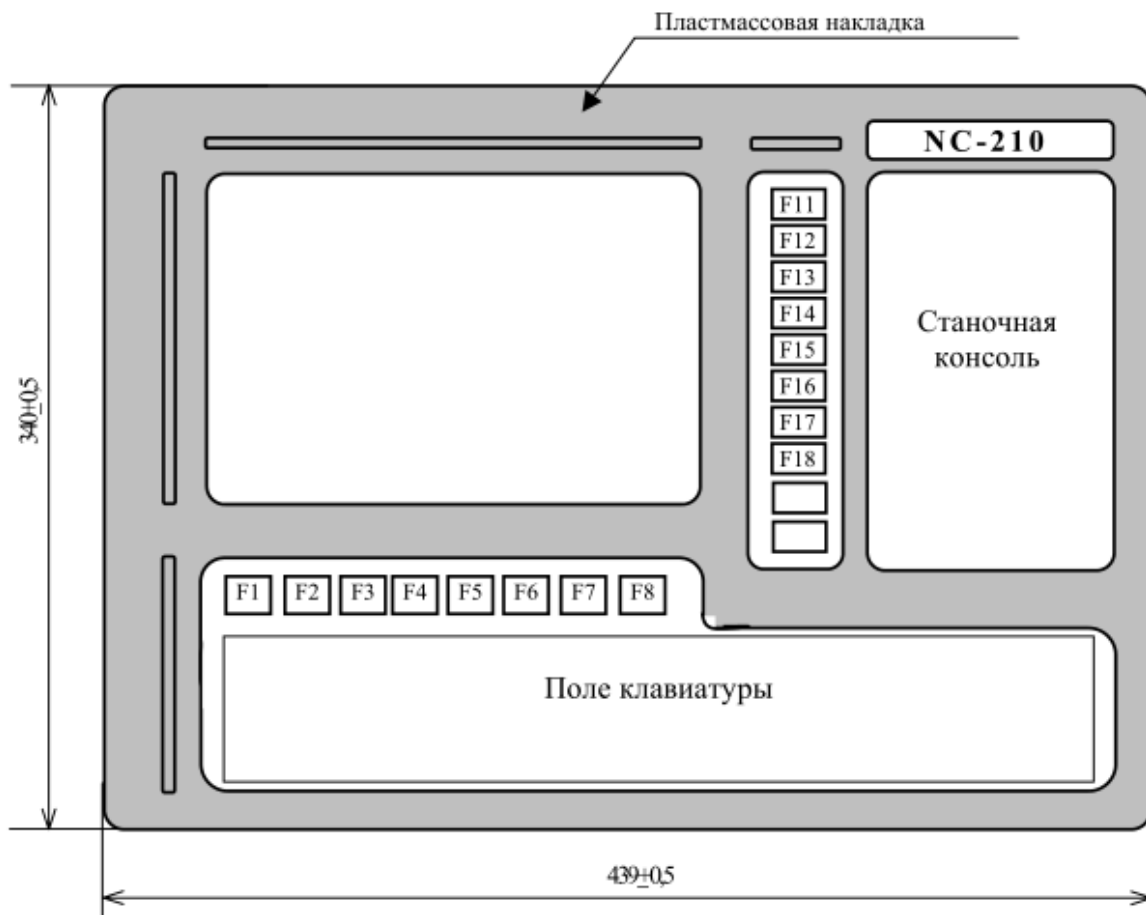


Рисунок 5.3 – Основные размеры УЧПУ NC–210, профильная проекция

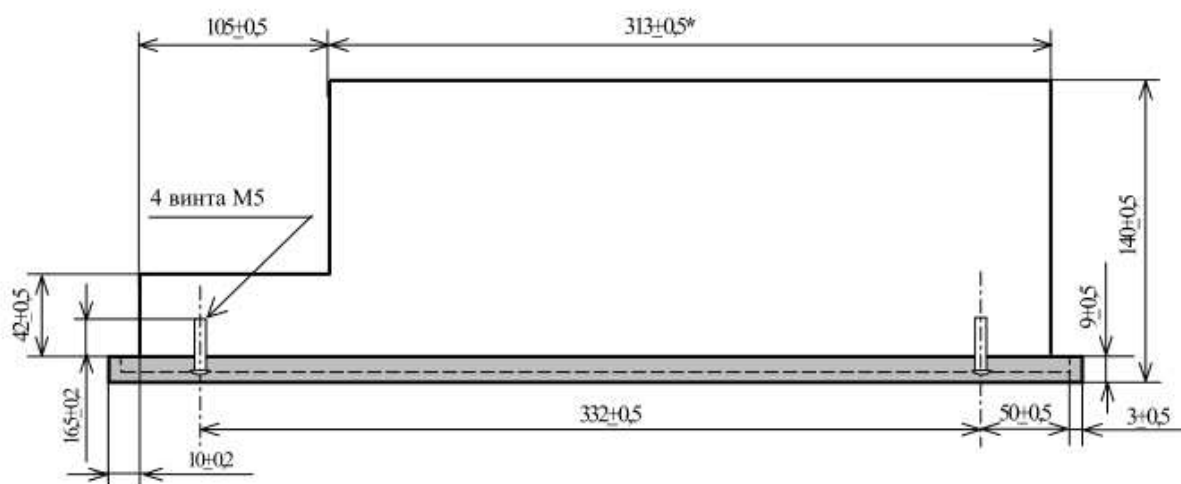


Рисунок 5.4 – Основные размеры УЧПУ NC–210, фронтальная проекция

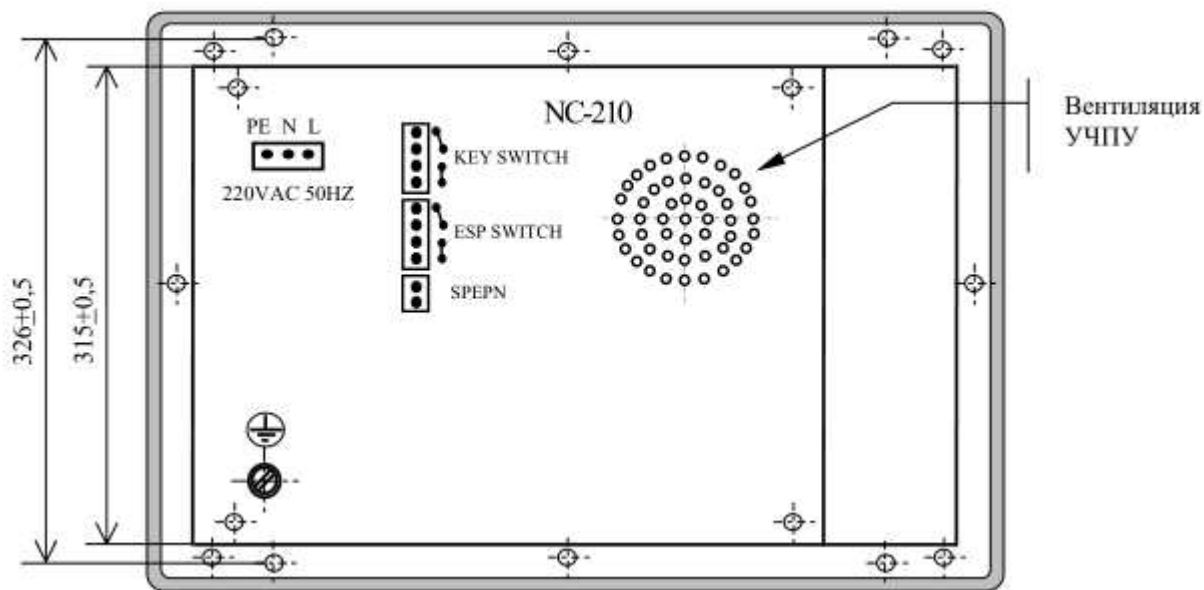


Рисунок 5.5 – Задняя панель УЧПУ NC-210

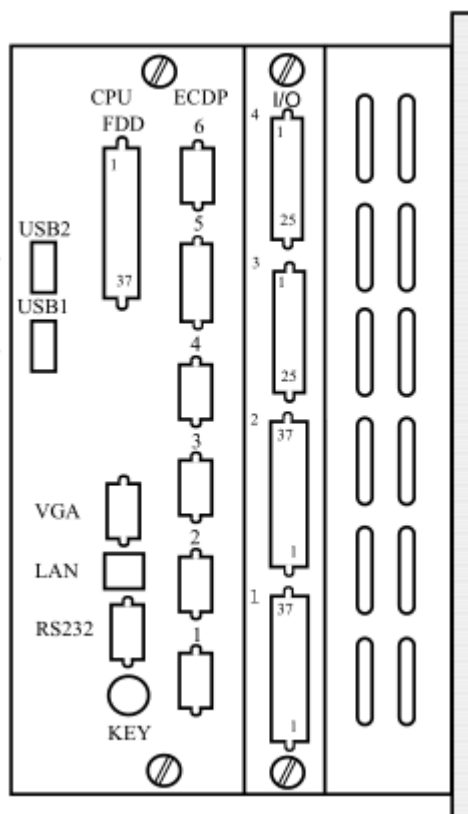


Рисунок 5.6 – Панель разъемов УЧПУ NC-210

5.3 Программное обеспечение УЧПУ

Управление оборудованием системы обеспечивает УП, которая составляется программистом–технологом. Правила и методы составления УП изложены либо в документе «Руководство программиста ТС» для токарного варианта оборудования, либо в документе «Руководство программиста МС» для фрезерного варианта. Вариант документа «Руководство программиста» подлежит согласованию с изготовителем при оформлении заказа.

Настройка УЧПУ на конкретное оборудование системы происходит в результате характеристики системы. Характеризация заключается в создании и записи файлов, содержащих параметры и характеристики аппаратных и программных модулей, которые полностью определяют конфигурацию УЧПУ конкретного пользователя. Эти файлы содержат информацию, необходимую для функционирования ПрО, управляющего работой оборудования. Создание файлов характеристики приведено в документе «Руководство по характеристике» [4].

Завершающим этапом подготовки УЧПУ к работе является создание ПЛ, которая представляет собой программу управления вспомогательными механизмами конкретного оборудования[5].

Составление ПЛ требует знания базового программного интерфейса PLC и его языка. Язык PLC является частью базового ПрО УЧПУ. Базовый интерфейс PLC является программным интерфейсом и обеспечивает выполнение протокола связи базового ПрО УЧПУ с ПЛ, причём ПЛ является персональной для каждого объекта управления.

Назначение программного интерфейса PLC:

- инициализация сигналов включения/выключения управляемого оборудования;

- выполнение протоколов обмена:

БАЗОВОЕ ПрО \Leftrightarrow ПЛ \Leftrightarrow УПРАВЛЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- обработка сигналов протокола, который определяет выполнение

различных режимов работы УЧПУ;

- обеспечение работы устройств безопасности управляемого оборудования;

- выполнение вспомогательных функций. ПЛ разрабатывается с помощью языка PLC. Описание интерфейса PLC, его языка, методы составления, отладки, компилирования и активизации ПЛ приведены в документе «Программирование интерфейса PLC».

Создание ПЛ не входит в обязанность разработчика УЧПУ. Пользователю УЧПУ предоставляется возможность самостоятельно разрабатывать ПЛ в соответствии с указанным документом.

Про УЧПУ имеет варианты исполнения. Кодирование версии Про для УЧПУ приведено в документе «Руководство по характеристике». Версия Про подлежит согласованию с изготовителем при оформлении заказа.

Базовое программное обеспечение УЧПУ до версии 3.60P имеет 16 разрядную систему, совместимую с операционной системой MS DOS.

При установке базового Про в УЧПУ производится его программная регистрация. Надёжная совместная работа аппаратных и программных средств УЧПУ возможна только с версией Про, согласованной потребителем при заказе и поставляемой с УЧПУ.

5.4 Программа логики станка

Программа логики предназначена для управления вспомогательными механизмами станка и разрабатывается на языке PLC. Она обеспечивает связь между Про УЧПУ и объектом управления [3].

ПЛ может быть введена в УЧПУ непосредственно с клавиатуры, либо загружена с имеющегося у пользователя периферийного устройства.

Ниже представлен фрагмент ПЛ станка для смены диапазона шпинделя, вращения шпинделя и остановки шпинделя «Starag»:

```

;Шпиндель
;GAMMA1
U11K16=U10K0+I0K2
;M03
U40K0=[W03K0=3]*I04K18+U40K0*/U40K1*/U40K3*/U40K5*/I00K1
;M04
U40K1=[W03K0=4]*I04K18+U40K1*/U40K0*/U40K3*/U40K5*/I00K1
;M03+M04
U40K2=U40K0+U40K1
;M05
U40K3=[W03K0=5]*I04K18+U40K3*/U40K2
;M0+M1+M2
U40K5=( [W03K0=0]+[W03K0=1]+[W03K0=2] ) * I04K18+U40K5*/U40K2
;PUSK S
U04A00=U40K2*/U40K3+U11K1+U11K2(старт привода S)
U04A11=U04A00(включение клапана поджима)
U11K3=U40K0*/U11K0*/U40K10*/U145K0(запрос на вращение
шпинделя по час. стрелке)
U11K4=U40K1*/U11K0*/U40K10*/U145K0(запрос на вращение
шпинделя против час стр.)
;FOMAA,FOMAO
;U11K1=U40K0*U40K10+(U145K0+U145K3)(принудит вращение шп по
час стрелке)
;U11K2=U40K1*U40K10+(U145K0+U145K3)(принудит вращение шп
против час стрелки)
U11K5=U11K1+U11K2(сигнал FORID)
DOF:U11K1+U11K2
W11K1=1(0,1В – напряжение на шпинделе)
ENDF
;STOP S

```

DOF:U40K3+U40K5

W11K0=0(нет сигнала управления шпинделем)

ENDF

;

;Шпиндель

;GAMMA1

U11K16=U10K0+I0K2

;M03

U40K0=[W03K0=3]*I04K18+U40K0*/U40K1*/U40K3*/U40K5*/I00K1

;M04

U40K1=[W03K0=4]*I04K18+U40K1*/U40K0*/U40K3*/U40K5*/I00K1

;M03+M04

U40K2=U40K0+U40K1

;M05

U40K3=[W03K0=5]*I04K18+U40K3*/U40K2

;M0+M1+M2

U40K5=(W03K0=0)+[W03K0=1]+[W03K0=2]*I04K18+U40K5*/U40K2

;PUSK S

U04A00=(U40K0*/U40K3+U11K1+U11K2)*I00A29(правый шпиндель–
правое вращение)

U04A13=(U40K1*/U40K3+U11K1+U11K2)*I00A29(правый шпиндель–
левое вращение)

U04A01=(U40K0*/U40K3+U11K1+U11K2)*I00A29*I00A25 с
блокировкой по датчику охл

U04A14=(U40K1*/U40K3+U11K1+U11K2)*I00A29*I00A25 с
блокировкой по датчику охл

U04A17=U04A00+U04A13 сигнал включения двигателя смазки правого
шпинделя

U04A18=/(U04A00+U04A13)контакт блокировки разжима правого
шпинделя

U04A19=/(U04A01+U04A14)контакт блокировки разжима левого
шпинделя

U04A11=U04A01+U04A14 включение клапана поджима

U11K3=U40K0*/U11K0*/U40K10*/U145K0+U40K1*/U11K0*/U40K10*/U
145K0

;FOMAA,FOMAO

;U11K1=U40K0*U40K10+(U145K0+U145K3)

;U11K2=U40K1*U40K10+(U145K0+U145K3)

U11K5=U11K1+U11K2

DOF:U11K1+U11K2

W11K1=1

ENDF

;STOP S

DOF:U40K3+U40K5

W11K0=0

ENDF

;

5.5 Входные и выходные сигналы станка

Логические адреса входных сигналов станка представлены в таблице 4.7.

Таблица 5.1– Расписание входных сигналов станка

Сигнал	Номер провода	Номер входа	Логический адрес
Контроль сервопривода X	140	1	I0A0
Контроль сервопривода Y	142	2	I0A1
Контроль сервопривода Z	144	3	I0A2
Контроль частотного преобразователя 2 правый	147,149	4	I0A3
Контроль частотного преобразователя 1 левый	148	5	I0A4
Термоконтакт привода «X»	152	6	I0A5
Термоконтакт привода «Y»	153	7	I0A6
Термоконтакт привода «Z»	154	8	I0A7
Сигнал включения клапана разжима шпинделя 2 и клапана продувки	143	9	I0A8
Контроль +24 В	183	10	I0A9
Контроль номера включения шпинделя	184	11	I0A10
Ограничение «+X»	155	12	I0A11
Ограничение «-X»	156	13	I0A12
Нуль–метка «X»	157	14	I0A13

Продолжение таблицы 5.1

Ограничение «+У1»	158	15	IOA14
Ограничение «-У1»	159	16	IOA15
Ноль-метка «У1»	160	17	IOA16
Ограничение «+У2»	159	18	IOA17
Ограничение «-У2»	158	19	IOA18
Ноль-метка «У2»	160	20	IOA19
Ограничение «+Z»	161	21	IOA20
Ограничение «-Z»	162	22	IOA21
Ноль-метка «Z»	163	23	IOA22
Датчик давления воздуха	165	24	IOA23
Датчик давления в маслостанции	166	25	IOA24
Датчик фильтра масла	167	26	IOA25
Датчик охладителя	164	27	IOA26

Расписание входных сигналов выносного станочного пульта NC 110-78В приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расписание входных сигналов станочного пульта NC 110-78В

ЭЛЕМЕНТ ПУЛЬТА	СИГНАЛ	НОМЕР ВХОДА	ЛОГИЧЕСКИЙ АДРЕС
Кнопки T1, T2	En	1	I1A0
Кнопка K1	KEY1	2	I1A1
Кнопка K2	KEY2	3	I1A2
Кнопка K3	KEY3	4	I1A3
«X»	XAXIS	5	I1A4
«Y»	YAXIS	6	I1A5
«Z»	ZAXIS	7	I1A6
«4»	4AXIS	8	I1A7
«5»	5AXIS	9	I1A8

Продолжение таблицы 5.2

«0»	X0	10	I1A9
«1»	X1	11	I1A10
«10»	X10	12	I1A11
«100»	X100	13	I1A12
«1000»	X1000	14	I1A13
NC	NC	15	I1A14
NO	NO	16	I1A15

Расписание выходных сигналов станка приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расписание выходных сигналов станка

СИГНАЛ	НОМЕР ПРОВОДА	НОМЕР ВЫХОДА	ЛОГИЧЕСКИЙ АДРЕС
1	2	3	4
Включение привода шпинделя S общее	24	1	U4A0
Смазка редуктора шпинделя 1 левый	30	2	U4A1
Маслостанция (305) общая	31	3	U4A2
Насос гидравлики	32	4	U4A3
Освещение стола общее	33	5	U4A4
Включение контакторов приводов подач	52	6	U4A5
Клапан включения импульсной смазки	53	7	U4A6
Клапан продувки шпинделя 2	55	8	U4A7
Клапан зажима шпинделя 2	56	9	U4A8
Разрешение работы привода «X»		10	U4A9
Разрешение работы привода «У»		11	U4A10
Разрешение работы привода «Z»		12	U4A11

Продолжение таблицы 5.3

Разрешение работы привода «S»		13	U4A23
Старт привода «X»		14	U4A12
Старт привода «Y»		15	U4A13
Старт привода «Z»		16	U4A14
Старт привода «S»		17	U4A15

5.6 Ввод программы в память и ее компиляция

Файл–источник ПЛ при вводе воспринимается системой как общий файл. Поэтому его ввод в память может быть выполнен оператором с заданием директивы с клавиатуры:

EDI, имя ПЛ /MPx.

В случае если файл уже существует в другом логическом носителе MPx, ввод его в память может быть выполнен посредством директивы:

COP, Имя ПЛ1/MPx, Имя ПЛ2/MPy,

где:

- Имя ПЛ1 – наименование существующего источника ПЛ;
- MPx – логический носитель, на котором он находится;
- Имя ПЛ2 – наименование нового источника ПЛ;
- MPy – логический носитель, на котором он будет находиться.

Источник ПЛ можно набирать в любом текстовом редакторе и сохранять как файл MSDOS в текстовом формате. Имя должно состоять из 6 символов (первой должна быть буква) без расширения

Файл–источник ПЛ, загруженный на логический носитель предыдущей операцией, чтобы стать активным, должен быть переведён в объектную программу посредством директивы компиляции. Для этого необходимо вызвать программу PLC. Директива, следующая:

RUN, PLC

Это же возможно сделать через соответствующую опцию меню режима «КОМАНДА» по клавише «F3»:

1 ДИСПЛ | 2 МОДИФ | 3 PLC | 4 КОПИЯ

После ввода этой директивы на дисплее появится «Среда», если ещё не имеется конфигурация параметров «Среды», или МЕНЮ 1, первое из списка меню. Для удобства идентификации каждое МЕНЮ в этом документе имеет порядковый номер: МЕНЮ 1 – МЕНЮ 5.

Пример

МЕНЮ 1

1 Компиляция | 2 Быстрая компиляция | 3 Отладчик | 4 Среда | 5 Выход

Для того чтобы выбрать одну из выше указанных возможных операций МЕНЮ 1, необходимо нажать одну из функциональных клавиш «F1»–«F5»:

- «F1» – осуществляется компиляция источника ПЛ с возможными опциями (по умолчанию, отладка и т.д.), которые будут запрошены в ходе выполнения данной операции;
- «F2» – выполняется компиляция в соответствии с данными, записанными в «Среде»;
- «F3» – вызывает меню отладки;
- «F4» – обеспечивает вход в «Среду» PLC для характеристики параметров быстрой компиляции файлов–источников ПЛ;
- «F5» – осуществляет возврат в режим «КОМАНДА».

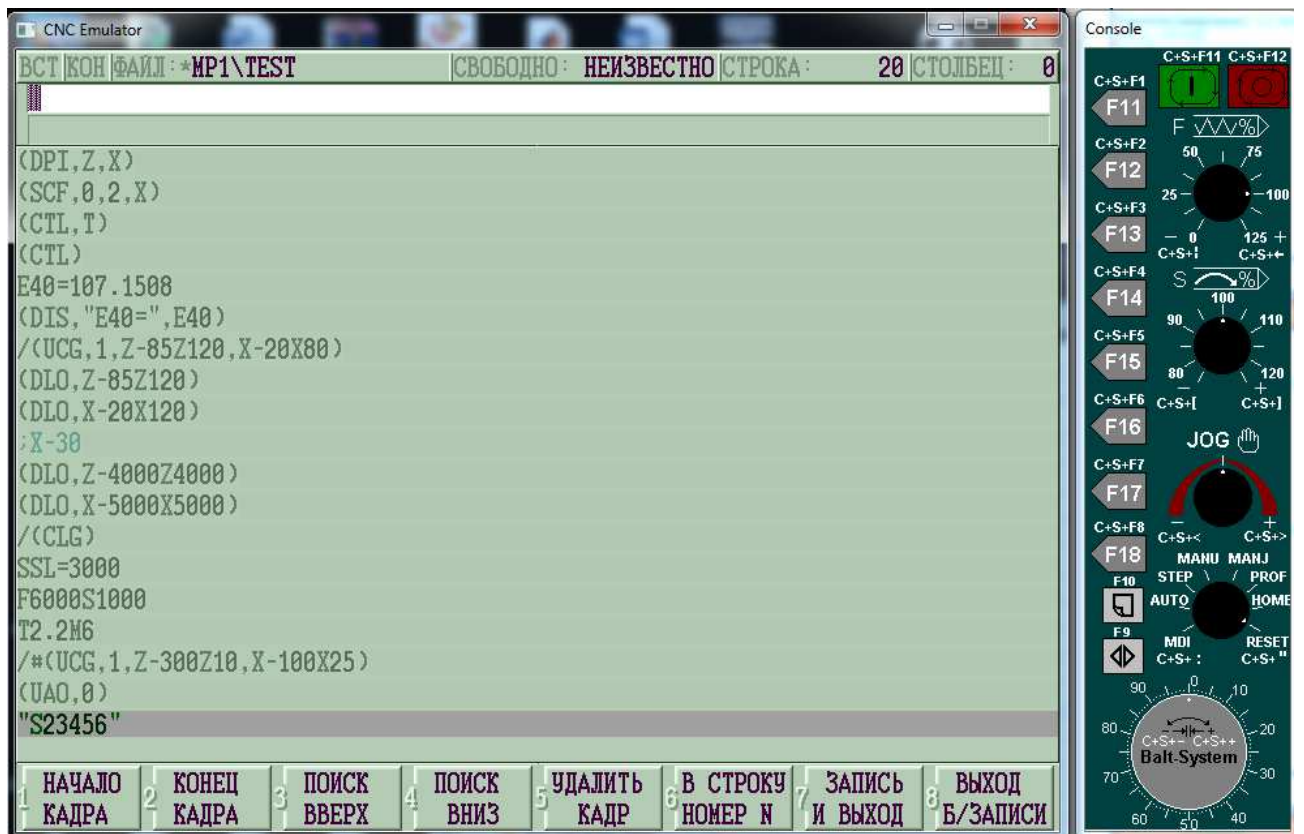


Рисунок 5.7 – Среда разработки программ логики и программ управления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Числовое программное управление оказало большое влияние на станкостроение. Вершиной современного станкостроения являются фрезерные обрабатывающие центры с ЧПУ. Эти устройства универсальны, способны обеспечить весь процесс изготовления деталей от начала до конца, с высокой точностью и за минимальное время. Станки с ЧПУ позволяют автоматизировать производство и свести человеческий фактор к минимуму.

В процессе проведения работы была смоделирована модель преобразователя частоты–асинхронного двигателя, подобраны частотные преобразователи и электроприводы, разработана программа логики станка.

По итогам выполнения ВКР была разработана система оптимального управления электроприводами шпинделей и электроавтоматикой двухшпиндельного универсального–фрезерного станка «Shtarragg». В ходе разработки использовалось УЧПУ NC–210 компании «Балт–Систем».

Модернизация станка позволила снизить энергопотребление станка, увеличила количество изготавливаемой продукции, способствовала снижению брака на производстве. В данный момент модернизированный станок используется на предприятии «Абакан–Пласт».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кочетков В. П., Основы теории управления: учебное пособие / В. П. Кочетков. – 3-е изд., испр. – Саяногорск: СШФ СФУ, 2009. – 274 с.
2. Руководство по эксплуатации NC-210 [Текст]: Справочные материалы: [руководство по эксплуатации]/ Балт-Систем – СПб, 2009. – 117с.
3. Руководство программиста MC NC-110, NC-310, NC-200, NC-201, NC-201M, NC-202, NC-210, NC-220, NC-230, [Текст]: Справочные материалы: [руководство по эксплуатации]/ Балт-Систем – СПб, 2008. – 177с.
4. Программирование интерфейса PLC NC-110, NC-310, NC-200, NC-201, NC-201M, NC-202, NC-210, NC-220, NC-230 [Текст]: Справочные материалы: [руководство по эксплуатации]/ Балт-Систем – СПб, 2008. – 206с.
5. Основы программирования для станков с ЧПУ: учеб. пособие для академического бакалавриата / И. Е. Колошкина, В. А. Селезнев. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 260 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс).
6. Герман – Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА-век., 2008. – 368 с.
7. Ловыгин, А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAMсистема / А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов. –М.: «Эльф ИПР», 2006. –286 с. (в логику)
8. Герман – Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт., 2001. – 320 с.
9. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с
10. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Концепция построения базовой системы числового программного управления мехатронными объектами //

Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011. №2. С. 21–27.

11. Атанс, М., Фалб, П. Оптимальное управление / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1968. – 764 с.
12. Мартинов Г. М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №1. С. 74–79.
13. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: Учебное пособие. –2–е изд., и доп. –СПб.: Издательство «Лань», 2013. –224 с.: ил.
14. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1998.
15. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Программирование систем числового программного управления: Учеб. пособие. – М. Логос, 2008. – 344 с.
16. Anderson D. Gary Variable Frequency Drives: Installation & Troubleshooting (Practical Guides for the Industrial Technician), TAB Books, 1994
17. Hess E. The CNC Cookbook: An Introduction to the Creation and Operation of Computer Controlled Mills, Router Tables, Lathes, and More, 1/23/09.
18. Smid P. CNC Programming Handbook / Library of Congress Cataloging–in–Publication Data, 2008.
19. Smid P. CNC Control Setup for Milling and Turning / Library of Congress Cataloging–in–Publication Data / Industrial Press, Inc, NY, USA, 2010.
20. Данилова Е.В., Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования: учебное пособие / Е.В. Данилова. – Урал: Уральский промышленно-экономический техникум, 2016. – 69 с.
21. Электропривод: Учебное пособие. / сост. С. В. Петухов, М.В. Кришьянис. –Архангельск: С(А)ФУ, 2015. –303с.

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 21 наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« 28 » 07 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Разработка системы оптимального управления электроприводами шпинделей и
электроавтоматики металлообрабатывающего центра «Shtarragg»
тема

Руководитель 28.02.2020 доцент, к.т.н.
подпись, дата должность, ученая степень

Е.Я. Глушкин
инициалы, фамилия

Выпускник 28.02.20
подпись, дата

К.А.Белякин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер 28.02.20
подпись, дата

И. А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2020