

**Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
Филиал «Протвино»
Кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»**

А.А. Евсиков, В.А. Коковин, А.П. Леонов

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД»**

ЭЛЕКТРОННОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано
кафедрой автоматизации технологических процессов и производств
филиала «Протвино» государственного университета «Дубна»
в качестве методического пособия для студентов,
обучающихся по направлению
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Протвино
2015

ББК 31.291я73
Е25

Рецензент:
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Институт физики высоких энергий» – НИЦ «Курчатовский институт»
Е.А. Устинов

Евсиков, А.А.
Е25 Лабораторные работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод»: электронное методическое пособие / А.А. Евсиков, В.А. Коковин, А.П. Леонов. — Протвино, 2015. — 46 с.

Методическое пособие содержит теоретические сведения и описание четырех лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированный электропривод». При выполнении лабораторных работ студенты получают практические навыки экспериментального определения жесткости механических характеристик исполнительных двигателей в разомкнутом и замкнутом электроприводе; получают навыки подчиненного управления промышленными сервоприводами типов СПС25 и СПШ20 и навыки настройки контуров при подчиненном управлении.

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств».

ББК 31.291я73

© Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна», филиал «Протвино», 2015
© Евсиков А.А., Коковин В.А., Леонов А.П., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Сравнение механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТНВ) в разомкнутом и замкнутом электрических приводах при управлении скоростью вращения нагрузки.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Изучение конструкции промышленных интегрированных сервоприводов СПС25 и СПШ20 и структуры управления ими.....	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Настройка контура скорости промышленного сервопривода. Определение численных значений показателей качества управления.....	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Методика настройки контура позиционирования промышленного сервопривода с починенным управлением.....	42

Введение

Анализ мирового опыта создания технологического оборудования показывает высокую динамику развития автоматизированных электроприводов. Она обусловлена стремлением к максимальному повышению производительности технологического оборудования и качества производимой продукции.

В автоматизированных электроприводах необходимо обеспечить надежную работу исполнительных двигателей на искусственных механических характеристиках, в условиях токовых перегрузок при многократно повторяющихся режимах пуска, реверса и торможения. Кроме того, для обеспечения широкого динамического диапазона регулирования скорости в автоматизированном электроприводе должна достигаться высокая жесткость механических характеристик двигателя.

Общей тенденцией развития электроприводов является внедрение современных управляемых выпрямителей (силовых преобразователей) и методов подчиненного (каскадного) управления. Подчиненное управление получило широкое распространение в электроприводах благодаря ряду достоинств, основными из которых являются: раздельное регулирование переменных; раздельная настройка контуров, начиная с первого самого внутреннего; коррекция переходных процессов в каждом контуре, что существенно упрощает практическую настройку системы.

При выполнении лабораторной работы № 1 студенты получают практические навыки экспериментального определения механических характеристик исполнительных двигателей в разомкнутом и замкнутом электроприводах, определяют и сравнивают жесткости полученных характеристик.

При выполнении лабораторной работы № 2 изучаются правила безопасности при эксплуатации сервоприводов, режимы их работы, конструкции, технические характеристики и структуры управления промышленными сервоприводами типов СПС25 и СПШ20. Студенты получают навыки работы с промышленными сервоприводами с цифровым управлением в режимах «Конфигурация», «Контроль», «Осциллограф».

При выполнении лабораторных работ № 3 и №4 студенты получают практические навыки настройки контуров скорости и позиционирования промышленных сервоприводов с цифровым подчиненным управлением; приобретают навыки определения численных значений показателей качества управления по динамическим характеристикам сервопривода.

Лабораторная работа № 1

Сравнение механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТНВ) в разомкнутом и замкнутом электрических приводах при управлении скоростью вращения нагрузки

Цель работы — получение практических навыков определения:

- механических характеристик ДПТНВ;
- жесткости механических характеристик в разомкнутом и замкнутом электроприводах;
- значений конструктивных постоянных C_e и C_M по номинальным параметрам двигателя.

Сведения из теории [1, 2]

Электромеханическая характеристика ДПТНВ представляет собой зависимость угловой скорости вала двигателя ω (рад/с) или n (об/мин) от тока в якоре двигателя I_A (А). Формула для электро-механической характеристики ДПТНВ имеет вид:

$$\omega = \frac{U_A - I_A R_A}{C_e} \quad (1.1)$$

где U_A (В) – напряжение на обмотке якоря двигателя; R_A (Ом) – активное сопротивление обмотки якоря; C_e (Вс/рад) – конструктивная постоянная двигателя.

Механическая характеристика ДПТНВ представляет собой зависимость угловой скорости вала двигателя ω (рад/с) или n (об/мин) от вращающего момента на валу двигателя M (Нм). Используя подстановку $I_A = M / C_M$ из формулы (1.1) получаем выражение для определения механической характеристики:

$$\omega = \frac{U_A}{C_e} - \frac{M R_A}{C_e C_M} \quad (1.2)$$

где C_M (Нм/А) — конструктивная постоянная двигателя.

Анализ выражений (1.1) и (1.2) показывает, что для ДПТНВ характерна линейная зависимость угловой скорости ω от тока в якоре I_A или момента двигателя M .

При определенных масштабах электромеханическая и механическая характеристики двигателя совпадают (рис. 1). Их характерные точки:

- точка холостого хода, $\omega_0 = U_A / C_e$, где $I_A = 0$, $M = 0$;
- точка пускового режима, называемая точкой короткого замыкания, где якорь неподвижен ($\omega = 0$) ток в якоре при пуске двигателя $I_A = I_{K3}$, пусковой момент двигателя $M = M_{K3}$.

На рис. 1 представлены характеристики 1, 2 и 3, определенные при номинальном напряжении на якоре $U_{A\text{ном}}$, напряжениях U_{A2} и U_{A3} соответственно, причем $U_{A\text{ном}} > U_{A2} > U_{A3} > 0$.

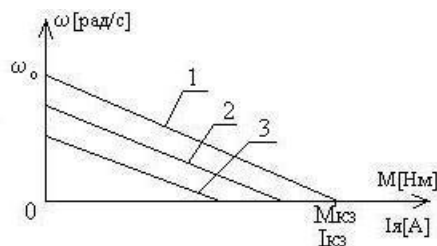


Рис. 1. Механические характеристики ДПТНВ при управлении по цепи якоря

Уравнения (1.1) и (1.2) можно записать в виде $\omega = \omega_0 - \Delta\omega$, где $\omega_0 = U_A / C_e$, $\Delta\omega = I_A R_A / C_e = M R_A / C_e C_M$.

Слагаемое $\Delta\omega$ определяет наклон характеристик к оси абсцисс и такой важный параметр как жесткость.

Жесткость характеристики C определяет зависимость угловой скорости вала двигателя от приложенного к нему момента нагрузки и вычисляется по формуле:

$$C = \Delta M / \Delta \omega,$$

где ΔM — изменение момента нагрузки (сопротивления), откладываемое по оси абсцисс, $\Delta \omega$ — соответствующее ΔM изменение угловой скорости, откладываемое по оси ординат.

В идеальном электроприводе жесткость механических характеристик $C \rightarrow \infty$, то есть угловая скорость вала не зависит от приложенного к нему момента нагрузки, механическая характеристика параллельна оси абсцисс. В разомкнутых электроприводах величина жесткости невелика, и скорость вращения вала двигателя сильно зависит от момента сопротивления.

Для получения жестких характеристик используют замкнутые электроприводы с регулированием скорости вращения вала двигателя изменением подводимого к якорю напряжения $U_{\text{я}}$. Это самый распространенный способ регулирования скорости нагрузки. Питание якоря осуществляется от управляемого выпрямителя (преобразователя), выходное напряжение которого $U_{\text{ПЕГ}}$ регулируется и может изменять знак (на рис. 2 $U_{\text{ПЕГ1}} > U_{\text{ПЕГ2}} > U_{\text{ПЕГ3}} > 0$; $U_{\text{ПЕГ4}}, U_{\text{ПЕГ5}}, U_{\text{ПЕГ6}} < 0$)

Напряжение на выходе преобразователя:

$$U_{\text{ПЕГ}} = E_{\text{УВ}} - I_{\text{я}} R_{\text{УВ}} \quad (1.3)$$

где $E_{\text{УВ}}$ — напряжение на выходе ненагруженного управляемого выпрямителя, $R_{\text{УВ}}$ — выходное сопротивление управляемого выпрямителя.

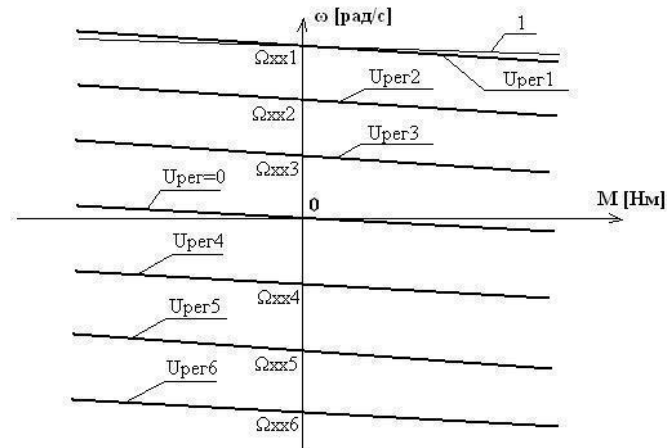


Рис. 2. Механические характеристики ДПТНВ при управлении по цепи якоря в замкнутом электроприводе

Учитывая выражения (1.3) и (1.2) получаем формулу для определения механических характеристик ДПТНВ в замкнутом электроприводе при питании обмотки якоря от управляемого выпрямителя:

$$\omega = \frac{U_{\text{ПЕГ}}}{C_e} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{УВ}})}{C_e C_M} = \omega_0 - \Delta \omega \quad (1.4)$$

Из полученных выражений следует, что (рис. 2):

- скорость идеального холостого хода $\omega_0 = \frac{U_{\text{ПЕГ}}}{C_e}$ пропорциональна величине напряжения $U_{\text{ПЕГ}}$;
- искусственные характеристики линейны и параллельны друг другу, располагаются во всех четырех квадрантах;
- искусственные характеристики имеют по сравнению с естественной характеристикой 1 несколько больший наклон из-за наличия сопротивления $R_{\text{УВ}}$.

Для определения механических характеристик по формуле (1.4) необходимо рассчитать значения конструктивных постоянных C_e, C_M . Вычисляются они по номинальным параметрам двигателя: $U_{ЯНОМ}, I_{ЯНОМ}, M_{НОМ}, n_{НОМ} (\omega_{НОМ}), R_{Я}$, задаваемым в справочнике:

$$C_e = \frac{U_{ЯНОМ} - I_{ЯНОМ} R_{Я}}{n_{НОМ}} \text{ (В мин/об)} \quad (1.5)$$

$$C_e = \frac{U_{ЯНОМ} - I_{ЯНОМ} R_{Я}}{\omega_{НОМ}} \text{ (Вс/рад)} \quad (1.6)$$

$$C_M = \frac{M_{НОМ}}{I_{ЯНОМ}} \text{ (Нм/А)} \quad (1.7)$$

Схема лабораторного стенда

На рис. 3 представлена схема лабораторного стенда для экспериментального определения механических характеристик двигателя в разомкнутом и замкнутом электроприводах.

Объектом исследования является двигатель Дв, кинематически связанный с генератором Г и тахогенератором ТГ. В качестве двигателя и генератора используются два одинаковых ДПТНВ типа СЛ621, работающие в двигательном и генераторном режимах соответственно.

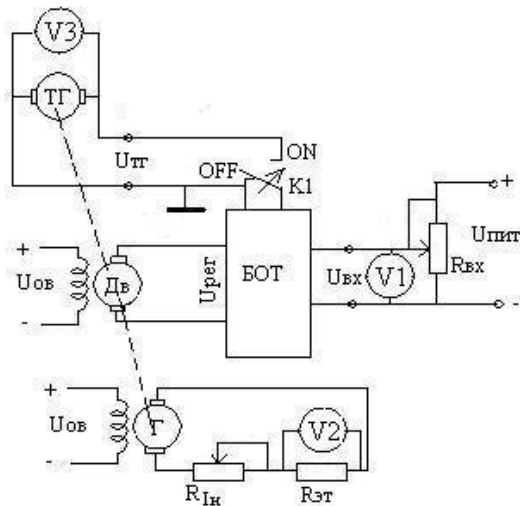


Рис. 3. Схема стенда для определения механических характеристик ДПТНВ при управлении по цепи якоря.

Справочные данные для двигателя СЛ621:

- номинальное напряжение питания якоря двигателя $U_{ЯНОМ} = 110 \text{ В}$;
- активное сопротивление обмотки якоря $R_{Я} = 3 \text{ Ом}$;
- номинальный ток якоря $I_{ЯНОМ} = 2.08 \text{ А}$;
- номинальные обороты вала двигателя $n_{НОМ} = 2400 \text{ об/мин}$

Тахогенератор постоянного тока типа ТГП-1 имеет коэффициент передачи $k_{ТГ} = 5 \frac{\text{мВ}}{\text{об/мин}}$.

При вращении в обмотке якоря генератора наводится противо ЭДС $E_{Г} = C_e \omega$, под действием которой в цепи якоря генератора протекает ток:

$$I_{Г} = \frac{E_{Г}}{R_{ЯГ} + R_{Иг}}$$

где $R_{ЯГ}$ — сопротивление обмотки якоря генератора, $R_{Иг}$ — регулировочное сопротивление в цепи якоря генератора.

Величина тока $I_{Г}$ определяется как:

$$I_{\Gamma} = U_H / R_{ЭГ}$$

где U_H — напряжение, измеряемое вольтметром V2 (рис. 3), $R_{ЭГ} = 0.1 \text{ Ом}$ — эталонное сопротивление.

Вольтметр V2 подключается к клеммам, обозначенным U_H на пульте управления (рис. 4). Ток I_{Γ} создает на валу двигателя тормозной момент:

$$M_{ТОРМ} = C_M I_{\Gamma} \quad (1.8)$$

Изменяя величину регулировочного сопротивления R_{In} и соответственно тока I_{Γ} , можно плавно изменять нагрузку на валу двигателя. Движок потенциометра R_{In} выведен на пульт управления (I_H на рис. 4).

Скорость вращения вала двигателя измеряется тахогенератором типа ТГП-1 и определяется из выражения:

$$n = U_{ТГ} / k_{ТГ} \text{ (об/мин)} \quad (1.9)$$

где $U_{ТГ}$ — напряжение на выходе ТГ, измеряемое вольтметром V3 (рис. 3), который подключается к клеммам $U_{ТГ}$ на пульте управления.

Управление скоростью вращения двигателя осуществляется от промышленного регулятора БОТ путем изменения управляющего напряжения $U_{ВХ}$ потенциометром $R_{ВХ}$ (рис. 3).

Если переключатель обратной связи ОС находится в положении OFF (рис. 4), то электропривод разомкнут, если в положении ON, то замкнут.

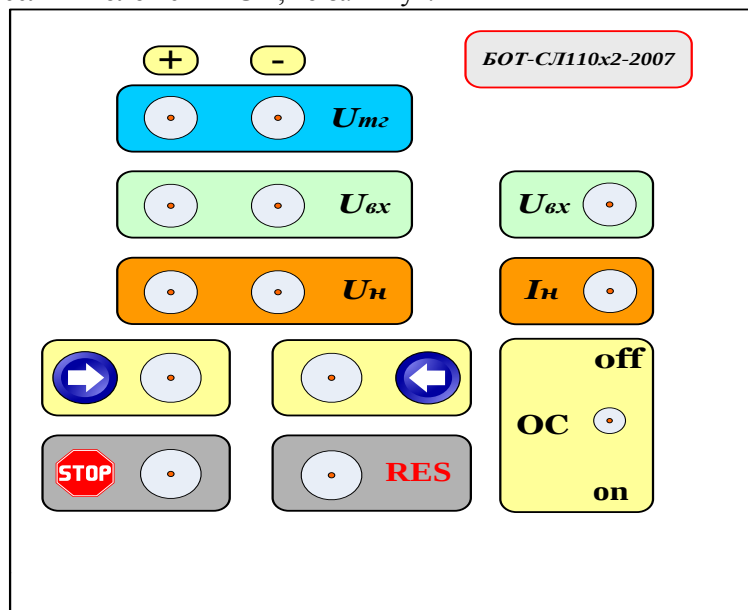


Рисунок 4. Пульт управления лабораторного стенда

Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы пройти инструктаж по технике безопасности.
2. Проверить отсутствие напряжения питания силового преобразователя БОТ. Силовой автомат А1 в настенном шкафу должен быть выключен. При выключенном А1 собрать схему в соответствии с рис.3.
3. Определить механическую характеристику $n = f(M_{торм})$ двигателя СЛ621 в разомкнутом электроприводе. Для этого (рис.3, 4):
 - 3.1 Установить переключатель ОС в положение OFF.
 - 3.2 Установить на пульте управления потенциометры $U_{вх}$ и I_H в крайнее правое положение по часовой стрелке.

- 3.3 Включить питание БОТ автоматом А1 в настенном шкафу. При этом загорается зеленый светодиод «Вкл» на индикаторе БОТ.
- 3.4 На пульте управления включить кнопку «→» («Вперед»).
- 3.5 С помощью потенциометра $U_{\text{вх}}$ и вольтметра V1 установить $U_{\text{вх}} = +0.1B$.
- 3.6 Изменяя величину тока нагрузки I_{Γ} вращением потенциометра I_H снять механическую характеристику двигателя, используя формулы (1.7) и (1.8) для определения момента торможения $M_{\text{торм}}$; а выражение (1.9) - для определения скорости вращения двигателя n . Полученные данные занести в таблицу.
- 3.7 Нажать кнопку «Стоп» на пульте управления и установить потенциометры $U_{\text{вх}}$ и I_H в крайнее правое положение по часовой стрелке.
- 3.8 Включить кнопку «←» («Назад»). С помощью потенциометра $U_{\text{вх}}$ и вольтметра V1 установить $U_{\text{вх}} = -0.1B$. Выполнить пункты 3.6 и 3.7 и перейти к пункту 4.
4. Определить механические характеристики $n = f(M_{\text{торм}})$ двигателя СЛ621 для замкнутого электропривода. Для этого:
 - 4.1. Выключить автомат А1.
 - 4.2. Установить переключатель ОС в положение ON.
 - 4.3. Выполнить пункты 3.3 – 3.7. После их выполнения перейти к пункту 4.4.
 - 4.4. С помощью потенциометра $U_{\text{вх}}$ и вольтметра V1 последовательно установить $U_{\text{вх}} = +0.1B$, $U_{\text{вх}} = +0.15B$ и $U_{\text{вх}} = +0.175B$. Для каждого из напряжений $U_{\text{вх}}$ выполнить пункты 3.6 и 3.7. После выполнения работ с напряжением $U_{\text{вх}} = +0.175B$ перейти к пункту 4.5.
 - 4.5. С помощью потенциометра $U_{\text{вх}}$ и вольтметра V1 последовательно установить $U_{\text{вх}} = -0.1B$, $U_{\text{вх}} = -0.15B$ и $U_{\text{вх}} = -0.175B$. Для каждого из напряжений $U_{\text{вх}}$ выполнить пункты 3.6 и 3.7.
 - 4.6. После выполнения работ с напряжением $U_{\text{вх}} = -0.175B$ выключить автомат А1. Сообщить преподавателю или лаборанту о завершении работы.

Требования к выполнению отчета

Отчет по лабораторной работе представляется каждым студентом и должен содержать:

1. Название лабораторной работы, ее цель.
2. Схему лабораторной работы, собираемую на стенде.
3. Результаты выполняемых расчетов, таблицы измеренных данных.
4. Механические характеристики ДПТНВ для разомкнутого и замкнутого электроприводов, построенные на одном графике на миллиметровой бумаге. Масштаб по оси абсцисс (оси М) выбрать таким, чтобы пологий участок характеристики замкнутой системы (участок с наибольшей жесткостью) имел протяженность по оси Х не менее 5 см.
5. Вычисленные по графикам значения жесткости механических характеристик для разомкнутого и замкнутого приводов, выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Принцип действия и способы возбуждения двигателя постоянного тока.
2. Основные уравнения ДПТНВ.
3. Электромеханические и механические характеристики ДПТНВ при управлении по цепи якоря в разомкнутых и замкнутых электроприводах.

Лабораторная работа №2

Изучение конструкции промышленных интегрированных сервоприводов СПС25 и СПШ20 и структуры управления ими

Выполнение лабораторных работ №2, 3, 4 по дисциплине «Автоматизированный электропривод» осуществляется на базе промышленных интегрированных сервоприводов типов СПС25 и СПШ20.

Сервоприводами называются специализированные исполнения электроприводов, используемых в *позиционных и следящих* автоматизированных системах.

СПС – комплектный сервопривод на базе *синхронного* двигателя, состоящего из серводвигателя с датчиком позиции и сервоусилителя [1]. На лабораторном стенде используются два комплектных сервопривода СПС25:

- на базе серводвигателя СПС-80.016.075-B0-ABZ-2048 мощностью 750 Вт, без электромагнитного тормоза; энкодер квадратурный с Z меткой, разрешение 8192 имп/оборот; в качестве исполнительного механизма используется модуль линейных перемещений AP-1.

- на базе серводвигателя СПС-80.007.033-B0-ABZ-2048 мощностью 330 Вт, без электромагнитного тормоза; энкодер квадратурный с Z меткой, разрешение 8192 имп/оборот; имп/оборот; в качестве исполнительного механизма используется модуль линейных перемещений СТМ-2;

В обоих электроприводах используются сервоусилители типа СПС-25-12А-Е1, имеющие интерфейс Ethernet и рассчитанные на максимальный ток 12А.

СПШ – это интегрированный сервопривод на базе гибридного шагового электродвигателя [2], в котором используется бесшаговое (векторное) управление на основе адаптированного специально для шаговых двигателей алгоритма. На лабораторном стенде используется сервопривод СПШ20-34100; энкодер квадратурный с Z меткой, разрешение 2000 имп/оборот; в качестве исполнительного механизма используется модуль линейных перемещений МР110.

Назначение модулей линейных перемещений – осуществление точного и плавного перемещения устанавливаемых на них объектов по прямой траектории в заданную координату.

Цель лабораторной работы – изучение правил безопасности при эксплуатации, режимов работы, конструкции, технических характеристик и структуры управления сервоприводами типов СПС25 и СПШ20. Получение навыков работы с сервоприводами в режимах «Конфигурация», «Контроль», «Осциллограф».

1 Обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами

Внимательно изучите данный пункт до включения сервопривода. Для обеспечения безопасной работы сервоприводов необходимо выполнить ряд перечисленных ниже обязательных требований [1, 2]:

- подключение/отключение разъема питания, кабелей подключения к двигателю, датчику обратной связи и интерфейсным разъемам **осуществляется только в обесточенном состоянии**;
- не удерживайте вал двигателя во включенном состоянии руками во избежание травм;
- не вращайте вал двигателя извне в обесточенном состоянии со скоростью выше 300 об/мин; при вращении вала двигателя при отключенном питании привод переходит в генераторный режим, вырабатываемое при этом напряжение может повредить систему управления привода;
- не объединяйте сервоприводы СПС жесткими механическими передачами между собой;
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя; для двигателя СПС-80.007.033 допустимое аксиальное усилие составляет 15 Н (1.5 кГ); для двигателя СПС-80.016.075 допустимое аксиальное усилие составляет 18 Н (1.8 кГ);
- не превышайте допустимое радиальное усилие; для всех двигателей СПС-80.xxx.xxx допустимое радиальное усилие составляет 75 Н (в 20 мм от фланца двигателя);
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя СПШ20-34100, составляющее 200 Н (20 кГ);
- при включении сервопривода СПШ нагрузка на валу двигателя не должна превышать 1 Нм. В момент включения сервопривод выполняет алгоритм поиска нулевой фазы, для этого в одну

из обмоток двигателя подается ток 1.5 А в течение 1.5 с. В процессе выполнения алгоритма вал двигателя перемещается на угол не более 1.8 градуса в произвольном направлении;

- избегайте резких переходных процессов по скорости, причиной которых может служить неправильная настройка коэффициентов контуров скорости и позиции; частые биения вала приводят к быстрому износу подшипников двигателя и исполнительных механизмов, присоединенных к приводу;

- соблюдайте общие требования электробезопасности.

2 Конструкция и технические характеристики сервоприводов СПС25 [1]

2.1 Режимы работы сервоприводов СПС25

- управление позицией вала с функцией плавного разгона и торможения;
- управление скоростью;
- управление моментом;
- отработка программ движения пользователя;
- электронный редуктор;
- режим синхронизации группы приводов (выполнение циклических операций с синхронизацией по шине CAN);
- тестовый режим; с его помощью можно установить стандартные функции задания для электропривода (ступенька, синус) и проанализировать качество переходных процессов.

2.2 Комплектный сервопривод СПС25 мощностью 750 Вт

Конструктивно в его состав входят: серводвигатель СПС-80.016.075, сервоусилитель СПС25-12А, модуль линейных перемещений СТМ-2.

2.2.1 Серводвигатель СПС-80.016.075

Основные технические характеристики синхронного двигателя СПС-80.016.075 приведены в Таблице 1, его механическая характеристика приведена на рис. 1, а габаритные размеры – на рис. 2.

Таблица 1 – Основные технические характеристики синхронного двигателя СПС-80.016.075

Выходная мощность, Вт	750
Номинальный ток, А	3.3
Максимальный импульсный ток, А	10
Напряжение питания, В	310VDC $\pm$ 10%
Номинальный момент, Нм	1.6
Максимальный момент, Нм	4.8
Номинальная скорость, об/мин	4500
Момент инерции вала ротора, кгсм ²	0.72
Сопротивление обмотки, Ом	2.6
Индуктивность обмотки, мГн	11.5
Количество пар полюсов	2
Разрешение энкодера, имп/оборот	8192
Наличие нулевой метки	Да
Допустимая эксплуатационная температура окружающей среды, °С	0...+50
Температура хранения, °С	-25...+50
Исполнение серводвигателя	IP54
Масса серводвигателя, кг	2.85



Рис. 1 Механическая характеристика серводвигателя СПС-80.016.075

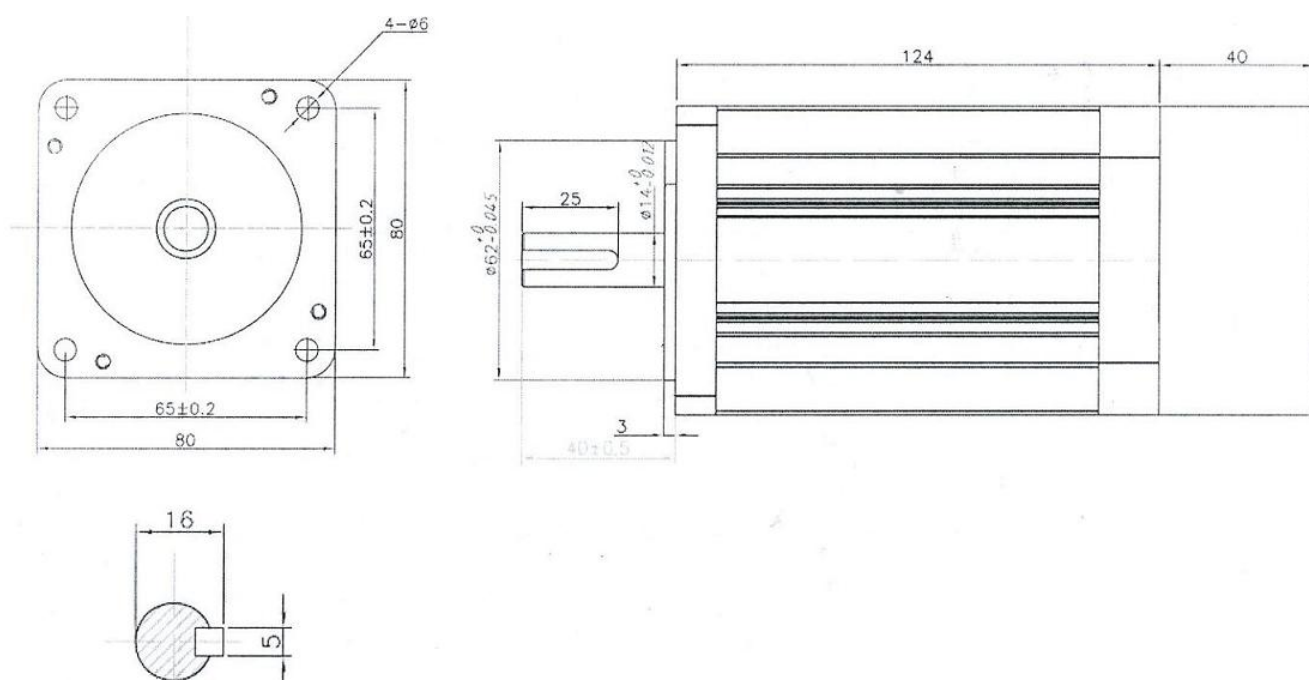


Рис. 2 Габаритные размеры серводвигателя СПС-80.016.075

2.2.2 Сервоусилитель СПС25-12А

Сервоусилитель обеспечивает подчиненное управление, т.е. замкнутое регулирование по 3-м контурам: внутреннему контуру тока (момента), контуру скорости, внешнему контуру позиции. Управление синхронным двигателем основано на алгоритме *векторного* управления.

Внешний вид сервоусилителя СПС25-12А-Е1 показан на рис.3, основные технические характеристики приведены в Таблице 2.

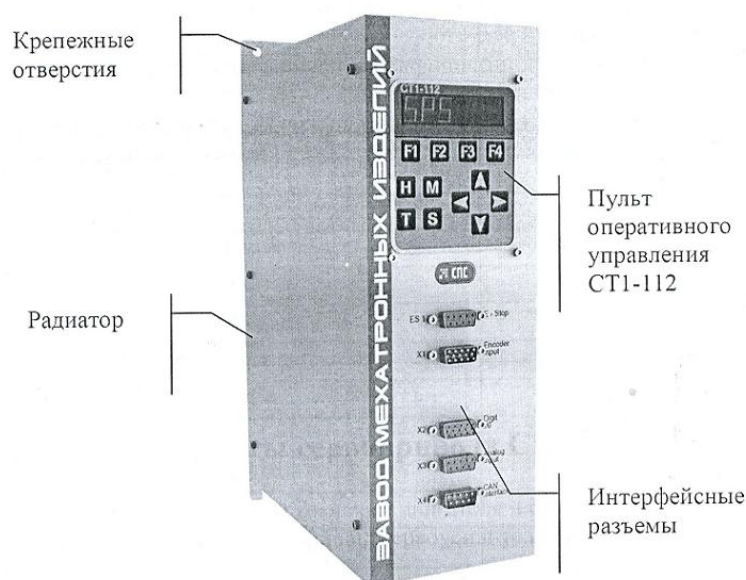


Рис. 3 Внешний вид сервоусилителя СПС25-12А

Таблица 2 – Основные технические характеристики сервоусилителя СПС25-12

Выходная мощность, Вт	1100
Номинальный ток, А	5
Максимальный импульсный ток, А	12
Напряжение питания, В	$\sim 220 \text{ В} \pm 10\%$
Наличие нулевой метки	Да
Допустимая эксплуатационная температура окружающей среды, °C	0...+40
Температура хранения, °C	-25...+50
Исполнение сервоусилителя	IP20
Масса сервоусилителя, кг	2.2

В состав сервоусилителя входит пульт оперативного управления СТ1-112 (рис. 3), который при выполнении лабораторных работ не используется.

2.2.3 Модуль линейных перемещений АР-1

Модуль линейных перемещений АР-1 [3] используется в качестве исполнительного механизма сервопривода СПС-80.016.075. Модуль АР-1 с механической передачей движения через пару шестеренка-рейка предназначен для перемещения грузов массой до 50 кг на длинные расстояния со скоростью до 1.6 м/с. Основой модуля служит алюминиевое основание шириной 130 мм с интегрированными в него стальными валами. Конструкция модуля приведена на рис. 4, его размеры – на рис. 5, а технические характеристики – в Таблице 3.

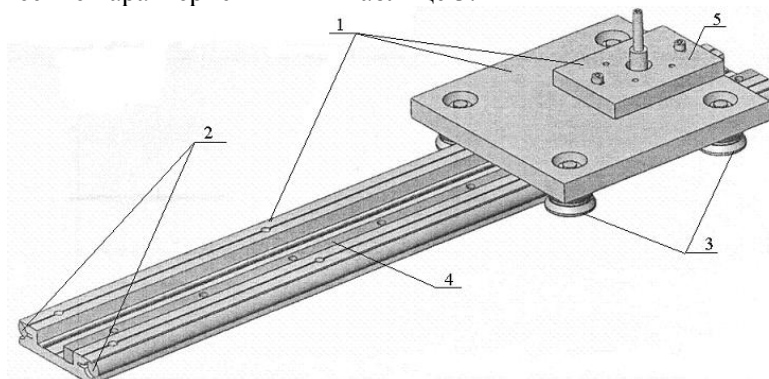


Рис. 4 Конструкция модуля АР-1

(1 – алюминиевые детали, 2 – стальные валы (HRC 62), 3 – высокопрочные колеса с японскими подшипниками, 4 – рейка-шестеренка, 5 – каретка, подготовленная под установку нагрузки)

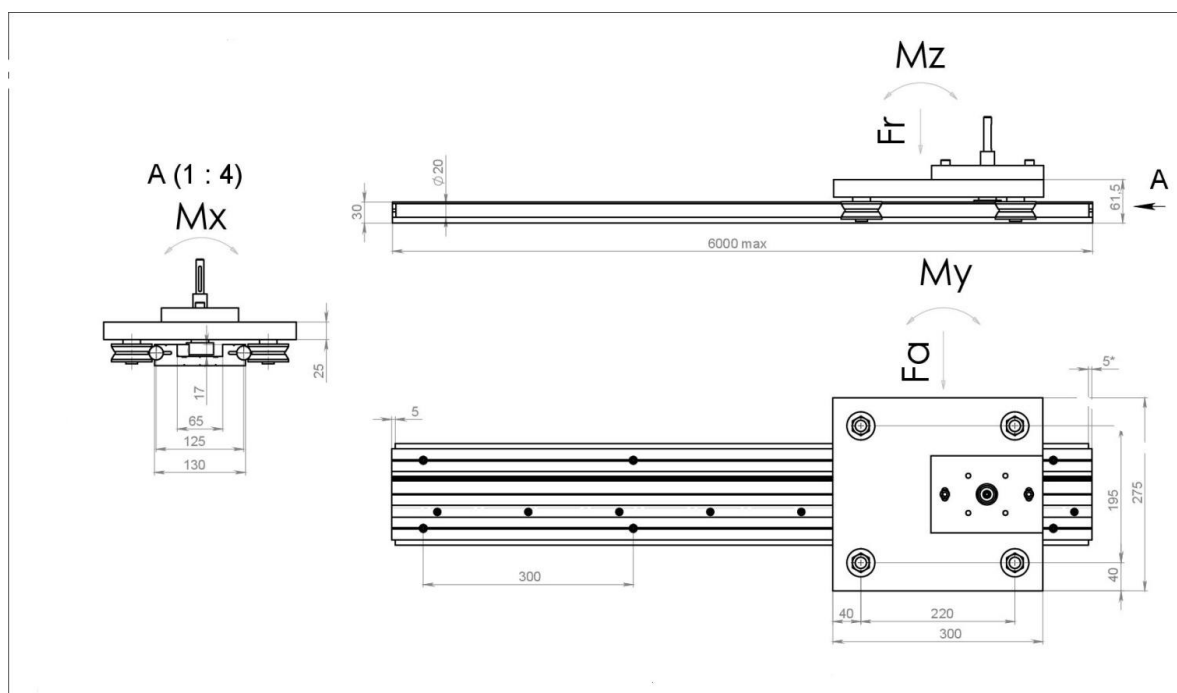
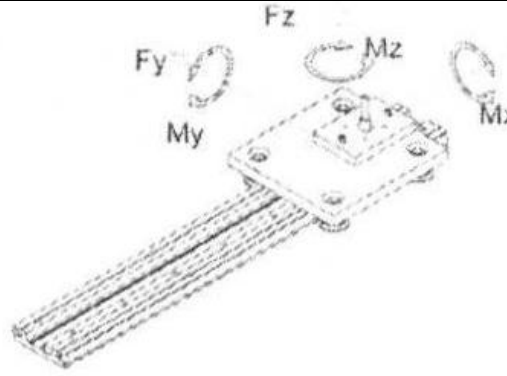


Рис. 5 Размеры модуля AP-1

Таблица 3 – Основные технические характеристики модуля AP-1

Стандартный размер рабочей поверхности каретки – длина × ширина, мм	275 × 300
Стандартный способ фиксации перемещаемого изделия	На верхнюю поверхность каретки через резьбовые соединения
Расстояние между нижней поверхностью основания и верхней поверхностью каретки, мм	61.5
Вес 1000 мм, кг	10.8
Минимально возможный ход модуля по упорам (S), мм	10
Максимально возможный ход модуля по упорам (S), мм	2000 при максимальной длине одной секции – 6000
Тип механической передачи	рейка шестеренка $z=24, m=1.5$
Максимальная скорость перемещения (двигатель 750 Вт, редуктор с передаточным числом 5), м/с	1.6
Тип направляющих	Шлифованные валы/колеса
Количество колес, шт.	4
Нагрузочные характеристики	
Максимальные усилия, Н	
F.y.max	1860
F.z.max	4290
Максимальные опрокидывающие моменты, Нм	
M.x.max	
M.y.max	2200
M.z.max	1727

Суммарная величина нагрузки не должна превышать следующего значения: $\frac{F_{yA}}{F_{y.Max}} + \frac{F_{zA}}{F_{z.Max}} + \frac{F_{xA}}{F_{x.Max}} + \frac{M_{yA}}{M_{y.Max}} + \frac{M_{zA}}{M_{z.Max}}$	
--	--

2.3 Комплектный сервопривод СПС25 мощностью 330 Вт

Конструктивно в его состав входят: серводвигатель СПС-80.007.033, сервоусилитель СПС25-12А (раздел 2.2.2), модуль линейных перемещений СТМ-2.

2.3.1 Серводвигатель СПС-80.007.033

Основные технические характеристики синхронного двигателя СПС-80. 007.033 приведены в Таблице 4, его механическая характеристика приведена на рис.6.

Таблица 4 – Основные технические характеристики синхронного двигателя СПС-80. 007.033

Выходная мощность, Вт	330
Номинальный ток, А	1.4
Максимальный импульсный ток, А	4.2
Напряжение питания, В	310VDC ± 10%
Номинальный момент, Нм	0.7
Максимальный момент, Нм	2.1
Номинальная скорость, об/мин	4500
Момент инерции вала ротора, кгсм ²	0.48
Сопротивление обмотки, Ом	6.5
Индуктивность обмотки, мГн	32
Количество пар полюсов	2
Разрешение энкодера, имп/оборот	8192
Наличие нулевой метки	Да
Допустимая эксплуатационная температура окружающей среды, °С	0...+50
Температура хранения, °С	-25...+50
Исполнение серводвигателя	IP54
Масса серводвигателя, кг	2.05



Рис. 6 Механическая характеристика серводвигателя СПС-80.007.033 мощностью 330 Вт

2.3.2 Модуль линейных перемещений СТМ-2 [4]

Конструктивно линейный модуль состоит из основания (несущий силовой элемент) с закрепленными на нем рельсовыми направляющими качения (рис. 7). На фланцевых опорах установлен винт ШВП, крутящий момент к которому передается от двигателя через компенсирующую муфту. За счёт вращения винта ШВП происходит перемещение каретки модуля, которая в свою очередь служит базовой платформой для крепления на ней всевозможных изделий или механизмов. Через специальный переходной фланец и муфту модуль стыкуется с двигателем. Основание и каретка модуля снабжены специальными технологическими элементами (отверстиями, шпоночными канавками), упрощающими процесс сборки и монтажа системы линейного перемещения. Модули серии СТМ-2 снабжены двумя шариковыми танкетками, на которые крепится каретка длиной 110 мм.

Для используемого на лабораторном стенде модуля ход каретки S составляет 1500 мм.

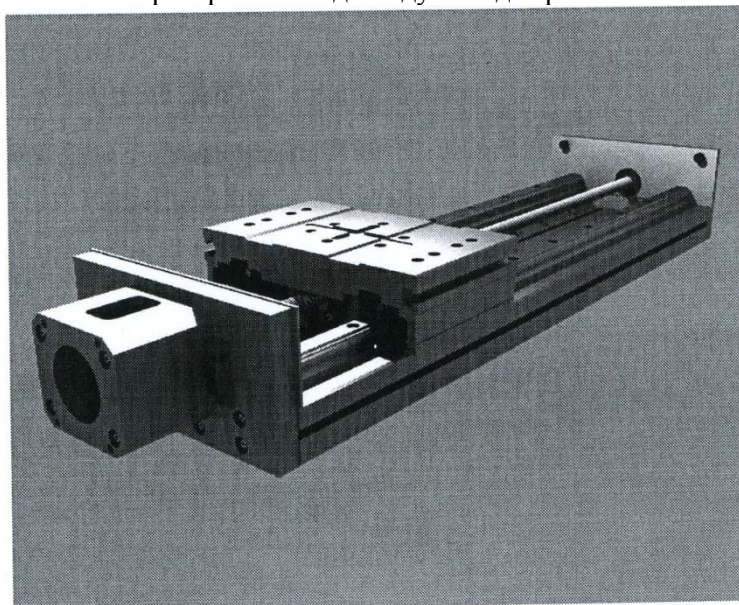


Рис. 7 Модуль линейных перемещений СТМ-2

Технические характеристики модуля СТМ-2 приведены в Таблице 5.

Таблица 5 – Основные технические характеристики модуля СТМ-2

Стандартный размер рабочей поверхности каретки – длина × ширина, мм	110 × 150
Стандартный способ фиксации перемещаемого изделия	На верхнюю или боковую поверхность каретки через резьбовые соединения
Расстояние между нижней поверхностью основания и верхней поверхностью каретки, мм	71
Минимально возможный ход модуля по упорам (S), мм	90
Максимально возможный ход модуля по упорам (S), мм	1230
Тип направляющих	Рельсовые качения
Количество шариковых танкеток, шт.	2
Тип механической передачи	ШВП (класс точности – С5) диаметр винта – 16 мм шаг винта – 10 мм
Максимальная частота вращения винта ШВП, об/мин.	5000
Ошибка шага (на один оборот), мкм	8
Точность позиционирования на длине 300 мм, мкм	23
Повторяемость, мкм	+/- 25
Скорость быстрых перемещений модуля, мм/с	800
Нагрузочные характеристики	
Допустимая динамическая нагрузка каретки модуля (Скар), Н	6500
Допустимая динамическая нагрузка ШВП, Н	1170
Динамические моменты, Нм	
М.х.дин	302
М.у.дин	38
М.з.дин	38
Максимальные усилия, Н	
F.x.max	1170
F.y.max	1860
F.z.max	4290
Максимальные опрокидывающие моменты, Нм	
М.х.max	150
М.у.max	25
М.з.max	25
Суммарная величина нагрузки не должна превышать следующего значения:	
$\frac{F_{yA}}{F_{y.Max}} + \frac{F_{zA}}{F_{z.Nax}} + \frac{M_{xA}}{M_{x.Max}} + \frac{M_{yA}}{M_{y.Max}} + \frac{M_{zA}}{M_{z.Max}} \leq 1 ;$	

3 Конструкция и технические характеристики сервоприводов СПШ20

СПШ – это интегрированный сервопривод на базе гибридного шагового электродвигателя [2], в котором используется бесшаговое (векторное) управление на основе адаптированного специально для шаговых двигателей алгоритма.

Гибридные двигатели являются более дорогими, чем шаговые двигатели с постоянными магнитами, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость [5]. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400 (угол шага 3.6 – 0.9 град.). Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. Их механические

части могут вращаться с большими скоростями, чем другие типы шаговых моторов. Этот тип двигателей используется в станках ЧПУ high-end класса и в роботах. Главный их недостаток — высокая стоимость.

Обычный двигатель с 200 шагами на оборот будет иметь 50 положительных и 50 отрицательных полюсов с 8-ю обмотками (4-мя парами). Из-за того, что такой магнит нельзя произвести, было найдено элегантное решение. Берется два отдельных 50-зубых диска. Ротор разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит (рис. 8). Диски привариваются один с положительному, другой к отрицательному полюсам постоянного магнита. Таким образом, один диск имеет положительный полюс на своих зубьях, другой — отрицательный.



Рис. 8 Два 50-зубых диска помещены сверху и снизу постоянного магнита

Диски размещаются таким образом, что если посмотреть на них сверху, то они выглядят как один 100-зубый диск! Возвышения на одном диске совмещаются со впадинами на другом (рис. 9).

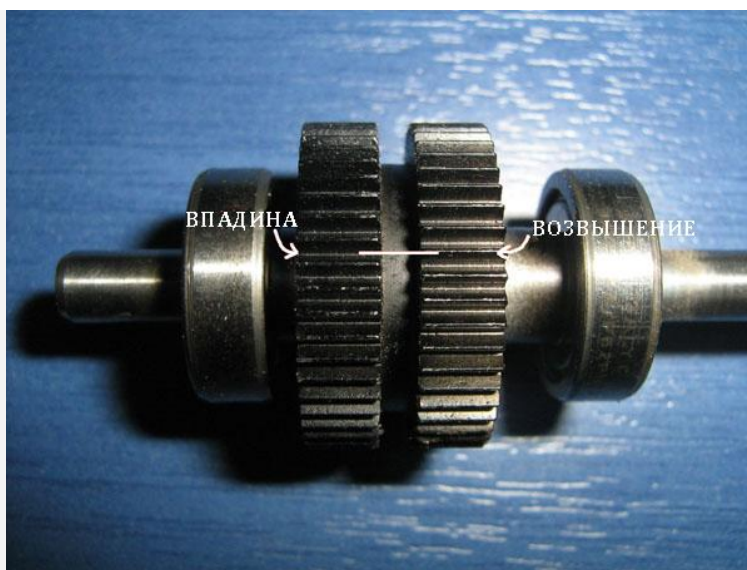


Рис. 9 Впадины на одном диске выровнены с возвышениями на другом

Ротор двигателя имеет 100 полюсов (50 пар), двигатель имеет 2 фазы, поэтому полное количество полюсов — 200, а шаг, соответственно, 1.8 град.

3.1 Режимы работы сервоприводов СПШ20

- управление позицией вала с функцией плавного разгона и торможения с исключением двух диапазонов резонансных частот;
- управление скоростью с функцией плавного разгона и торможения с исключением двух диапазонов резонансных частот;
- управление моментом;
- отработка программ движения пользователя;

- электронный редуктор;
- режим синхронизации группы приводов (выполнение циклических операций с синхронизацией по шине CAN);
- тестовый режим; с его помощью можно установить стандартные функции задания для электропривода (ступенька, синус) и проанализировать качество переходных процессов.

Сервоприводы серии СПШ оснащены встроенной защитой от короткого замыкания, перегрева, повышенного и пониженного напряжения, превышения внешнего момента.

3.2 Основные технические характеристики сервопривода СПШ20-34100

На лабораторном стенде в состав интегрированного сервопривода СПШ20 включены гибридный шаговый электродвигатель, блок управления, источники питания силовой части и блока управления, модуль линейного перемещения МР110.

Для питания блока управления привода используют стабилизированный источник питания напряжением $15\text{ В} \pm 10\%$ постоянного тока, мощностью не менее 5,25 Вт на один привод. Пульсации не более 100мВ. *Работа с нестабилизированным источником питания не допускается.* Питание силовых цепей привода осуществляют от нестабилизированного источника.

Основные технические характеристики сервопривода СПШ20-34100 приведены в Таблице 6, механические характеристики – на рис. 10, габаритные размеры – на рис. 11.

Таблица 6 – Основные технические характеристики сервопривода СПШ20-34100

Выходная мощность, Вт	270
Момент удержания, Нм	10
Напряжение питания силовой части, В	48-120
Номинальный ток, А	6.5
Напряжение питания блока управления, В	15
Максимальный ток потребления блока управления, А	0.35
Момент инерции вала ротора, кгсм ²	4
Разрешение энкодера, имп/оборот	1000 или 2000
Номинальная скорость, об/мин	4500
Наличие нулевой метки	Да
Допустимая эксплуатационная температура окружающей среды, °С	-20...+50
Температура хранения, °С	-40...+50
Исполнение серводвигателя	IP54
Масса серводвигателя, кг	6.4

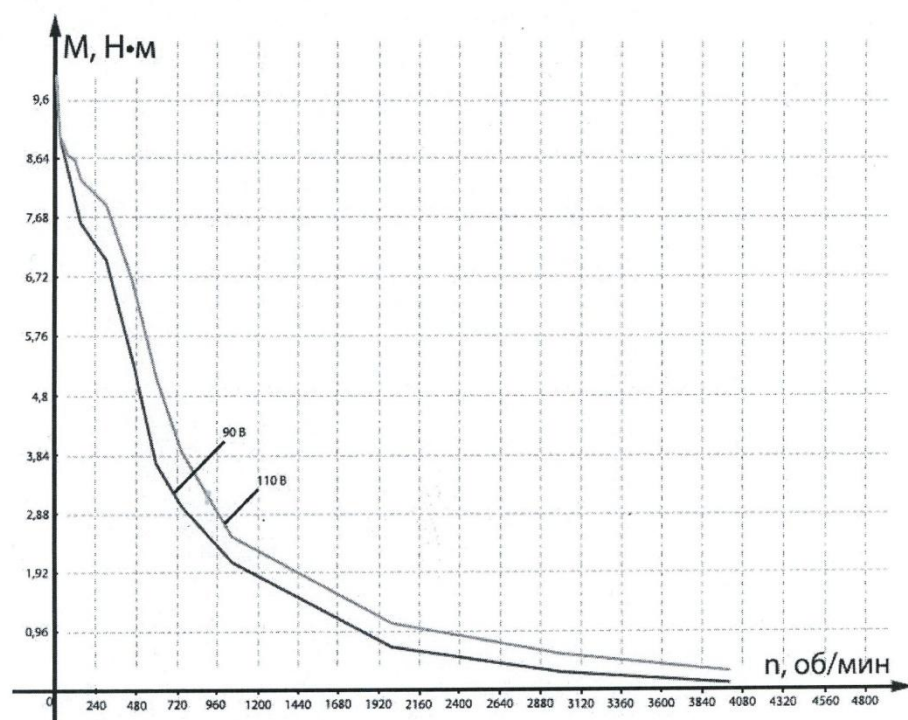


Рис. 10 Механические характеристики СПШ20-34100 при различных значениях питающего напряжения

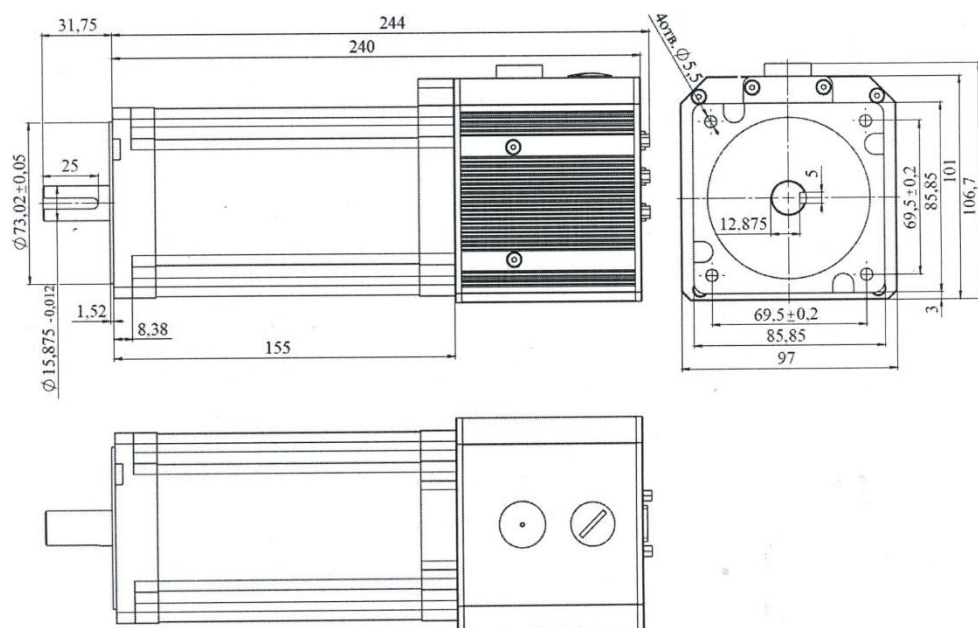


Рис. 11 Габаритные размеры СПШ20-34100

3.3 Модуль линейных перемещений МР110

Модуль линейного перемещения МР110 [6] (рис. 12) разработан и выпускается компанией ЗАО «ЗМИ» для обеспечения высокоскоростного перемещения объектов на расстояние до 5700 мм.

Основой модуля служит анодированное алюминиевое основание (несущий силовой элемент) с интегрированными шлифованными валами. Крутящий момент передаётся от двигателя

через шкив к ремню. Базовой платформой для крепления изделий служит каретка с установленными на ней колесами, обеспечивающими высокоскоростное перемещение. Материал основания – высокопрочный алюминиевый сплав 6063 T66 ГОСТ 22233-2001.

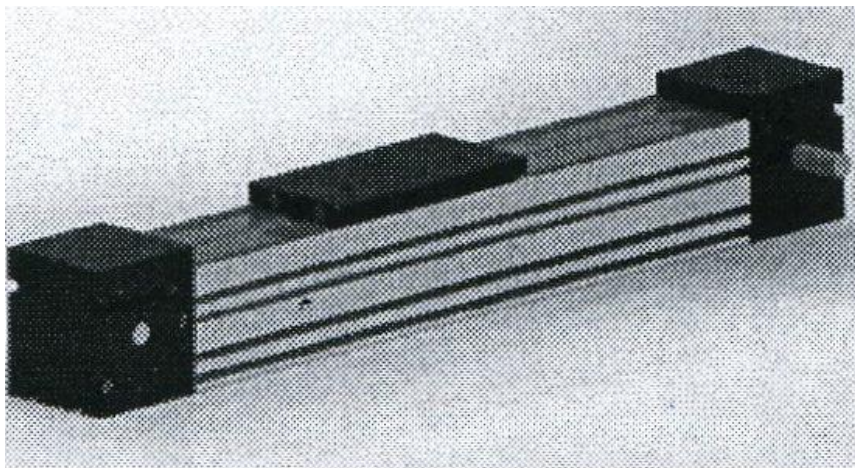


Рис. 12 Модуль линейного перемещения MP110

Процесс сборки и монтажа упрощен за счет специальных шпоночных канавок на основании и каретке модулей линейного перемещения MP75 / MP110. Конфигурация пазов на основании и каретке позволяет использовать стандартные закладные элементы производимые компанией BOSCH-Rexroth.

Данное преимущество позволяет оперативно произвести сборку любой конструкции с использованием серийных профилей и компонентов.

В стандартной комплектации модуль оснащен аварийными упорами и концевыми выключателями, выводы с которых заведены в разъем D-Sub.

Благодаря опционной металлической защитной ленте подвижные элементы модуля защищены от попадания раскаленной стружки, окалины от сварки, грязи, сожи и т.д.

Технические характеристики используемого на лабораторном стенде модуля линейного перемещения с зубчатым ремнем MP110 приведены в Таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики модуля линейного перемещения MP110

Ход каретки, мм	2000
Размеры каретки, мм	180x110
Тип механической передачи	Зубчатый полиуретановый ремень типа AT10
Максимальная скорость перемещения, мм/с	3000
Концевые выключатели	С механическими выключателями

4 Структура систем управления сервоприводами СПС25 и СПШ20

Системы управления сервоприводами СПС25 и СПШ20 построены по принципу подчиненного регулирования [7].

4.1 Системы подчиненного управления

Системой подчиненного управления (СПУ) называется система автоматического управления, состоящая из нескольких вложенных друг в друга замкнутых контуров, настроенных так, что внутренний контур подчиняется внешнему контуру, который вырабатывает сигнал управления для внутреннего контура и управляет им. Классическая структура СПУ для трех контуров показана на рис. 13. Каждый из контуров содержит свой собственный регулятор и датчик регулируемой величины.

В зависимости от структуры и параметров объекта, требований к статическим и динамическим свойствам контура могут быть использованы П-, ПИ-, ПИД- регуляторы.

Первый (внутренний) контур – контур регулирования момента (тока) двигателя. Этот контур содержит регулятор момента двигателя PM , датчик момента DM , объединенные в блок W_{01}

силовой преобразователь и обмотку двигателя. С помощью датчика $ДМ$ осуществляется жесткая обратная связь (ЖОС) по моменту (току). Задающим сигналом для первого контура является сигнал задания момента $U_{зм}$ с выхода регулятора скорости $РС$.

Второй контур, которому подчинен первый – контур регулирования угловой скорости двигателя ω . Он содержит регулятор скорости $РС$, первый контур, двигатель с его механической характеристикой $\omega = f(M)$, датчик скорости $ДС$ для реализации жесткой обратной связи (ЖОС) по скорости. Задающим сигналом для второго контура является сигнал задания скорости $U_{зс}$ с выхода регулятора положения объекта управления $РП$.

Третий (главный) контур, которому подчинен второй – контур регулирования положения S объекта управления. Он содержит регулятор положения $РП$, второй контур, кинематическую передачу между валом двигателя и объектом управления (W_{03}), датчик положения $ДП$ для реализации ЖОС по положению.

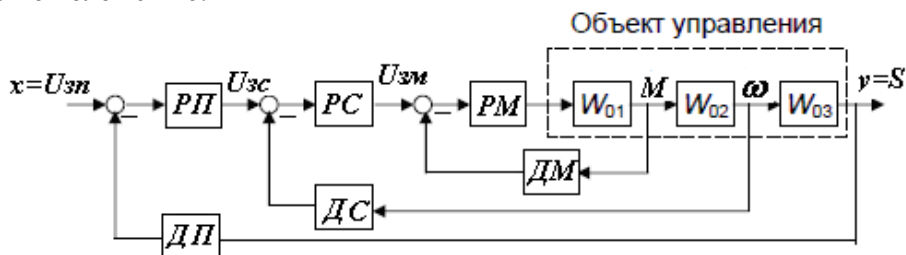


Рис. 13 Система подчиненного управления

Итак, каждый внутренний контур подчинен следующему по порядку внешнему. Эта подчиненность выражается в том, заданное значение переменной во внутреннем контуре определяется выходным сигналом следующего по порядку внешнего. В результате все внутренние контуры работают как подчиненные задаче регулирования выходной величины системы. Достоинства СПУ определяются возможностью реализации следующих процедур:

1. Раздельная настройка контуров, начиная с первого самого внутреннего контура.
2. Коррекция переходных процессов в каждом контуре, что существенно упрощает практическую настройку системы.
3. Раздельное регулирование переменных.

Настройка контура включает *выбор типа регулятора и расчет его параметров*. Настройку производят так, чтобы получить технически оптимальный переходный процесс в каждом контуре (настройка на технический оптимум).

Технически оптимальным считается такой переходный процесс, при котором время t_1 изменения регулируемой величины от 0 до установившегося значения было бы минимально возможным при перерегулировании $\sigma = (A_1 / \omega_{уст}) \cdot 100\%$ не превышающим 4-10% (рис. 14).

Такой переходный процесс при ступенчатом входном воздействии является компромиссным между процессом более быстрым, но с большим перерегулированием, и процессом с меньшим перерегулированием, но более медленным.

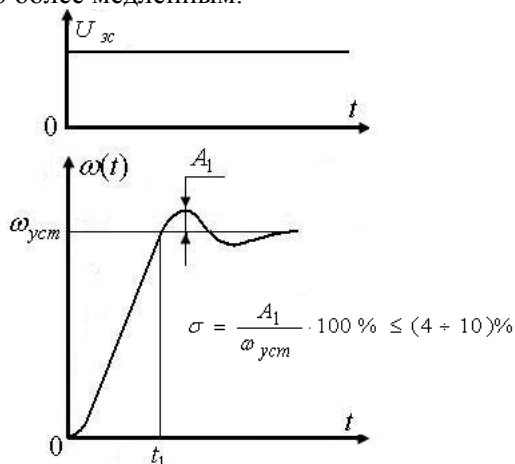


Рис. 14 К настройке на технический оптимум

Для сервоприводов СПС25 и СПШ20 в контурах регулирования используются:

- в контуре регулирования момента в качестве РМ используется ПИ – регулятор;
- в контуре регулирования скорости в качестве РС используется ПИД – регулятор;
- в контуре регулирования положения в качестве РП используется ПИ – регулятор.

4.2 Настройка параметров сервоприводов

На лабораторном стенде система управления каждым сервоприводом укомплектована отдельным компьютером. Для настройки параметров системы управления сервоприводом используется программа МотоМастер©, которая устанавливается на каждом компьютере [8].

Для выполнения настройки параметров необходимо:

- подключить сервопривод к компьютеру через интерфейс USB;
- подать напряжение питания;
- запустить МотоМастер©;
- подключиться к требуемому двигателю;
- перейти в раздел «Конфигурация».

При изменении параметров МотоМастер© пересылает обновление в систему управления, где они записываются в энергонезависимую память данных. Поэтому внесенные изменения восстанавливаются после сброса контроллера. Все параметры сервопривода разбиты на несколько групп:

- **статические параметры;**
- **параметры управления;**
- **динамические параметры;**
- **системные параметры;** предназначены для настройки внутренних алгоритмов и режимов работы, а также для выполнения проверки работоспособности и выявления неисправностей.
- **параметры тестирования;** позволяют задать режим тестирования качества настройки привода.

Некоторые параметры доступны только для чтения, поэтому при попытке изменить их значение МотоМастер© выдаст соответствующее сообщение-предупреждение.

Программа МотоМастер© выполняет пересчет некоторых параметров во внутренний формат при записи в привод и при отображении значения в окне программы для удобства пользования программой. К таким параметрам относятся: **скорости, токи.**

Формула пересчета скорости при чтении из привода:

$$\omega (\text{об/мин}) = \text{round}\left(\frac{\omega(\text{дискрет}) \cdot 60 \cdot \text{vp4}}{\text{st1} \cdot \text{vp3}}\right) \quad (1)$$

Формула пересчета скорости при записи в привод:

$$\omega (\text{дискрет}) = \frac{\omega(\text{об/мин}) \cdot \text{st1} \cdot \text{vp3}}{60 \cdot \text{vp4}} \quad (2)$$

Формула пересчета тока при записи:

$$I (\text{дискрет}) = \frac{I(A) \cdot 2047}{5} \quad (3)$$

Формула пересчета тока при чтении:

$$I (A) = \frac{I(\text{дискрет}) \cdot 5}{2047} \quad (4)$$

ВНИМАНИЕ! При пересчете, в процессе округления, некоторые параметры могут принимать значения отличные на некоторую величину от заданных пользователем значений в программе Мотомастер©. При этом погрешность установки зависит от настроек контуров управления.

4.2.1 Статические параметры

В данную группу входят неизменяемые в процессе работы параметры привода.

В таблице 8 приведены основные статические параметры (их полный перечень приведен в литературе [8]).

Таблица 8 – Статические параметры сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение	Значение по умолчанию
КОНТУР ТОКА (МОМЕНТА)				
Ср1	Пропорциональный коэффициент контура тока (момента)	1	25	2
Ср2	Интегральный коэффициент контура тока (момента)	0	100	0
Ср3	Номинальный ток, А	0	3	3
Ср4	Максимальный ток, А (определяет пиковое значение тока, причем данное значение тока может подаваться на двигатель в течение 5 мс, по истечении которых, ток в обмотке двигателя ограничивается номинальным током в течение 50 мс).	0	5	4
Ср5	Состояние контура тока	–	–	замкнут
Ср6	Вырабатываемый момент, %	0	100	100
Ср7	Модуляция ШИМ сигнала	0:выкл	1:вкл	1:вкл
КОНТУР СКОРОСТИ				
Vp1	Пропорциональный коэффициент контура скорости	0.00025	150	0.6
Vp2	Интегральный коэффициент контура скорости	0.00025	150	0.3
Vp16	Дифференциальный коэффициент контура скорости	0.00025	150	1.0
Vp3	Коэффициент обратной связи по скорости	1	500	1
Vp4	Частота дискретизации контура скорости, Гц (при увеличении частоты дискретизации увеличивается жесткость системы и уменьшается глубина регулирования, т.е. увеличивается неравномерность вращения; после настройки параметра Vp4 могут быть изменены параметры Vp3, Vp5, Vp6, Vp8, Vp9)	100	5000	500
Vp5	Ускорение/замедление, дискрет/с (данный параметр настраивает внутренний интерполятор скорости)	1	15000	100
Vp6	Максимальное время выхода на номинальный режим, с (время, в течение которого скорость вала двигателя должна достигнуть заданного значения; если скорость вала не достигла заданного значения, то происходит аварийный останов привода. При этом состояние привода переводится в «Останов по перегрузке»).	0:не ограничено	30	5
Vp7	Состояние контура скорости	–	–	замкнут
Vp8	Максимальная скорость вращения, об/мин.	10	7500	4000
Vp9	Динамический режим (1. Режим плавного разгона/торможения. В данном состоянии внутренний интерполятор включен. 2. Режим с максимальной динамикой - без использования внутреннего интерполятора. Вал двигателя выполняет разгон с максимальным ускорением. Данный режим используется, если привод работает под управлением системы управления верхнего уровня, которая реализует интерполяцию).	0	4	1
Vp15	Авто расчет номинальной скорости, об/мин (если параметр Vp15 установлен в «Да» в момент включения блок управления выполняет автоматическое определение номинальной скорости в соответствии с текущим уровнем напряжения и параметрами привода. Пользователь может устанавливать номинальную скорость вращения вручную после установки параметра Vp15 в «Нет»).	0:Нет	1:Да	–
КОНТУР ПОЛОЖЕНИЯ				
Pr1	Пропорциональный коэффициент контура положения	0.00025	100	5
Pr2	Интегральный коэффициент контура положения	0.00025	3000	0
Pr3	Частота дискретизации контура положения, Гц (предусмотрено несколько частот дискретизации, из которых пользователь может выбрать требуемую частоту дискретизации в зависимости от стоящей перед ним задачи).	50	500	500
Pr5	Состояние контура положения	–	–	замкнут

Pr6	Ограничение интегральной составляющей контура позиции (параметр насыщение интегрирования ПИ регулятора скорости. Позволяет эффективно снижать колебательности переходного процесса по позиции).	0	10	0.5
St1	Разрешение датчика позиции на один оборот, имп. (параметр только для чтения)	4000	160000	4000

4.2.2 Параметры управления

С помощью данных параметров задают текущее управление (Таблица 9).

Таблица 9 – Параметры управления сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение	По умолчанию
Ct1	Задание контура тока, А (с помощью данного параметра пользователь может установить задающее воздействие для контура тока; параметр может использоваться только, если разомкнуты контуры скорости и положения).	-4	4	0
Ct12	Задание контура скорости, об/мин (с помощью данного параметра пользователь может установить задающее воздействие для контура скорости; параметр может использоваться только, если разомкнут контур положения).	-7000	7000	0
Ct13	Задание контура позиции, имп. (с помощью данного параметра пользователь может установить задающее воздействие для контура положения).	-2147483647	+2147483647	0

4.2.3 Динамические параметры

Данные параметры отображают текущее состояние привода и используются *только для просмотра* (Таблица 10, подробнее [8]).

Таблица 10 – Динамические параметры сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение
Dd1	Текущий ток в обмотке 1, А	-5	+5
Dd3	Текущий ток в обмотке 2, А	-5	+5
Dd2	Текущее заданное значение контура тока, А	-5	+5
Dd4	Текущая скорость вращения, об/мин.	-7000	+7000
Dd5	Заданная скорость вращения, об/мин.	-7000	+7000
dd21	Ошибка контура скорости, об/мин.	-7000	+7000
Dd7	Текущая позиция, дискрет	-2147483647	+2147483647
Dd8	Заданная позиция, дискрет	-2147483647	+2147483647
dd19	Ошибка контура позиции, дискрет	-2147483647	+2147483647
Dd10	Температура внутри корпуса, град	-40	+100
Dd11	Статус контроллера (0:«исправен»;... 4:«выход из температурного диапазона»;... 8:«низкое цифровое напряжение» - проверьте, что цифровое напряжение питания находится в диапазоне 12-15 В; подробнее в литературе [1])	0	9
Dd12	Текущее значение силового напряжения, В	0	150
Dd13	Текущее значение цифрового напряжения, В	0	15

4.2.4 Системные параметры

Предназначены для настройки внутренних алгоритмов и режимов работы, а также для выполнения проверки работоспособности и выявления неисправностей, используются *только для просмотра* (Таблица 11, [8]).

Таблица 11 – Системные параметры сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение
Ss2	Количество КЗ	0	65536
Ss3	Количество превышений температуры	0	65536
Ss4	Количество перенапряжений	0	65536
Ss5	Количество пониженного значения напряжений	0	65536
Ss6	Количество перегрузок	0	65536
Ss7	Количество перепрограммирований (DSP контроллер имеет ограниченное число циклов перепрограммирований. Гарантированное число программирований составляет 500).	0	65536
Ss8-Ss15	Журнал последних 8 событий (в журнал сохраняются последние 8 аварийных событий, которые были зафиксированы).	—	—

Ss2 – Ss6 – счетчики событий за время эксплуатации привода. При возникновении аварийных событий происходит увеличение значения соответствующего счетчика на 1.

ВНИМАНИЕ! Отключение двигателя по данным событиям не является штатным режимом работы, примите меры по устранению условий возникновения данного события.

4.2.5 Параметры тестирования (Таблица 12)

Сервоприводы СПШ и СПС поддерживает тестовый режим, с помощью которого можно проанализировать качество переходных процессов в приводе. Эксперимент проводится следующим образом:

1. Пользователь настраивает параметры теста.
2. Далее настраивает осциллограф и выполняет запуск эксперимента.
3. Сервопривод обрабатывает эксперимент и сохраняет 1500 выборок каждого параметра (не более трех), с заданным интервалом.
4. Сервопривод передает сохраненные значения в Мотомастер©.

Таблица 12 – Параметры тестирования сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение
Tr1	Режим осциллографа (задает текущий тестовый режим: 1. Непрерывный режим - режим непрерывного сканирования заданных координат. 2. Ступенька - приращение позиции на заданный шаг. 3. Синус - синусоидальное изменение позиции с заданными параметрами. 4. Приращение скорости. 5. Синусоидальное изменение скорости. 6. Параболическое изменение скорости. 7. Измерение без задания - в данном режиме задающее воздействие не вносится, происходит лишь сканирование требуемых координат в течение определенного времени	0	7
Tr2	Период опроса, мкс (параметр определяет, с какой частотой будет выполняться опрос требуемых параметров; длительность всего эксперимента составляет Tr2*3000 мкс)	25	25000
Tr3	Амплитуда задания положения, дискрет (если параметр Tr1=Ступенька/ Приращение скорости, то Tr3 определяет приращение, которое будет добавлено к текущей позиции в момент проведения теста. Если параметр Tr1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Tr3 определяет амплитуду синусоидального задания контура позиции).	-2147483647	+2147483647
Tr6	Амплитуда задания скорости, дискрет (если параметр Tr1=Ступенька/ Приращение скорости, то Tr6 определяет прираще-	-14000	+14000

	ние, которое будет добавлено к текущей скорости в момент проведения теста. Если параметр Тр1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Тр6 определяет амплитуду синусоидального задания контура скорости).		
Тр5	Период задающего воздействия, мкс (если параметр Тр1=Ступенька/ Приращение скорости, то Тр5 определяет время после начала эксперимента, через которое будет выполнено приращение задающего воздействия. Если параметр Тр1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Тр5 определяет период синусоидального задания контура позиции/скорости	25	25000

4.3 Графический интерфейс программы Мотомастер©

Графический интерфейс программы Мотомастер© [2] представлен на рис. 15. При загрузке МотоМастер© выполняет автоматический поиск подключенного к компьютеру привода. Для выполнения повторного поиска щелкните левой кнопкой мыши на крайнюю верхнюю левую клавишу (рис. 15). При обнаружении привода рядом с клавишей поиска высвечивается клавиша номера привода и активными становятся окна интерфейса с данными для обнаруженного привода.

Для выполнения ручного управления сервоприводом щелкните кнопкой мыши на клавишу с изображением ладони (рис. 15). При этом появится диалоговое окно, приведенное на рис. 16 [2].

Диалоговое окно позволяет задавать вручную текущую позицию или скорость. Для задания текущей позиции введите необходимое значение в строке редактирования в группе «Положение» и нажмите кнопку «Старт». Для перемещения вала ротора на заданное в поле «Шаг» приращение по часовой или против часовой стрелки нажмите кнопки вправо/влево соответственно. Для задания скорости вращения переместите ползунок в требуемую позицию. При этом шкалу диапазона скорости задания можно менять путем ввода значения в поле «Макс. скорость». Для установки нулевого значения скорости нажмите кнопку «R».

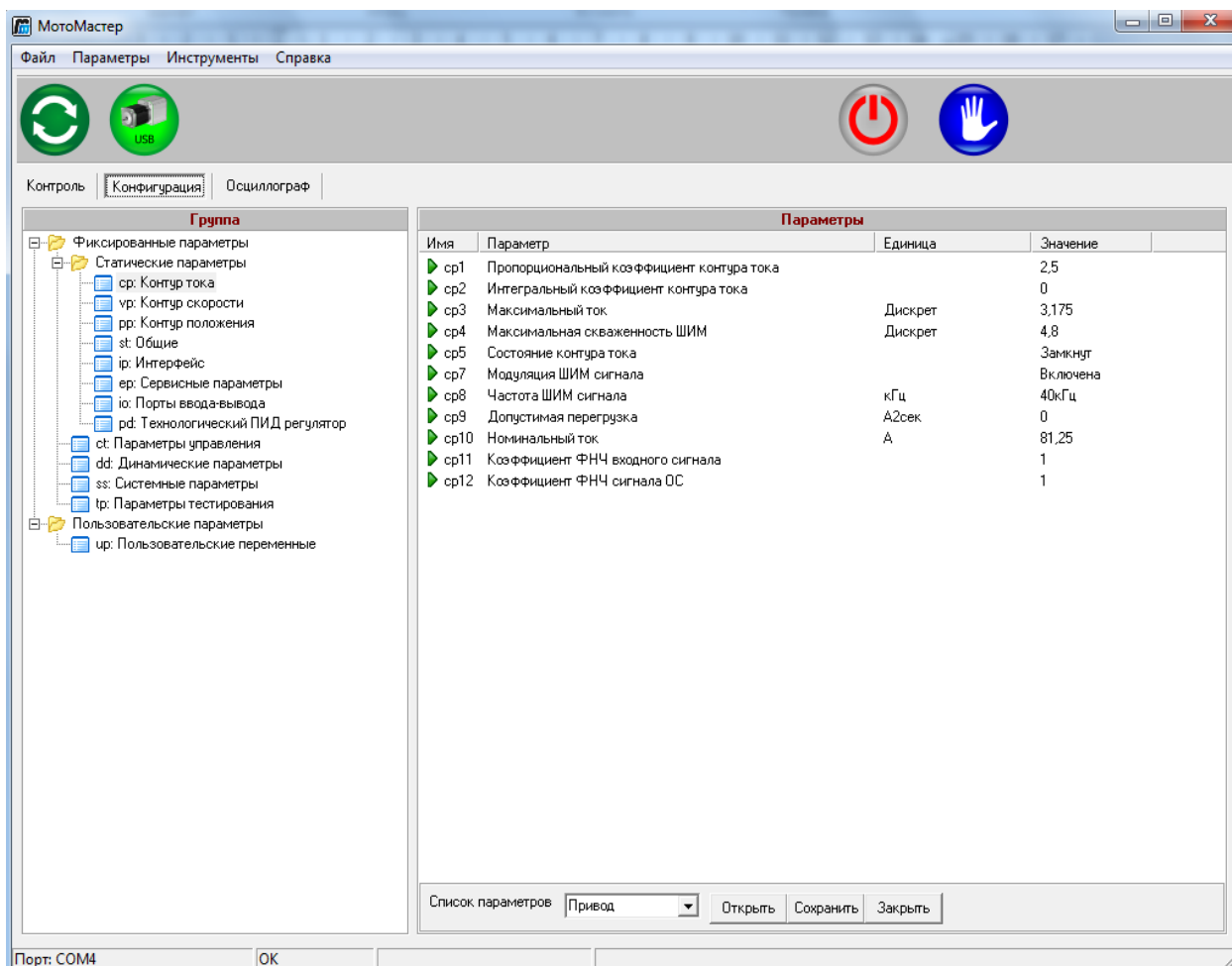


Рис. 15 Графический интерфейс программы Мотомастер©

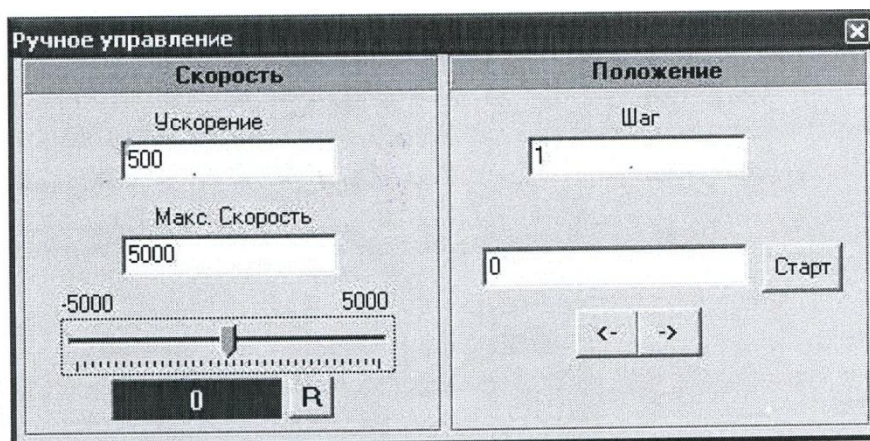


Рис. 16 Диалоговое окно ручного управления

4.3.1 Просмотр и изменение параметров привода [2]

При установленном соединении на панели «Группа» (рис. 15) отображается дерево групп параметров. Для просмотра параметров группы выберите ее щелчком мыши, при этом список параметров группы отобразится на панели «Параметры». Колонки панели «Параметры»:

- «имя» – внутреннее наименование;
- «параметр» – краткое описание;
- «значение» – текущее значение;
- «единица» – единицы измерения.

Параметры, доступные для записи, имеют рядом с именем значок ▷ .

Для изменения значения параметра дважды щелкните мышью на соответствующей строке или выберите параметр и нажмите «Enter». Если параметр доступен для записи, то отобразится окно редактирования значений параметра (рис. 17), если же параметр доступен только для чтения, то будет выведено соответствующее сообщение.

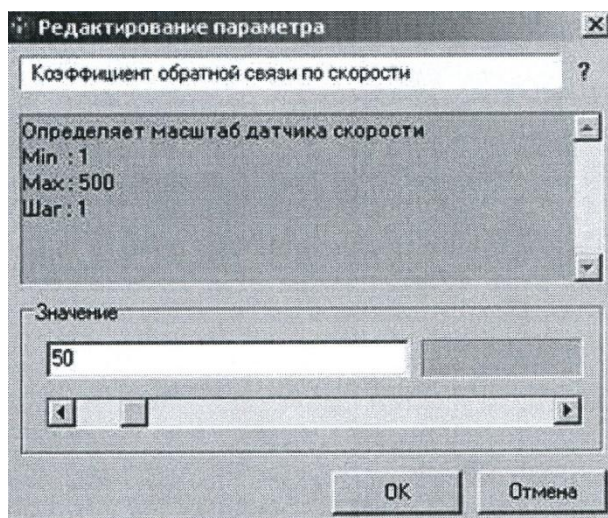


Рис. 17 Окно ввода значения параметра.

В окне отображается наименование параметра. При нажатии кнопки «?» также будет выведена дополнительная информация: полное описание параметра, диапазон допустимых значений и шаг изменения. Если параметр имеет набор фиксированных значений, то значение можно выбрать с помощью выпадающего списка, в противном случае – ввести его в поле ввода вручную. В обоих случаях значение параметра можно изменить с помощью полосы прокрутки. Нажатие на кнопку «OK» записывает значение параметра в энергонезависимую память системы управления и закрывает окно, нажатие на кнопку «Отмена» закрывает окно без изменения значения параметра.

4.3.2 Работа с осциллографом [2]

Осциллограф предназначен для построения графиков изменения параметров двигателя. Для переключения в режим осциллографа щелкните левой кнопкой мыши на клавишу «Осциллограф» контрольной панели (рис.15). На экран выведется окно осциллографа (рис. 18).

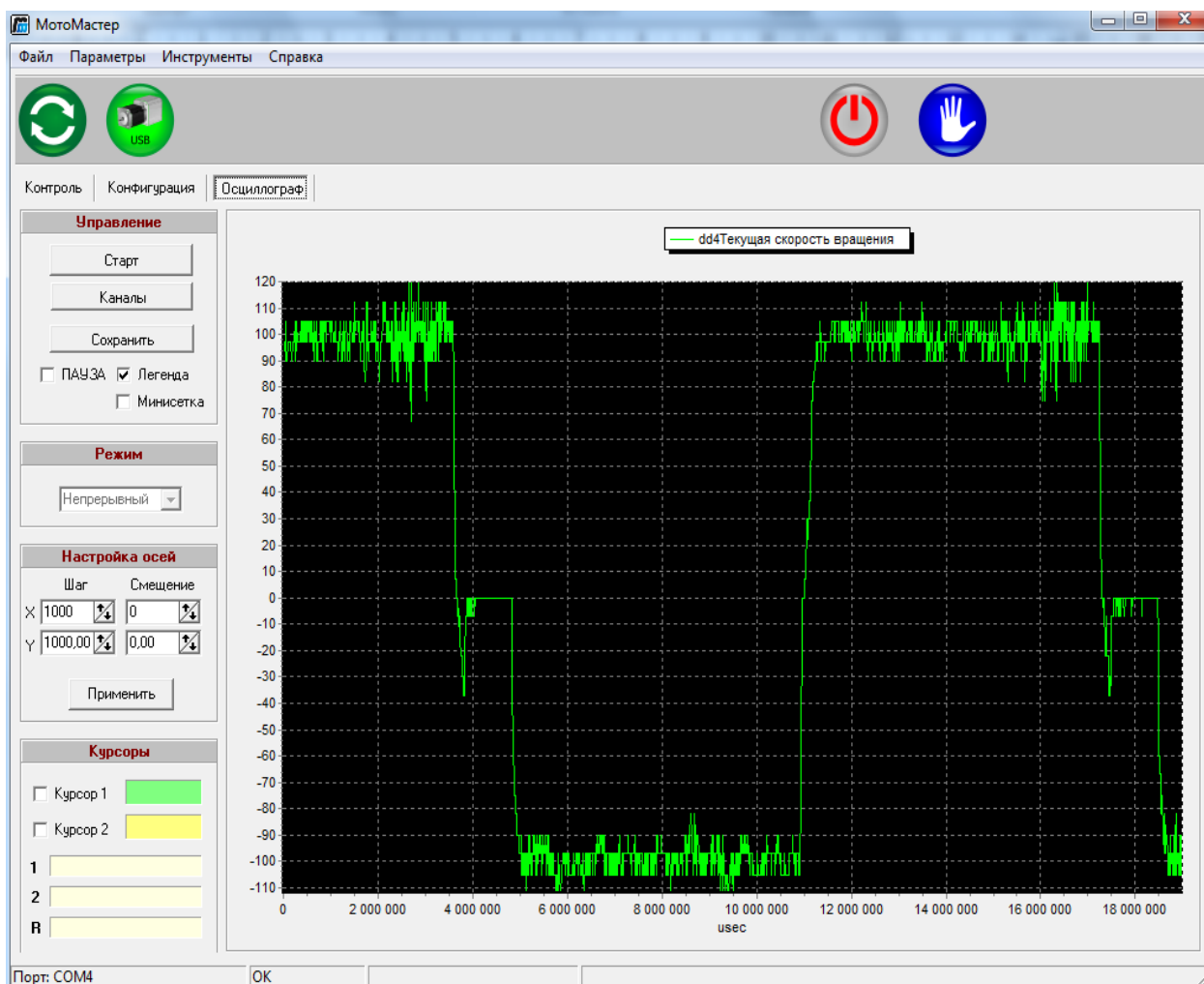


Рис. 18 Окно осциллографа

Для выбора отображаемых каналов выберите кнопку «Каналы». При этом отобразится окно, приведенное на рис. 19.

Каналы осциллографа					
Каналы					
Канал	Параметр	Цвет	Двигатель	Множитель	Смещение
A	dd4Текущая скорость вращения		0	1	0
B	dd8Текущее положение		0	1	0
C	Параметр не определен		0	1	0
D	Параметр не определен		0	1	0
E	Параметр не определен		0	1	0

Рис. 19 Окно выбора каналов осциллографа

В окне отображаются выбранные каналы. При двойном щелчке левой кнопкой мыши на строке списка отображается окно настройки канала (рис. 20).

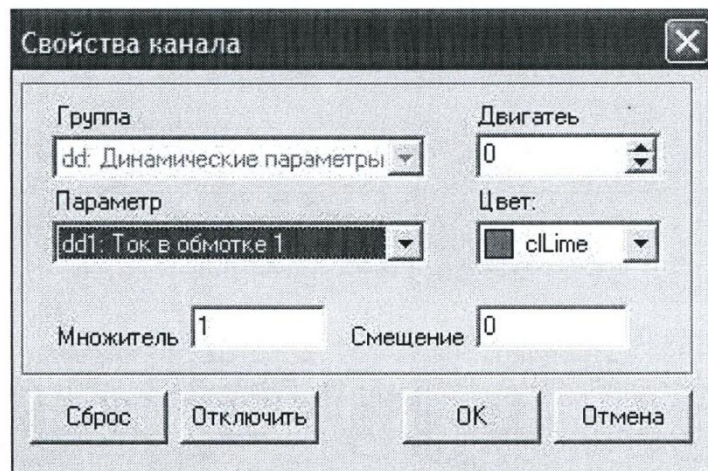


Рис. 20 Окно настройки канала

Канал будет либо добавлен, если строка была пуста, либо изменен.

Поля «Множитель» и «Смещение» позволяют настроить индивидуально отображение каждого графика, которые позволяют выполнить масштабирование графика и его смещение относительно нулевого значения.

С помощью списка «Параметр» можно выбрать параметр для отображения.

С помощью выпадающего списка «Цвет» можно выбрать цвет, которым будет отображен график данного параметра.

Кнопка «Сброс» очищает выбранный канал.

Кнопка «Включить /Отключить» позволяет запретить/разрешить прорисовку графика изменения данного параметра.

Нажатие кнопки «OK» сохраняет изменения канала и закрывает окно. Нажатие кнопки «Отмена» закрывает окно не изменяя настроек канала.

ВНИМАНИЕ! В текущей версии программного обеспечения Мотомастер© можно анализировать не более трех параметров, при этом среди них может быть только один 32х битный параметр (либо задание позиции, либо текущая позиция).

Параметр «Двигатель» позволяет установить порядковый номер одного из активных в текущий момент приводов. В результате в рамках одного эксперимента можно выполнить анализ динамических параметров двух и более приводов.

4.3.2.1 Управление осциллографом

Осциллограф может работать в двух режимах: непрерывный и режим с высоким разрешением. Для запуска осциллографа нажмите кнопку «Пуск».

Непрерывный режим отображает изменение выбранных динамических параметров с частотой 20 Гц до нажатия кнопки «Стоп».

В режиме с высоким разрешением изменение параметров фиксируется в буфере самого привода с регулируемым шагом. При этом на экране будет отображена шкала прогресса выполнения заданного теста. По завершению эксперимента накопленные данные передаются в Мотомастер. При этом отображается прогресс приема информации. По окончании обработки принятой информации будут отображены графики выбранных параметров.

Для увеличения отдельных участков анализируемой осциллограммы выполните следующие действия (рис. 18):

1. Подведите курсор мыши в левый верхний угол увеличиваемого участка осциллограммы.
2. Нажмите левую кнопку мышки.
3. Переместите курсор мышки в правый нижний угол выделяемого участка.
4. Отпустите кнопку мышки.

Для восстановления исходного масштаба осциллограммы выполните аналогичные действия, перемещая курсор мыши из правого верхнего угла в левый нижний.

Отображенные графики могут быть сохранены на диске. Для этого после завершения эксперимента выберете пункт меню «Файл/Сохранить график». В появившемся диалоговом окне укажите имя файла. При этом в указанном каталоге будут сохранены: графический файл со снятыми переменными и текстовые файлы с таблицами значений снятых графиков.

4.3.2.2 Настройки внешнего вида осциллографа и отображения графиков

Для отображения названий параметров установите флажок «Легенда» (рис. 18).

Для отображения более мелкой сетки установите флажок «Минисетка».

Для настройки диапазонов отображения значений используйте параметры «Шаг» и «Смещение» для осей X и Y. При изменении шага по оси изменится диапазон отображения по этой оси. Смещение определяет минимальное отображаемое значение. Графики будут изменены после нажатия кнопки «Применить».

Для отображения на экране курсоров установите флажки «Курсор 1» и «Курсор 2».

На панели «Курсоры» отобразятся позиции курсоров и разница между ними. Цвет курсоров можно изменить, щелкнув мышью на цветном прямоугольнике справа от флажка.

4.4 Программирование логического контроллера

В системе управления сервоприводов, выпускаемых компанией ЗАО «Сервотехника», реализован программируемый логический контроллер (ПЛК) [9].

ПЛК предназначен для исполнения прикладных программ, созданных пользователем. Основная задача ПЛК – это предоставить возможность автономно выполнять вспомогательные операции самим приводом без использования контроллера верхнего уровня.

К наиболее часто используемым задачам, решаемым с помощью встроенного ПЛК, относятся:

- выход в нулевую позицию по позиционному выключателю;
- аварийный останов привода в случае выхода из рабочей зоны действия;
- управление режимом работы привода;
- включение/выключение внешнего оборудования по определенным событиям.

С помощью ПЛК можно решать и более комплексные задачи: автономная работа нескольких приводов, объединенных в локальную сеть с помощью шины CAN, с целью совместного позиционирования.

Разработка программ для внутреннего ПЛК выполняется на языке SML (Servo Motor Language), разработанного компанией ЗАО «Сервотехника» специально для сервоприводов. Разработка и отладка программ может выполняться в программе МотоМастер© (рис. 21), для этого в нее включен текстовый редактор, расположенный в окне «Контроль» (рис. 18). Подробное описание интерфейса программы МотоМастер©, приведено в документе [2].

С помощью программы МотоМастер© пользователь разрабатывает программное обеспечение. Далее при записи программы в привод компилятор, встроенный в МотоМастер©, проверяет синтаксис программы и в случае корректного написания выполняет компиляцию и запись программы в энергонезависимую память программ привода. Далее пользователь может выполнить запуск программы на выполнение. При задании режима запуска программы по событию включение, ПЛК автоматически загружает указанную программу из памяти и, таким образом, готов работать автономно.

В энергонезависимой памяти системы управления привода может храниться до 8 пользовательских программ. При этом в процессе отработки при необходимости ПЛК может переходить от выполнения одной программы к другой.

ПЛК привода работает в фоновом режиме и прерывается такими задачами реального времени как расчет контуров тока, скорости, позиции, прием данных по интерфейсам и пр. Поэтому частота обработки программы зависит от загруженности процессора.

При стандартных настройках привода время выполнения одной команды программы в ПЛК составляет в среднем 50 мкс. Временные характеристики ПЛК в конкретном приложении привода можно проанализировать с помощью параметров dd15 (Время выполнения одной команды интерпретатором), dd16 (Время выполнения программы интерпретатором). Параметры можно анализировать как в режиме реального времени, для оценки средних величин, так и в виде графиков, используя для этого осциллограф.

После разработки программы рекомендуется сохранять программу на диск компьютера с целью возможности восстановления программ после потенциальной потери данных энергонезависимой памяти. Такая ситуация возможна при выходе двигателя из строя, при импорте параметров привода.

В текущей версии редактора программ МотоМастер© существует ряд ограничений:

- не допускаются пустые строки в программе, в т. ч. и последняя;
- не допускаются лишние пробелы и символы табуляции внутри команд;
- все команды чувствительны к регистру;
- размер каждой программы (в объектном коде) не может превышать 256 слов.

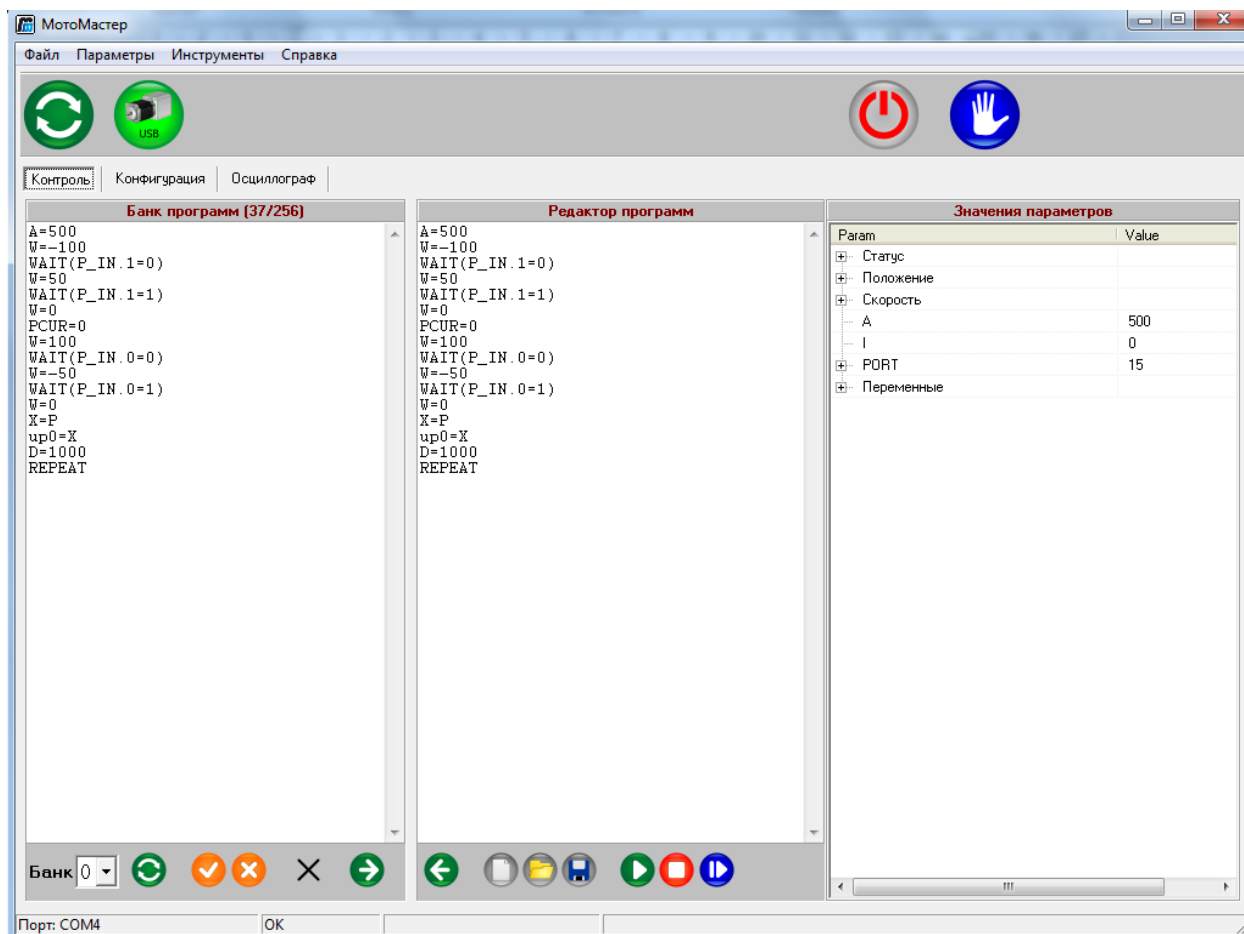


Рис. 21 Окно программирования ПЛК

В энергонезависимой памяти контроллера размещено 8 банков программ, в которые пользователь может сохранять разработанные программы движения.

После выбора вкладки «Контроль» (рис. 19) осуществляется переход в режим программирования контроллера и открывается «Окно программирования контроллера» (рис.21).

Данная вкладка состоит из двух основных частей: панель просмотра содержимого текущего банка программ контроллера (левое) и панель редактирования программ (правое).

При выборе номера банка из выпадающего списка в поле просмотра будет отображена программа, хранящаяся в соответствующем банке. Элементы управления окна программирования приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Сводная таблица элементов управления окна программирования

Элемент управления	Описание
	Обновление содержимого текущего банка контроллера. Мотомастер выполняет чтение выбранного банка программ из привода.
	Удаление программы из текущего банка контроллера.
	Установка банка программ для запуска по включению привода. При этом после каждого включения привод будет отрабатывать программу, сохраненную в данном банке.
	Редактирование программы из текущего банка контроллера. Мотомастер выполняет перемещение программы в поле редактирования.
	Запись отредактированной программы в текущий банк контроллера.
	Очистить поле редактирования для создания новой программы.
	Загрузить программу контроллера с диска.
	Сохранить программу из текущей панели редактирования программ.
	Выполнить текущую команду программы. Пошаговый режим выполнения программы.
	Запустить текущую программу в непрерывном режиме.
	Прервать выполнение программы по завершению выполнения текущей операции.

Для редактирования программы используйте клавишу , при этом программа будет скопирована в правое поле или загрузите существующую программу с диска компьютера (клавиша ).

Для записи созданной программы в контроллер используйте клавишу . Непосредственно перед записью в контроллер записываемая программа компилируется (переводится в объектный код). Если компилятор обнаруживает ошибку, то МотоМастер© выдает сообщение с указанием первой инструкции с ошибкой. При этом первая строка, содержащая ошибку, подсвечивается и запись в контроллер прерывается. В случае успешной компиляции, МотоМастер© выполнит запись программы в текущий банк контроллера и отобразит данную программу в панели просмотра.

В контроллере существуют два режима выполнения программ: непрерывный и пошаговый. Для запуска программы в непрерывном режиме нажмите кнопку . Для запуска программы в пошаговом режиме используйте клавишу . В пошаговом режиме после отработки команды выполнение программы приостанавливается до повторного нажатия клавиши , при этом подсвечивается текущая строка программы.

В поле «Значения параметров» в пошаговом режиме отображаются текущие значения положения, скорости, ускорения и состояние цифровых входов/ выходов на момент завершения выполнения команды. При необходимости текущие значения можно обновить путем нажатия кнопки «Обновить».

Чтобы прервать выполнение программы в любом режиме используйте клавишу .

4.4.1 Экспорт/импорт параметров

В программе реализована возможность сохранения всех параметров сервопривода в файл и загрузки значений параметров из файла. Данный функционал предназначен для поиска неисправностей и некорректной настройки в случае обращения в службу технической поддержки.

Кроме того, рекомендуется выполнять экспорт настроек привода с целью их последующего восстановления при возникновении сбоев, а также для дублирования аналогичных настроек в другие сервоприводы.

Для сохранения параметров в файл выберите из меню (рис. 21) пункт «Файл -Экспорт параметров». В появившемся диалоговом окне введите имя файла и нажмите кнопку «Сохранить». При этом будут сохранены текущие значения всех параметров привода, включая программы всех банков программ. После окончания сохранения работа программы МотоМастер© продолжается в нормальном режиме.

Для загрузки параметров из файла выберите из меню пункт «Файл - Импорт параметров». В появившемся диалоговом окне выберите файл параметров и используйте клавишу «Открыть».

ВНИМАНИЕ! Настоятельно не рекомендуется вручную вносить изменения в сохраненные файлы параметров.

4.4.2 Обновление управляющей программы

Данная функция используется для записи новых версий управляющей программы в контроллер. Для обновления программы выберите из меню пункт «Инструменты > Прошивка контроллера». Отобразится окно программатора (рис. 22).

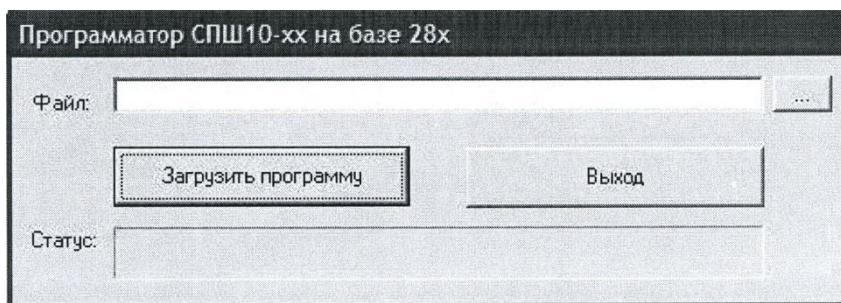


Рис. 22 Диалоговое окно программатора

Используйте клавишу «Загрузить программу» и подождите окончания процедуры.

При этом в поле статус будет отображаться текущий этап загрузки.

По завершению программирования выполните сброс контроллера (сброс напряжения питания).

ВНИМАНИЕ! При возникновении сбоев в процессе записи нового программного обеспечения контроллера потребуются обновление программы в сервис центре, поэтому перед началом программирования завершите все приложения на компьютере, убедитесь в стабильности питания контроллера и компьютера. Не прерывайте программу до полного завершения записи.

ВНИМАНИЕ! Новая прошивка сохраняется в энергонезависимой памяти контроллера, которая имеет ограниченное число циклов записи. **Допускается не более 500 циклов программирования.** Текущее количество выполненных записей фиксируется в параметре ss7.

5 Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы изучите обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами (раздел 1) и пройдите инструктаж по технике безопасности.

2. Изучите материалы, представленные в разделе 4 «Структура систем управления сервоприводами СПС25 и СПШ20».
3. Ознакомьтесь с техническими характеристиками модуля линейных перемещений и двигателя для указанного преподавателем стенда. Рассчитайте массу груза, располагаемого на каретке модуля линейных перемещений, при которой создается дополнительный приведенный к валу двигателя момент инерции $J'_{дон}$, равный удвоенному моменту инерции ротора двигателя ($J'_{дон} = 2J_{ротора}$).
4. Включите управляющий компьютер, с рабочего стола войдите в программу МотоМастер©.
5. Включите силовую часть сервопривода. Примерно через одну минуту после включения силовой части открывается графический интерфейс программы МотоМастер© для выбранного сервопривода (на рис. 15 открываются столбцы «группы», параметры» и т.д.).
6. Войдите в режим «Конфигурация» (рис. 15). Из таблиц 8, 9, 10 выпишите значения параметров (статических, управления, динамических) отдельно для:
 - контура момента;
 - контура тока;
 - контура позиции.
 Ознакомьтесь с назначением системных параметров и параметров тестирования.
7. Войдите в режим «Контроль» (рис. 15). Выберите программу управления из указанного преподавателем банка и запустите ее с помощью клавиши  (таблица. 13) при отсутствии нагрузки (на холостом ходу). При этом выполняется многократно повторяющиеся перемещения объекта управления.
8. Войдите в режим «Осциллограф» на контрольной панели (рис. 15). Выберите 2 типа отображаемых параметров сервопривода (каналов): текущая скорость и текущая позиция. Настройте параметры графиков (цвет, шаг, смещение, множитель). Скопируйте полученные графики.
Выделите отдельные фрагменты графика текущей скорости, скопируйте их. По выделенным фрагментам определите величины ускорений при разгоне и торможении.
9. Выберите 2 других типа отображаемых параметров сервопривода (каналов). Настройте их, выбрав параметры графиков (цвет, шаг, смещение, множитель). Скопируйте полученные графики.
10. Выйдите из режима «Осциллограф» и вернитесь в режим «Контроль» (рис. 21). Остановите управляющую программу, щелкнув левой кнопкой мыши на клавишу .
11. Закрепите на каретке модуля линейных перемещений груз, масса которого рассчитана в п. 3 настоящего раздела.
12. Повторите выполнение п.п. 8, 9. Представьте полученные графики преподавателю.
13. Выключите компьютер, выключите силовое питание.

6 Требования к оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе со стандартным титульным листом представляется к защите каждым студентом и должен содержать:

1. Цель работы.
2. Основные характеристики используемых модулей линейного перемещения.
3. Основные характеристики используемых двигателей СПС-80.016.075, СПС-80.007.033, СПШ20-34100.
4. Структуру системы подчиненного управления приводом.
5. Перечень параметров в режиме «Конфигурация» программы МотоМастер©.
6. Порядок программирования в режиме «Контроль» программы МотоМастер©.
7. Порядок настройки в режиме «Осциллограф» программы МотоМастер©.
8. Информацию о результатах выполнения п.п. 3, 6, 8, 9, 12 раздела 5 с полученными графиками, указанием диапазонов изменения измеряемых величин и временных параметров (если требуется).
9. Выводы.

7 Вопросы для самопроверки

1. Принцип действия и механические характеристики синхронного двигателя при частотном управлении.
2. Принцип действия гибридного шагового двигателя.
3. Редактирование, пуск и останов управляющей программы.
4. Настройки графиков при работе в режиме «Осциллографа».

8 Список литературы

1. Сервопривод серии СПС 25. Руководство пользователя, версия 4.8. – ЗАО «Сервотехника», 2016. – 51 с.
<http://zaozmi.ru/doc/servoprivod-doc.html>.
2. Интегрированный сервопривод СПШ. Руководство пользователя, версия 3.2. – ЗАО «Сервотехника», 2011. – 44 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
3. Модули линейного перемещения AP-1. Презентация модуля. – Завод мехатронных изделий, 2014. – 3 с.
http://zaozmi.ru/doc/linear_modules/ap/ap-1_view.pdf
4. Модули линейного перемещения СТМ-2/СТМУ-2. Паспорт. – Завод мехатронных изделий, 2013. – 8 с.
http://zaozmi.ru/doc/linear_modules/ctm/tech/passport_ctm.pdf
5. Гибридный шаговый двигатель.
<http://robotosha.ru/electronics/how-stepper-motors-work.html>
6. Модули линейного перемещения с зубчатым ремнем МР75/МР110. – Завод мехатронных изделий, 2014. – 2 с.
http://zaozmi.ru/catalog/linear_module/mr75_mr110.html
7. Леонов, А.П. Выбор исполнительных двигателей для электрических приводов производственных механизмов: учебное пособие/А.П. Леонов. – М: Прометей, 2013. – 139с.
8. Интегрированный сервопривод серии СПШ и СПС. Описание параметров, версия 5.1. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 29 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
9. Язык программирования ПЛК СПШ и СПС. Руководство пользователя, версия 4.4. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 39 с.
<http://zaozmi.ru/doc/sps-doc.html>

Лабораторная работа №3

Настройка контура скорости промышленного сервопривода.

Определение численных значений показателей качества управления

Одним из главных достоинств систем подчиненного управления является раздельная настройка контуров регулирования, что существенно упрощает практическую настройку всего сервопривода в целом. Анализ динамических характеристик сервопривода, получаемых при настройке контура скорости, позволяет определить численные значения показателей качества управления.

Цель лабораторной работы – освоение методики настройки контура скорости промышленного сервопривода с подчиненным управлением; приобретение навыков определения численных значений показателей качества управления по динамическим характеристикам сервопривода.

1 Обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами

Внимательно изучите данный пункт до включения сервопривода. Для обеспечения безопасной работы сервоприводов необходимо выполнить ряд перечисленных ниже обязательных требований [1, 2]:

- подключение/отключение разъема питания, кабелей подключения к двигателю, датчику обратной связи и интерфейсным разъемам **осуществляется только в обесточенном состоянии;**
- не удерживайте вал двигателя во включенном состоянии руками во избежание травм;
- не вращайте вал двигателя извне в обесточенном состоянии со скоростью свыше 300 об/мин; при вращении вала двигателя при отключенном питании привод переходит в генераторный режим, вырабатываемое при этом напряжение может повредить систему управления привода;
- не объединяйте сервоприводы СПС жесткими механическими передачами между собой;
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя; для двигателя СПС-80.007.033 допустимое аксиальное усилие составляет 15 Н (1.5 кГ); для двигателя СПС-80.016.075 допустимое аксиальное усилие составляет 18 Н (1.8 кГ);
- не превышайте допустимое радиальное усилие; для всех двигателей СПС-80.xxx.xxx допустимое радиальное усилие составляет 75 Н (в 20 мм от фланца двигателя);
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя СПШ20-34100, составляющее 200 Н (20 кГ);
- при включении сервопривода СПШ нагрузка на валу двигателя не должна превышать 1 Нм. В момент включения сервопривод выполняет алгоритм поиска нулевой фазы, для этого в одну из обмоток двигателя подается ток 1.5 А в течение 1.5 с. В процессе выполнения алгоритма вал двигателя перемещается на угол не более 1.8 градуса в произвольном направлении;
- избегайте резких переходных процессов по скорости, причиной которых может служить неправильная настройка коэффициентов контуров скорости и позиции; частые биения вала приводят к быстрому износу подшипников двигателя и исполнительных механизмов, присоединенных к приводу;
- соблюдайте общие требования электробезопасности.

2 Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы изучите обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами (раздел 1) и пройдите инструктаж по технике безопасности.
2. Включите управляющий компьютер, с рабочего стола войдите в программу МотоМастер©.
3. Включите силовую часть сервопривода. Примерно через одну минуту после включения силовой части открывается графический интерфейс программы МотоМастер© для выбранного сервопривода (на рис. 1 открываются столбцы «группы», параметры» и т.д.).

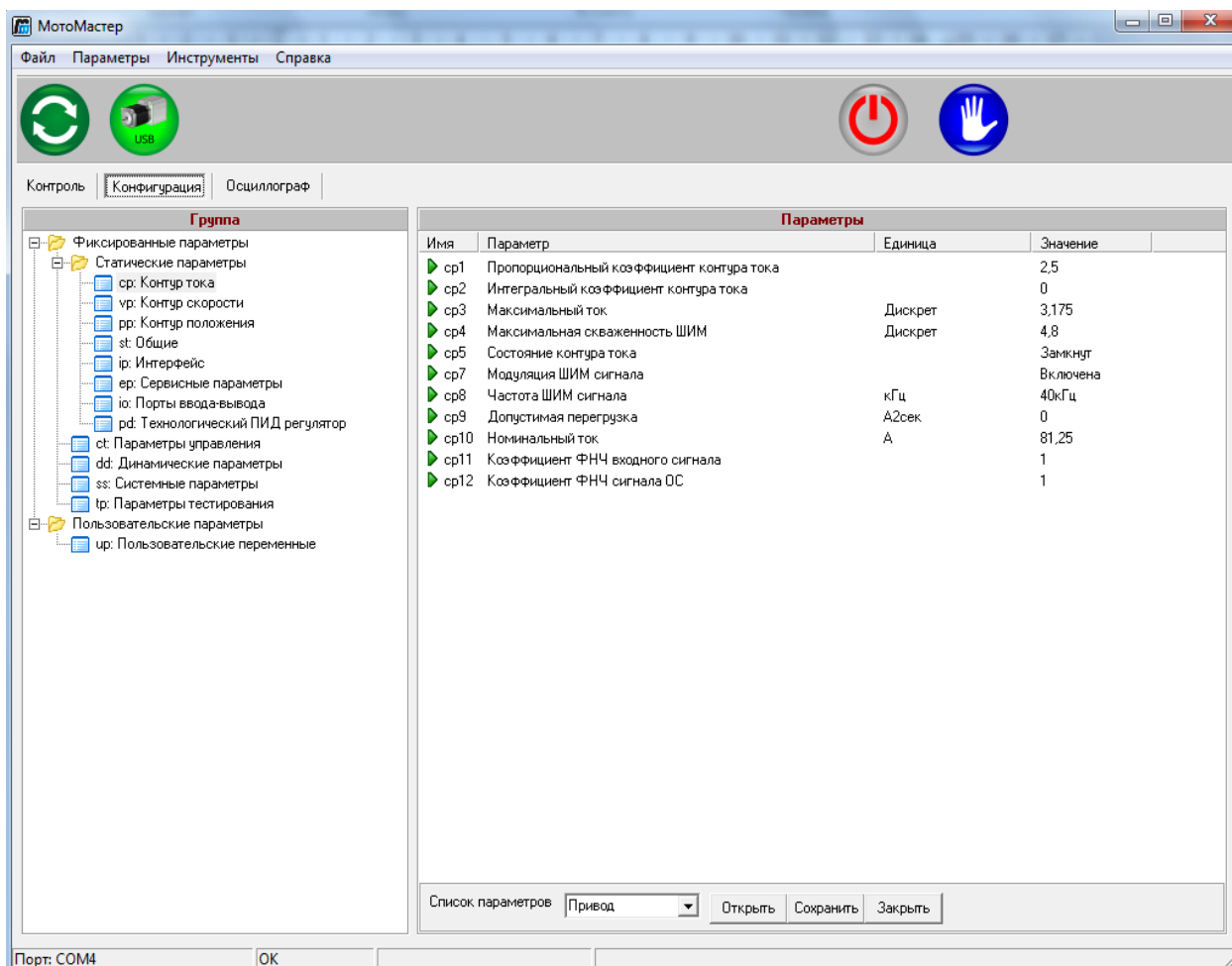


Рис. 1 Графический интерфейс программы MotoMaster©

4. Сделайте экспорт параметров (резервное копирование, раздел 4.4.1 лабораторной работы №2). Это позволит быстро восстановить параметры привода после повреждения или в случае его замены.
5. Настройка контура скорости.
 - 5.1. В режиме «Конфигурация» графического интерфейса программы MotoMaster© (рис.1) перейти к вкладке «Статические параметры/Контур позиции».
 - 5.2. Разомкните контур позиции, установив параметр Pr5 в состояние «Разомкнут».
 - 5.3. Перейти к вкладке «Статические параметры/Контур скорости».
 - 5.4. Замкните контур скорости, установив параметр Vr7 в состояние «Замкнут».
 - 5.5. Для анализа качества переходного процесса временно отключите режим плавного разгона (это допускает механическая система, к которой подключается привод), установив параметр Vr9 в «Режим с максимальной динамикой».
 - 5.6. Установить максимально допустимую скорость вращения Vr8=4500 об/мин, коэффициент обратной связи по скорости Vr3=1.
 - 5.7. Перейти к вкладке «Параметры тестирования» (Таблица1).
Сервоприводы СПШ и СПС поддерживает тестовый режим, с помощью которого можно проанализировать качество переходных процессов в приводе. Эксперимент проводится следующим образом:
 1. Пользователь настраивает параметры теста.
 2. Далее настраивает осциллограф и выполняет запуск эксперимента.
 3. Сервопривод отрабатывает эксперимент и сохраняет 1500 выборок каждого параметра (не более трех), с заданным интервалом.
 4. Сервопривод передает сохраненные значения в MotoMaster©.
 - 5.8. Установите параметр Tr1=4 («Приращение скорости»).
 - 5.9. Настройте параметры Tr2, Tr5, Tr6 (Таблица 1).

Таблица 1 – Параметры тестирования сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение
Тр1	Режим осциллографа (задает текущий тестовый режим: 1. Непрерывный режим - режим непрерывного сканирования заданных координат. 2. Ступенька - приращение позиции на заданный шаг. 3. Синус - синусоидальное изменение позиции с заданными параметрами. 4. Приращение скорости. 5. Синусоидальное изменение скорости. 6. Параболическое изменение скорости. 7. Измерение без задания - в данном режиме задающее воздействие не вносится, происходит лишь сканирование требуемых координат в течение определенного времени	0	7
Тр2	Период опроса, мкс (параметр определяет, с какой частотой будет выполняться опрос требуемых параметров; длительность всего эксперимента составляет $Tr2 \cdot 3000$ мкс)	25	25000
Тр3	Амплитуда задания положения, дискрет (если параметр $Tr1$ =Ступенька/ Приращение скорости, то $Tr3$ определяет приращение, которое будет добавлено к текущей позиции в момент проведения теста. Если параметр $Tr1$ =Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то $Tr3$ определяет амплитуду синусоидального задания контура позиции).	-2147483647	+2147483647
Тр6	Амплитуда задания скорости, дискрет (если параметр $Tr1$ =Ступенька/ Приращение скорости, то $Tr6$ определяет приращение, которое будет добавлено к текущей скорости в момент проведения теста. Если параметр $Tr1$ =Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то $Tr6$ определяет амплитуду синусоидального задания контура скорости).	-14000	+14000
Тр5	Период задающего воздействия, мкс (если параметр $Tr1$ =Ступенька/ Приращение скорости, то $Tr5$ определяет время после начала эксперимента, через которое будет выполнено приращение задающего воздействия. Если параметр $Tr1$ =Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то $Tr5$ определяет период синусоидального задания контура позиции/скорости	25	25000

5.10. Перейдите в окно «Осциллограф», выберите канал тестирования «Текущая скорость вращения».

5.11. Выполните запуск теста из банка памяти указанного преподавателем и дождитесь отображения графиков на экране. При необходимости скорректируйте множители каналов.

5.12. Определите показатели качества управления (рис. 2):

– время переходного процесса t_{III} . Оно характеризует быстродействие системы и определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от ее установившегося значения становится не более $\pm 5\%$;

– максимальное перерегулирование σ определяет наибольший «выбег» выходной величины от установившегося значения в переходном процессе. Оно определяется относительно установившегося значения в %.

$$\sigma = \frac{\Delta Y_M}{Y_{\text{уст}}} \times 100\%$$

– установившееся рассогласование (ошибка) $\varepsilon_{\text{уст}}(t)$, определяющее точность системы

$$\varepsilon_{\text{уст}}(t) = \lim_{t > t_{\text{nn}}} [y(t) - y_{\text{уст}}]$$

– время максимального перерегулирования t_m , при котором выходная величина $h(t)$ достигает наибольшего значения в переходном процессе.

– число перерегулирований N в интервале $0 \leq t \leq t_{III}$. Число перерегулирований определяется как число выбросов, при которых кривая $h(t)$ располагается ниже значения $y_{уст}$, т.е. разность $y_{уст} - Y_{mi} > 0$, где $m_i = 1, 2, \dots$. Для кривой $h(t)$, представленной на рис. 3, $N = 1$. Для практически приемлемых сервоприводов $N \leq 2$.

– показатель колебательности переходного процесса M . Это – отношение соседних максимумов в %.

$$M = \frac{Y_{mi}}{Y_{m(i+1)}} \times 100\%$$

для практически приемлемой САУ $120\% < M < 180\%$

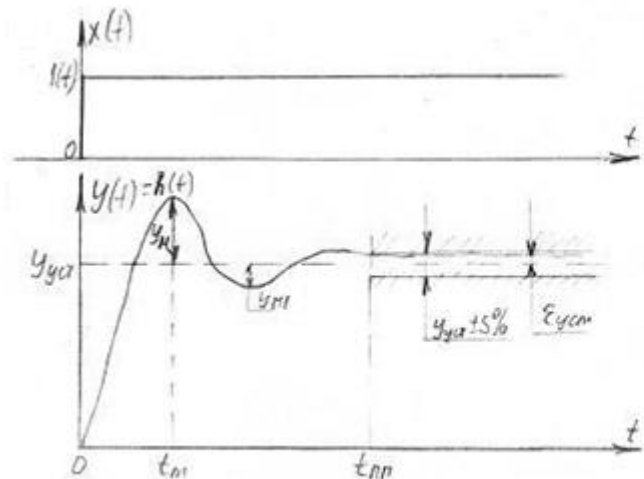


Рис. 2 К определению показателей качества управления

- 5.13. Увеличьте значение параметра Tr2, если эксперимент завершился прежде, чем закончился переходный процесс. Уменьшите значение параметра Tr2, если разрешение графиков оказалось слишком низким.
- 5.14. По указанию преподавателя задайте новые значения пропорционального и интегрального коэффициентов контура скорости и повторите эксперимент.
- 5.15. Сравните новые показатели качества управления с определенными в п.5.12.
- 5.16. Установите значение Vr9 в состояние «Режим плавного разгона/торможения».
- 5.17. Установите заданное преподавателем значение ускорения.
- 5.18. Запустите тест и выполните анализ показателей качества управления с новыми настройками.
- 5.19. Покажите полученные графики преподавателю.
- 5.20. Выключите компьютер и силовое питание.

3 Требования к оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе со стандартным титульным листом представляется к защите каждым студентом и должен содержать:

1. Цель лабораторной работы.
2. Функциональную схему системы подчиненного управления.
3. Порядок настройки контура скорости при подчиненном управлении.
4. Графики изменения скорости, полученные при выполнении п.п. 5.11, 5.14 и 5.18.
5. Для каждого графика расчет величин показателей качества управления.
6. Сравнительный анализ показателей качества при максимальном ускорении и плавном разгоне. Выводы.

4 Вопросы для самопроверки

1. Функциональная схема и основные достоинства сервопривода с подчиненным управлением.
2. Показатели качества управления и их расчет.
3. Параметры тестирования сервоприводов и порядок настройки контура скорости.

5 Список литературы

1. Сервопривод серии СПС 25. Руководство пользователя, версия 4.8. – ЗАО «Сервотехника», 2016. – 51 с.
<http://zaozmi.ru/doc/servoprivod-doc.html>.
2. Интегрированный сервопривод СПШ. Руководство пользователя, версия 3.2. – ЗАО «Сервотехника», 2011. – 44 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
3. Ерофеев, А.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов/А.А. Ерофеев. – СПб: Политехника, 2008. – 302 с.
4. Интегрированный сервопривод серии СПШ и СПС. Описание параметров, версия 5.1. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 29 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
5. Язык программирования ПЛК СПШ и СПС. Руководство пользователя, версия 4.4. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 39 с.
<http://zaozmi.ru/doc/sps-doc.html>

Лабораторная работа №4

Методика настройки контура позиционирования промышленного сервопривода с подчиненным управлением

Цель лабораторной работы – освоение методики и приобретение навыков настройки контура позиционирования промышленного сервопривода с подчиненным цифровым управлением.

1 Обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами

Внимательно изучите данный пункт до включения сервопривода. Для обеспечения безопасной работы сервоприводов необходимо выполнить ряд перечисленных ниже обязательных требований [1, 2]:

- подключение/отключение разъема питания, кабелей подключения к двигателю, датчику обратной связи и интерфейсным разъемам **осуществляется только в обесточенном состоянии**;
- не удерживайте вал двигателя во включенном состоянии руками во избежание травм;
- не вращайте вал двигателя извне в обесточенном состоянии со скоростью свыше 300 об/мин; при вращении вала двигателя при отключенном питании привод переходит в генераторный режим, вырабатываемое при этом напряжение может повредить систему управления привода;
- не объединяйте сервоприводы СПС жесткими механическими передачами между собой;
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя; для двигателя СПС-80.007.033 допустимое аксиальное усилие составляет 15 Н (1.5 кГ); для двигателя СПС-80.016.075 допустимое аксиальное усилие составляет 18 Н (1.8 кГ);
- не превышайте допустимое радиальное усилие; для всех двигателей СПС-80.xxx.xxx допустимое радиальное усилие составляет 75 Н (в 20 мм от фланца двигателя);
- не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя СПШ20-34100, составляющее 200 Н (20 кГ);
- при включении сервопривода СПШ нагрузка на валу двигателя не должна превышать 1 Нм. В момент включения сервопривод выполняет алгоритм поиска нулевой фазы, для этого в одну из обмоток двигателя подается ток 1.5 А в течение 1.5 с. В процессе выполнения алгоритма вал двигателя перемещается на угол не более 1.8 градуса в произвольном направлении;
- избегайте резких переходных процессов по скорости, причиной которых может служить неправильная настройка коэффициентов контуров скорости и позиции; частые биения вала приводят к быстрому износу подшипников двигателя и исполнительных механизмов, присоединенных к приводу;
- соблюдайте общие требования электробезопасности.

2 Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы изучите обязательные требования по обеспечению безопасной работы с сервоприводами (раздел 1) и пройдите инструктаж по технике безопасности.
2. Включите управляющий компьютер, с рабочего стола войдите в программу МотоМастер©.
3. Включите силовую часть сервопривода. Примерно через одну минуту после включения силовой части открывается графический интерфейс программы МотоМастер© для выбранного сервопривода (на рис. 1 открываются столбцы «группы», параметры» и т.д.).

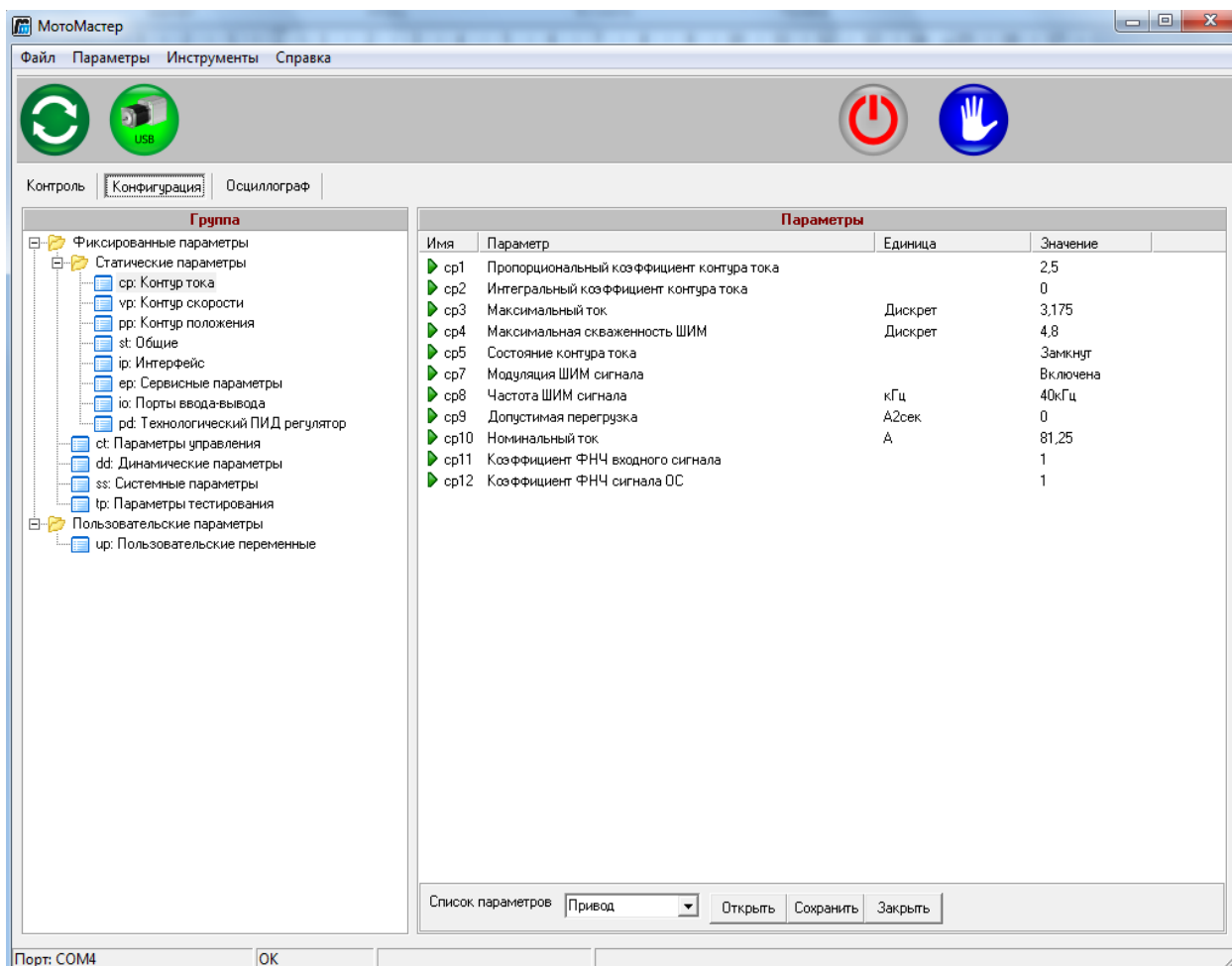


Рис. 1 Графический интерфейс программы MotoMaster©

4. Сделать экспорт параметров (резервное копирование, раздел 4.4.1 лабораторной работы №2). Это позволит быстро восстановить параметры привода после повреждения или в случае его замены.
5. Настройка контура положения.
 - 5.1. Перейдите к вкладке «Статические параметры/Контур скорости».
 - 5.2. Замкните контур скорости, установив параметр Vr7 в состояние «Замкнут».
 - 5.3. В режиме «Конфигурация» графического интерфейса программы MotoMaster© (рис.1) перейдите к вкладке «Статические параметры/Контур позиции».
 - 5.4. Замкните контур позиции, установив параметр Pr5 в состояние «Замкнут».
 - 5.5. Установите минимальное значение пропорционального коэффициента контура положения $Pr1=0.00025$.
 - 5.6. В окне на рис. 1 перейдите к вкладке «Параметры тестирования» (Таблица 1).
Сервоприводы СПШ и СПС поддерживает тестовый режим, с помощью которого можно проанализировать качество переходных процессов в приводе. Эксперимент проводится следующим образом:
 1. Пользователь настраивает параметры теста.
 2. Далее настраивает осциллограф и выполняет запуск эксперимента.
 3. Сервопривод отрабатывает эксперимент и сохраняет 1500 выборок каждого параметра (не более трех), с заданным интервалом.
 4. Сервопривод передает сохраненные значения в Мотомастер©.
 - 5.7. Настройте параметры Tr2, Tr3, Tr5 (Таблица 1).
 - 5.8. Перейдите в окно осциллографа.
 - 5.9. Выберите каналы тестирования (не более трех). При этом не допускается установка одновременно двух параметров «Заданное положение», «Текущее положение». При-

- мер выбранных параметров: «Текущее положение», «Текущая скорость вращения», «Заданная скорость вращения».
- 5.10. Выполните запуск теста из банка памяти указанного преподавателем и дождитесь отображения графиков на экране.
- 5.11. Скорректируйте множители каналов для удобного анализа графиков.
- 5.12. По согласованию с преподавателем измените параметр Pp1 и повторите эксперимент.
- 5.13. При необходимости снова измените по согласованию с преподавателем параметр Pp1 и повторите эксперимент.
- 5.14. Проанализируйте полученные графики, используя масштабирование при необходимости.
- 5.15. Увеличьте момент инерции сервопривода, закрепив на каретке модуля линейных перемещений груз. Рассчитайте приведенный к валу двигателя момент инерции, используя характеристики модуля линейных перемещений.
- 5.16. Повторите выполнение п.п. 5.10-5.14.
- 5.17. Покажите полученные графики преподавателю.
- 5.18. Выключите компьютер и силовое питание.

Таблица 1 – Параметры тестирования сервоприводов

Имя параметра	Описание	Минимал. значение	Максим. значение
Тр1	Режим осциллографа (задает текущий тестовый режим: 1. Непрерывный режим - режим непрерывного сканирования заданных координат. 2. Ступенька - приращение позиции на заданный шаг. 3. Синус - синусоидальное изменение позиции с заданными параметрами. 4. Приращение скорости. 5. Синусоидальное изменение скорости. 6. Параболическое изменение скорости. 7. Измерение без задания - в данном режиме задающее воздействие не вносится, происходит лишь сканирование требуемых координат в течение определенного времени	0	7
Тр2	Период опроса, мкс (параметр определяет, с какой частотой будет выполняться опрос требуемых параметров; длительность всего эксперимента составляет Тр2*3000 мкс)	25	25000
Тр3	Амплитуда задания положения, дискрет (если параметр Тр1=Ступенька/ Приращение скорости, то Тр3 определяет приращение, которое будет добавлено к текущей позиции в момент проведения теста. Если параметр Тр1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Тр3 определяет амплитуду синусоидального задания контура позиции).	-2147483647	+2147483647
Тр6	Амплитуда задания скорости, дискрет (если параметр Тр1=Ступенька/ Приращение скорости, то Тр6 определяет приращение, которое будет добавлено к текущей скорости в момент проведения теста. Если параметр Тр1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Тр6 определяет амплитуду синусоидального задания контура скорости).	-14000	+14000
Тр5	Период задающего воздействия, мкс (если параметр Тр1=Ступенька/ Приращение скорости, то Тр5 определяет время после начала эксперимента, через которое будет выполнено приращение задающего воздействия. Если параметр Тр1=Синус/ Синусоидальное изменение скорости, то Тр5 определяет период синусоидального задания контура позиции/скорости	25	25000

3 Требования к оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе со стандартным титульным листом представляется к защите каждым студентом и должен содержать:

1. Цель лабораторной работы.
2. Функциональную схему системы подчиненного управления.
3. Порядок настройки контура положения.
4. Графики, полученные при выполнении п.п. 5.10-5.13 для различных значений груза на каретке модуля линейных перемещений.
5. Для каждого графика расчет величин показателей качества управления.
6. Сравнительный анализ показателей качества при разных значениях груза на каретке модуля линейных перемещений.
7. Выводы.

4 Вопросы для самопроверки

1. Порядок настройки контура положения при подчиненном управлении.
2. Функциональная схема и основные достоинства сервопривода с подчиненным управлением.
3. Параметры тестирования сервоприводов.
4. Порядок настройки контура положения.

5. Список литературы

1. Сервопривод серии СПС 25. Руководство пользователя, версия 4.8. – ЗАО «Сервотехника», 2016. – 51 с.
<http://zaozmi.ru/doc/servoprivod-doc.html>.
2. Интегрированный сервопривод СПШ. Руководство пользователя, версия 3.2. – ЗАО «Сервотехника», 2011. – 44 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
3. Модули линейного перемещения АР-1. Презентация модуля. – Завод мехатронных изделий, 2014. – 3 с.
http://zaozmi.ru/doc/linear_modules/ap/ap-1_view.pdf
4. Модули линейного перемещения СТМ-2/СТМУ-2. Паспорт. – Завод мехатронных изделий, 2013. – 8 с.
http://zaozmi.ru/doc/linear_modules/ctm/tech/passport_ctm.pdf
5. Модули линейного перемещения с зубчатым ремнем МР75/МР110. – Завод мехатронных изделий, 2014. – 2 с.
http://zaozmi.ru/catalog/linear_module/mr75_mr110.html
6. Интегрированный сервопривод серии СПШ и СПС. Описание параметров, версия 5.1. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 29 с.
<http://zaozmi.ru/doc/spsh-doc.html>
7. Язык программирования ПЛК СПШ и СПС. Руководство пользователя, версия 4.4. – ЗАО «Сервотехника», 2013. – 39 с.
<http://zaozmi.ru/doc/sps-doc.html>