

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Н.В. Гусев, М.А. Нечаев,
С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко**

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторный практикум

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 658.512.4.001.56(075.8)

ББК 30.606-05я73

Г96

Гусев Н.В.

Г96

Комплексная автоматизация технологических процессов. Лабораторный практикум: учебное пособие / Н.В. Гусев, М.А. Нечаев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 134 с.

В пособии изложены основы построения систем автоматизации технологических процессов, в том числе на примерах практической реализации. Рассмотрены цифровые и аналоговые элементы систем автоматизации. Изложены вопросы управления автоматизированного электропривода в системах с преобразователями частоты.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» и 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

УДК 658.512.4.001.56(075.8)

ББК 30.606-05я73

Рецензенты

Кандидат технических наук
ведущий инженер ООО «Элетим»
В.Н. Черемисин

Кандидат технических наук, доцент кафедры ЭПА
Северского технологического института
С.Н. Кладиев

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Гусев Н.В., Нечаев М.А.,

Ляпушкин С.В., Коваленко М.В., 2011

© Обложка. Издательство Томского

политехнического университета, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

1. Система автоматического регулирования температуры с микропроцессорным управлением	6
1.1 Схема организации АСУ технологического процесса	7
1.3. Линеаризованная САР температура.....	13
1.3.1. Линеаризованная схема САР температуры.....	13
1.3.2. Объект управления	13
1.3.3. Элементы схемы	15
1.3.4. Оптимизация контура регулирования	15
1.4. Нелинейная САР температуры.....	17
1.5. Функциональная схема САР температуры.....	19
1.5.1. Функциональная схема САР температуры	19
1.5.2. Контроллер MCS196KC-20.01N	20
1.5.3. Частотный преобразователь EI-9001	20
1.6. Программа работы	22
1.7. Методические указания.....	22
1.7.1. Соединение аппаратных средств.....	22
1.7.2. Работа с программным обеспечением	23
1.7.3. Возможности применения преобразователя частоты «ВЕСПЕР» для управления контуром температуры.....	25
1.7.4. Исследование работы САР температуры в автономном режиме.....	26
1.7.5. Исследование работы САР температуры в неавтономном режиме.....	27
1.7.6. Снятие кривых нагрева	27
1.7.7. Снятие переходного процесса температуры.....	27
1.8. Контрольные вопросы.....	28
1.9. Содержание отчета	29
2. Изучение цифровых Электромеханических систем на базе PCNC.....	30
2.1. Теоретические сведения о современных концепциях числового программного управления электромеханическими системами	30
2.1.1 Системы типа CNC и PCNC-1	30
2.1.2. Системы типа PCNC-2.....	34
2.1.3. Системы типа PCNC-3.....	36
2.1.4. Системы типа PCNC-4.....	37
2.1.5. Тенденции в развитии современных персональных систем с ЧПУ	40
2.2 Описание лабораторной установки	44
2.2.1. Функциональная схема лабораторной установки	44
2.2.2. Описание элементов следящего электропривода.....	48

2.2.2.1 Преобразователь ЛИР-128А	48
2.2.2.2 Программируемый модуль ввода/вывода UNIOxx-5	50
2.2.2.3 Модуль аналогового ввода-вывода с гальванической развязкой АП16-5А-1	53
2.3. Теоретические основы формирования задания с помощью линейной интерполяции	56
2.4. Ошибки следящего электропривода станка с ЧПУ	58
2.4.1. Требования к точности работы следящих ЭП	58
2.4.2. Виды ошибок	59
2.4.3. Ошибки при воспроизведении траектории движения	59
2.5. Программа управления лабораторным стендом	62
2.5.1. Описание программы управления	62
2.5.2. Особенности программного обеспечения стенда	62
2.5.3. Интерфейс пользователя программы	65
2.6. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ	66
2.7. Программа Эксперимента	68
2.8. Требования к отчету	69
3. Автоматическая система дозирования сыпучих на базе контроллера FASTWEL RTU – 188 BS	70
3.1 Комплексная автоматизация технологического процесса дозирования и смешивания сыпучих материалов	71
3.1.1 Автоматизированная система дозирования и смешивания компонентов	72
3.2 Функциональная схема лабораторной установки Автоматическая система дозирования сыпучих материалов	73
3.3. Описание экспериментальной установки	76
3.3.1 Программные средства	76
3.3.2 Конвейер бесстержневой типа СТ назначение изделия	76
3.3.3 Технические характеристики:	76
3.3.6 Преобразователь частоты	79
Назначение	80
3.3.8 Подключение к модулю RTU188 внешних устройств	81
3.3.9 Составные части модуля RTU188	81
3.3.9.2 Супервизор и сторожевой таймер	81
3.3.9.3 Оперативное Запоминающее Устройство (ОЗУ)	81
3.3.9.4 Перепрограммируемое Постоянное Запоминающее Устройство (FDD)	82
3.3.9.5 Часы реального времени RTC	82
3.3.9.6 Последовательные порты (X3, J4, J6)	82
3.3.9.7 Порт изолированного дискретного ввода (X4, X5)	82
3.3.9.8 Порт изолированного аналогового ввода (XI, X2)	82
3.3.9.9 Универсальный порт дискретного ввода – вывода (J5)	83

3.3.9.10 Удаленный Сброс	83
3.3.9.11 Порт расширения минимальной конфигурации UNIO48 (J1,J2)	83
3.3.9.12 Электропитание модуля RTU188	83
3.3.10 Программное обеспечение	84
3.4 Модуль релейной коммутации TBR8	84
3.4.1 Назначение панели релейной коммутации TBR8	84
3.4.2 Технические данные	84
3.4.3 Устройство и работа платы	85
3.4.3.1 Структурная схема платы	85
3.4.3.2 Электрическое питание платы	87
3.4.3.3 Настройка	88
3.5 Тензодатчик серии С	88
3.6 Автоматизированное рабочее место оператора	89
3.10. Математическая модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов	100
3.11. Оптимизация контура веса	101
3.11.1 Определение постоянной времени транспортной задержки	101
3.11.2 Оптимизация контура веса	102
3.11.2.1 Синтез регулятора веса на модульный оптимум	102
3.11.2.2 Синтез регулятора веса на симметричный оптимум	103
3.12. Результаты моделирования	103
3.13. Программа работы	104
ПРОГРАММА «КОНТРОЛЛЕР LOGO!»	114
СОЕДИНЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРА	131
ПРОГРАММА «ИНСПЕКТОР»	135
ПРОГРАММА «ТУРБОКОНТРОЛЛЕР»	137
Список использованной литературы	141

1. Система автоматического регулирования температуры с микропроцессорным управлением

Цель работы: Ознакомиться с принципом построения многоуровневой автоматизированной системы управления, изучить особенности теплоинерционного объекта управления, возможные способы регулирования его температуры, методы структурно-параметрического синтеза технологического регулятора температуры, ознакомиться с примером практической реализации системы автоматического регулирования температуры с микропроцессорным управлением.

Введение

Системы автоматического регулирования температуры находят применение в самых разных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Это могут быть инкубаторы на птицефермах, системы точного поддержания температуры и создания необходимого микроклимата на объектах электронной и аэрокосмической промышленности, в любых цехах и помещениях, где работают люди. В качестве объекта управления могут выступать одно или несколько помещений любых размеров, различные камеры, поверхности тел и т. п.

Один из наиболее эффективных способов поддержания заданной температуры, широко используемый в настоящее время, это регулирование оттока (или притока) воздуха, а вместе с ним избыточного тепла, т. е. создание системы вентиляции.

В настоящее время развитие таких систем идет по пути создания высокоэффективных промышленных установок на базе регулируемых электроприводов (РЭП) и программируемых промышленных контроллеров с широкими интерфейсными возможностями. Это позволяет одновременно с экономией электроэнергии решать задачи комплексной автоматизации производства, обеспечивать оптимизацию параметров технологических процессов.

Наиболее экономичным способом регулирования производительности вентиляторов является применение регулируемого электропривода. Для мощных установок можно рекомендовать несколько менее экономичный, но более простой способ регулирования производительности – изменением угла поворота лопаток осевого вентилятора при постоянной скорости приводного двигателя.

Важным элементом интенсификации производства и повышения его производительности является комплексная автоматизация. Применение принципов комплексной автоматизации позволяет связать в единую сеть большое количество технологических установок, механизмов

и других объектов производства. Управление всеми объектами может осуществляться от общей ЭВМ верхнего уровня. Это позволяет оптимизировать связи между объектами, уменьшить численность персонала.

1.1 Схема организации АСУ технологического процесса

Одной из особенностей развития современных технологий является повышение технологических требований к динамическим и точностным показателям электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с технологическим процессом, и соответствующее возрастание сложности систем управления (СУ) электроприводами. Их развитие идет по пути создания систем числового программного управления и расширения использования современной вычислительной техники, создаваемой непосредственно для целей управления на базе микропроцессоров.

Цифровые методы обработки информации существенно повышают уровень и степень автоматизации производства. Решение комплексных задач, связанных со сбором и обработкой информации, становится во много раз эффективнее, чем при использовании традиционных средств.

При комплексной автоматизации сложного технологического процесса создается многоуровневая распределенная автоматизированная система управления (АСУ). В качестве АСУ среднего уровня в настоящее время используют преимущественно микропроцессорные СУ, как правило, конструктивно законченные устройства, получившие название промышленных рабочих станций, промышленных компьютеров, промышленных программируемых контроллеров.

Преимущества цифровых методов обработки информации и развитие микропроцессорной техники способствуют расширению применения микропроцессорных СУ и на нижнем уровне управления двигателями, статическими преобразователями и т. п. Наиболее перспективное направление – создание встроенных в оборудование СУ на базе специализированных контроллеров. При этом контроллеры нижнего уровня управления могут подключаться к системе среднего уровня либо через стандартные последовательные и параллельные интерфейсы, либо путем установки на системную шину в качестве специализированных устройств сопряжения с объектом.

Одна из возможных схем организации многоуровневой АСУ технологического процесса показана на рис. 1.1.

Система имеет три уровня иерархии. На верхнем уровне находится ЭВМ, на среднем – контроллеры 1, 2, 3 и на нижнем – электроприводы, которые воздействуют на объект автоматизации непосредственно. Обратная связь по температуре принципиально может быть подана на

вход любого из этих элементов: ЭВМ; контроллера (режим А на рис. 1.1); преобразователя частоты (режим Б на рис. 1.1), т. к. микропроцессорная система преобразователя EI-9001 имеет встроенный алгоритм технологического регулятора. Тогда этот элемент будет выполнять функцию управления контуром технологического параметра – в нашем случае – температурой нагрева. В его задачу входит определение ошибки и формирование задания в соответствии с заложенным алгоритмом управления на соответствующую координату – скорость электродвигателя.

Если обратная связь реализована через ЭВМ, то по принципу организации такая система управления конкретной координатой будет называться **неавтономной**. Если же обратная связь будет реализована через контроллер или микропроцессорную систему преобразователя, то по принципу организации управления такая система будет являться **автономной** относительно соответственно ЭВМ или контроллера как устройства верхнего уровня.

В соответствии с функциональной схемой рис. 1.1 ЭВМ верхнего уровня имеет следующие функции:

- программирование микропроцессорных систем среднего уровня;
- формирование заданий системам нижних уровней;
- контроль за выполнением заданий.

Автономная система управления технологическим процессом отдельного производственного объекта реализована на базе контроллера, в функции которого входит:

- распределение заданий на электроприводы;
- решение задачи интерполяции задания во времени;
- управления контуром технологического параметра;
- передачи информации о результатах выполнения на ЭВМ.

Нижней уровень иерархии АСУ представлен исполнительным электроприводом, который непосредственно воздействует на объект автоматизации.

Если обратные связи по температуре будут заведены непосредственно на входы преобразователей частоты (на рис. 1.1 показаны пунктирными линиями – режим Б), то задача управления отдельным контуром технологического параметра переходит от контроллера к технологическому регулятору преобразователя.

Функции СУ нижнего уровня также зависят от выбранного принципа взаимодействия её с системой более высокого уровня.

И автономный, и неавтономный принципы построения системы имеют свои преимущества и недостатки. Выбор того или другого принципа основывается на технико-экономическом анализе на этапе проектирования системы.

1.2. Объект управления

Объект управления в рассматриваемой системе обладает теплоинерционными свойствами. Если тепловые процессы в нагревательном шкафу рассматривать как для однородного тела, обладающего бесконечно большой те

плопроводностью и имеющему одинаковую температуру во всех точках объёма, и при этом принять следующие допущения:

- скорость вращения вентилятора $\omega_B = 0$;
- теплоотдача во внешнюю среду пропорциональна первой степени разности температур шкафа и окружающей среды;
- температура окружающей среды постоянна;
- теплоёмкость шкафа, мощность нагревательных элементов и теплоотдача не зависят от температуры шкафа, тогда уравнение теплового баланса можно записать в следующем виде:

$$P \cdot dt = A \cdot \tau \cdot dt + C \cdot d\tau. \quad (1)$$

Уравнение (1) имеет постоянные коэффициенты P , A и C ,

где P – количество теплоты (мощность), выделяемая нагревательными элементами в единицу времени, Дж/с;

A – теплоотдача шкафа в окружающую среду в единицу времени при разности температур в 1°C , Дж/(с $\cdot^\circ\text{C}$);

C – теплоёмкость шкафа – количество теплоты, необходимое для повышения температуры шкафа на 1°C , Дж/ $^\circ\text{C}$.

Уравнение (1) записано относительно превышения температуры шкафа над температурой окружающей среды

$$\tau = T - T_{\text{окр}},$$

где T , $T_{\text{окр}}$ – температура шкафа и окружающего воздуха соответственно, $^\circ\text{C}$.

Уравнение (1) можно привести к виду

$$P - A \cdot \tau = C \cdot \frac{d\tau}{dt} \quad (2)$$

или

$$\frac{P}{A} = \tau + \frac{C}{A} \cdot \frac{d\tau}{dt}. \quad (3)$$

В свою очередь, уравнение (3) можно представить в виде

$$\tau + T_H \cdot \frac{d\tau}{dt} = \tau_y, \quad (4)$$

где $T_H = C/A$ – постоянная времени нагрева шкафа – время, в течение которого превышение температуры от $\tau = 0$ достигло бы установившегося значения $\tau = P/A$ при $P = \text{const}$ и отсутствии теплоотдачи в окружающую среду $A = 0$.

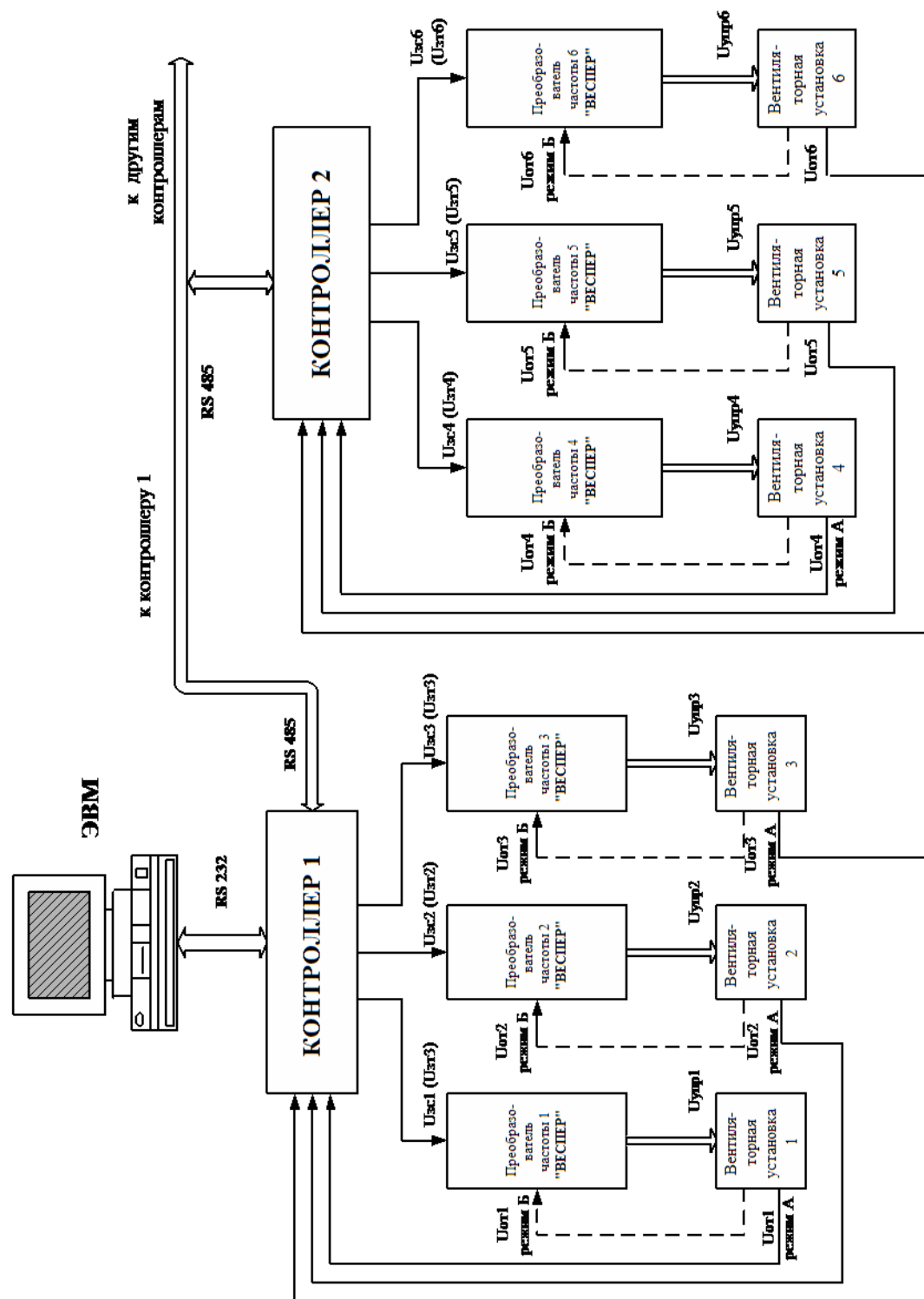


Рис.1.1.1. Схема организации многоуровневой системы автоматизации

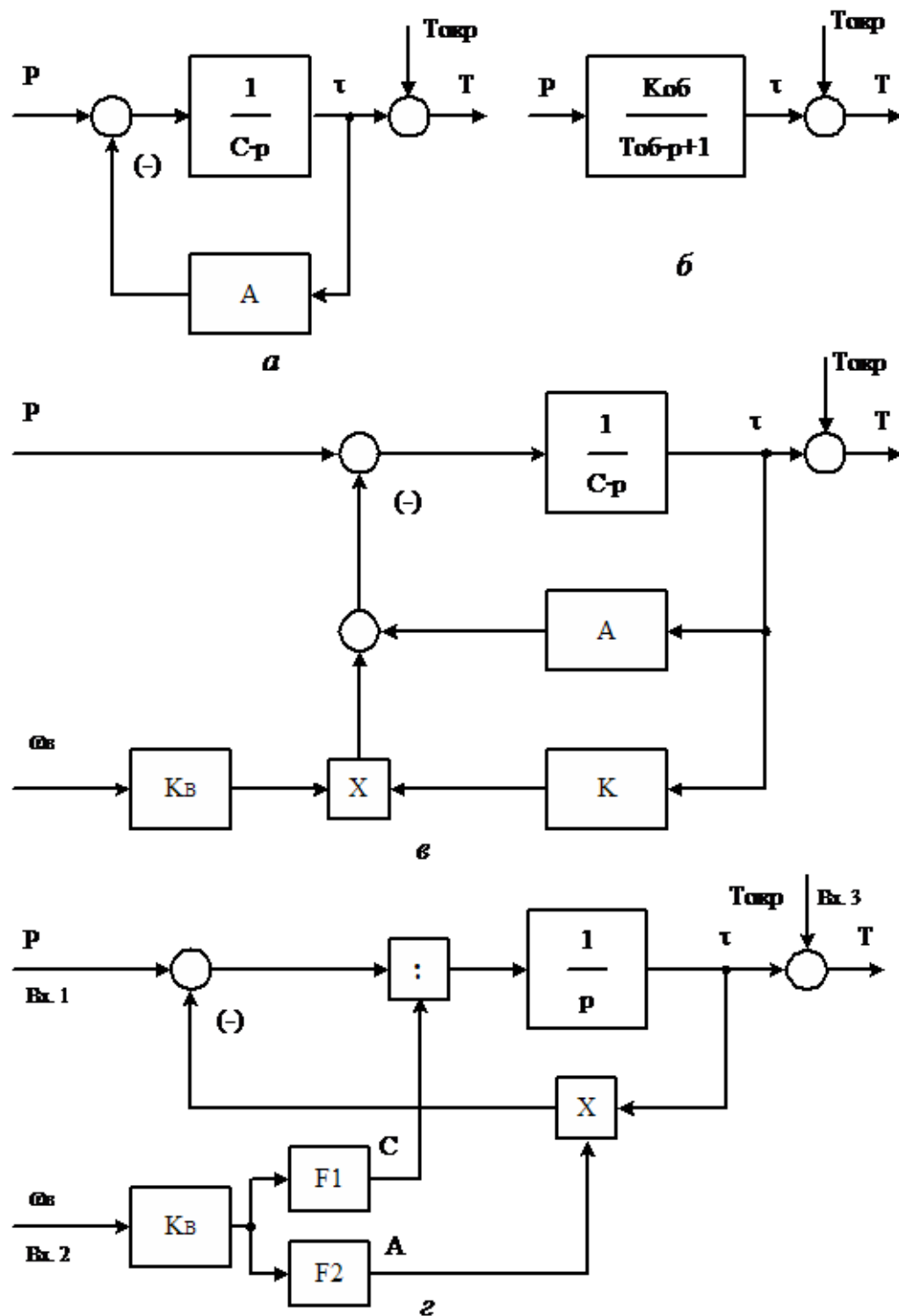


Рис. 1.2. Структурная схема нагревательного шкафа как объекта управления: а, б – линеаризованная; в, г – линейная

Решение уравнения (4) имеет вид

$$t = t_y \cdot (1 - e^{-t/T_H}) + t_0 \cdot e^{-t/T_H}, \quad (5)$$

где τ_0 – начальное значение превышения температуры шкафа над температурой окружающей среды.

Если $\tau_0 = 0$, то (5) принимает вид

$$\tau = \tau_y \cdot (1 - e^{-t/T_H}). \quad (6)$$

В соответствии с выражением (2) структурная схема нагревательного шкафа как объекта имеет вид, представленный на рис. 1.2, а.

При сделанных допущениях нагревательный шкаф можно рассматривать как линейное инерционное (апериодическое) звено первого порядка (см. рис. 1.2, б) с передаточной функцией

$$W_{об}(p) = \frac{t(p)}{P(p)} = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot p + 1},$$

где $K_{об} = \frac{I}{A}$ – коэффициент передачи объекта, $\frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{с}}{\text{Дж}}$;

$T_{об} = T_H = \frac{C}{A}$ – постоянная времени объекта, с.

При вращении вентилятора ($\omega_B \neq 0$) возрастают значения теплоёмкости объекта C , т. к. увеличивается общее количество нагреваемого воздуха, и теплопередачи объекта A за счёт оттока горячего воздуха. Структурная схема нагревательного шкафа в этом случае оказывается существенно нелинейной и может быть представлена в виде, приведённом на рис. 1.2, в, где функции F_1 и F_2 определяют зависимость параметров объекта C и A от объёма воздуха, подаваемого вентилятором.

На рис. 1.3 а, б и в приведены кривые нагрева шкафа при изменении одного из параметров P , A и C . Здесь же приведены выражения для определения значения изменённого параметра по результатам опыта. Как указано выше, при изменении скорости вращения вентилятора следует ожидать одновременного изменения теплоёмкости и теплоотдачи объекта. Характер переходного процесса нагрева шкафа при $P = \text{const}$ и при увеличении скорости вентилятора будет иметь вид, представленный на рис. 1.3, б пунктирной линией.

Изменение параметров объекта для этого случая могут быть найде-

ны по выражениям:

$$A_2 = A_1 \cdot \frac{\tau_{ycm1}}{\tau_{ycm2}}; \quad C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{\tau_{ycm1}}{\tau_{ycm2}} \cdot \frac{T_{H1}}{T_{H2}} \right).$$

1.3. Линеаризованная САР температура

Первоначально синтез корректирующих устройств системы производят для линеаризованной системы с помощью соответствующих разработанных методик.

1.3.1. Линеаризованная схема САР температуры нагревательного шкафа показана на рис. 1.4. Структурная схема системы составлена в приращениях. Все параметры схемы определены в окрестности точки работы с заданной температурой $T = T_{\text{зад}}$ при $T_{\text{окр}} = \text{const}$ и $P_{\text{нагр}} = \text{const}$ ($\Delta P_{\text{нагр}} = 0$). Мощность P измеряется в ваттах ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$).

Регулятор температуры с передаточной функцией $W_{\text{РТ}}(p)$ на основе сигнала задания и сигнала обратной связи вырабатывает задание на скорость РЭП, который представлен пропорциональным звеном $K_{\text{РЭП}}$, т. к. постоянная времени объекта управления намного больше постоянных времени РЭП.

Объект управления представлен в соответствии со структурной схемой рис. 1.2, в и имеет постоянные параметры при $T = T_{\text{зад}}$: $K_4 = 1/С$; $K_3 = A$.

Примем, что мощность охлаждения по каналу управления системы пропорциональна скорости вращения вентилятора, тогда коэффициент пропорциональности $K_1 = \text{const}$ при работе в окрестностях точки $T = T_{\text{зад}}$.

Датчик температуры представлен апериодическим звеном с параметрами $K_{\text{дт}}$ – коэффициент преобразования температуры в напряжение обратной связи; $T_{\text{дт}}$ – постоянная времени преобразования.

1.3.2. Объект управления можно привести к апериодическому звену, пользуясь известными правилами преобразования структурных схем. Интегрирующее звено $W(p) = \frac{K_4}{p}$, охваченное безынерционной

отрицательной обратной связью с коэффициентом K_3 приводится к апериодическому звену с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{K_{\text{об}}}{T_{\text{об}} \cdot p + 1},$$

где $K_{\text{об}} = 1/K_3$ – коэффициент передачи объекта, $^{\circ}\text{C/Вт}$;

$T_{\text{об}} = 1/K_3 \cdot K_4$ – постоянная времени объекта, постоянная времени объекта, с.

Тогда линеаризованная структурная схема примет вид, показанный на рис. 1.4, б.

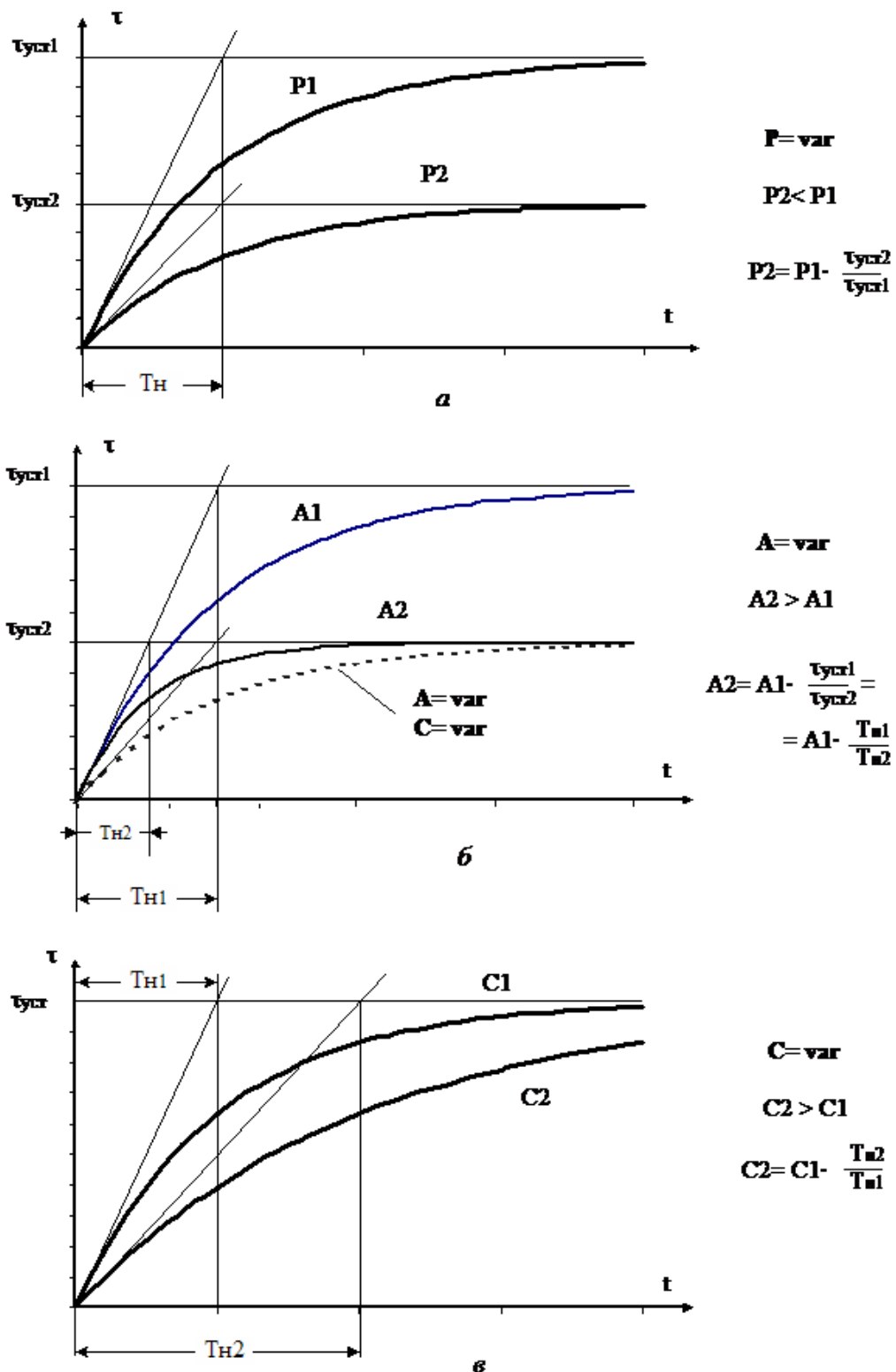


Рис. 1.3 Кривая нагрева объекта при изменении параметров

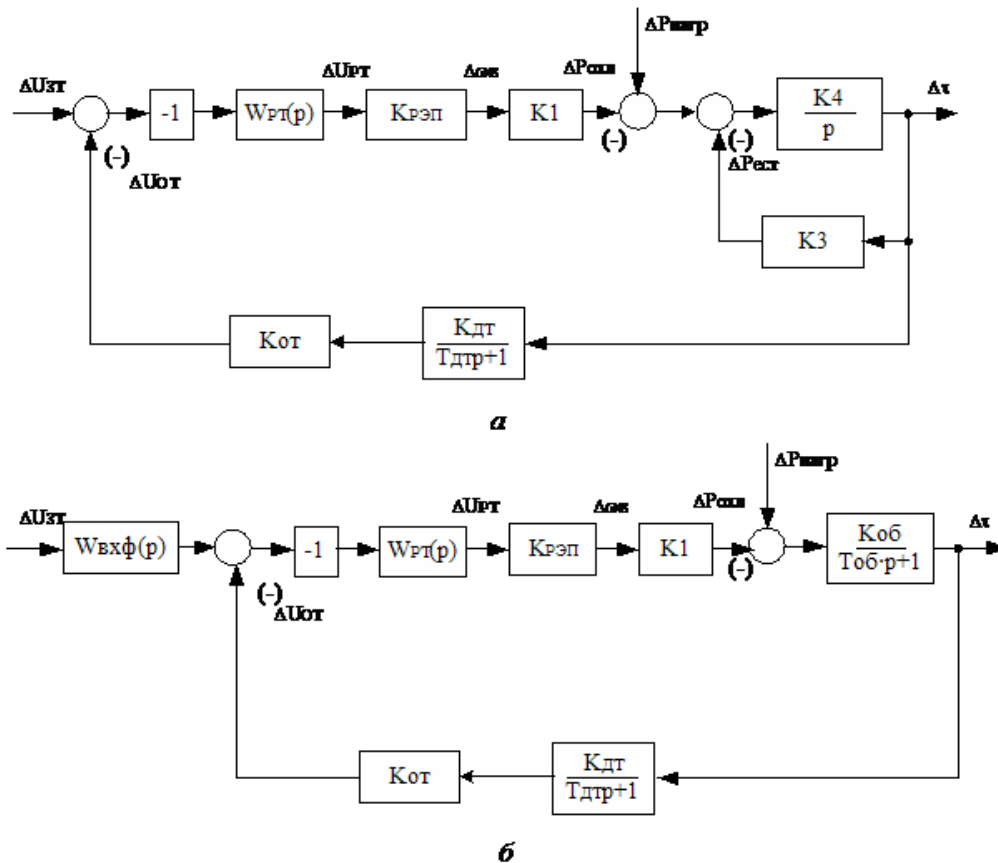


Рис. 1.4 Линеаризованная структурная схема САР

1.3.3. Элементы схемы имеют следующие параметры, найденные в окрестностях точки $T = 40^\circ\text{C}$:

$$K_{\text{рэл}} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{В} \cdot \text{с}};$$

$$K_1 = 0,1 \frac{\text{Вм} \cdot \text{рад}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$K_3 = 5 \frac{\text{Вм}}{^\circ\text{C}};$$

$$K_4 = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вм} \cdot \text{с};$$

$$K_{\text{дт}} = 0,1 \frac{\text{В}}{^\circ\text{C}};$$

$$T_{\text{дт}} = 25 \text{ с}$$

$$K_{\text{об}} = 1/K_3 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вм};$$

$$T_{\text{об}} = 1/K_3 \cdot K_4 = 488 \text{ с}.$$

1.3.4. Оптимизация контура регулирования заключается в выборе типа регулятора и параметров его настройки, которые позволили бы по-

лучить желаемое качество переходных процессов по управлению и по возмущению, а также получить желаемый астатизм системы.

Оптимизация контура рис. 1.4 по управлению (входной сигнал ΔU_{3T}) по техническому (модульному) оптимуму (МО) сводится к следующему [1]:

- поскольку $T_0 \gg T_{ДТ}$, то $T_{ДТ}$ принимаем за малую постоянную времени, а большую T_0 компенсируем;
- выбираем пропорционально-интегральный регулятор температуры (ПИ-РТ) с передаточной функцией

$$W_{РТ} = K_{РТ} \cdot \frac{T_{РТ} \cdot p + 1}{T_{РТ} \cdot p}$$

- определяем параметры регулятора

$$T_{РТ} = T_0 = 488 \text{ с};$$

$$K_{РТ} = \frac{T_0}{2 \cdot T_{дт} \cdot K_{дт} \cdot K_{от} \cdot K_{рэн} \cdot K_l \cdot K_o} = \frac{488}{2 \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 30 \cdot 0,1 \cdot 0,2} = 162,67$$

,

$$\text{где } K_{от} \text{ и } K_{дт} = \frac{U_{3T\text{МАКС}}}{Dt_{\text{МАКС}}} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ В}/^\circ\text{C};$$

- на входе контура устанавливаем входной фильтр, оптимизирующий переходный процесс по управлению, с передаточной функцией

$$W_{ВХФ} = \frac{1}{T_{ВХФ} \cdot p + 1},$$

$$\text{где } T_{ВХФ} = T_{ДТ} = 25 \text{ с}.$$

Передаточная функция замкнутого контура регулирования температуры по управлению с фильтром на входе имеет вид

$$W_{3.У}(p) = \frac{1/K_{от} \cdot K_{дт}}{2 \cdot T_{дт}^2 \cdot p^2 + T_{дт} \cdot p + 1}.$$

Переходные процессы в контуре при отработке ступенчатого входного воздействия имеют колебательный характер с одним перерегулированием $\sigma = 4,3 \%$, временем переходного процесса (окончательного вхождения в зону 5%) $t_{рв} = 4,1 \cdot T_{дт} = 102,5 \text{ с}$, и равной нулю статической ошибкой по управлению.

Передаточная функция по возмущению (возмущающее воздействие $\Delta P_{нагр}$) оптимизированного таким образом контура регулирования температуры имеет вид

$$W_{3.В}(p) = \frac{K_o \cdot [2 \cdot T_{дт} \cdot p \cdot (T_{дт} \cdot p + 1)]}{(T_o \cdot p + 1)(2 \cdot T_{дт}^2 \cdot p^2 + T_{дт} \cdot p + 1)}.$$

Для контура характерно отсутствие установившейся ошибки регулирования при отработке скачка возмущающего воздействия.

Поскольку оптимизация контура регулирования может быть проведена при постоянных значениях параметров его звеньев, то возникает практически важный вопрос: при каких значениях переменных параметров объекта управления следует выбирать постоянные настройки регулятора, чтобы во всём диапазоне изменения параметров контур регулирования обеспечивал бы требуемые показатели качества работы. Если регулятор с постоянными параметрами не обеспечивает качества работы при возможных изменениях параметров объекта, то необходимо выбрать адаптивный регулятор.

1.4. Нелинейная САР температуры

Структурная схема САР температуры с учетом основных нелинейностей, разработанная на основе рис. 1.2, z , представлена на рис. 1.5.

Поясним назначение звеньев приведённой структурной схемы, их связь с элементами физической установки.

1. Входной фильтр или задатчик интенсивности.
2. Звено, приводящее в соответствие описание математической модели и свойства физического объекта.
3. Звено с ограничениями, которое, во-первых, позволяет регулятору работать только в положительной области своей характеристики. Это связано с однополярностью характеристики управления, т. к. система управления может обеспечить охлаждение объекта при его нагреве сверх заданной температуры, но не может нагреть его в обратном случае. Во-вторых, насыщение выходной координаты звена учитывает максимально возможную скорость вентилятора $\omega_B = 300 \text{ с}^{-1}$, развиваемую электродвигателем при управлении от частотного преобразователя методом U/f в нереверсивном режиме.
4. Вход задания мощности нагревательных элементов $P_{нагр}$.
5. Вход задания начальной температуры объекта управления $T_{нач}$. Этим учитывается, что начальная температура объекта в различных опытах может быть разной.
6. Вход задания температуры окружающей среды $T_{окр}$, которая в общем случае предполагается переменной.
7. $K3$ – коэффициент, учитывающий естественную теплоотдачу шкафа при $\omega_B = 0$.
8. $K1$ – коэффициент, учитывающий дополнительный теплоотвод в выбранной точке работы при среднем перегреве Δt_{0CP} .
9. $K5$ – коэффициент, учитывающий изменение теплоотвода при отклонении перегрева Δt_0 от среднего значения.

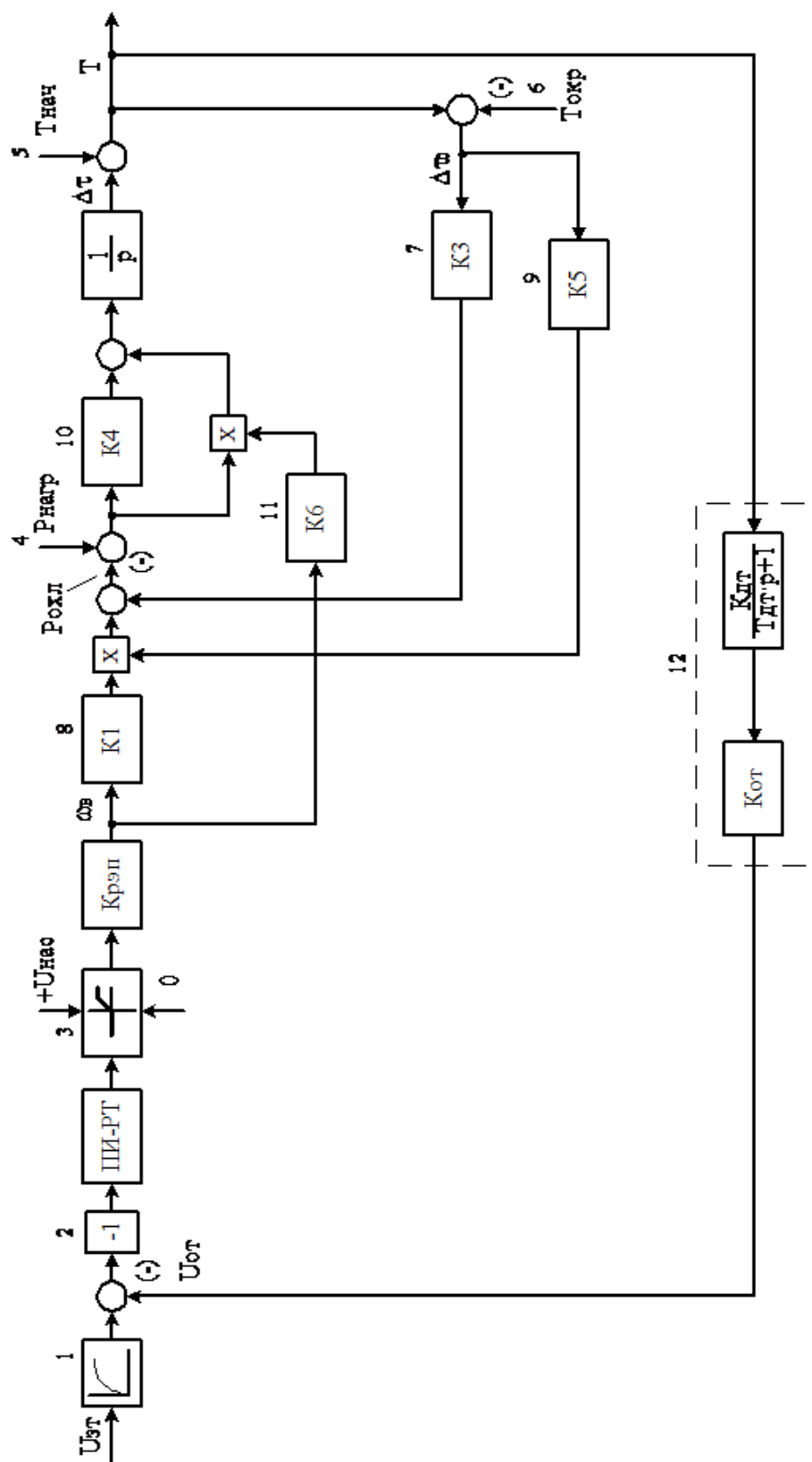


Рис. 1.5 Нелинейная структурная схема САР температуры

10. K_4 – коэффициент, учитывающий естественную теплоёмкость шкафа.

11. K_6 – коэффициент, учитывающий изменение теплоёмкости шкафа в зависимости от скорости вращения вентилятора.

12. Датчик температуры, в котором в качестве первичного измерительного преобразователя используется терморезистор; датчик первоначально преобразует изменение температуры на входе в изменение сопротивления на выходе с коэффициентом преобразования $K_{\Delta t} = 0,213$ Ом/°С и постоянной времени $T_{\Delta t} = 25$ с, а затем изменение сопротивления в изменение напряжения с коэффициентом $K_{\Delta t} = 0,47$ В/Ом.

1.5. Функциональная схема САР температуры

1.5.1. Функциональная схема САР температуры показана на рис. 1.6. Рассмотрим основные элементы схемы.

1. Объект управления – закрытый металлический шкаф с жалюзи, в котором находятся источники избыточного тепла, датчик температуры ДТ и вентилятор.

2. Блок сопряжения, с помощью которого осуществляется согласование выходного сигнала датчика температуры с входом АЦП.

3. Регулируемый частотный асинхронный электропривод на базе преобразователя частоты «ВЕСПЕР EI-9001», в состав которого входят:

- асинхронный электродвигатель (АД);
- автономный инвертор напряжения (АИН);
- фильтр (конденсатор С);
- диодный (неуправляемый) мостовой выпрямитель (В);
- микросхемы драйверов, посредством которых происходит управление силовыми ключами на IGBT транзисторах в АИН;
- микропроцессорная система (МПС), осуществляющее общее управление преобразователем частоты;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП), для связи МПС с внешними устройствами.

4. ЭВМ высшего уровня, осуществляющая программирование контроллера и управление им по последовательному интерфейсу RS 232.

5. Контроллер на базе микроконтроллера INTEL 80C196KC используется либо как МПС управляющая технологическим параметром при подаче обратной связи на его вход, либо как МПС верхнего уровня для выработки сигнала задания на входе преобразователя частоты в случае реализации обратной связи по температуре через технологический регулятор преобразователя частоты.

ЭВМ также используется для обработки поступающей с контроллера информации и построения графиков переходных процессов по температуре.

По способу связи с ЭВМ высшего уровня рассматриваемая САР относится к системам **автономного** принципа действия, т. к. в рабочем режиме контроллер или технологический регулятор преобразователя частоты являются не только источником командной информации, но и выполняют функции сравнения и регулирования в контуре температуры.

Регулируемый асинхронный электропривод «ВЕСПЕР EI-9001» состоит из двух конструктивно законченных устройств: вентиляторной установки и преобразователя частоты.

На основе сигнала задания и сигнала обратной связи микропроцессорная система электропривода «ВЕСПЕР EI-9001», как уже указывалось, способна самостоятельно вырабатывать управляющий сигнал на скорость при работе в автономном режиме. Источником сигнала обратной связи служит датчик температуры.

1.5.2. Контроллер MCS196KC-20.01N представляет собой законченное перепрограммируемое устройство, включающее в себя минимальное количество функциональных блоков, необходимых для решения задач управления технологическим оборудованием, сбора, хранения и обработки информации.

Основные элементы контроллера:

- микроконтроллер;
- память программ ПП (Flash-память);
- ОЗУ данных;
- интерфейс связи с ЭВМ RS-232;
- интерфейс связи с технологическим оборудованием RS-485;
- программируемая матрица;
- энергонезависимое ОЗУ с последовательным доступом;
- часы реального времени ЧРВ;
- жидкокристаллический индикатор ЖКИ;
- буферные усилители-формирователи;
- буферный регистр.

1.5.3. Частотный преобразователь EI-9001 с прямым цифровым управлением обеспечивает в дополнение к управлению соотношением напряжение/частота управление вектором потока для стандартных моделей асинхронных двигателей и одновременно может выполнять функции сравнения и коррекции с помощью встроенного алгоритма технологического регулятора.

Модель преобразователя частоты EI-9001 имеет четыре метода управления: векторное в разомкнутой системе; управление вектором

поля; управление U/f с обратной связью от импульсного датчика (в дальнейшем – ИД); управление U/f . Метод управления выбирается оператором в соответствии с требованиями применения.

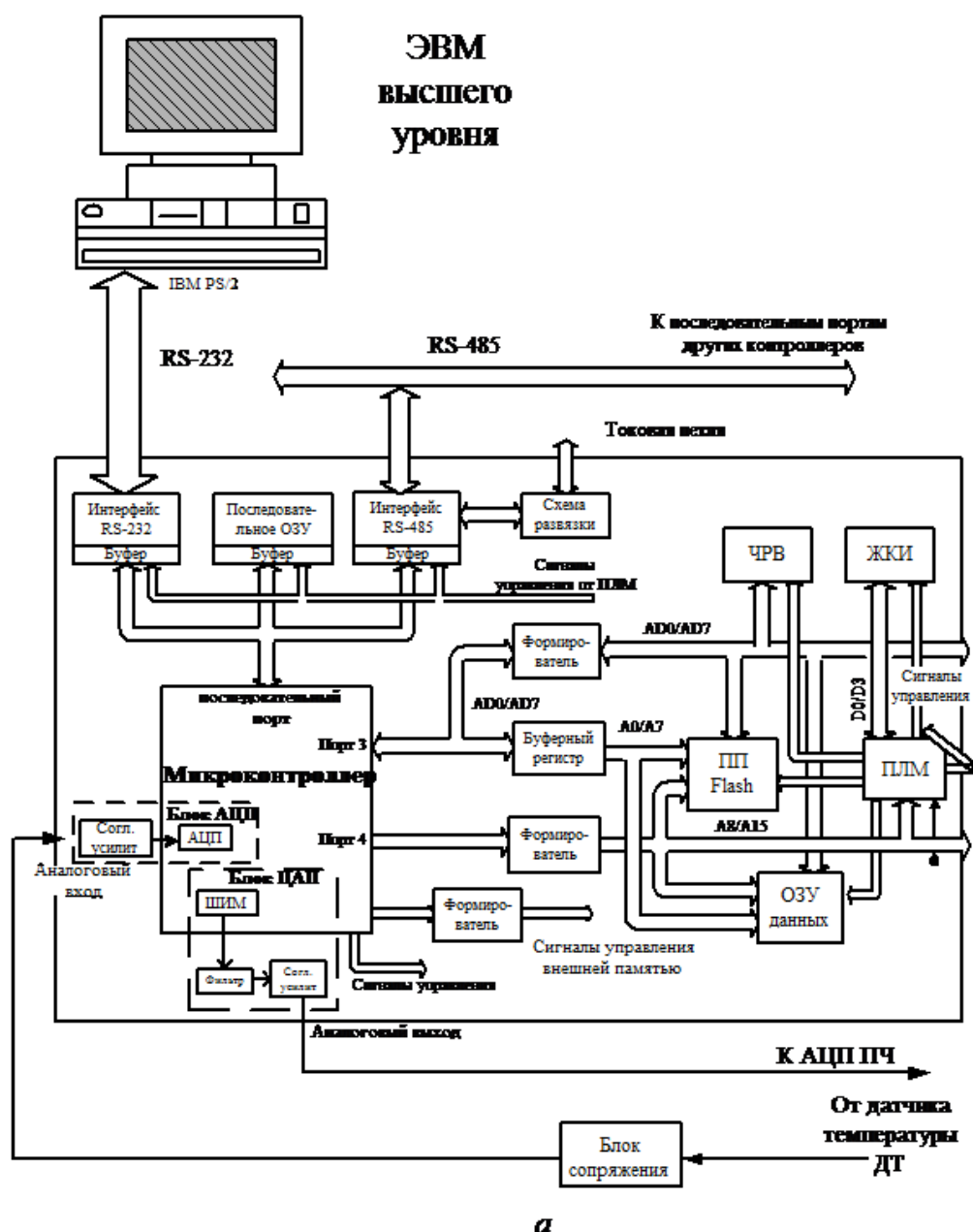


Рис. 1.6. Функциональная схема САР температуры: *а* – система управления верхнего уровня; *б* – электрофицированный объект управления

Для управления двигателем был выбран наиболее простой, эффективный и экономичный способ управления: изменение соотношения напряжение/частота по закону $U/f = \text{const}$.

1.6. Программа работы

1. Ознакомиться со схемой организации системы.
2. Изучить особенности теплоинерционного объекта управления.
3. Изучить линеаризованную и нелинейную структурные схемы.
4. Ознакомиться с функциональным устройством установки.
5. Исследовать работу САР температуры в автономном режиме.
6. Исследовать работу САР температуры в неавтономном режиме.
7. Снять две кривые нагрева при разных скоростях вращения вентилятора и постоянной мощности нагревательных элементов.

1.7. Методические указания

Лабораторная установка является сложным программно-аппаратным комплексом, поэтому высоки требования к правильности выполнения схемы соединений и установкам в программном обеспечении.

1.7.1. Соединение аппаратных средств

Схема соединения аппаратных средств зависит от режима работы установки – автономного или неавтономного.

1. Общими для обоих режимов являются следующие соединения.

Силовые соединения:

- ПЧ «Веспер» включается трёхфазной вилкой в сеть;
- кабель ПЧ «Веспер» с круговым штыревым разъёмом XS4 подключается к имитирующей установке в гнездо X4;
- ЭВМ запитывается от однофазной сети;
- кабель питания контроллера от ЭВМ включён в гнездо X10.
-

Информационные соединения:

- тумблер SA1 установки в верхнем положении «Веспер»;
- кабель в ПВХ-оболочке соединяет гнездо X3 установки с гнездом X11/X12 контроллера;
- кабель в коричневой резиновой оболочке круговым разъёмом подключается к гнезду X1 установки;
- соединения внутри контроллера показаны в Приложении 1;
- кабель соединяет приемопередатчики RS-232 ЭВМ и контроллера.

2. В **автономном режиме** электропривода (обратная связь по температуре подана на вход преобразователя частоты) тумблер SA2 переключен в нижнее положение.

Задание температуры производится непосредственно в ПЧ путём программирования с панели управления. Информация о температуре в формате (0 ...10) В подаётся на аналоговый вход АЦП преобразователя частоты с датчика температуры по информационной витой экранированной паре (в коричневой резиновой оболочке). Витая пара с одной стороны присоединяется к гнезду А5-Х1 (см. Приложение 2), а с другой — к соответствующим клеммам информационного разъёма преобразователя через дополнительно выведенную внешнюю панель. Общий провод витой пары (синий) присоединяется к клемме 17 на внешней панели, информационный (белый) — к клемме 16, экран соединяется с экранной клеммой 12.

3. В **неавтономном режиме** электропривода (обратная связь по температуре замыкается через контроллер) тумблер SA2 находится в верхнем положении. При этом функции цифрового управления контуром температуры осуществляются в контроллере. Поэтому на преобразователь частоты передается информация не о температуре, а напряжение задания на скорость вращения вентилятора от контроллера. Для этого используется та витая пара, по которой в автономном режиме осуществлялась передача напряжения, соответствующего температуре, от блока сопряжения датчика температуры на преобразователь частоты. Чтобы напряжение задания поступало на вход задания АЦП преобразователя частоты EI-9001 информационный провод (белый) этой витой пары соединяют с клеммой 13 внешней панели преобразователя.

1.7.2. Работа с программным обеспечением

1. Взаимодействие оператора с контроллером осуществляется в основном через ЭВМ.

Функционирование контроллера определяется главным образом вложенной в него программой. Программа может быть написана в любом стандартном текстовом редакторе. Как правило, программа состоит из основного файла с расширением **a96** и нескольких подключаемых файлов с расширением **inc**, в одном из которых и расположена главная часть алгоритма управления электроприводом. Обработка текста программы и программирование контроллера осуществляется с помощью оболочки «**Турбоконтроллер**», запускаемой программой **Turboctl.exe**.

Приём информации из контроллера выполняется под управлением программы **INCOM20.exe**. Эта программа принимает данные и записывает их в текстовый файл **F2.exe**. Данные могут быть обработаны в любом приложении, способном воспринять текстовый файл. В лабораторной работе для этой цели используется приложение «**Microsoft Excel**».

Перед запуском программы **INCOM20.exe** для избежания конфликта обращения к последовательному порту программа **Turboctl.exe** должна быть закрыта. Для удобства вызова и использования этих программ разработана оболочка-диспетчер «**Инспектор**», запускаемая программой **Inspector.exe**. Программа «**Инспектор**» описана в Приложении 3. Настройка программы «**Турбоконтроллер**» показана в Приложении 4.

2. Как указывалось выше, при работе в неавтономном режиме управление контуром температуры осуществляется контроллером в соответствии с загруженной в него программой. Текст программы, отвечающий за ввод параметров системы показан на рис. 1.7.

```

;*****
;
;УРОВЕНЬ СТУПЕНЧАТОГО ЗАДАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  Uz_w
;Uz_w_s=[0,100]дискрет (в градусах)
ld Uz_w_s,#40

;*****
*****
;ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ
;*****
*****
;Выбор типа регулятора: 1-адаптивный ПИ-
ПИ-РТ
; 0-не адаптивный
Adap SET 1
;*****
*****
;ЗАДАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКР. СРЕДЫ (k2,град.) ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ;АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА
;*****
*****
ldb k2,#20
;Параметры регулятора (для неадаптивного ~10-50, для
адаптивного ~100-500)
ld kpt,#400
ld Tpt,#50
;*****
;

```

Рис. 1.7

Адаптация коэффициента усиления регулятора осуществляется для компенсации нелинейной мультиплексной обратной связи в канале охлаждения. Блок-схема программы управления контуром температуры показана на рис. 1.8.

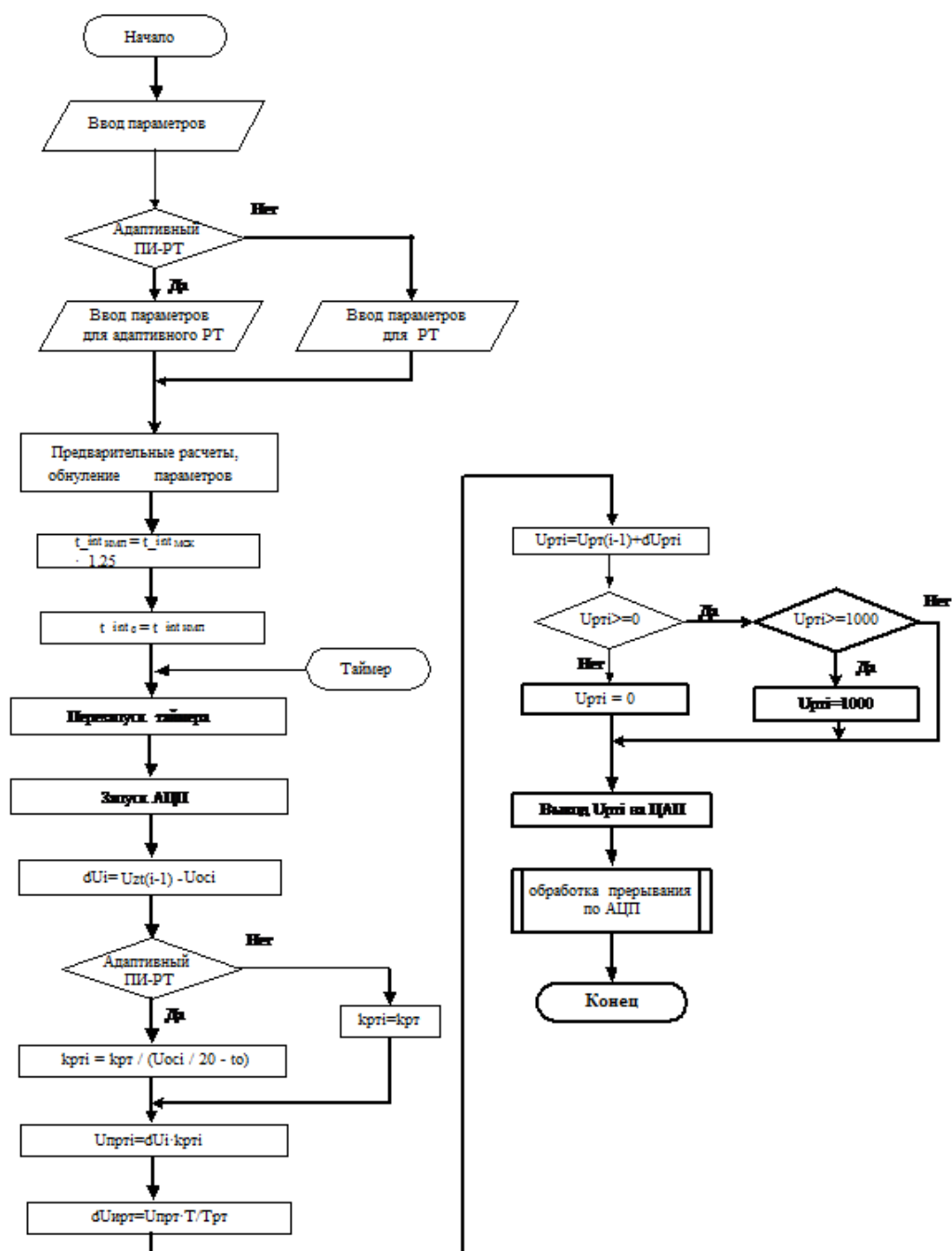


Рис 1.8 Блок-схема программы управления контуром температуры

1.7.3. Возможности применения преобразователя частоты «ВЕСПЕР» для управления контуром температуры

В преобразователе возможно ПИД – управление процессами с помощью встроенного технологического регулятора. В табл. 1 представлено описание константы В5-01, а на рис. 1.9 – блок-схема ПИД-регулятора.

Для работы ПИД-регулятора необходимо, чтобы функция клеммы 16 (НЗ-05) была установлена на обратную связь для ПИД-регулятора (значение 0В).

Таблица 1.1

Константа В5-01

	Функция ПИД-регулятора
0	ПИД-регулирование от-
1	ПИД-регулирование включено (Дифференциальное управление колебательностью)
2	ПИД-регулирование включено (Дифференциальное управление уровнем обратной связи)

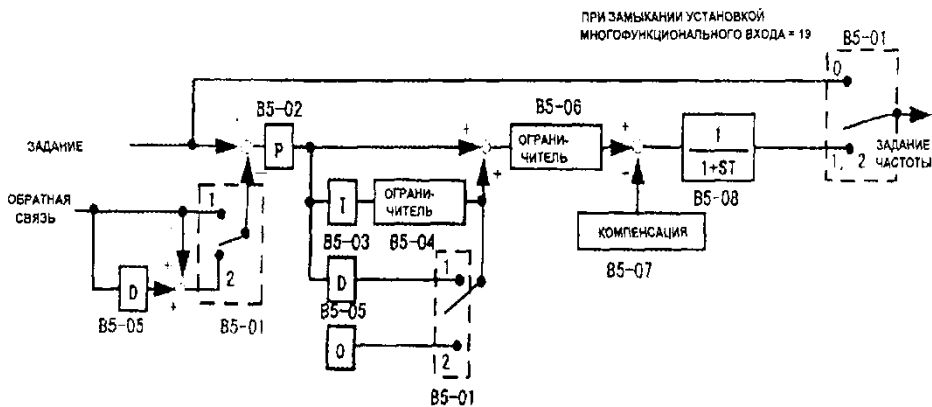


Рис. 1.9. Блок-схема встроенного ПИД-регулятора

1.7.4. Исследование работы САР температуры в автономном режиме

1. Осуществить схему соединений для автономного режима в соответствии с подразделом 1.7.1.
2. Включить ПЧ «Веспер» в сеть.
3. Перевести ПЧ «Веспер» в режим местного управления;
4. Ввести следующие константы:
B5-01= 2;
H3-05= 0В;
B5-02 (пропорциональная составляющая регулятора) и
B5-03 (интегральная составляющая регулятора) – по заданию преподавателя.
5. Задать температуру из предположения, что заданию 0 дискрет соответствует 100 °С, а заданию 50 дискрет – 0 °С, т. е. в соответствии со следующим выражением $N(\text{диск}) = (100 - t(^{\circ}\text{C}))/2$.

6. Включить тумблер SA3 на установке, введя в систему возмущение (источники избыточного тепла).

7. Запустить ПЧ «Веспер», нажав кнопку «Пуск» на его панели управления.

8. Для контроля за текущей температурой необходимо загрузить в контроллер программу, в верхней строке ЖК-индикатора будет высвечиваться температура в °C.

1.7.5. Исследование работы САР температуры в неавтономном режиме

1. Осуществить схему соединений для неавтономного режима в соответствии с подразделом 1.7.1.

2. Включить ПЧ «Веспер» в сеть.

3. Перевести ПЧ «Веспер» в режим дистанционного управления.

4. Ввести константу B5-01= 0.

5. Запустить программу «**Инспектор**».

6. Запустить программу «**Турбоконтроллер**».

7. Вызвать текстовый файл заданий, нажав кнопку «Inc-файл».

8. Сделать задание на температуру, выбрать параметры регулятора температуры по заданию преподавателя.

9. Закрыть текстовый файл и выполнить п. 4 подраздела 1.8.7.

10. Ввести источники избыточного тепла.

11. Снять кривые переходного процесса, руководствуясь пп. 5–7 подраздела 1.7.7.

1.7.6. Снятие кривых нагрева

1. Включить ПЧ «Веспер» в сеть.

2. Перевести ПЧ «Веспер» в режим местного управления.

3. Ввести константу B5-01= 0.

4. Ввести источники избыточного тепла.

5. Задать скорость вращения вентилятора непосредственно с пульта управления.

6. Снять кривые переходного процесса руководствуясь, руководствуясь пп. 5 ...7 подраздела 1.7.7.

1.7.7. Снятие переходного процесса температуры

1. Запустить программу «**Инспектор**». Через неё осуществляется доступ к программному обеспечению лабораторного стенда. Запустить программу можно с рабочего стола или с панели Меню. Ярлык программы имеет вид



2. Запустить программу «Турбоконтроллер».
3. Настройки этих программ должны соответствовать Приложениям 3 и 4.
4. Произвести аппаратный сброс системы, нажав соответствующую кнопку на передней панели корпуса контроллера. Далее необходимо произвести программный сброс системы, нажав кнопку «Сброс» на панели программы «Турбоконтроллер». Затем в диалоге «Сборка» нужно нажать кнопку «Сборка». Программа произведёт ассемблирование исходного текстового файла, компоновку, подготовит файл для пересылки в контроллер, сотрёт содержимое памяти контроллера и запишет новую программу. В случае необходимости будет выдано сообщение об ошибках и предупреждениях.
5. Нажать кнопку «Выполнить» на панели программы «Инспектор»; при этом закроется программа «Турбоконтроллер», запустится программа приёма данных **INCOM20.exe**.
6. После завершения приёма данных программа **INCOM20.exe** закроется; при желании можно убедиться в корректности приёма, открыв текстовый файл данных **F2.txt**.
7. Открыть в приложении **Microsoft Excel** текстовый файл **F2.txt**. По данным построить графики переходных процессов температуры и задания на скорость.

1.8. Контрольные вопросы

1. Назначение САР температуры?
2. Функции, выполняемые контроллером в рассматриваемой системе? Назначение преобразователя частоты?
3. Преимущества и недостатки автономного и неавтономного принципа построения системы регулирования?
4. Особенности управления объектом, у которого источник не регулируется?
5. Физический смысл теплоотдачи объекта?
6. Физический смысл теплоёмкости объекта?
7. Допущения, сделанные при рассмотрении объекта управления?
8. Основные специфические особенности объекта?
9. Поясните переход структурной схемы рис. 2, а к схеме рис. 2, з.
10. Почему структурная схема линеаризованной САР температуры составлена в приращениях?

11. Поясните физический смысл мультиплексной обратной связи по нелинейной структурной схеме.
12. Зачем нужен фильтр на входе САР температуры?
13. Почему датчик обратной связи представлен двумя звеньями?
14. Почему регулируемый электропривод можно представить безынерционным звеном?
15. Поясните назначение блока сопряжения по функциональной схеме.
16. Функции ЭВМ в автоматизированной системе?
17. Возможности встроенного технологического регулятора преобразователя частоты «Веспер»?
18. Как организована связь между компьютером и контроллером?
19. Как организован канал управления между контроллером и преобразователем?
20. Как организован канал обратной связи между объектом и контроллером?

1.9. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Линеаризованная схема САР температуры.
3. Нелинейная структурная схема системы.
4. Переходные процессы температуры в автономном режиме.
5. Переходные процессы температуры и задания на скорость в неавтономном режиме.
6. По двум кривым нагрева при разных скоростях вращения вентилятора оценить изменения теплоёмкости и теплоотдачи объекта управления.
7. Выводы по работе.

2. Изучение цифровых электромеханических систем на базе PCNC

Цель работы:

- изучение принципов построения систем числового программного управления (ЧПУ) электромеханическими объектами;
- изучение принципов построения многокоординатных цифроаналоговых электроприводов на базе ЧПУ;
- изучение элементной базы цифровой системы управления двухкоординатным столом;
- экспериментальное исследование работы алгоритмов линейной интерполяции.

2.1. Теоретические сведения о современных концепциях числового программного управления электромеханическими системами

Разработчики современных систем числового программного управления выделяют 5 основных архитектурных вариантов, которые представлены на рынке [3, 4]. Первый вариант – это классические системы CNC (Computer Numerical Control). Такие системы выпускаются фирмами с богатой традицией производства высококачественной собственной микроселектронной аппаратуры. Однако эти фирмы под влиянием пользователей технологического оборудования, желающих иметь гибкий интерфейс оператора, предлагают модификацию PCNC-1 с персональным компьютером в качестве терминала (второй вариант). Следующим шагом в развитии систем с ЧПУ стала реализация двухкомпьютерного варианта PCNC-2 (третий вариант). Несколько позднее появились системы PCNC-3, ядро которых реализовано на отдельной плате, устанавливаемой в корпусе промышленного персонального компьютера (четвертый вариант). С бурным развитием микропроцессорной техники и повышением производительности микропроцессоров все большее распространение получает однокompьютерный (пятый) вариант системы PCNC-4. Наиболее наглядно классификация архитектурных решений систем ЧПУ приведена в табл. 2.1.

2.1.1 Системы типа CNC и PCNC-1

К этим типам относится семейство NUM (концерн Schneider, Германия) (рис. 2.1), построенное по принципу многопроцессорных CNC-систем: с ЧПУ-процессором, процессором программируемого контроллера автоматики и графическим процессором. Система NUM оснащается пассивным терминалом или промышленным компьютером с операционной системой Windows-98.

Семейство представлено компактными и модульными версиями, которые различаются числом координат и возможностью формировать независимые каналы ЧПУ из координатных групп, а также использованием традиционных аналоговых или автономных цифровых следящих приводов, подключенных к оптоволоконной сети.

Таблица 2.1

Вычислительное устройство	Наименование архитектурных решений				
	CNC	PCNC-1	PCNC-2	PCNC-3	PCNC-4
Персональный компьютер		Интерфейс оператора	Интерфейс оператора	Интерфейс оператора	Интерфейс оператора. Ядро ЧПУ. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики
Встроенный одноплатный компьютер				Ядро ЧПУ. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики	
Интерфейс		Коммуникационный интерфейс	Коммуникационный интерфейс		
Второй компьютер			Ядро ЧПУ. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики	Второй компьютер	

Продолжение табл. 2.1					
Второй компьютер			Ядро ЧПУ. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики		
Специальный процессорный модуль	Интерфейс оператора. Ядро ЧПУ. Внешний контроллер электроавтоматики	Ядро ЧПУ. Одноплатный контроллер электроавтоматики			
Интерфейс	Управление приводами и электроавтоматикой	Управление приводами и электроавтоматикой	Периферийные шины следящих приводов и электроавтоматики	Периферийные шины следящих приводов и электроавтоматики	Периферийные шины следящих приводов и электроавтоматики
	Объекты управления	Объекты управления	Автономные объекты управления	Автономные объекты управления	Автономные объекты управления

В зависимости от требований устанавливается различное число входов-выходов электроавтоматики. Вычислительная мощность систем NUM достаточно высока, и этим объясняется широкий набор их функциональных возможностей. Так, предусмотрены сплайновый и полиномиальный (до пятого порядка) алгоритмы интерполяции, пяти-, девятикоординатная интерполяция, пятикоординатная коррекция инструмента, одновременная работа по двум различным управляющим программам, 3D-графика. В системах с терминальным компьютером возможна адаптация интерфейса оператора к запросам конечных пользователей, диалоговое программирование.

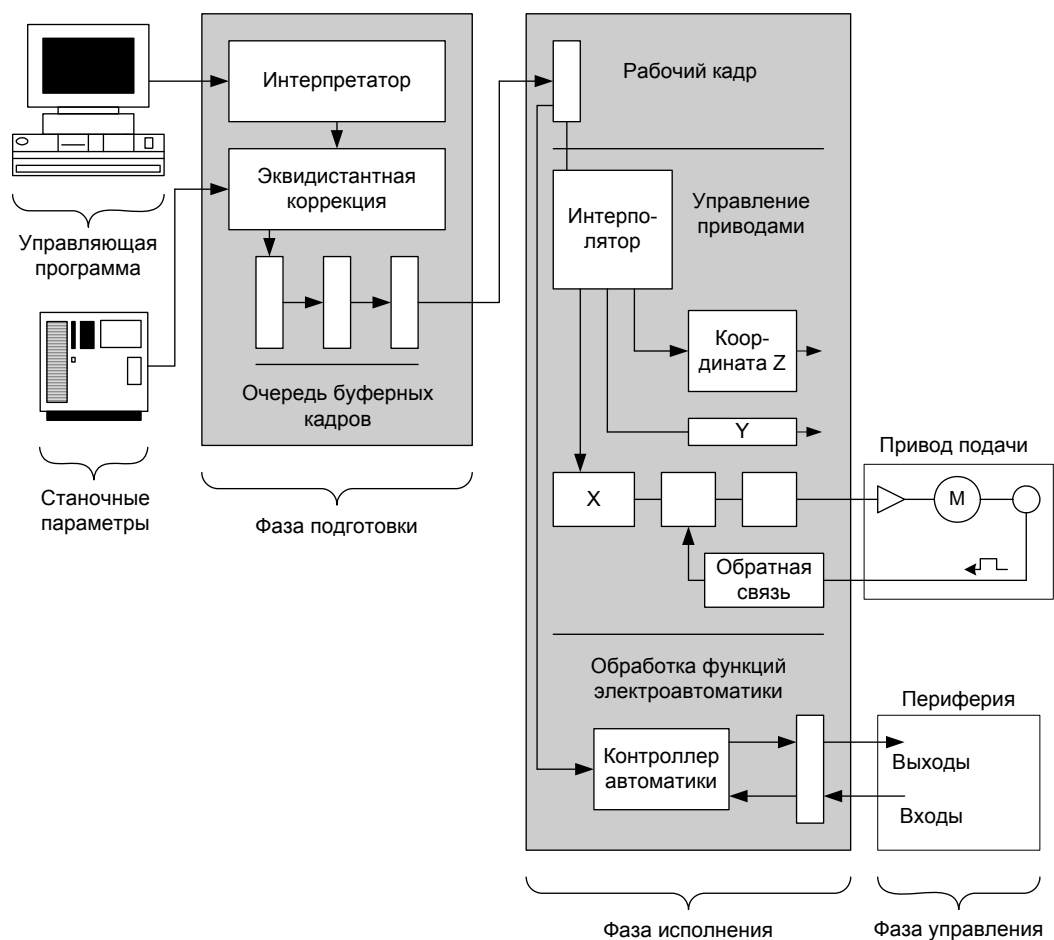


Рис. 2.1. Архитектура системы ЧПУ типа CNC фирмы NUM

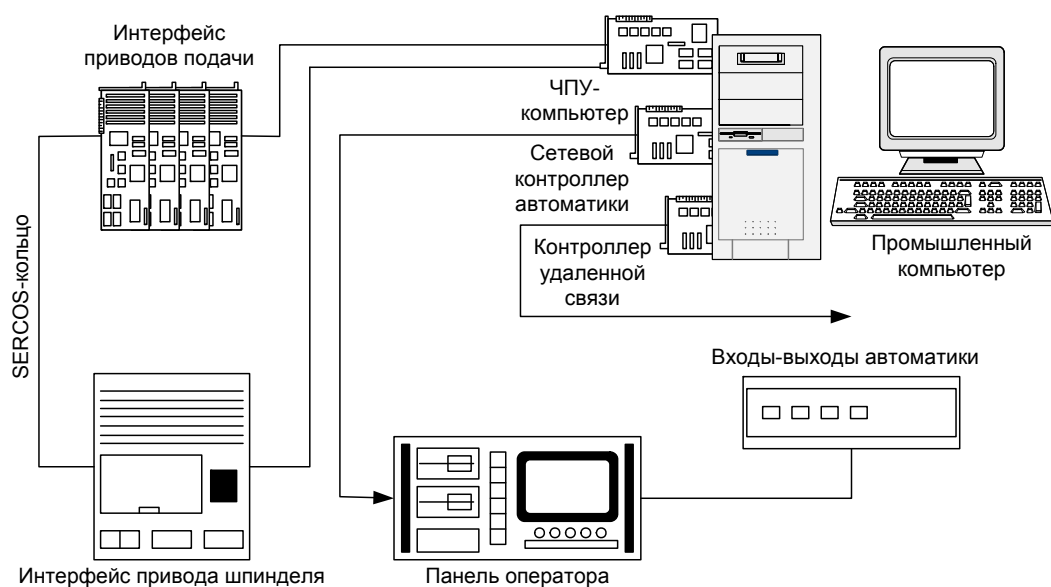


Рис. 2.2. Архитектура системы ЧПУ класса PCNC-1 фирмы Allen-Bradley

Фирма Allen Bradley выпускает широкое семейство систем ЧПУ: от традиционной CNC до системы CNC с персональным компьютером в качестве терминала и системы класса PCNC. Последняя модель (рис. 2.2) выполнена по классической схеме: специализированный промышленный компьютер с операционной системой Windows NT и возможностью разрабатывать пользовательские приложения на Visual Basic, PCI-одноплатный ЧПУ-компьютер, выполняющий все функции ядра, включая программно-реализованный контроллер электроавтоматики. С помощью общего для всей системы терминала осуществляется программирование и редактирование контроллера.

2.1.2. Системы типа PCNC-2

Представителями этого класса являются системы фирм ANDRON, BoschRexroth. Система ЧПУ фирмы ANDRON (Германия) представляет собой полный двухкомпьютерный вариант. Ее структура представляет набор модулей (рис. 2.3): терминального компьютера, ЧПУ-компьютера, панели оператора и монитора, удаленных входов-выходов программируемого контроллера, одной или нескольких групп цифровых (SERCOS) приводов подачи и главного привода. Аппаратная часть системы практически полностью состоит из компонент других фирм-производителей.

В состав терминального компьютера входят: материнская плата с процессором Intel Celeron и интегрированными контроллерами SCSI, VGA, TFT, IDE; многофункциональная интерфейсная плата MFA с памятью CMOS-ROM; контроллер коммуникационного канала, связывающего терминальный и ЧПУ-компьютеры. Все платы установлены на пассивной ISA-шине. При этом предусмотрена возможность установки дополнительных резервных плат: внутреннего модема, сетевой платы, SCSI-платы. Для специальных задач возможна установка PCI-плат.

В составе ЧПУ-компьютера имеются: материнская плата с процессором Intel Celeron; плата MIO (Main Input-Output) поддержки как коммуникационного интерфейса с терминальным компьютером (со скоростью 10 Мбит/с), так и интерфейса ручного перемещения; плата программируемого контроллера с интерфейсом InterBus-S (с циклом 4 мс для 1024 входов-выходов); одна или несколько плат SERCOS-интерфейса (с микросхемой SERCON410-B). Все платы установлены на пассивной ISA-шине. Каждый SERCOS-интерфейс обслуживает (с периодичностью 0,5 мс) одну группу из трех автономных приводов подачи и одного привода шпинделя. Приводы одной группы включены в кольцевую оптоволоконную сеть.

В подобных платформах систем ЧПУ терминальный компьютер обычно работает под управлением операционной системы Windows NT, а ЧПУ-компьютер оснащается операционной системой жесткого реального времени. На прикладном уровне терминальный компьютер открыт для разнообразных приложений и специальных диалогов конечного пользователя.

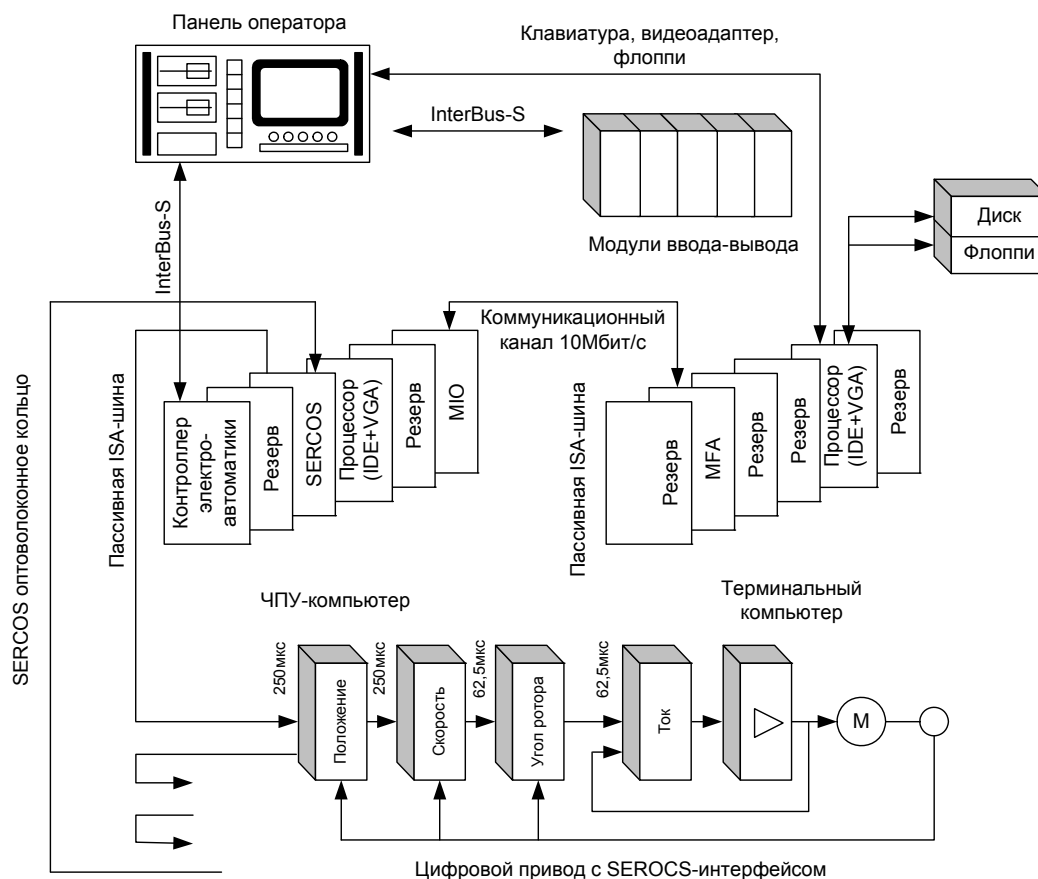


Рис. 2.3. Архитектура системы ЧПУ класса PCNC-2 фирмы FNDRON

Система ЧПУ фирмы BoschRexroth (Германия) построена на основе двух высокопроизводительных компьютеров и обладает исключительно мощным набором функций. Терминальный компьютер оснащен операционной системой Windows NT, а ЧПУ-компьютер – операционной системой UNIX. Связь операционных сред осуществляется с помощью протоколов TCP/IP, что позволяет осуществить удаленное администрирование и работу нескольких терминалов с одним ЧПУ-компьютером. В свою очередь, ЧПУ-компьютер обеспечивает многоканальную работу более чем с одной управляющей программой. Прикладное программное обеспечение терминального компьютера и ядра ЧПУ в ЧПУ-компьютере окружены оболочкой из нескольких сот интерфейсных API-функций (Application Interface), которые предоставляют пользователям

возможность разрабатывать собственные приложения и расширения. В оболочку терминального компьютера включена мощная DLL-библиотека NCS (Numerical Control System) классов объектов, делающая разработку дополнительных приложений более простой и комфортной. Помимо этого программно реализован контроллер электроавтоматики и цифровой осциллограф для анализа динамики следящего привода.

2.1.3. Системы типа PCNC-3

Типичным представителем PCNC-3 является система фирмы Delta-Tau (Великобритания). Архитектура такой системы предполагает наличие 2-х компьютеров. В отличие от предыдущего типа систем ЧПУ-компьютер выполнен в виде отдельной платы PMAC (Programmable Multi-Axes Controller), устанавливаемой на ISA- или PCI-шине терминального персонального компьютера (рис. 2.4). Терминальный компьютер с операционной системой Windows NT выполняет классические функции терминальной задачи и функции интерпретатора управляющих программ.

Одноплатный ЧПУ-компьютер PMAC построенный на процессоре Motorola 56300 решает геометрическую и логическую задачи, выполняя функции интерполятора, контроллера управления приводами, программно-реализованного контроллера электроавтоматики. Интерполятор обеспечивает все виды интерполяции (включая сплайн-интерполяцию), алгоритмы разгона и торможения, опережающий просмотр кадров Look Ahead, циклическое формирование управляющих воздействий с периодом 440 мкс (в этом же периоде в фоновом режиме работает и контроллер электроавтоматики). Контроллер приводов поддерживает управление 32 координатными осями, сгруппированными в 16 координатных систем. Помимо этого он принимает и обрабатывает сигналы обратной связи от датчиков положения, замыкает позиционные контуры, выполняет функции ПИД-регулятора, имитирует в цифровом виде сигналы обратной связи по скорости, вырабатывает (в цифровом виде) широтно-импульсный сигнал для приводов подачи и сигнал задания (в пределах $\pm 10\text{В}$) для привода главного движения. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики поддерживает параллельное управление 64 циклами электроавтоматики.

Сигналы управления приводами и электроавтоматикой поступают в кольцевой оптоволоконный канал (со скоростью передачи данных 125 Мбит/с) для дистанционного управления своими объектами. Принимающим устройством служит интеллектуальный периферийный терминал Macro-станция (Motion and Control Ring Optical). Допустимо включение в кольцо нескольких таких терминалов. Терминал замыкает скоростные

контуры восьми приводов и принимает сигналы от конечных выключателей и датчиков нулевых точек координатных систем, формирует сигналы управления двигателями любого типа (асинхронными, постоянного тока и др.) с помощью блока Quad Amplifier (для управления четырьмя двигателями общей мощностью до 25 кВт). Периферийный терминал также поддерживает управление электроавтоматикой через модули оптоизолированных входов-выходов.

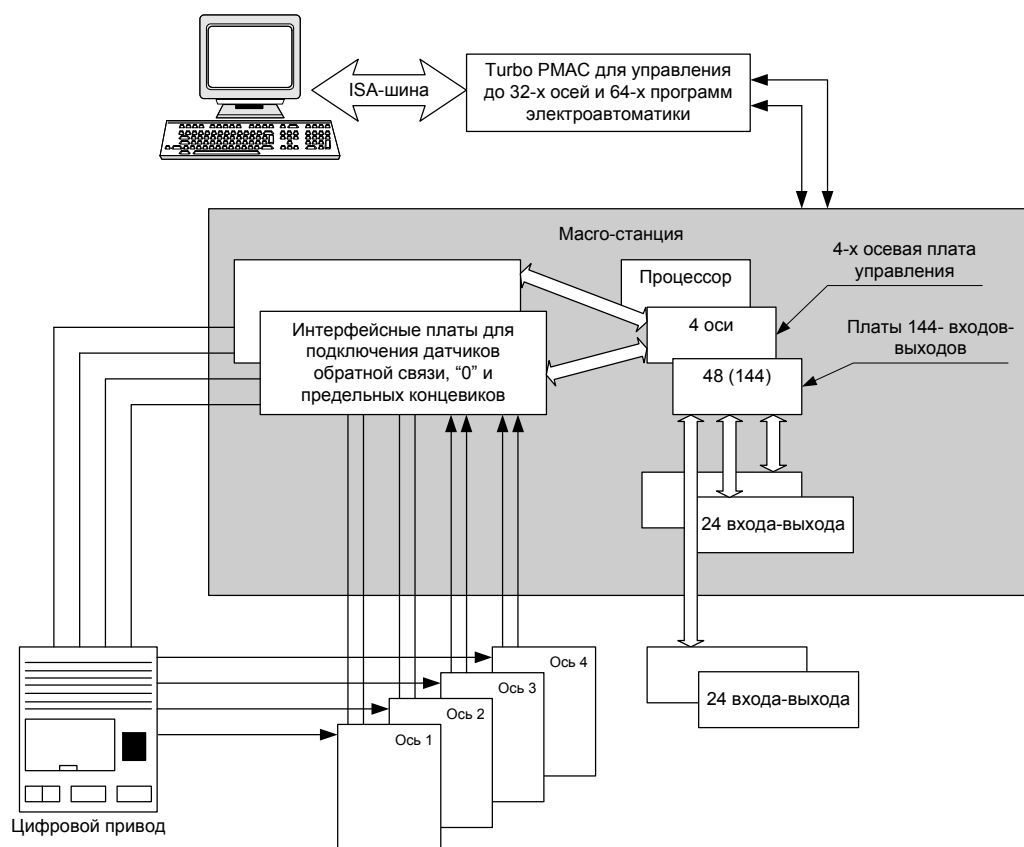


Рис. 2.4. Архитектура системы ЧПУ класса PCNC-3 фирмы DeltaTau

Концепция такого типа систем ориентированна на построение собственных систем ЧПУ. Конечному пользователю остается только разработка терминальной задачи и интерпретатора в среде промышленного персонального компьютера. Однако при этом следует отметить, что архитектура самих модулей закрыта и недоступна для внесения каких-либо изменений.

2.1.4. Системы типа PCNC-4

Концепция системы ЧПУ фирмы Beckhoff (Германия) является ярким примером однокомпьютерной архитектуры PCNC. Ее отличитель-

ная особенность заключается в том, что все задачи управления (геометрическая, логическая, терминальная) решены программным путем, без какой-либо дополнительной аппаратной поддержки (рис. 2.5). Внешний интерфейс такой системы строится на базе любой стандартной периферийной шины, в частности, на базе шины LightBus фирмы Beckhoff. Эта шина представляет собой кольцевой канал для передачи сигналов управления автономными следящими приводами, а также и для передачи сигналов электроавтоматики. Доступ к объектам осуществляется с помощью периферийных "терминалов" ввода-вывода.

Операционная среда представляет собой комбинацию Windows NT для поддержания процессов машинного времени и системы TwinCat (Total Windows Control and Automation Technology). Операционная система Twin-Cat фирмы Beckhoff интегрированная в Windows NT, добавляет ей функции реального времени, не изменяя самой Windows NT. Обмен данными и доступ к прикладным функциям API программных модулей осуществляется через программную шину ADS (Automation Device Specification). Система TwinCat служит центром системной конфигурации, поддерживающим синхронное или асинхронное взаимодействие всех процессов, а также и ввод-вывод сигналов управления. На прикладном уровне в потоках управления работают программные модули ЧПУ и программируемые контроллеры, имеющие клиентскую часть (для подготовки данных) и серверную часть (для работы в реальном времени). ЧПУ-клиент интерпретирует кадры управляющей программы в стандарте DIN 66025, а ЧПУ-сервер выполняет интерполяцию в "группах приводов" (по три координаты в группе). Группы в свою очередь формируются с помощью системы TwinCat. Одновременно работают до четырех контроллеров (являющихся виртуальными процессорами, работающими в стандарте IEC 1131-3), каждый из которых решает четыре задачи, имеющие свой приоритет и время цикла.

Рассмотрим еще один пример построения системы ЧПУ типа PCNC-4. Система Power Automation (Германия) построена на основе промышленного персонального компьютера с PCI-шиной (рис. 2.6), с операционной системой Windows NT и ядром реального времени. Операционная система Windows NT обеспечивает работу интерфейса оператора, системы программирования ЧПУ и контроллера электроавтоматики, встроенную САМ-систему, приложения пользователя. Ядро реального времени синхронизирует работу задач ЧПУ и электроавтоматики, выполняет диспетчерские функции в отношении интерпретатора, интерполятора и модуля управления следящими приводами. Одновременно могут работать до восьми каналов ЧПУ и два программно-реализованных контроллера электроавтоматики с разными приоритетами.

Система Power Automation имеет открытую архитектуру, которая допускает расширение функций ядра ЧПУ. Система имеет мощное сетевое окружение как внешнее (Ethernet-TCP/IP, Novell), так и периферийное (восемь оптоволоконных SERCOS-колец для 64 следящих приводов, InterBus-S, Profibus DP, CAN-Bus, ASI-Bus).

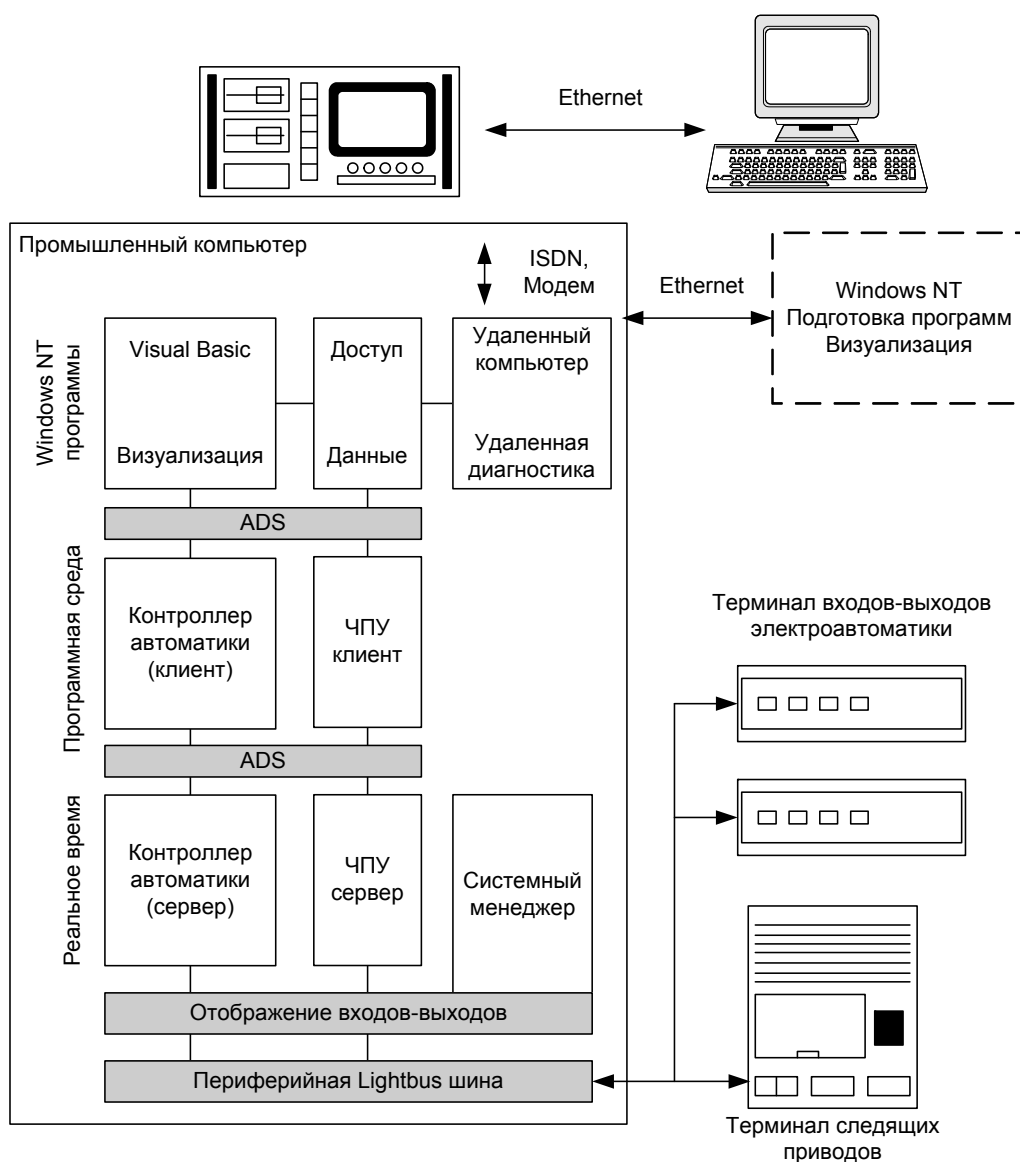


Рис. 2.5. Архитектура системы ЧПУ класса PCNC-4
фирмы Beckhoff

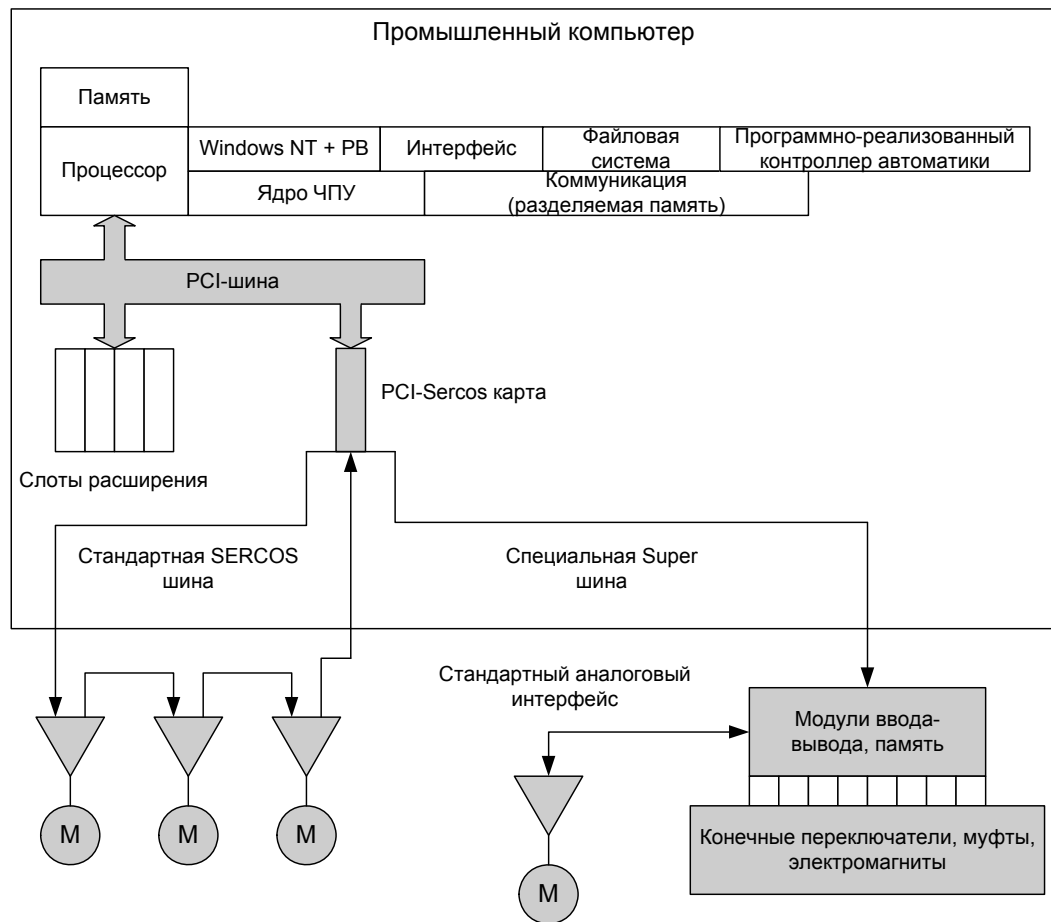


Рис. 2.6. Архитектура системы ЧПУ класса PCNC-4 фирмы Power Automation

2.1.5. Тенденции в развитии современных персональных систем с ЧПУ

Из рассмотренного выше обзора современных концепций можно сделать вывод, что очередная смена поколений радикально меняет потребительские свойства, структуру, архитектуру и программное обеспечение систем ЧПУ. Опыт, накопленный в области создания систем ЧПУ к настоящему времени, в значительной мере пересматривается под мощным давлением пользователей и станкостроителей. В борьбе за рынок производители систем ЧПУ уходят от простой эволюции традиционных решений к системам с открытой архитектурой. Причины подобной ситуации заключаются в повышении доли специального технологического оборудования, ориентированного на определенную или групповую технологию, а также в росте популярности систем ЧПУ с интерфейсом управления как у обычного персонального компьютера.

Одним из наиболее значимых признаков системы ЧПУ нового поколения является открытая архитектура, которая предполагает следующие:

- конфигурирование системы у станкостроителя и конечного пользователя;
- интеграцию программных продуктов иных производителей;
- модернизацию системы в независимости от изменений базовой платформы;
- доступ к диагностической информации аппаратуры приводов и объекта;
- доступ системы в сетевую коммуникационную среду.

Под конфигурированием системы понимается выбор пользователем собственного диалога с системой, настройку системы на любую версию управляющих программ, добавление новых алгоритмов интерполяции, включение системы в локальную сеть.

Традиционная структура персональных системы ЧПУ обусловлена такими задачами как: геометрическая, технологическая, технологическая, диспетчерская, терминальная. В общем виде структура системы ЧПУ представлена совокупностью базовых модулей (обведены сплошными линиями) и дополнительных модулей (обведены пунктирными линиями) приведена на рис. 2.7. К дополнительным модулям отнесены покупные программные средства. Каждый из модулей системы закреплен за определенной задачей управления и является вложенным объектом, то есть обладает алгоритмической структурой и структурой данных, а также интерфейсной оболочкой.

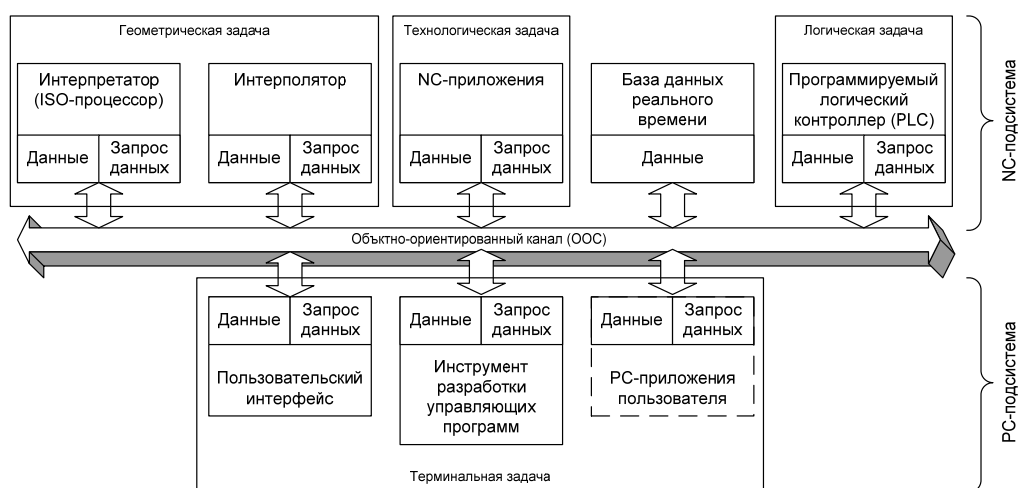


Рис. 2.7. Модульная архитектура системы ЧПУ типа PCNC

Приведенная структура разделяется на две подсистемы – NC-подсистему и PC-подсистему. NC-подсистема, являясь ведущей, формирует среду функционирования в реальном времени ЧПУ-ориентированных модулей: интерпретатора (ISO-процессора), интерпо-

лятора, встроенного программируемого контроллера, базы данных реального времени. PC-подсистема образует среду Windows-подобного интерфейса пользователя, включая инструментальную систему подготовки и тестирования управляющих программ, а также всевозможные пользовательские приложения.

Взаимодействие модулей осуществляется посредством объектно-ориентированной магистрали (ООС – Object Oriented Channel), которая не только поддерживает программно-аппаратные коммуникационные протоколы, но и выполняет прикладные серверные функции благодаря специальной объектной оболочке. Это значит, что объектно-ориентированная магистраль служит единым механизмом предоставления модулям информационных услуг. Такая возможность отражена и в самих интерфейсах модулей: они могут предоставлять данные либо запрашивать их.

В отличие от приведенной структуры на рис. 2.7 открытая архитектура позволяет строить более гибкие и сложные системы ЧПУ типа PCNC. Такие системы ориентируют на многокоординатную, многостаночную, высокоскоростную и высокоточную обработку. Современные системы с открытой архитектурой выполняются согласно двухкомпьютерной архитектуре приведенной на рис. 2.8.

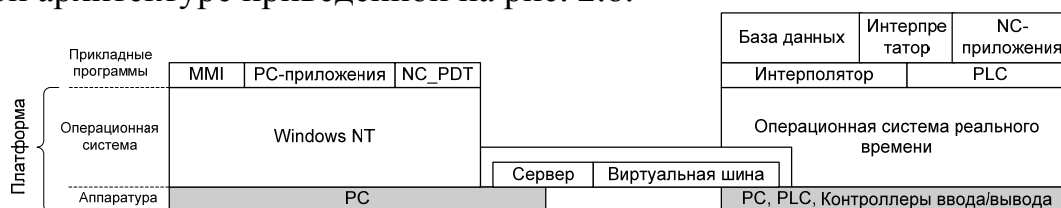


Рис. 2.8. Двухкомпьютерная модель системы PCNC

Из приведенной структуры видно, что PC-подсистема располагается на обычном персональном компьютере, а NC-подсистема на другом NC-компьютере. В роли NC-компьютера может выступать традиционный компьютер, оснащенный дополнительными специальными устройствами, или компьютер на базе RISC-процессора.

Базовой операционной системой на первом компьютере выступает операционная система, построенная на основе Windows NT. Характерной особенностью данной архитектуры является наличие человеко-машинного интерфейса (Man Machine Interface) и инструмента разработки и верификации управляющих программ (NC_PDT – NC Program Data Tool), расположенных в PC-подсистеме. Инструментальная среда NC_PDT обеспечивает создание и редактирование файлов управляющих программ, осуществляет полный синтаксический контроль кадров управляющей программы, эмулирует отработку управляющей программы.

На втором компьютере располагается UNIX-подобная операционная система. Она может обеспечить требуемое гарантированное минимальное время отклика. Обмен между двумя операционными системами поддерживается посредством коммуникационного протокола TCP/IP. Включение в эту среду прикладного уровня с функциями доступа к интерфейсам модулей создает виртуальную шину, оказывающую низкоуровневые услуги доступа. Объектная надстройка над этой шиной формирует сервер, представляющий единую для обеих подсистем объектно-ориентированную магистраль.

Дальнейшее развитие этой архитектуры представляется в виде однокомпьютерной модели предполагающей наличие только одного PC-компьютера, оснащенного специальными устройствами в виде плат-контроллеров (рис. 2.9). В качестве этих плат могут быть использованы контроллер приводов подачи, программируемый контроллер PCL (Programmable Logic Controller), различные устройства управления технологическим процессом.

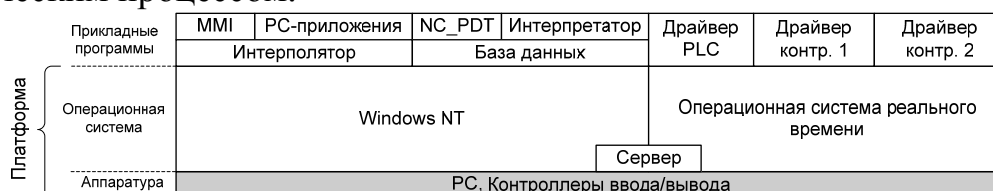


Рис. 2.9. Однокомпьютерная модель системы PCNC

Переход от двухкомпьютерной модели к однокомпьютерной осуществляется формальным переносом программного обеспечения PC-подсистемы в NC-подсистему на уровне задач. Приведенные архитектурные варианты, дают возможность четкого разграничения между системными, прикладными и коммуникационными компонентами, возможность независимого развития любого из этих компонент, как на основе оригинальных разработок, так и путем встраивания программных продуктов иных производителей.

В заключении следует отметить, что наибольшее распространение получают системы ЧПУ, построенные на основе концепции PCNC, нежели чем системы, построенные по концепции CNC. Это, прежде всего, обусловлено возросшим спросом на системы с PCNC и гибкостью адаптации оборудования к конкретным задачам. С ростом производительности современных микропроцессоров разработчики все большее предпочтение отдают однокомпьютерному варианту построения системы с открытой архитектурой. Это дает возможность пользователю программно реализовывать необходимые ему геометрические, логические и терминальные задачи, что в итоге позволяет разработать необходимую систему без значительных капиталовложений. В качестве операционной системы в настоящее время наиболее часто применяют операционные системы,

построенные на базе Windows NT и UNIX. Однако Windows NT в связи с большей распространенностью находит большее применение.

2.2 Описание лабораторной установки

2.2.1. Функциональная схема лабораторной установки

Система ЧПУ двухкоординатным столом построена по архитектуре PCNC-4 (PCNC – Personal Computer Numerical Control), где все вычислительные функции, включая интерфейс оператора и ядро ЧПУ реализованы программно на базе одной ЭВМ.

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рис. 2.10 и состоит из следующих элементов:

- персональный компьютер (ПК), управляющий системой;
- комплектные регулируемые электроприводы (РЭП) «Кемек»;
- высокомоментные электродвигатели постоянного тока М со встроенными тахогенераторами ВР и импульсными преобразователями перемещения ВQ;
- группа конечных $X_{\text{мин}}$, $X_{\text{макс}}$, $Y_{\text{мин}}$, $Y_{\text{макс}}$ и нулевых X_0 , Y_0 выключателей;
- схема электроавтоматики;
- механизм подачи двухкоординатного стола металлообрабатывающего станка.

Функции цифрового управления системой, включая управление контурами положения следящих электроприводов, осуществляет ПК. Управление периферийными устройствами системы и сбор данных с датчиков реализуется с помощью установленных в системный блок ПК модулей аналогового и цифрового ввода-вывода.

Модуль дискретного ввода-вывода типа UNIO96-5 принимает и предварительно обрабатывает информацию с импульсных преобразователей перемещения, а также с нулевых и конечных выключателей.

Модуль аналогового ввода-вывода типа AI16-5A-1 используется в качестве ЦАП, формируя аналоговое напряжение задания для РЭП «Кемек».

Комплектный РЭП «Кемек» предназначен для реверсивных быстродействующих широкорегулируемых приводов с однозонным регулированием скорости механизмов подач станков, промышленных роботов и других механизмов. РЭП выполнен по двухконтурной структуре подчиненного регулирования с контурами тока и скорости [5]. Диапазон регулирования скорости электропривода составляет не менее 2000.

В комплект РЭП входят шестипульсный реверсивный тиристорный преобразователь с отдельным управлением группами клапанов типа

2РЕВ16, высокомоментные двигатели серии 1ПИ с встроенными тахогенераторами, силовой трансформатор типа Т1ЕВ. Тиристорные преобразователи и силовые трансформаторы двух РЭП размещены в шкафу, а двигатели смонтированы на механической установке. Максимальному заданию на скорость 10 В соответствует скорость 2000 об/мин. Полоса пропускания РЭП не менее 20 Гц.

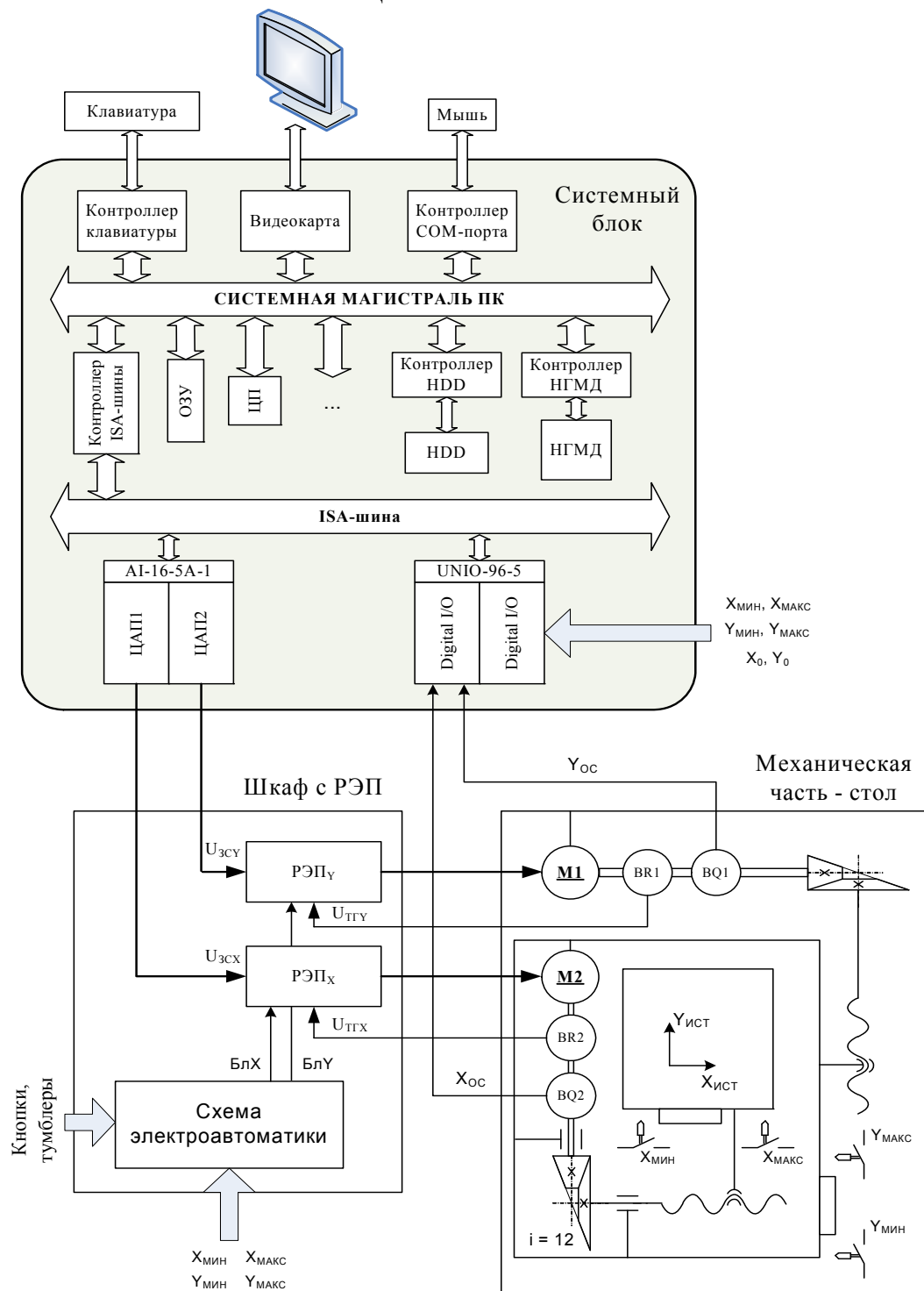


Рис. 2.10. Функциональная схема лабораторной установки

Концевые выключатели предназначены для предупреждения выезда подвижной части стола за пределы рабочей зоны и повреждения тем самым механических элементов системы. Нулевые выключатели дают системе управления привязку к реальному положению подвижной части стола.

Схема электроавтоматики обеспечивает ручное управление РЭП и выполняет защитные функции.

Как указано выше, следящая часть электроприводов управляется устройством ЧПУ и включает в себя как аппаратные, так и программные элементы. К аппаратным элементам относятся устройства питания, цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и аппаратная часть ПК. Программно в лабораторной установке реализуется регулятор положения (РП) пропорционального типа, а также другие процедуры математической обработки сигнала.

Внешний вид элементов лабораторного стенда показан на рис. 2.11–2.13.

Упрощенная структурная схема следящего ЭП одной координаты показана на рис. 2.14. Приведенный на схеме интерполятор к элементам следящего электропривода не относится. Интерполятор формирует траекторию задания на положение для каждого момента времени из заранее заданного массива конечных точек отрезков и дуг (линейная и круговая интерполяции) и реализуется программным способом.



Рис. 2.11. Вид ПК с установленными платами ввода/вывода



Рис. 2.12. Вид шкафа с электроприводами с открытой дверцей

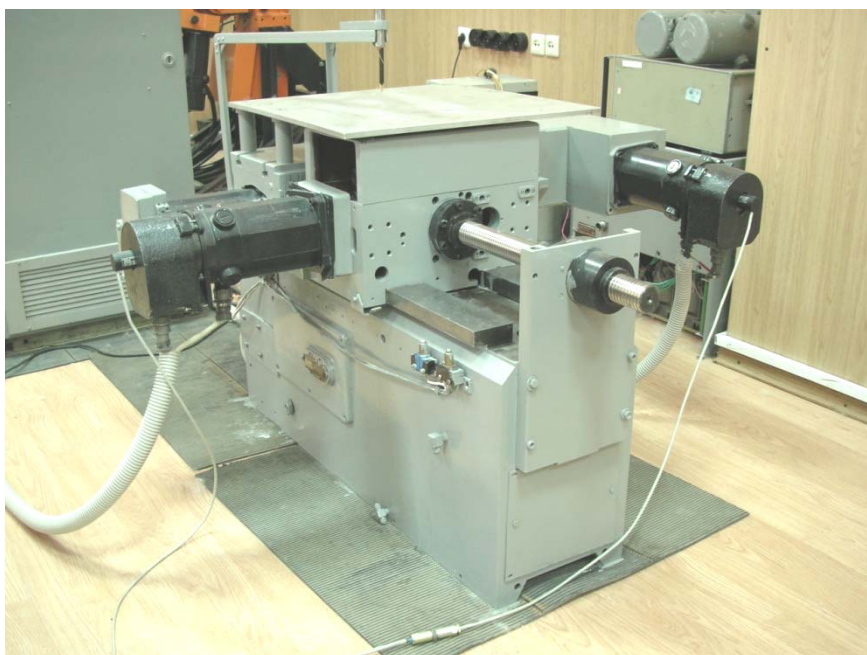


Рис. 2.13. Внешний вид стола

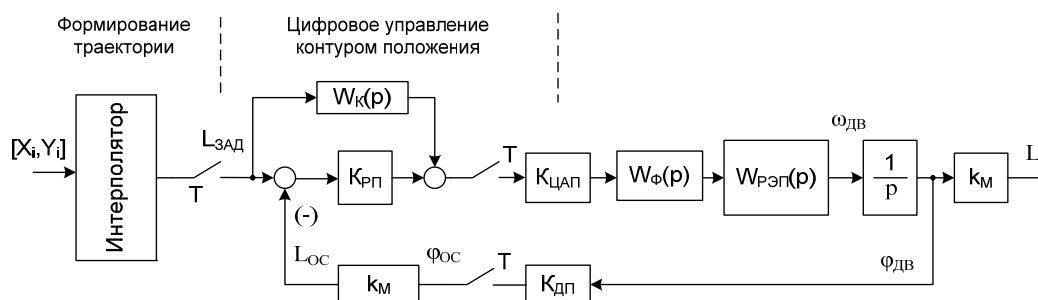


Рис. 2.14. Упрощенная структурная схема следящего ЭП

В табл. 2.2 приведены основные параметры лабораторной установки.

Табл. 2.2.

Основные параметры лабораторной установки

Параметр	Значение
Разрядность ЦАП	N= 12
Коэффициент передачи ЦАП	$K_{\text{ЦАП}} = 0,00244$ В/диск
Коэффициент передачи датчика перемещения	$K_{\text{ДС}} = 2500$ имп/об
Передаточное число редуктора	$i = 12$
Шаг винта	$t_B = 6$ мм/об
Длина ходового винта	$l_B = 0,8$ м
Средний диаметр резьбы	$d_B = 34$ мм
Коэффициент передачи механизма	$k_M = 500$ мкм/об или $79,58$ мкм/рад
Базовый коэффициент усиления регулятора положения с учетом коэффициента ЦАП	$K_{\text{РП}} = 0,0209$ В/мкм

2.2.2. Описание элементов следящего электропривода

2.2.2.1 Преобразователь ЛИР-128А

Предназначен для преобразования углового перемещения в последовательность электрических сигналов, содержащих информацию о величине и направлении этих перемещений и пригодных для последующей обработки в устройствах числового программного управления или устройствах цифровой индикации. Для данного устройства применяют также термины: энкодер, инкрементный шифратор приращений.

Преобразователи могут применяться в измерительных системах и системах программного управления станков и механизмов при опреде-

лении угловых размеров, перемещений на поворотных рабочих столах, делительных устройствах, антеннах и прочем оборудовании. Внешний вид преобразователя и его габаритные размеры приведены на рис. 2.15.

Основные технические характеристики преобразователя приведены в табл. 2.3.

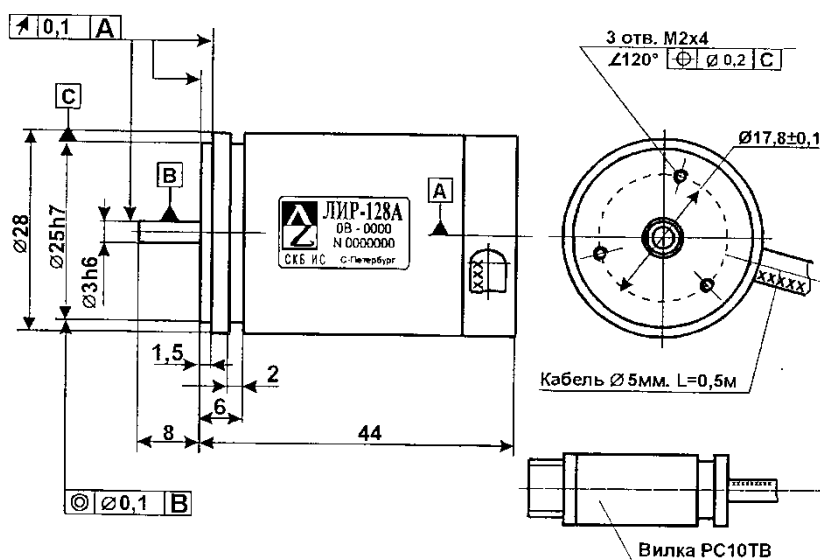


Рис. 2.15. Внешний вид преобразователя ЛИП-128А

Таблица 2.2

Технические характеристики преобразователя угловых перемещений ЛИП-128А

Число штрихов измерительного лимба	2500
Точность	300"
Максимальная скорость вращения вала	10000 об/мин
Момент трогания ротора	Не более 0,001 Нм
Момент инерции ротора	$6,8 \cdot 10^{-8}$ кг·м ²
Допустимая нагрузка на вал	Не более 5 Н
Масса	Не более 0,06 кг
Степень защиты	IP64
Интервал рабочих температур	0...70 °С
Ударные ускорения	≤ 300 м/сек ²
Напряжение питания	5 В $\pm 5\%$
Ток потребления	Не более 90 мА
Число импульсов	2500
Дискретность отсчета	3240"
Максимальная частота выходного сигнала	160 кГц
Скорость вращения вала, соответствующее максимальной выходной частоте	3800 Об/мин
Форма импульсов	Прямоугольная

В основе работы преобразователя лежит принцип фотоэлектронного сканирования штриховых растров. В качестве осветителей используются инфракрасные светодиоды, а приемниками излучения служат кремниевые фотодиоды. Входное напряжение, подаваемое на датчик (напряжение питания) – постоянное, а выходное зависит от изменения положения, в том числе от направления вращения. Диаграммы, поясняющие работу, приведены на рис. 2.16.

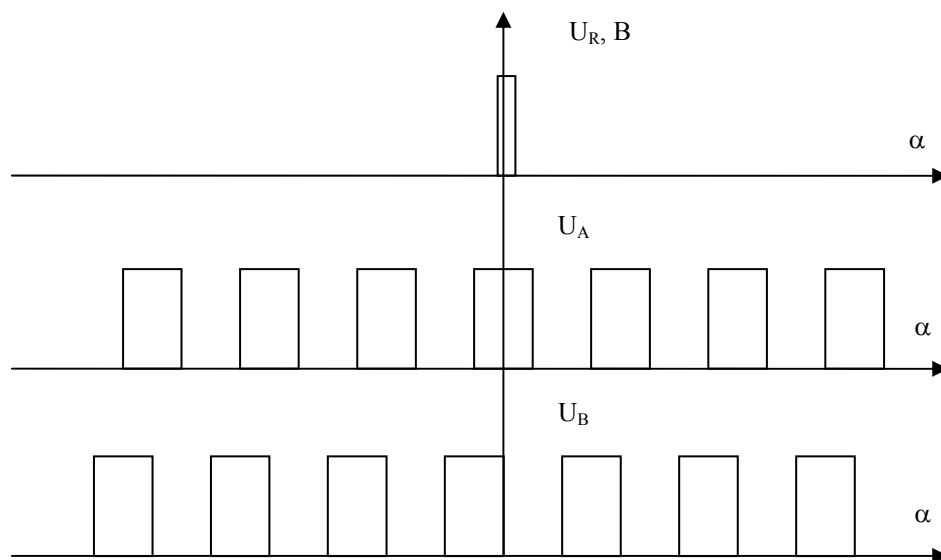


Рис. 2.16. Диаграмма работы преобразователя ЛИР-128А

Во время вращения датчика происходит чередование импульсов, и в зависимости от того, какая последовательность опережает, определяется направление вращения. Если считать импульсы, то при известном количестве импульсов на один оборот датчика (его разрешающей способности), можно определить угол поворота. У датчика ЛИР-128А возможно использование до пяти последовательностей: $U_A, U_B, \overline{U_A}, \overline{U_B}, U_R$. Инверсные последовательности $\overline{U_A}, \overline{U_B}$ такие же, как и U_A, U_B , но смещены на половину периода и могут использоваться для контроля. Последовательность U_R позволяет производить только счёт оборотов (один импульс на оборот). В лабораторной установке используются две последовательности U_A и U_B .

2.2.2.2 Программируемый модуль ввода/вывода UNIOxx-5

Модуль UNIOxx-5 представляет собой программируемый модуль дискретного ввода/вывода. Модуль предназначен для приема, выдачи и обработки 96/48 логических сигналов TTL или CMOS-уровней (5 В) или

расширения системных ресурсов. Модуль выполнен в формате MicroPC и устанавливается в слот шины ISA ПК или контроллера.

В модулях UNIOxx-5 установлены 4 или 2 перепрограммируемые логические матрицы FPGA, каждая из которых обслуживает 24 канала ввода-вывода. Наличие матриц FPGA обеспечивает возможность не только ввода/вывода логических сигналов, но и их предварительную логическую обработку, что делает модуль универсальным и обеспечивает возможность его широкого применения. Логическая схема обработки сигналов может быть быстро (в течение 10...60 с) перезагружена в микросхему FPGA, размещенную на плате, без выключения питания (благодаря технологии внутрисистемного программирования ISP – In System Programmable).

Матрицы типа FPGA не имеют встроенной энергонезависимой памяти, поэтому схема сохраняется в электрически перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве (EEPROM), которое расположено на модуле. Загрузка схем в матрицу FPGA производится из памяти EEPROM при включении питания и при аппаратном сбросе.

Микросхемы FPGA обладают повышенной нагрузочной способностью, что позволяет подключать к UNIO96-5 светодиодные индикаторы и любые оптомодули Grayhill, Opto-22.

Основные области применения модуля, для которых его разработчиком предоставлены схемы загрузки:

- управление оптомодулями Grayhill, Opto-22;
- прием и выдача дискретных сигналов;
- измерение частоты (длительности), фаз сигналов;
- счетно-таймерные операции;
- выдача частотных и ШИМ-сигналов;
- формирование временных диаграмм без использования ресурсов системы;
- преобразование кодов;
- ускорение логических или арифметических операций.

Возможно формирование прерываний по событиям (переключение $1 \rightarrow 0$; $0 \rightarrow 1$; $1 \rightarrow 0+0 \rightarrow 1$) от 96/48 входов с программируемым временем антидребезга.

Разработчик модуля (фирма Fastwel) обеспечивает программную и схемотехническую поддержку пользователей модулей UNIOxx-5, в том числе модификацию имеющихся вариантов схем и разработку новых.

Основные технические характеристики модуля:

- напряжение питания $+5 \text{ В} \pm 5 \%$;
- ток потребления¹ UNIO96-5 не более 340 мА;
- ток потребления¹ UNIO48-5 не более 180 мА;

- рабочий температурный диапазон -40...+85 °С;
 - температура хранения -50...+95 °С;
 - влажность 95 % при температуре +25 °С;
 - входные уровни каналов – CMOS, TTL;
 - выходные уровни каналов – CMOS (при $I_{\text{вых}} = 8 \text{ mA}$);
 - макс. выходной ток канала (для опто-модулей) 30 мА.
- Примечания: ¹ = без учета токов каналов.



Рис. 2.17. Внешний вид модуля дискретного ввода-вывода UNIO96-5

Задачу обработки информации поступающей от датчиков перемещения выполняет **стандартная прошивка «X32»** представляющая собой два 32-разрядных счетчика импульсов энкодера (инкрементного шифратора перемещения).

Функциональная схема прошивки «X32» (рис. 2.18) состоит из следующих функциональных блоков:

- интерфейс шины ISA (CB);
- выходной регистр (RG);
- 32-разрядные счетчики импульсов (СТ0, СТ1);
- схемы формирования прерываний при переполнении счетчиков СТ0, СТ1;
- входной буфер (BUF).

Управление и конфигурация осуществляется с помощью соответствующих контрольных регистров доступных по чтению и записи. Режим записи необходим для обнуления содержания 32-разрядных счетчиков импульсов.

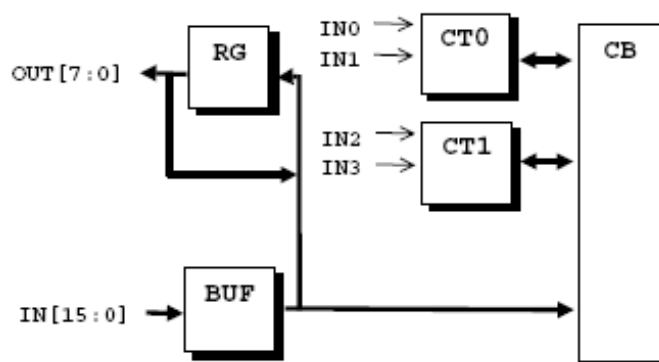


Рис. 2.18. Блок-схема прошивки X32

2.2.2.3 Модуль аналогового ввода-вывода с гальванической развязкой AI16-5A-1

Модуль аналогового ввода-вывода AI16-5A-1 (рис. 2.19) выполнен в конструктивном стандарте MicroPC и предназначен для преобразования 16-ти аналоговых сигналов напряжения или 8-ми сигналов тока в 14-ти разрядный цифровой код, а также для 12-ти разрядного цифро-аналогового преобразования 2-х сигналов.

Все входы-выходы платы гальванически изолированы от системы (групповая изоляция), а аналоговые входы имеют защиту от перенапряжения.

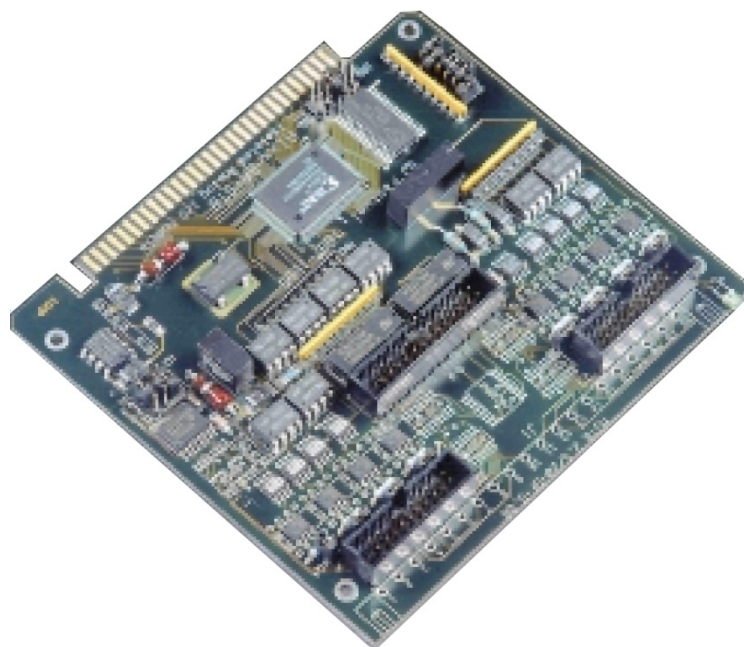


Рис. 2.19. Внешний вид платы аналогового ввода-вывода

Блок-схема модуля приведена на рис. 2.20 и включает в себя следующие функциональные блоки:

- Controller ISA – контролер шины ISA (*Industry-Standard Architecture*);

- MS – мультиплексор входных сигналов (*Multiplexer Switch*);
- PGA – программируемый усилитель (*Programmable-Gain Amplifier*);
- RAM 16x2 – ОЗУ коэффициентов усиления для всех входов (*Random-Access Memory*);
- AVG/FIFO – блок усреднения (*Average*) и FIFO выборок (*First In First Out*);
- ADC – аналого-цифровой преобразователь (*Analog-to-Digital Converter*);
- DAC0, DAC1 – цифро-аналоговые преобразователи (*Digital-to-Analog Converter*);
- Opt – блоки оптической развязки (*Optic*);
- TMR – таймер (*timer*);
- TS – источник тестовых сигналов (*Test Signal*);
- Digital Out – порт цифровых выходов.

Технические характеристики аналоговых входов модуля AI16-5A-1:

- 16 однопроводных или 8 дифференциальных входов (программируемый тип подключения входов);
- 14-разрядный АЦП (AD7894-10);
- программируемый коэффициент усиления по любому входу (хранится в регистре): 1, 2, 4, 8;
- диапазоны входных напряжений/токов (с учетом усиления):
 - ± 10 В; ± 5 В; $\pm 2,5$ В; $\pm 1,25$ В;
 - ± 80 мА; ± 40 мА; ± 20 мА; ± 10 мА;
- защита от перенапряжения: -35/+50В;

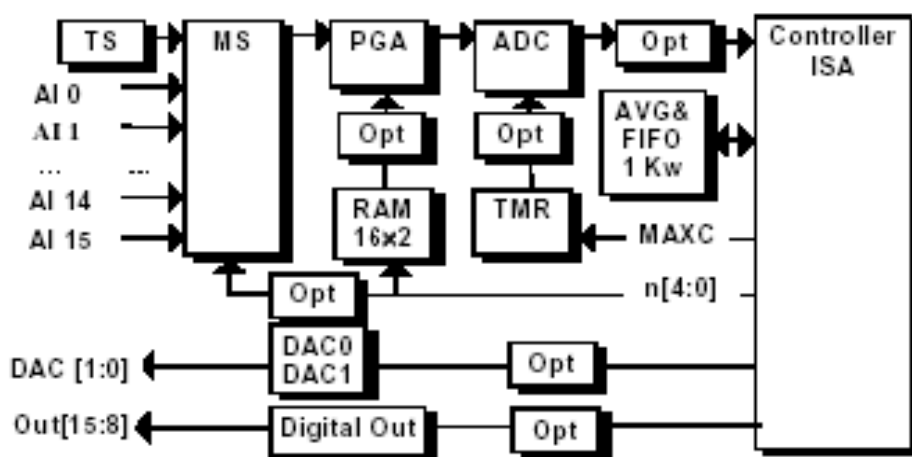


Рис. 2.20. Блок-схема модуля AI16-5A

- пропускная способность (по DMA или при работе с FIFO): 100000 выборок в секунду;
- входное сопротивление: >10 МОм (напряжение); 125 Ом (ток);

- аппаратное усреднение 2, 4, 8, 16 выборок;
- случайная погрешность измерения без усреднения: ± 2 МЗР;
- случайная погрешность измерения с усреднением: $\pm 0,5$ МЗР;
- FIFO (CY7C429): 1 Кслов (программируемая верхняя граница);
- автосканирование входов;
- точность измерения составляет ± 2 МЗР; при использовании аппаратного усреднения точность измерения до $\pm 0,5$ МЗР.

Технические характеристики аналоговых выходов модуля AI16-5A-1:

- 2 однопроводных выхода (AD7249 + AD6941), 12-разрядная точность;
- диапазон (устанавливается переключками): 0...5 В; ± 5 В; 0...10 В; 0...20 мА; 4...20 мА;
- максимальное время нарастания/убывания выходного сигнала в пределах полной шкалы не превышает 10 мкс.

Технические характеристики дополнительных элементов:

- таймер: 16-бит (1 μ s или 10 μ s);
- цифровые выходы: 8 (время установки 1.6 μ s);
- разделяемые линии прерываний (5) и каналы DMA (2);
- напряжение изоляции: 1000 В (все входы-выходы от системы).

Напряжение питания модуля: +5 В ± 5 %. Потребляемый ток не более 350 мА.

Диапазон рабочих температур: -40...+85 °С. Относительная влажность модуля: 5...95 % при температуре +25 °С.

Режимы работы модуля:

- запуск АЦП: программный; аппаратный (от таймера);
- считывание из АЦП:
 - по опросу (по событиям: ADC ready – готовность АЦП; FIFO/SRAM full – заполнение очереди FIFO или памяти);
 - по прерыванию (по событиям: ADC ready, FIFO/SRAM full);
 - по каналу DMA (по событию: ADC ready);
- запуск ЦАП: программный.

В системе управления следящими электроприводами данный модуль используется для аналогового управления двумя РЭП «Кемек» посредством встроенных ЦАП. Используемый диапазон напряжений ± 5 В. Коэффициент передачи ЦАП для выбранного диапазона напряжений приведен в табл. 2.2.

Программно работа с ЦАП осуществляется с помощью регистров управления, выделенных в адресном пространстве шины ISA, которые жестко установлены относительно базового адреса модуля. 12-ти разряд-

ному коду соответствует диапазон заданий на ЦАП от 0 до 4096. Тогда значению $N=0$ соответствует величина выходного напряжения -5 В. Значению $N=4096$ соответствует величина выходного напряжения $+5$ В.

2.3. Теоретические основы формирования задания с помощью линейной интерполяции

В системах с числовым программным управлением задание по соответствующим координатам формируется в соответствии с заданной траекторией движения посредством интерполятора. В данном случае мы рассматриваем линейную интерполяцию.

Движение с постоянной контурной скоростью

Формулы, описывающие расчет задания при движении с постоянной контурной скоростью $V_c = 0$ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} dV_x &= V_2 \cdot \Delta T \cdot (X_1 - X_2) / L; \\ dV_y &= V_2 \cdot \Delta T \cdot (Y_1 - Y_2) / L; \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} TaskX_i &= TaskX_{i-1} + dV_x; \\ TaskY_i &= TaskY_{i-1} + dV_y, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где $i=1...k$ – текущий такт расчета задания;

$k = (X_2 - X_1) / dV_x = (Y_2 - Y_1) / dV_y$ – число тактов расчета задания;

dV_x, dV_y – приращение пути на каждом такте по координатам X, Y с учетом того, что контурное ускорение равно 0;

ΔT – период квантования по времени;

X_1, X_2, Y_1, Y_2 – координаты начальной и конечной точки заданного отрезка;

L – длина отрезка или, иначе говоря, контурный путь, пройденный от начальной точки до конечной точки;

$TaskX_i, TaskY_i$ – задание на РЭП по координатам X и Y на i -м такте интерполяции.

Разгон с постоянным контурным ускорением

Выражения, описывающие движение с разгоном от заданной скорости V_1 до V_2 при постоянном контурном ускорении $a_c \neq 0$ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} V_{Ci} &= V_{Ci-1} + a_c \cdot \Delta T \cdot (V_2 - V_1); \\ TaskX_i &= TaskX_{i-1} + V_{Ci} \cdot \Delta T \cdot (X_1 - X_2) / L; \\ TaskY_i &= TaskY_{i-1} + V_{Ci} \cdot \Delta T \cdot (Y_1 - Y_2) / L, \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

где $i=1...k$ – текущий такт расчета задания;

$k = (V_2 - V_1) / (a_c \cdot \Delta T)$ – число тактов расчета задания;

V_{Ci} – контурная скорость на i -м такте интерполяции;

a_c – контурное ускорение, задается по абсолютной величине;

V_1, V_2 – контурная скорость в начале и конце заданного отрезка.

Особенностью использования выражений (2.3) является тот факт, что при разгоне с заданным ускорением РЭП может выйти на заданный уровень скорости раньше, чем исполнительный механизм выйдет на заданную точку в конце отрезка. Поэтому помимо участка разгона на заданном отрезке может появиться участок движения с постоянной контурной скоростью, движение по которому описывается выражениями (2.1), (2.2).

Торможение с постоянным контурным ускорением

Аналогично, как и при разгоне, в случае торможения может быть участок движения с постоянной контурной скоростью. Длина этого участка определяется разностью между длиной заданного отрезка и длиной участка торможения.

Выражения, описывающие движение с торможением от заданной скорости V_1 до V_2 при постоянном контурном ускорении $a_c \neq 0$ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} V_{Ci} &= V_{Ci-1} + a_c \cdot \Delta T \cdot (V_2 - V_1) \cdot \text{sign}(V_2 - V_1); \\ TaskX_i &= TaskX_{i-1} + V_{Ci} \cdot \Delta T \cdot (X_1 - X_2) / L; \\ TaskY_i &= TaskY_{i-1} + V_{Ci} \cdot \Delta T \cdot (Y_1 - Y_2) / L. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

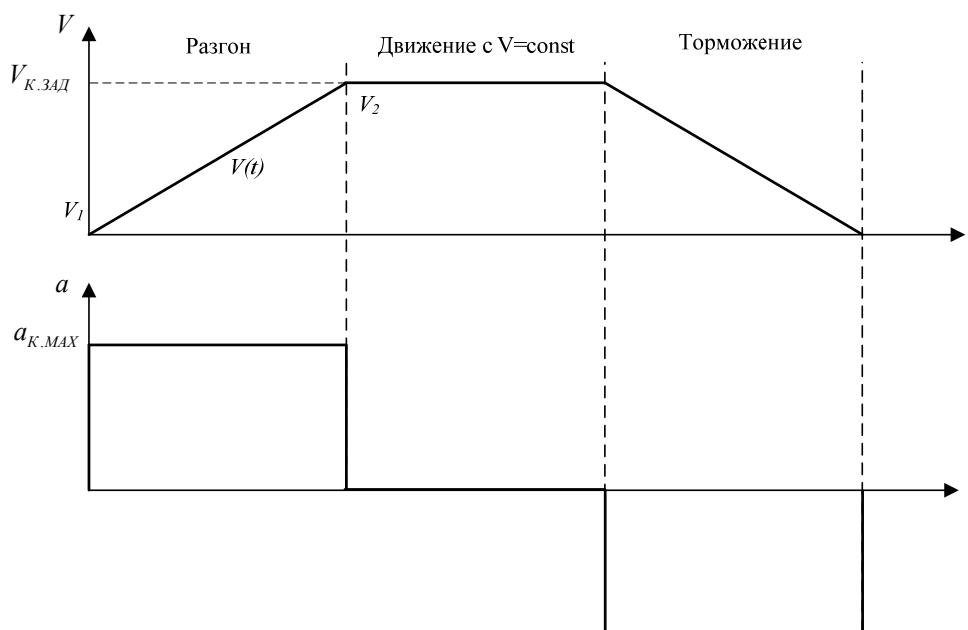


Рис. 2.22. Изменение контурной скорости и ускорения при разгоне, движении с постоянной скоростью и торможении

Функция $\text{sign}(V_2 - V_1)$ учитывает факт торможения. Т. е. на каждом такте V_{ci} уменьшается.

Геометрически участки разгона, движения с постоянной контурной скоростью и торможения представлены на рис. 2.22.

2.4. Ошибки следящего электропривода станка с ЧПУ

2.4.1. Требования к точности работы следящих ЭП

Точность и шероховатость обработанных деталей являются основными показателями качества их обработки [2]. Точность определяется соответствием размеров, формы и взаимного расположения поверхностей заданным значениям. Шероховатость поверхности определяется разностью максимальной и минимальной высотами кривой сечения обработанной поверхности.

На точность обработки детали влияют следующие основные составляющие суммарной статической ошибки:

1. Ошибка датчика положения и измерительной схемы, которая определяется дискретностью датчика положения, т. е. его разрешающей способностью и наличием помех в канале измерения положения.
2. Ошибка от дрейфа нуля усилительного канала, которая обусловлена наличием температурной нестабильности аналоговых элементов регулируемого привода, а также наличием нестабильностей в канале ЦАП.
3. Ошибка кинематической схемы, которая определяется точностью изготовления ее элементов, наличием зазоров в кинематической цепи механизма и упругой деформацией элементов и их соединений при передаче вращающих моментов и движущих сил.
4. Моментная ошибка.
5. Скоростная ошибка.

На точность обработки детали влияют также и другие факторы, например, неточность и деформация станка, деформация обрабатываемого изделия, неоднородность материала заготовки и т. п.

Отклонение профиля продольного сечения во многом зависит от равномерности движения приводов главного движения и подач в установившихся и переходных режимах, которая в основном определяется динамической жесткостью ЭП – быстродействием при отработке возмущающих воздействий.

2.4.2. Виды ошибок

Ошибки следящего ЭП оказывают существенное влияние на качество обработки и производительность станков с ЧПУ и роботов.

Различают три основных вида ошибок: скоростную, моментную и динамическую.

Скоростная ошибка определяется отставанием рабочего органа станка от заданного положения при установившемся движении с постоянной скоростью. Она определяется следующим образом:

$$\Delta_v = \frac{v}{K_v}, \quad (2.5)$$

где v – скорость перемещения привода;

K_v – добротность по скорости следящего ЭП.

Таким образом, уменьшить скоростную ошибку можно уменьшением скорости подачи либо увеличением добротности ЭП.

Моментная, или нагрузочная **ошибка** определяется перемещением привода под действием момента нагрузки при отсутствии управляющего сигнала и определяется следующим образом.

Современные РЭП обеспечивают высокую точность поддержания скорости при изменении момента нагрузки, поэтому моментная ошибка, как правило, мала.

Динамические ошибки возникают при изменении задания скорости движения или статического момента. Они добавляются к статическим скоростной и моментной ошибкам при управляющем и возмущающем воздействиях.

Динамическая ошибка при управлении (разгоне, торможении) возникает из-за инерционности привода, который не может мгновенно отработать изменение управляющего воздействия. Снижению этой ошибки служат различные законы изменения управляющего воздействия, например, изменение сигнала задания по линейному закону или по S-образной кривой, этой же задаче способствуют различные алгоритмы интерполяции.

Скоростная и моментная ошибка влияют на точность обработки, а динамические ошибки, помимо этого, вносят дополнительную шероховатость при обработке.

2.4.3. Ошибки при воспроизведении траектории движения

Как правило, при движении действительное положение исполнительного механизма отличается от заданного. Разница между заданным по каждой оси и отработанным положением называется **координатной**

ошибкой. Эта ошибка зависит от ряда факторов, в том числе от скорости движения, нагрузки и добротности ЭП. Наличие координатных ошибок приводов приводит к появлению ошибки воспроизведения траектории, однако, связь между ними не прямая.

Ошибка воспроизведения заданной траектории движения оценивается с помощью **векторной** и **контурной ошибок**. На рис. 2.23 пунктирной линией показана заданная траектория движения, сплошной линией – отработанная.

Приняв точку B (характеризующуюся вектором $\bar{\rho}_2$) за текущее положение механизма на обрабатываемой траектории движения, а точку A (характеризующуюся вектором $\bar{\rho}_1$) за заданное положение механизма в этот момент времени, то векторную ошибку можно определить по выражению

$$\bar{\delta} = \bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2. \quad (2.6)$$

Векторная ошибка на плоскости XU может быть также определена через координатные ошибки; при этом ее модуль равен

$$\delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}, \quad (2.7)$$

где $\Delta_x = X_z - X_o$, $\Delta_y = Y_z - Y_o$ – координатные ошибки по осям X и Y , определенные как разность между заданным и отработанным значением координат.

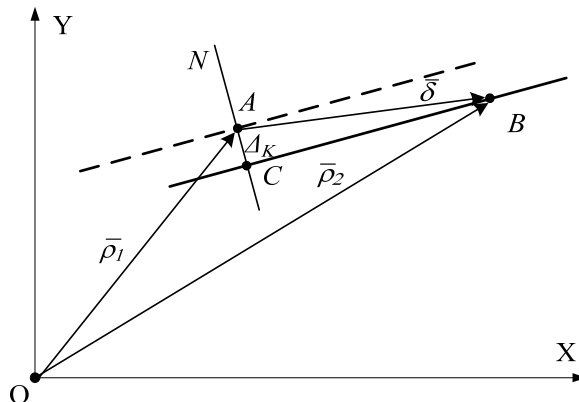


Рис. 2.23. Векторная и контурная ошибки

С практической точки зрения наибольший интерес представляет контурная ошибка – величина отклонения по нормали между заданной и отработанной траекториями движения в заданной точке. На рис. 2.23 на нормали N отрезок $AC = \Delta_k$ характеризует значение контурной ошибки в заданной точке.

Контурная ошибка аналитически может быть вычислена только при определенных входных воздействиях. Хотя прямой зависимости между координатными ошибками и контурной ошибкой нет, но чем меньше координатные ошибки, тем меньше и векторная, и контурная ошибки.

Пример расчета контурной ошибки при воспроизведении **линейной траектории** движения описан ниже. На рис. 2.24 пунктиром показана заданная прямая, сплошной линией показана отработанная. В установившемся режиме обе траектории параллельны, так как привод имеет астатизм первого порядка.

Геометрически контурная ошибка определяется выражением

$$\Delta_K = AC = AD - CD. \quad (2.8)$$

Из рассмотрения треугольников $\triangle ADE$ и $\triangle BEF$ получаем соответственно:

$$\left. \begin{aligned} AD &= \Delta_Y \times \cos \alpha; \\ CD &= \Delta_X \times \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Тогда контурная ошибка, выраженная через координатные ошибки и угол наклона траектории, определяется следующим образом:

$$\Delta_K = \Delta_Y \cdot \cos \alpha - \Delta_X \cdot \sin \alpha. \quad (2.10)$$

В режиме движения с постоянной скоростью каждый привод имеет только скоростную ошибку:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_X &= \frac{v_X}{K_{vX}} \\ \Delta_Y &= \frac{v_Y}{K_{vY}} \end{aligned} \right\}, \quad (2.11)$$

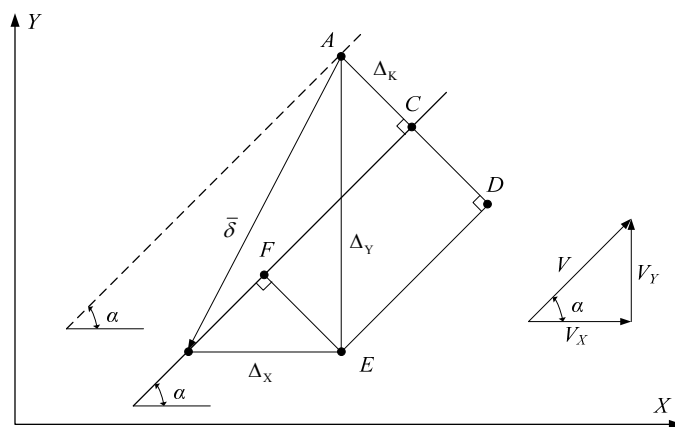


Рис. 2.24. Ошибки при воспроизведении линейной траектории

где K_{vX}, K_{vY} – добротности по скорости следящих ЭП, работающих по координатам X и Y соответственно.

С учетом выражений (2.10), (2.11) и, используя соотношение $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$, окончательно получаем

$$\Delta_K = \frac{K_{vX} - K_{vY}}{2K_{vX} \times K_{vY}} \times v \times \sin 2\alpha, \quad (2.12)$$

где v – контурная скорость отработки траектории.

Контурная ошибка может быть выражена и через координатные скорости:

$$\Delta_K = \frac{v_Y}{1 + (v_Y / v_X)^2} \frac{K_{VX} - K_{VY}}{K_{VX} \times K_{VY}}. \quad (2.13)$$

Полученные выражения показывают, что контурная ошибка при воспроизведении линейной траектории будет только при неидентичных приводах, когда добротности не равны $K_{VX} \neq K_{VY}$. Поэтому всегда следует стремиться обеспечить равенство добротностей приводов по координатам. При неравных добротностях контурная ошибка будет тем меньше, чем меньше скорость подачи, а максимальная погрешность будет при отработке углов $\alpha = 45^\circ \cdot (\pi \cdot n \pm \pi/4)$, $n=0, \dots, \infty$.

2.5. Программа управления лабораторным стендом

2.5.1. Описание программы управления

Программное обеспечение на верхнем уровне разработано в среде Delphi 7 и работает под управлением операционной среды Windows.

Программное обеспечение обладает следующими функциональными возможностями:

- создание библиотек траекторий движения электроприводов;
- сохранение и отображение результатов эксперимента – массивы заданий и отработки по положению, скоростей, координатных и векторных ошибок, сигналов цифровой коррекции;
- проведение типовых экспериментов – скачкообразное и линейной изменение управляющего воздействия;
- ручное управление – перемещение в пределах рабочей зоны с помощью кнопок ручного управления;
- отображение состояния конечных выключателей и текущей координаты;
- исследование влияния параметров цифрового контура положения (коэффициентов регуляторов положения по обеим осям, частоты квантования по времени и уровню в контуре положения, коэффициентов цифрового корректирующего устройства) на координатные и контурные ошибки системы;
- изменение адресного пространства ввода-вывода модулей AI16-5A-1 и UNIO96-5.

2.5.2. Особенности программного обеспечения стенда

Одной из важных задач программного обеспечения ЧПУ типа PCNC под управлением ОС Windows является своевременное формирование задания на РЭП.

Для обеспечения этого требования разработан алгоритм функционирования главного цикла программы (рис. 2.25). В первую очередь (блок 1), необходимо повысить приоритет запущенной программы до уровня «Real-Time». Однако нужно помнить, что установка приоритета реального времени в среде Windows не гарантирует своевременного расчета сигнала задания. Поэтому вычислительные ресурсы между процессами расчета интерполятора, значения сигнала ЦКУ и процессом расчета и выдачи уровня сигнала задания на РЭП были программно перераспределены.

Расчет интерполятора (блок 4) помещен в тело основного цикла, а результаты его расчетов помещены в поля объекта, которому предварительно (блок 2) была выделена область памяти. Работа основного цикла может быть остановлена прерываниями от таймера (блок 6) для формирования сигналов задания на РЭП, либо прерываниями, поступившими от сигналов электроавтоматики (блок 8). В задачи блока 6 входят: опрос датчиков положения, выполнение алгоритма расчета регуляторов положения и выдача сигналов на ЦАП по соответствующим координатам.

Результаты расчета интерполятора поступают в свободные ячейки памяти объекта (массивы значений интерполяционного полинома для каждого такта). Размещение результатов расчета интерполятора выполняется циклически по мере освобождения ячеек памяти. Освобождение новых ячеек памяти происходит в темпе считывания информации из ячеек алгоритмом формирования задания на РЭП по такту таймера, реализованного в процедуре обработки его сигналов (рис. 2.25, блок 6). Таким образом, алгоритм формирования сигнала задания использует уже предварительно рассчитанные интерполятором данные, что позволяет уменьшить вероятность несвоевременного расчета значений интерполятора ввиду загруженности процессора ПК. В случае заполнения всех ячеек выделенной памяти интерполятор не производит расчетов до тех пор, пока одна из ячеек не будет освобождена.

Другой особенностью программной реализации системы управления является непосредственное использование мультимедийного таймера и отказ от использования стандартного программного таймера (*Timer*) Delphi.

Тем не менее, функционирование под управлением многозадачной операционной системы не дает гарантии срабатывания программы в заданный момент времени. Поэтому систему управления, построенную по такому принципу можно условно назвать системой «мягкого реального времени», т. е. системой, иногда допускающей запаздывание реакции на какое-либо внешнее воздействие.

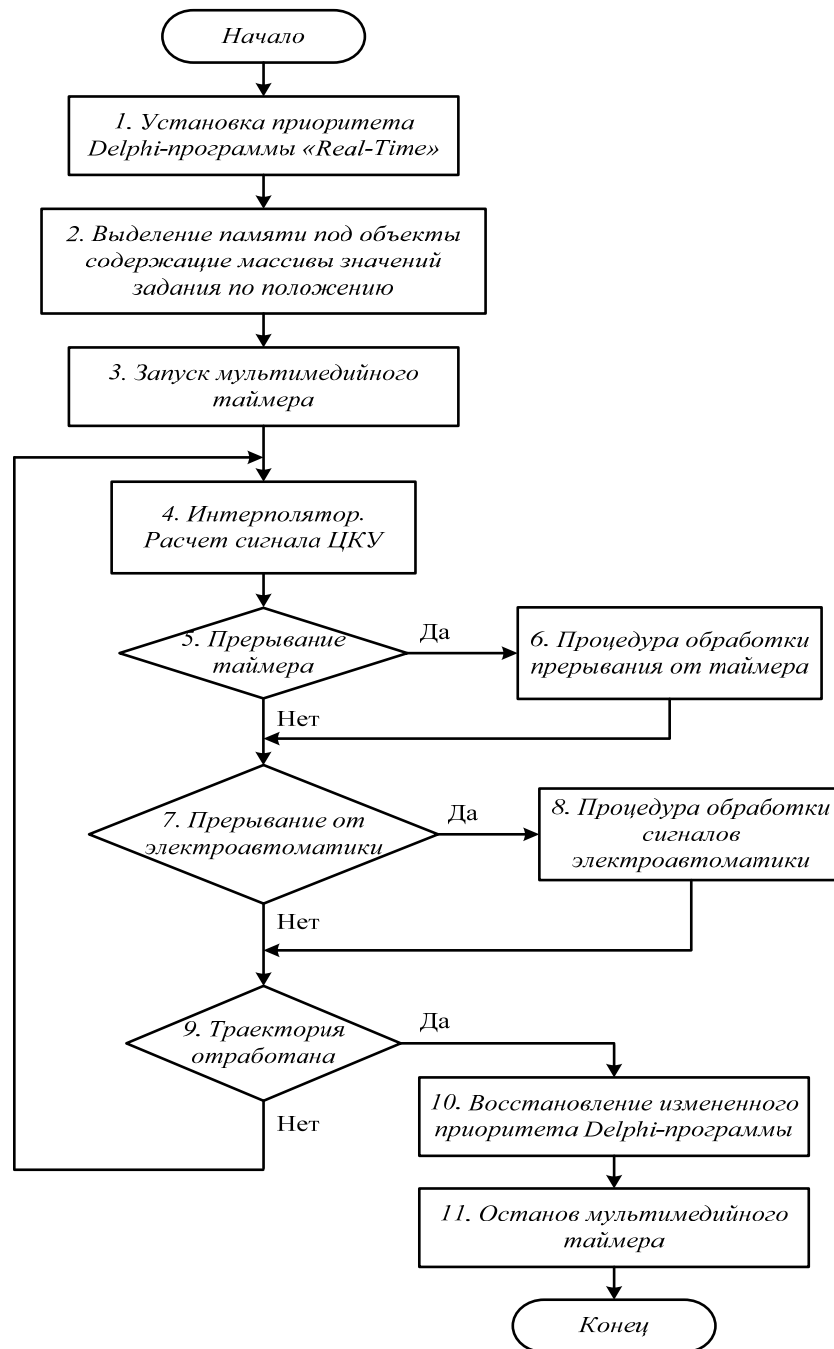


Рис. 2.25. Алгоритм функционирования главного цикла программы

В общем виде выражения, по которым производится расчет сигнала задания на РЭП для координат X, Y , имеют вид:

$$\begin{cases} X = (X_i - X_{OC}) \cdot K_{PIK} + Z_X; \\ Y = (Y_i - Y_{OC}) \cdot K_{PIY} + Z_Y, \end{cases} \quad (2.13)$$

где X, Y – величина задания на положение;

X_i, Y_i – задание по положению на i -м такте (сигнал с выхода интерполятора);

$K_{ПИХ}, K_{ПИУ}$ – коэффициенты усиления регуляторов положения для координат X и Y соответственно;

Z_X, Z_Y – суммарный сигнал цифровой коррекции (по производным входного сигнала):

$$\begin{cases} Z_X = \alpha_1^X \cdot (X_i - X_{i-1}) + \alpha_2^X \cdot (X_i - 2 \cdot X_{i-1} + X_{i-2}) + \alpha_3^X \cdot (X_i - 3 \cdot X_{i-1} + 3 \cdot X_{i-2} - X_{i-3}); \\ Z_Y = \alpha_1^Y \cdot (Y_i - Y_{i-1}) + \alpha_2^Y \cdot (Y_i - 2 \cdot Y_{i-1} + Y_{i-2}) + \alpha_3^Y \cdot (Y_i - 3 \cdot Y_{i-1} + 3 \cdot Y_{i-2} - Y_{i-3}), \end{cases} \quad (2.14)$$

где $\alpha_1^X, \alpha_2^X, \alpha_3^X$ – коэффициенты цифровой коррекции для координаты X ; $\alpha_1^Y, \alpha_2^Y, \alpha_3^Y$ – коэффициенты ЦКУ для координаты Y .

2.5.3. Интерфейс пользователя программы

Интерфейс пользователя программы показан на рис. 2.26.

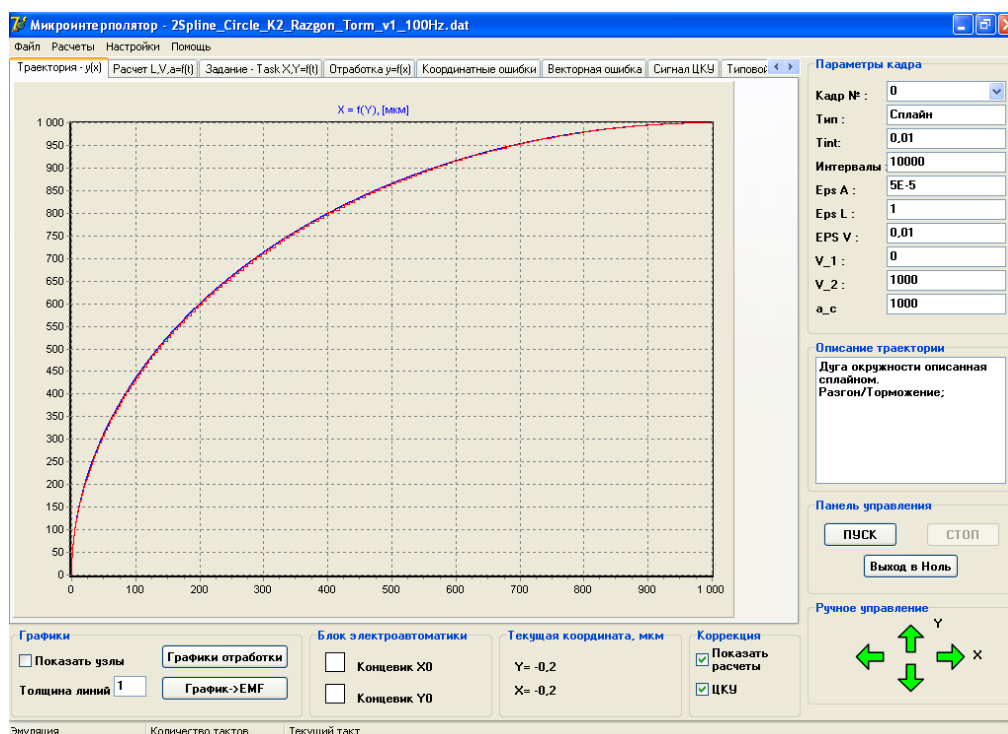


Рис. 2.26. Интерфейс пользователя

Основными элементами управления лабораторной установки является ручной пульт управления (показан стрелками), кнопки запуска и остановки обработки заданной траектории движения. Кроме этого, пользователь может конфигурировать все программно изменяемые параметры, такие, как частота квантования по времени, коэффициент регулятора положения, коэффициенты ЦКУ, адреса модулей ввода-вывода. Программное ядро интерполятора поддерживает три вида интерполяции – линейную, круговую и кубическую сплайн-интерполяцию. При загрузке заданной траектории движения визуально

отображаются основные заданные параметры – допустимая контурная скорость и ускорение, точки начала и конца участка движения. До отработки траектории программа может проанализировать заданную траекторию и отобразить процесс движения по обеим осям во времени, построить изменение скорости и ускорения при движении на каждом участке.

2.6. ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Интерфейс пользователя приведен на рис. 2.26.

Загрузка заданной траектории движения осуществляется через меню «**Файл**» подменю «**Загрузить траекторию**».

Расчет траектории движения осуществляется через меню «**Расчеты**» подменю «**Расчет кадров**».

Сохранение результатов эксперимента осуществляется через меню «**Файл**» подменю «**Сохранить результат эксперимента**».

Изменение параметров цифрового контура положения осуществляется через меню «**Настройки**» подменю «**Параметры оборудования**».

Ручное управление осуществляется с помощью нажатия левой клавиши мыши на соответствующую зеленую стрелку, расположенную справа в низу рабочего поля программы.

Запуск и останов отработки заданной траектории осуществляется нажатием на кнопки «**ПУСК**» и «**СТОП**». При запуске программы следует обратить внимание на то, что после нажатия кнопки «**ПУСК**» текущая координата принимается равной нулю по обеим осям.

Действия оператора при запуске установки:

- при выключенном персональном компьютере установить режим управления от персонального компьютера, переведя тумблеры на стойке с электроприводами в положении «**ПК**» по координатам X и Y ;
- подключить стойку с электроприводами к питающей сети $\sim 380V$;
- включить персональный компьютер;
- запустить программное обеспечение, ярлык которой расположен на рабочем столе.

ВНИМАНИЕ! В случае если на стойке с приводами не загорелись световые индикаторы готовности электропривода по одной из осей необходимо нажать и отпустить аварийный концевой выключатель этой оси.

Действия оператора при выключении установки:

- остановить выполнение заданной траектории движения, нажав виртуальную кнопку «СТОП» в программе управления;
- перевести тумблеры на стойке с электроприводами в положение «РУЧН» по координатам X и Y;
- отключить питание стойки с приводами;
- выключить персональный компьютер.

При работе в режиме управления от ПК:

- установить тумблер режима управления в положение «ПК»;
- выполнить позиционирование в нужную точку с помощью виртуальных кнопок «», «», «», «» программы управления;
- задать необходимые параметры; выполнить расчет траектории: (меню «Расчеты/Расчет»);
- нажать кнопку «ПУСК».

ВНИМАНИЕ! Если во время отработки заданной траектории движения по одной из координат движение прекратилось, следует проверить факт наезда на аварийный концевой выключатель. В случае наезда необходимо выполнить процедуру съезда с аварийного концевого выключателя.

При работе в ручном режиме управления:

- перевести тумблеры на стойке с электроприводами в положение «РУЧН» по координатам X и Y;
- перемещение по осям осуществлять с помощью кнопок с надписями «X→», «←X», «Y→», «←Y».

ВНИМАНИЕ! Как и в предыдущем случае, при наезде на аварийный концевой выключатель необходимо выполнить процедуру съезда с концевого выключателя.

Процедура съезда с аварийных концевых выключателей:

- остановить выполнение заданной траектории движения в программе с помощью кнопки «СТОП»;
- установить тумблер режима управления в положение «РУЧН» для данной координаты;
- нажать на стойке с приводами кнопку съезда с аварийного концевого выключателя; «X↔» – съезд с концевого выключателя по оси X, «Y↔» – съезд с концевого выключателя по оси Y;
- при завершении съезда с аварийного концевого выключателя движение по данной оси будет автоматически остановлено;
- отпустить кнопку съезда с концевого выключателя.

Таблица 2.3

Обозначения на панели управления шкафа с электроприводами

Обозначение	Описание
РУЧН	Ручной режим управления
ПК	Режим управления от персонального компьютера
X→	Движение по оси X вправо (Ручной режим)
←X	Движение по оси X влево (Ручной режим)
Y→	Движение по оси Y вправо (Ручной режим)
←Y	Движение по оси Y влево (Ручной режим)
X↔	Съезд с «аварийного концевого выключателя по оси X
Y↔	Съезд с «аварийного концевого выключателя по оси Y

2.7. Программа Эксперимента

1. Задать траекторию движения на плоскости содержащую в себе участки разгона, движения с постоянной контурной скоростью, торможение. Пример задания участка разгона приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Формат файла траектории движения

Параметр	Описание
POSITION CONTOUR	Заголовок файла
Description= Линейная интерполяция;	Описание траектории
LINE	Признак начала задания отрезка
T_int=0,01	Период квантования по времени, с
V_1=0	Скорость в начальной точке движения по отрезку, мкм/с
V_2=5000	Скорость в конечной точке движения по отрезку, мкм/с
a_c=1000	Допустимое контурное ускорение
a_type=step	Функция изменения ускорения при разгоне (в нашем случае скачек ускорения)
0,0 0,0	Координата начальной точки отрезка
50000,0 50000,0	Координата конечной точки отрезка
END	Признак окончания файла

2. Аналогичным образом, варьируя заданной контурной скоростью (V_1 , V_2) и ускорением (a_c) сформировать еще несколько траекторий движения.
3. Сравнить полученные зависимости $X=f(Y)$ по датчику положения и по расчету задания. Вычислить контурную ошибку.
4. Найти и сравнить первую и вторую производные от сигнала задания и от массива точек полученных по датчику положения.
5. Проанализировать влияние частоты квантования сигнала на качество отработки траектории движения ($f=100, 80, 60, 40, 20$ Гц).
6. Оценить влияние коэффициента регулятора положения K_{PI} на качество и производительность отработки траектории.

2.8. Требования к отчету

1. Привести функциональную схему установки и ее краткое описание.
2. Описать основные элементы цифровой части системы управления (модуль дискретного ввода-вывода, модуль аналогового ввода-вывода, датчик положения). Привести функции, которые выполняет каждый модуль.
3. Привести полученные графики заданной и отработанной траектории движения на плоскости XU . Построить графики первой и второй производной от заданной и отработанной траектории движения во времени.
4. Показать графики задания и отработки траектории движения при разных частотах квантования сигнала $f=100, 80, 60, 40, 20$ Гц.
5. Оценить координатные, контурные и векторные ошибки, полученные при отработке заданной траектории движения.
6. Сделать выводы по полученным результатам эксперимента.

3. Автоматическая система дозирования сыпучих на базе контроллера FASTWEL RTU – 188 BS

Цель работы:

- 1) изучение принципов построения автоматизированной цифровой системы дозирования сыпучих материалов;
- 2) изучение элементной базы цифровой системы дозирования сыпучих материалов;
- 3) экспериментальное исследование работы автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов.

Введение

Дозирование сыпучих материалов широко применяется в самых различных отраслях промышленности. В ряде технологических процессов дозирование является одной из основных операций. Качество готовой продукции и рациональное расходование исходных материалов во многом зависят от дозирования.

В технике к сыпучим относят материалы, которые допускают транспортирование и хранение навалом. Термин «сыпучие» материалы используют для большинства материалов, состоящих из частиц определенных размеров: пылевидных, порошкообразных, зернистых и кусковых. Объем сыпучего материала складывается из различных по форме и размерам объемов соприкасающихся твердых частиц и пустот между ними, заполненных воздухом или водой. Частицы, образующие структуру (скелет) сыпучего материала, имеют друг с другом различную связь, зависящую от размера частиц, их формы, влажности и других факторов. Как правило, большинство сыпучих материалов имеют сложный фракционный состав и представляют собой совокупность частиц со случайным неупорядоченным расположением. Питателями называют механизмы, при помощи которых осуществляется равномерная регулируемая подача сыпучих материалов из емкостей в промежуточные емкости или в технологические аппараты (непосредственно или через весоизмерительные устройства).

Важнейшие требования, предъявляемые к питателям, – это равномерность подачи и возможность регулирования. В некоторых производственных процессах питатели используют как простые, надежные и дешевые объемные дозаторы небольшой точности. Однако масса единицы объема сыпучих материалов в некоторых случаях может изменяться в широких пределах (иногда до 15 %), поэтому в процессах, где требуется более высокая точность дозирования, объемные питатели оснащают автоматическими устройствами регулирования скорости и поддержания заданной точности.

Под дозированием понимается процесс выдачи заданных количеств веществ в технологические аппараты для смешения или дальнейшей переработки, а также фасовка материалов в тару.

Дозирование сыпучих материалов осуществляют с помощью механических и автоматических устройств, которые широко применяются в периодических и непрерывных технологических процессах.

Основным направлением дозирования является максимальная механизация и автоматизация производственного потока при обеспечении соответствующего сокращения цикла дозирования, повышения контроля за составлением смесей и точного соблюдения заданной рецептуры. Автоматизация дозирования способствует сокращению вспомогательного времени, обеспечивает более легкое управление дозирующими устройствами, снижает себестоимость продукции.

Особенно большие перспективы по автоматизации процессов дозирования открываются с применением новых электронных методов взвешивания. Дозаторы, построенные на этом принципе, допускают наиболее полную автоматизацию процессов вплоть до работы по заданной программе.

Для управления электроприводами шнековых питателей в настоящее время чаще всего используются два алгоритма. Один из алгоритмов предполагает ступенчатое регулирование скорости двигателя шнекового питателя. Другой алгоритм заключается в автоматическом регулировании скорости двигателя с использованием программно реализованного регулятора веса. Сигнал с выхода регулятора веса является заданием на скорость регулируемого электропривода. Т. к. остановка двигателя производится на небольшой скорости (не в ущерб производительности), масса «падающего столба» невелика, и нестационарность свойств материала сказывается незначительно на точности дозирования. Правильный выбор параметров регулятора позволяет обеспечить оптимальное соотношение производительности и точности дозирования, особенно на малых весах.

Основываясь на вышесказанном можно сделать вывод, что для управления электроприводом шнекового питателя наиболее рационально использовать автоматический способ регулирования скорости.

3.1 Комплексная автоматизация технологического процесса дозирования и смешивания сыпучих материалов

Технологический процесс дозирования и смешивания широко используется в пищевой, строительной, фармацевтической и т. д. отраслях промышленности для приготовления ответственных и дорогостоящих смесей. Автоматизация технологического процесса направлена на оп-

тимизацию системы по критериям максимальной производительности при заданной точности дозирования.

Растущие мощности предприятий пищевой промышленности, призываю к приготовлению корма для животных непосредственно на животноводческих фермах. Комбикорм имеет строгий технологический состав, и получение качественной и конкурентоспособной продукции возможно только при автоматизации процесса дозирования и смешивания сыпучих материалов.

3.1.1 Автоматизированная система дозирования и смешивания компонентов

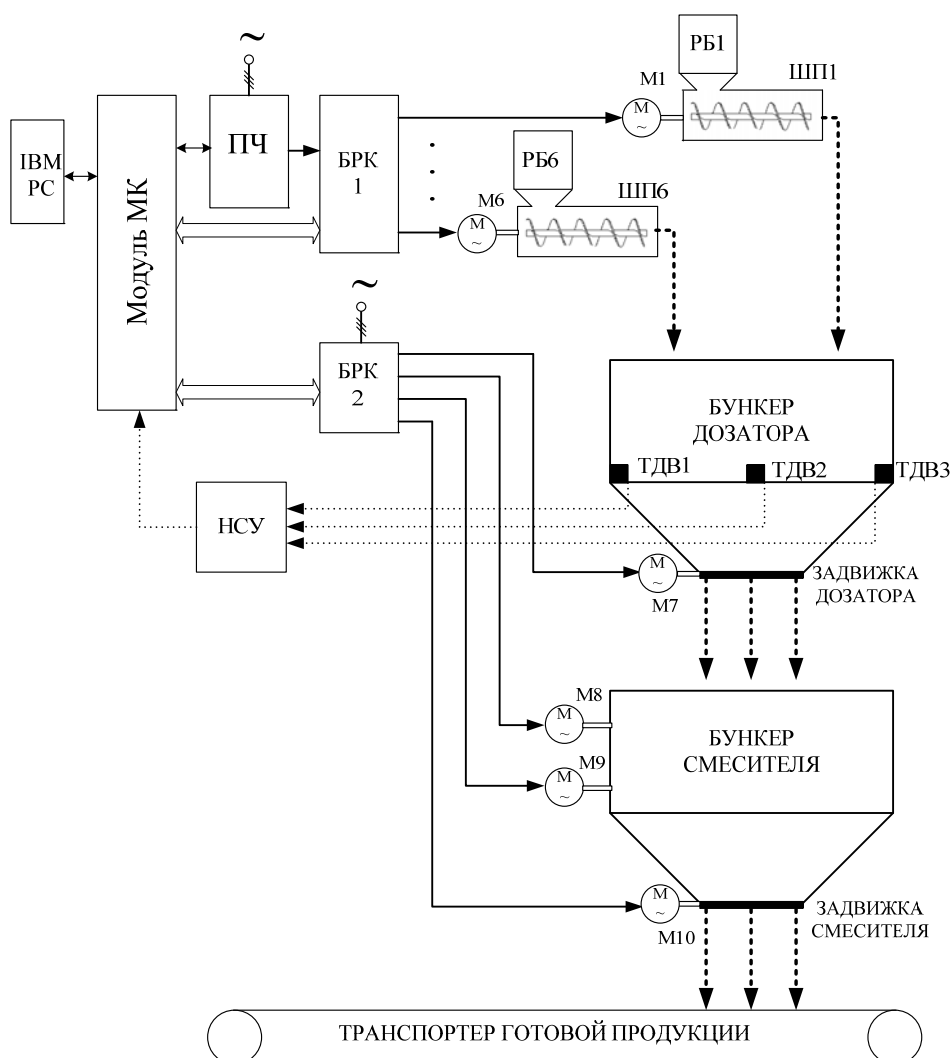


Рис. 3.1. Функциональная схема «Автоматизированная система дозирования и смешивания компонентов комбикормов»

В состав оборудования по производству комбикормов [6] входят:

- 6 расходных бункеров (РБ), содержащих дозируемые компоненты (ячмень, горох, отруби пшеничные, пшеница, шрот подсолнечный, концентрат, витаминные добавки);
- 6 шнековых питателей (ШП);
- бункер-дозатор грузоподъемностью до 1000 кг, установленный на 3-х тензодатчиках (ТДВ);
- бункер-смеситель, оснащенный асинхронным двигателем смесителя мощностью 15кВт и двигателем рыхлителя;
- бункер отгрузки готовой продукции с емкостным датчиком уровня;
- транспортная подсистема отгрузки готовой продукции.

В целом объект автоматизации включает в себя 8 асинхронных электродвигателей мощностью от 1,7 кВт до 15 кВт.

Зерновое сырье поступает в расходные бункера посредством автомобильного терминала. Загрузка одного бункера емкостью 50 тонн занимает не менее 3-х часов. После загрузки расходных бункеров компоненты поочередно поступают в бункер-дозатор, где в соответствии с заданным рецептом осуществляется дозирование. Сигнал пропорциональный текущему весу снимается с 3 тензодатчиков и поступает в нормирующий усилитель (НСУ) где суммируется, нормируется в стандартный токовый сигнал и в таком виде поступает в контроллер. По окончании процесса дозирования всех компонентов масса поступает в бункер-смеситель. Время смешивания варьируется от 1 до 3 минут в зависимости от выбранного рецепта. Готовая смесь поступает на транспортер отгрузки готовой продукции. Отгрузка готовой продукции происходит через автомобильный терминал с производительностью 15 тонн в час. Управление двигателями шнековых питателей ведется от одного преобразователя частоты через блок релейной коммутации (БРК1) по сигналу микроконтроллера. Двигатель смесителя (М8) и рыхлителя (М9) подключаются к сети через блок релейной коммутации (БРК2) который управляется от микроконтроллера.

3.2 Функциональная схема лабораторной установки

Автоматическая система дозирования сыпучих материалов

Для обеспечения высокой надежности программно-аппаратный комплекс должен состоять как минимум из трех уровней (рис.3.2). Нижний уровень содержит датчики и исполнительные механизмы. Средний уровень включает в себя управляющий контроллер и модуль релейной коммутации. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе персонального компьютера. Взаимодействие между верхним и средним уровнем осуществляется посредством интерфейса RS-485 на физическом уровне и про-

токолом обмена, специально разработанным для стенда. Скорость обмена информацией между контроллером и АРМ оператора составляет 9600 бод.

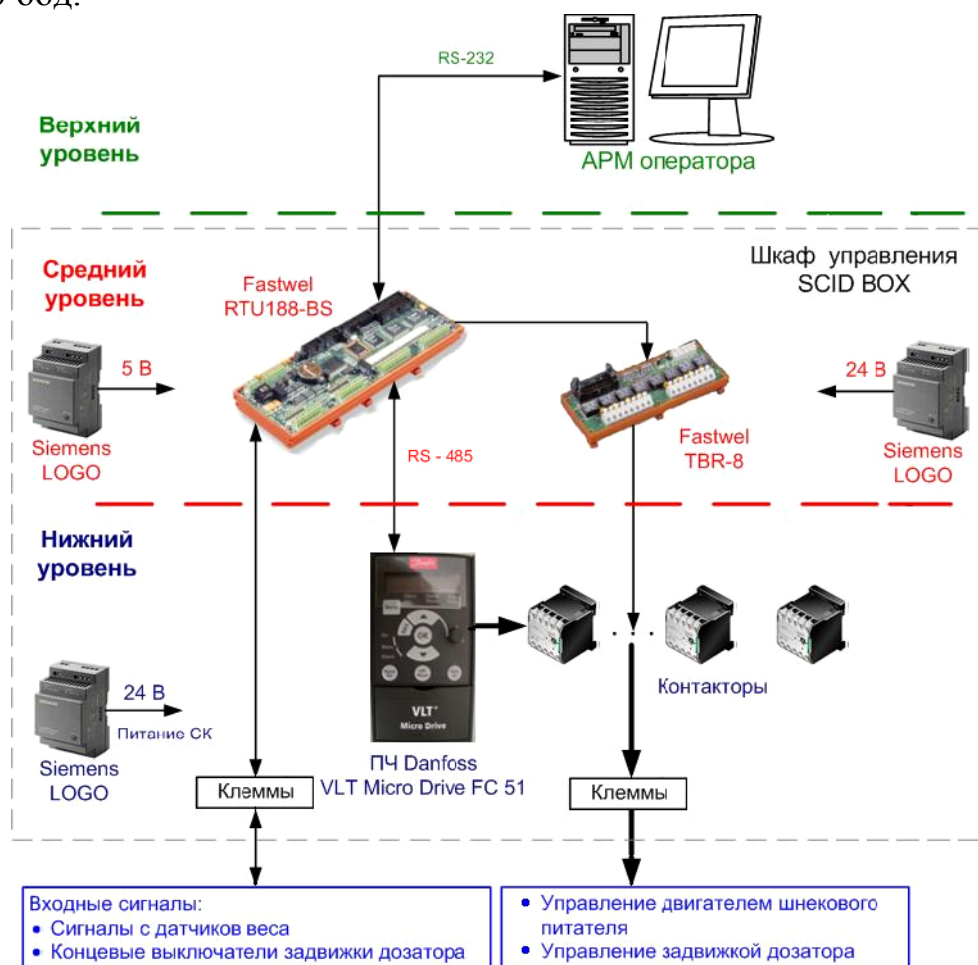


Рис. 3.2. Функциональная схема лабораторной установки автоматическая система дозирования сыпучих материалов

Технологический процесс дозирования требует максимальную точность дозирования при заданной производительности. На рис. 3.3 представлена функциональная схема лабораторного стенда асинхронного электропривода шнекового питателя для автоматического дозирования сыпучих материалов.

На входе регулятора веса, программно выполненного в микроконтроллере, суммируются сигнал задания на вес, поступающий с персонального компьютера и сигнал с нормирующего усилителя пропорциональный текущему весу. Выход регулятора веса является заданием на частоту преобразователя и, соответственно, скорости вращения асинхронного двигателя шнекового питателя. По мере наполнения бункера разница между заданной и действительной массой в бункере уменьшается, что приводит к уменьшению скорости электропривода. Остановка двигателя осуществляется на небольшой скорости, что положительно

сказывается на точность дозирования. После остановки двигателя шнекового питателя, по сигналу с микроконтроллера, коммутируется силовая цепь задвижки дозатора. Перемещение материала в бункер готовой продукции происходит автоматически.

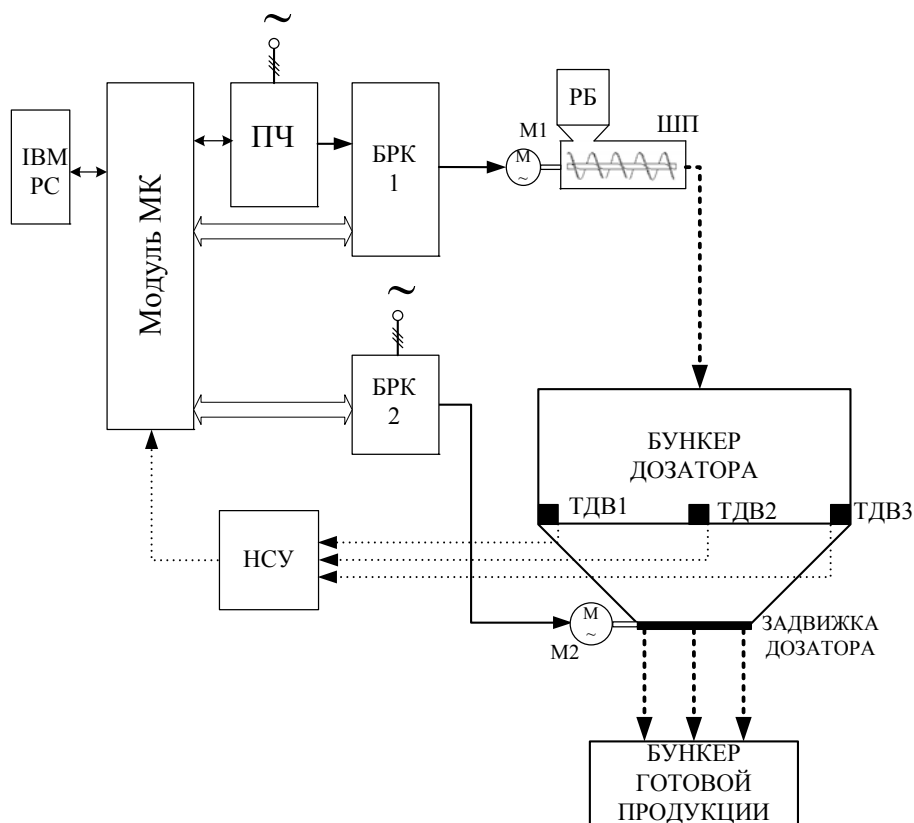


Рис. 3.3 Функциональная схема «Система автоматического дозирования сыпучих материалов»

На рисунке приняты следующие обозначения:

- Модуль МК – модуль микроконтроллера;
- ПЧ – преобразователь частоты;
- БРК – блок релейной коммутации;
- НСУ – нормирующий суммирующий усилитель;
- М – асинхронный двигатель;
- ТДВ – тензодатчик веса;
- ШП – шнековый питатель;
- РБ – расходный бункер.

Требования, предъявляемые к системе дозирования сыпучих материалов:

- точность дозирования материалов $\pm 3\%$;
- производительность (1 час) – 300 кг;
- диапазон регулирования $D = 10$.

3.3. Описание экспериментальной установки

3.3.1 Программные средства

Программное обеспечение на верхнем уровне разработано в среде Delphi 7 и работает под управлением операционной среды Windows XP, Так как с точки зрения разработки собственных SCADA-систем большими перспективами обладает именно программная среда Delphi. Это обусловлено рядом факторов – большая распространенность Delphi в инженерной среде, большим количеством утилит и компонентов, предназначенных как для управления аппаратными возможностями промышленных компьютеров, так и для реализации различных сетевых протоколов обмена. Однако в отличие от «классических» SCADA-систем реализация проектов в Delphi сопряжена с такими трудностями как необходимость создания проекта с нуля, сложность обнаружения ошибок в коде программы. На среднем уровне программное обеспечение реализовано на языке программирования C++. В качестве операционной системы используется предустановленная дисковая операционная система FDOS фирмы Fastwel.

3.3.2 Конвейер бесстержневой типа СТ назначение изделия

Конвейеры бесстержневые типа СТ предназначены для транспортирования сыпучих пищевых и других продуктов в горизонтальном положении или под наклоном до 90° к горизонту по трассам с прямыми и изогнутыми участками [13,14].

3.3.3 Технические характеристики:

Конвейер СТ-55 должен иметь следующие основные параметры и характеристики.

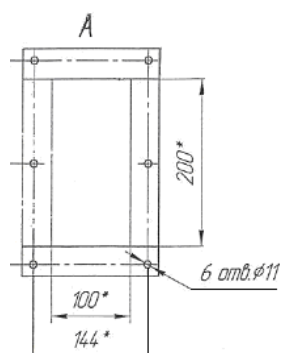
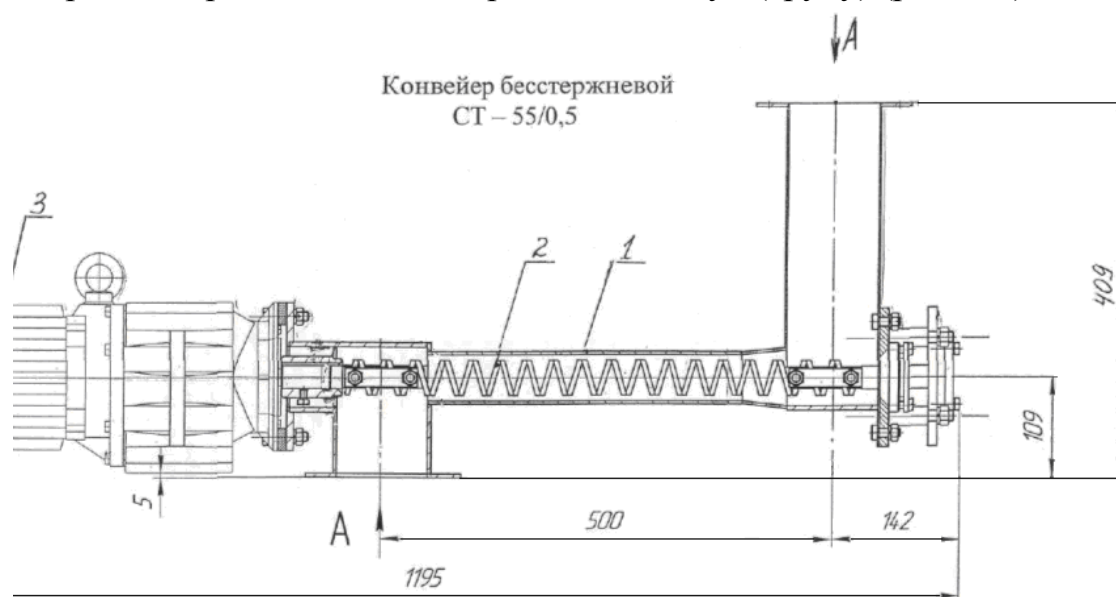
Показатели надежности:	
- средняя наработка на отказ, ч, не менее	– 1000
- установленная безотказная наработка, ч, не менее	– 500
- установленный срок службы до капитального ремонта, лет, не менее	– 3
- коэффициент технического использования, не меньше	– 0,9
- средний срок хранения в заводской упаковке, не менее, месяцев	– 18

Таблица 3.1

Наименование показателя	Обозначение
	СТ-55
1. Диаметр трубопровода, мм	55
2. Диаметр гибкой спирали, мм	38
3. Максимальный угол наклона, град.	90
4. Максимальная длина конвейера, м	25
5. Радиус кривизны одного изогнутого участка, м, не менее	1,6
6. Номинальная мощность привода, кВт	0,55-0,7
7. Производительность, м ³ /ч – и другие технические характеристики для конвейера указаны в Приложении 1'.	

3.3.4 Устройство и работа

Основой конвейера является его транспортирующая часть – гибкая спираль, встроенная в цилиндрический кожух (трубу) (рис. 3.4).



- 1- Труба прямая с патрубками
- 2- Спираль гибкая
- 3- Привод: мотор-редуктор

Производительность – 0,3 т/ч.

Мощность привода – 0,75 кВт.

Диаметр спирали – 38 мм.

Транспортируемый продукт – песок.

3.4 Конвейер бесстержневой

Направляющий кожух изготавливается из отдельных секций. Трубы могут быть прямыми и изогнутыми и комплектуются в зависимости от трассы конкретного конвейера.

Продукт засыпается в загрузочный бункер и вращающейся спиралью транспортируется по магистральному трубопроводу к разгрузочному бункеру, где продукт разгружается.

3.3.5. Производительность шнекового питателя

Производительность шнекового питателя прямо пропорциональна скорости вращения механизма и находится по формуле (3.1):

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot 60 \text{ (м}^3\text{/ч)} \quad (3.1)$$

D – внешний диаметр шнека;

d – диаметр вала;

S – шаг винта шнека;

n – скорость вращения шнекового питателя;

φ – коэффициент производительности.

Для горизонтального шнека пассивная область целиком размещается на шнеке при условии $S/D \leq 1$ и следовательно применима формула:

$$\varphi = 0.87 \cdot (1 - 0.237 \cdot (\frac{S}{D})^2) \quad (3.2)$$

Величина пассивной поверхности на шнеке

$$f = (\frac{S}{4 \cdot \pi \cdot \cos \lambda_0})^2 \cdot (\sin(2 \cdot \lambda_0) - 2 \cdot \lambda_0 \cdot \cos(2 \cdot \lambda_0)) \quad (3.3)$$

λ_0 – угол трения материала о поверхность шнека.

Площадь витка винта

$$F = \pi \cdot R^2 \quad (3.4)$$

R – радиус винта.

Коэффициент производительности

$$\varphi = 0.87 \cdot (1 - \frac{f}{F}) \quad (3.5)$$

Секундная производительность

$$Q^c = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \omega \cdot \varphi_n \text{ (м}^3\text{/с)} \quad (3.6)$$

ω – скорость вращения шнекового питателя (рад/с)

Параметры шнекового питателя лабораторной установки

$D=0.038$ м;

$S=0.032$ м;

$n=149$ об/мин;

$\varphi=0.4 - 0.3$ (для песка);

$\gamma_0=1.4 \cdot 10^3 - 1.65 \cdot 10^3$ (для песка);

3.3.6 Преобразователь частоты

Для лабораторного стенда был выбран преобразователь частоты фирмы Danfoss серии VLT Micro Drive FC 51 [15] мощностью 0,75 кВт для двигателя шнекового питателя серии VTB71C с номинальной мощностью 0,75кВт.

Частотные преобразователи производства компании Danfoss позволяют:

- осуществлять пуск асинхронного электродвигателя без превышения номинального тока;
 - производить разгон и торможение электродвигателя за заданные промежутки времени;
 - плавно и ступенчато изменять скорость вращения электродвигателя;
- организовывать замкнутые системы автоматического регулирования; – защищать электродвигатель от перегрузок, и многое другое.

Все устройства поставляются в виде законченных изделий и не требуют никакой доработки.

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным инвертором напряжения. Переменное напряжение трехфазной сети (фазы А, В и С) (рис 3.4) поступают на неуправляемый мостовой выпрямитель (диоды VD1 – VD6). Выпрямленной напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой емкости С и поступает на трехфазный инвертор VT1 – VT6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется по закону ШИМ – модуляции и поступает к статорным обмоткам АД.

В качестве силовых ключей инвертора используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD7 – VD13. Шунт $R_{ш}$ включен в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполнения функции защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функцию согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

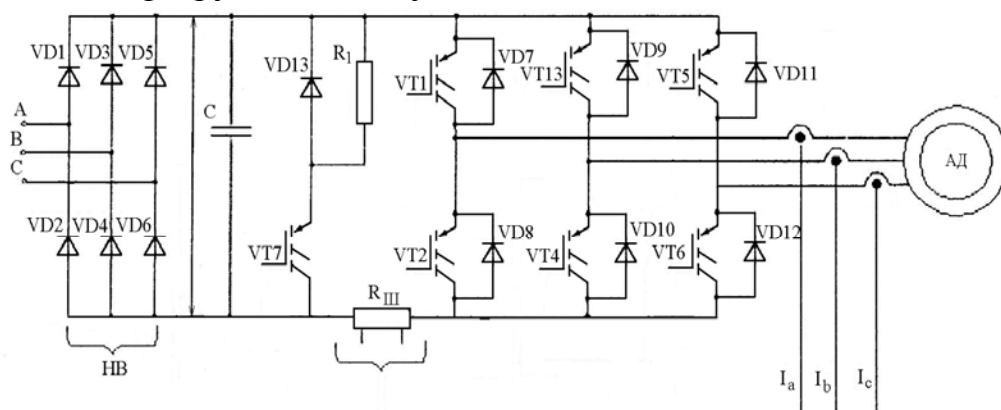


Рис. 3.5. Силовая часть преобразователя частоты

Конструктивно все элементы преобразователя размещены на двух платах, установленных друг над другом в пластиковом корпусе. На верхней крышке расположен жидкокристаллический индикатор и пульт управления. Непосредственно под крышкой находится основная плата управления. На ней располагаются компоненты микропроцессорной системы и разъемы для подключения дополнительных и внешних устройств.

На силовой плате размещен силовой модуль с IGBT транзисторами, драйвера, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединен с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этом же радиаторе размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом.

3.3.7 Модуль микроконтроллера RTU188 фирмы Fastwell

Назначение

Модуль микроконтроллера RTU188 выполнен в виде автономного устройства и предназначен для использования в системах управления,

сбора данных, контроля и т. п. Модуль может работать в автономном или подчинённом режиме. Кроме того, RTU188 может быть подключён к сетям RS232/RS422/RS485, что делает возможным использование микроконтроллера в распределенных системах. Модуль RTU188 может быть установлен как на DIN рейку, так и на панель [18].

3.3.8 Подключение к модулю RTU188 внешних устройств

Ниже приведен перечень интерфейсных плат и устройств, которые могут быть подключены к модулю RTU188:

- RS232 совместимые устройства
- 2/4-х проводные RS422/RS485 сети
- модули УСО с гальванической развязкой (через плату МРВ-24 или ТВІ-24/16L, ТВІ-24LC)
- терминальные платы с гальванической развязкой ТВ1-хх/хх
- удаленная кнопка RESET (изолированная от системы)

3.3.9 Составные части модуля RTU188

3.3.9.1 Процессор

Am188ES, частота 40 МГц

3.3.9.2 Супервизор и сторожевой таймер

Модуль процессора имеет супервизор (микросхема отслеживающая сбой напряжения питания) и сторожевой таймер.

Супервизор формирует аппаратный сигнал RESET при понижении питания ниже 4.6 В или при нажатии кнопки сброса.

Сторожевой таймер может использоваться для исключения программных зависаний. Срабатывание сторожевого таймера происходит при отсутствии программных подтверждений в течении примерно 1.6 секунды.

3.3.9.3 Оперативное Запоминающее Устройство (ОЗУ)

Модуль имеет внутреннюю статическую оперативную память размером 512 Кбайт.

3.3.9.4 Перепрограммируемое Постоянное Запоминающее Устройство (FDD)

Для хранения кодов программ и долговременной информации в модуле установлена микросхема электрически перепрограммируемой памяти (далее FFD- Fastwel Flash Disk) размером 512 Кбайт с поддержкой файловой системы.

3.3.9.5 Часы реального времени RTC

RTU188 имеет часы реального времени, построенные на микросхеме DS1307. Эта микросхема содержит 56 доступных пользователю байт энергонезависимой статической памяти. Для питания микросхемы DS1307 используется встроенная литиевая батарея.

3.3.9.6 Последовательные порты (X3,J4,J6)

Микроконтроллер имеет два асинхронных последовательных порта. Встроенный в RTU188 порт COM1 (соединитель J4) консольный и содержит полный состав сигналов интерфейса RS232. Встроенный в RTU188 порт COM2 (соединитель J6) может быть использован как не изолированный последовательный асинхронный порт RS232 с не полным набором сигналов, либо как изолированный порт (соединитель X3) для работы в сети RS485/RS422.

3.3.9.7 Порт изолированного дискретного ввода (X4, X5)

Микроконтроллер имеет 16 каналов оптоизолированного дискретного ввода. Все каналы имеют общую землю. Предусмотрен один диапазон входного сигнала 24 вольта. Резистор в цепи сигнала имеет сопротивление 4,7 кОм. Для питания сухих контактов микроконтроллер поставляется со встроенным гальванически изолированным DC/DC преобразователем.

3.3.9.8 Порт изолированного аналогового ввода (X1, X2)

Модуль RTU188 имеет изолированный порт аналогового ввода и позволяет измерять 8 аналоговых входов с точностью 12-бит в диапазонах 0..5 В, 0..10 В, +5 В, +10 В (диапазон устанавливается программно по любому каналу) или 0..20 тА.

3.3.9.9 Универсальный порт дискретного ввода–вывода (J5)

RTU188 содержит 16 не изолированных каналов дискретного ввода-вывода. Уровни сигналов каждого канала соответствуют уровням ТТЛ – логики. Нагрузочная способность каждого канала 12 мА. Каналы 8-14 выводятся на соединитель J5 как непосредственно так, и через буферные схемы с возможностью коммутации сигналов 24 В, 300 мА. Каналы этого порта могут быть использованы следующим образом:

- Каждый канал может быть настроен либо на ввод либо на вывод данных.
- Любое число пар каналов с нулевого по седьмой (до четырех) может быть настроено на работу с аналоговыми модулями серии 73L фирмы Grayhill. При этом каналы с чётными номерами должны быть настроены на режим вывода, а с нечётными – на режим ввода. Остальные каналы могут быть использованы произвольно.

3.3.9.10 Удаленный Сброс

Подсоединение к соединителю J3 внешней кнопки, позволяет формировать удаленный изолированный от системы сигнал сброса модуля RTU188.

3.3.9.11 Порт расширения минимальной конфигурации UNIO48 (J1,J2)

Универсальный порт ввода – вывода UNIO48 (разъемы J1, J2) совместим по выходным контактам и управлению с модулем UNIO48-5 фирмы Fastwel. Порт реализован на программируемых логических микросхемах FPGA и предназначен для ввода-вывода 48 логических сигналов. Схема порта может изменяться непосредственно в системе без выключения питания.

Каналы порта могут использоваться для подключения модулей УСО с гальванической развязкой, счета импульсов, измерения и формирования частоты, формирования временных диаграмм и т. д. Этот порт позволяет использовать имеющиеся прошивки для платы UNIO48 Fastwel фирмы.

3.3.9.12 Электропитание модуля RTU188

Электропитание модуля RTU188 производится через соединитель X6.

3.3.10 Программное обеспечение

При поставке FFD модуля содержит программы, обеспечивающие готовность изделия к немедленной эксплуатации:

- встроенную операционную систему совместимую с DOS 6.22
- сервисную программу загрузки/выгрузки данных (ftrans.
- удаленный отладчик (tdrl 88. exe)
- утилиты загрузки схемы порта UNIO48 (isp188.exe, isl188.exe)
- программу записи системных файлов FFD (nwriter.com)

Кроме того, в комплект поставки модуля входит дискета с примерами программирования модуля и файлами вариантов схем загрузки порта UNIO48.

3.4 Модуль релейной коммутации TBR8

3.4.1 Назначение панели релейной коммутации TBR8

Плата предназначена для коммутации силовых цепей переменного и постоянного тока с помощью электромагнитных реле. Плата предназначена для применения в составе устройств и функциональных блоков, выполненных на базе микроконтроллеров, процессорных и периферийных модулей фирм Octagon Systems и Fastwel [19].

Плата имеет 8 нормально разомкнутых однополюсных (SPST) каналов, обеспечивающих возможность коммутации цепей при токе нагрузки до 10 А при 270 В переменного тока и/или 30 В постоянного тока.

Управление каналами релейной коммутации осуществляется выходами портов дискретного ввода-вывода общего назначения, имеющими уровни TTL или КМОП.

При подключении платы к портам дискретного ввода-вывода, которые выполнены на базе микросхем, функционально совместимых с адаптерами параллельного интерфейса 82C55 (580BB55), 16 линий порта, которые не задействованы для управления каналами релейной коммутации, могут использоваться для работы с другими устройствами через дополнительный 26-контактный соединитель, входящий в состав платы.

3.4.2 Технические данные

Характеристики:

Количество каналов релейной коммутации – 8. Тип контактных групп реле – нормально разомкнутые однополюсные (SPST-NO).

Параметры коммутируемой нагрузки:

- 270 В при 10 А переменного тока частотой 50 Гц;
- 30 В при 10 А постоянного тока.

Номинальное время срабатывания реле 8 мс.

Номинальное время отпускания реле 5 мс.

Сопротивление замкнутых контактов реле не более 50 мОм (при поставке).

Напряжение пробоя изоляции между катушкой управления и коммутируемыми цепями не менее 2500 В.

Механический ресурс контактных групп реле не менее 10000000.

Электрический ресурс контактных групп реле не менее 100000.

Примечание: Данные по ресурсам контактных групп приведены для коммутации 125 В при 10 А переменного тока.

Параметры варисторной защиты выходных цепей от перенапряжения:

- максимальное рабочее напряжение варистора 400 В переменного тока;
- классификационное напряжение варистора 610В при постоянном токе 1мА;
- максимальный пиковый ток варистора 1200 А при длительности импульса не более 20 мкс.

Тип индикации состояния реле – светодиодная индикация состояния цепей управления реле.

Требования по питанию:

Напряжение питания цепей управления реле – 24 В постоянного тока с допустимым отклонением от плюс 10 до минус 10% при потребляемом токе не более 300 мА.

Напряжение питания логических цепей платы – 5 В постоянного тока с допустимым отклонением от плюс 5 до минус 5% при потребляемом токе не более 20 мА.

3.4.3 Устройство и работа платы

3.4.3.1 Структурная схема платы

Структурная схема платы TBR8 приведена на рис. 3.6.

Подключение платы к 24-канальному порту дискретного ввода-вывода осуществляется через 26-контактный соединитель X1 кабелем соединительным FC-26.

Для управления 8-ю каналами релейной коммутации платы используется 8 каналов порта, настроенных на вывод. Остальные 16 каналов порта, которые не используются платой, выведены в 26-канальный соединитель X2. Если для управления платой применяется порт дискретного ввода-вывода, совместимый с адаптером параллельного

интерфейса 82C55 (580BB55), то включение/выключение каналов релейной коммутации платы осуществляется линиями группы С порта дискретного ввода-вывода.

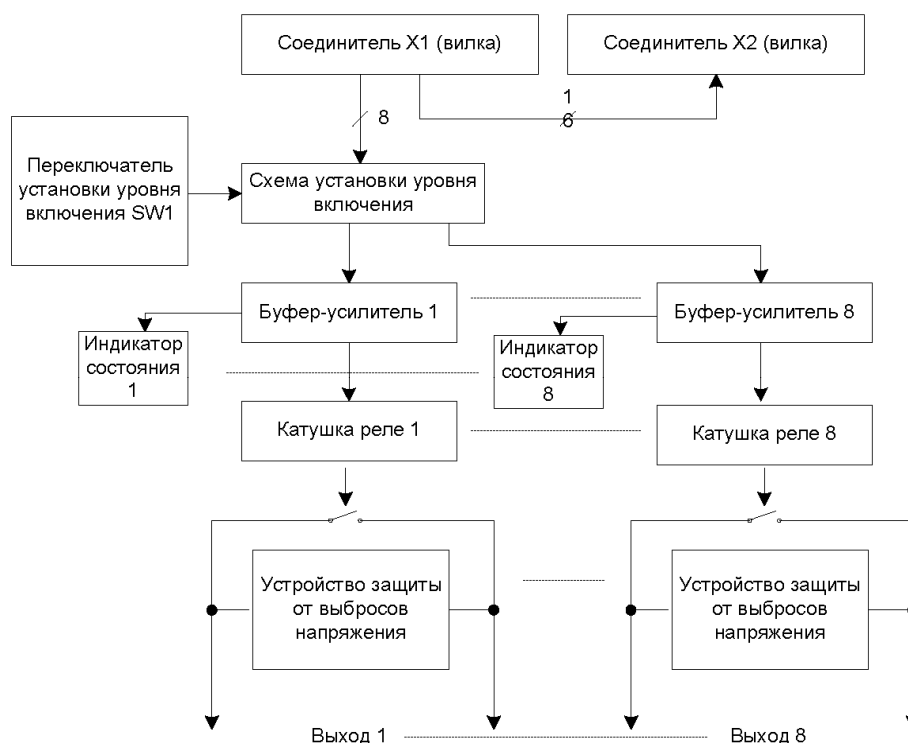


Рис. 3.6 Структурная схема платы TBR8

Сигналы управления каналами релейной коммутации, имеющие уровни ТТЛ, поступают на схему установки уровня включения, состоящую из 8-ми элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. Если при этом переключатель SW1 находится в замкнутом положении, то включение каналов релейной коммутации (замыкание контактных групп реле) осуществляется сигналом с уровнем логической 1. Если переключатель SW1 переведен в разомкнутое положение, то включение канала релейной коммутации производится уровнем логического 0.

Выходы схемы установки уровня включения соединены с буферами-усилителями, которые выполнены на базе полупроводниковых ключей с повышенной нагрузочной способностью в интегральном исполнении и предназначены для управления катушками реле.

Индикаторы состояния каналов релейной коммутации включены параллельно катушкам реле. При включении канала релейной коммутации происходит включение соответствующего светодиодного индикатора состояния.

Параллельно с контактной группой реле включено устройство защиты от кратковременных выбросов напряжения, которые происходят при коммутации контактной группой высокоиндуктивных нагрузок и снижают ресурс контактной группы.

Схема электрическая принципиальная одного канала релейной коммутации приведена на рис. 3.7.

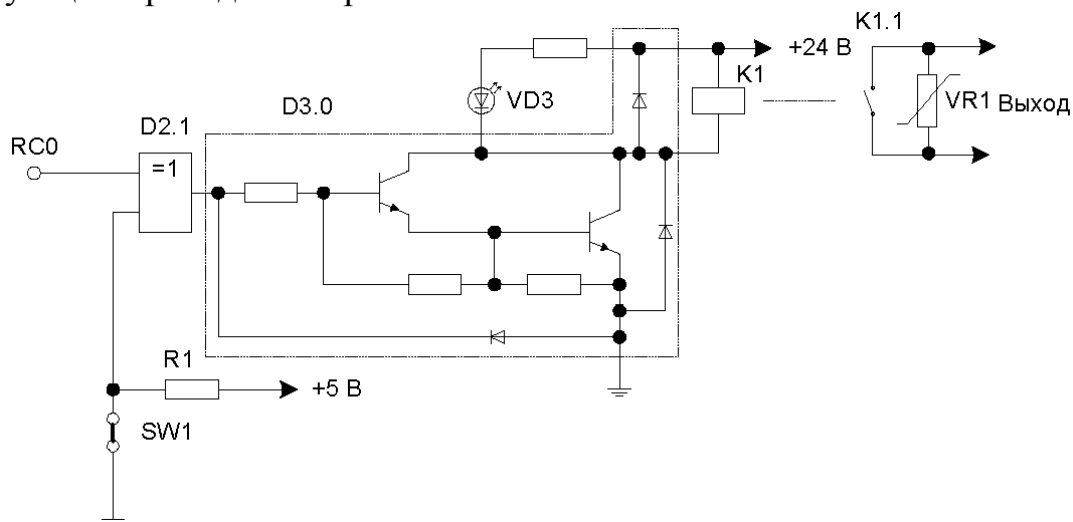


Рис. 3.7. Канал релейной коммутации. Схема электрическая принципиальная

3.4.3.2 Электрическое питание платы

Электрическое питание логических цепей платы напряжением 5 В осуществляется от модуля дискретного ввода-вывода, управляющего платой, через 26-контактный соединитель X1. Наличие напряжения 5 В, поданного на плату, отражается свечением светодиодного индикатора "+5V". Ток, потребляемый платой по цепи 5 В, составляет не более 20 мА. Электрическое питание катушек реле осуществляется напряжением $(24,0 \pm 2,4)$ В внешнего источника питания. Присоединение положительного полюса внешнего источника питания 24 В производится к одному из клеммных соединителей "+24V". Присоединение общего провода производится к одному из клеммных соединителей "GND". Наличие напряжения 24 В, поданного на плату, отражается свечением светодиодного индикатора "+24V". Ток, потребляемый платой по цепи 24 В, составляет не более 300 мА. Допустимая площадь сечения провода не более $2,5 \text{ мм}^2$.

Местоположение соединителей показано на рис. 3.8.

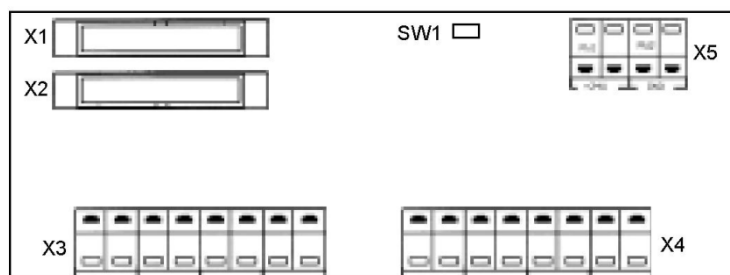


Рис. 3.8. Расположение соединителей на панели релейной коммутации TBR8

3.4.3.3 Настройка

Переключателем W1 устанавливается уровень сигнала, при котором срабатывают реле. Если переключатель W1 находится в замкнутом положении, реле срабатывают при низком логическом уровне управляющего сигнала; если переключатель W1 разомкнут, то реле срабатывают при высоком логическом уровне управляющего сигнала.

Управление каналами релейной коммутации:

Входные сигналы управления состоянием реле подаются на контакты соединителя X1 платы. Входные сигналы управления должны иметь уровень ТТЛ или КМОП логики и иметь нагрузочную способность не менее 2 мА.

Назначение и нумерация контактов соединителя X1 платы соответствуют принятым в модулях ввода-вывода фирм Octagon Systems и Fastwel. Плата TBR8 использует 8 линий порта C адаптера параллельного интерфейса 82C55 (580BB55). Не используемые 16 линий портов В и А транслируются на линии портов С и В соответственно в соединителе X2.

Соединитель X2 используется для подключения дополнительных терминальных плат к неиспользуемым платой TBR8 каналам ввода-вывода.

Подключение нагрузки должно производиться к клеммам соединителей X3, X4. Допустимая площадь сечения провода не более 2,5 мм². Тип соединителей X3, X4 –пружинный контакт 256-502 фирмы WAGO.

3.5 Тензодатчик серии С

Датчик состоит из упругого элемента Z-образной формы, штуцера для ввода кабеля и тензорезисторов на клеевой основе, соединенных по мостовой схеме и элементов термокомпенсации и нормирования. Место наклейки тензорезисторов и расположения элементов термокомпенсации и нормирования загерметизировано и закрыто пластиной, крепящейся к упругому элементу двумя винтами для защиты от механических напряжений [20].

Таблица 3.2

Основные технические данные и характеристики датчика

Наибольший предел измерения (НПИ), т	0,1
Класс точности по ГОСТ 30129 (МОЗМ Р 60)	С
Число поверочных интервалов, ед.	1000
Направление измеряемого усилия	Растяжение/сжатие
Рабочий коэффициент передачи (РКП) мВ/В	1,007
Компенсированный диапазон температур, °С	- 10...+40
Рабочий диапазон температур, °С	- 30...+40
Допустимая перегрузка, % от НПИ	25

Разрушающая нагрузка, % от НПИ, не менее	300
Входное электрическое сопротивление, Ом	405,0
Выходное электрическое сопротивление, Ом	350,0
* Напряжение питания постоянного тока, не более, В	12,0
Потребляемая мощность, не более, ВА	0,4
Электрическое сопротивление изоляции, Мом, не менее	1000
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254 (МЭК 529-89)	IP 65

* Оптимальное $U_{пит}=10\text{ В}$

Измеряемое усилие, действуя через силовводящий узел на упругий элемент датчика, вызывает появление деформации в местах наклейки фольговых тензорезисторов. На диагональ питания подается питающее напряжение, с диагонали измерения снимается выходное напряжение. Деформация вызывает изменение сопротивлений тензорезисторов, преобразуемое мостовой электрической схемой в коэффициент передачи датчика (отношение изменения напряжения на диагонали измерения к напряжению питания), пропорциональный измеряемому усилию.

Маркировка выводов датчика:

питание «+» – зеленый провод;

сигнал «+» – белый провод;

сигнал « – » – красный провод;

питание « – » – черный провод.

3.6 Автоматизированное рабочее место оператора

Взаимодействие оператора с системой управления осуществляется через автоматизированное рабочее место оператора (АРМ) оператора на персональном компьютере. Запуск SCADA системы осуществляется



при помощи ярлыка **Asudskk.exe**. В окне пароля, нужно установить пароль, номер смены и пользователя как указано на рис.3.9.

Рис. 3.9

В программе имеется 3 пользователя:

1. Мастер цеха – включает все допустимые возможности оператора, а также может управлять базами данных.
2. Зоотехник – наибольший приоритет. Включает все допустимые возможности мастера цеха и оператора, разрешена работа с сохранением базы данных на носитель информации, а также может управлять компонентами меню «Технологическая информация».
3. Оператор – наименьший приоритет. Может управлять процессом смешивания комбикормов, редактировать и выбирать рецепт к исполнению, вносить данные о приходе со склада. Осуществлять выгрузку базы данных.

Мнемосхема автоматизированного рабочего места оператора изображена на рис. 3.10.

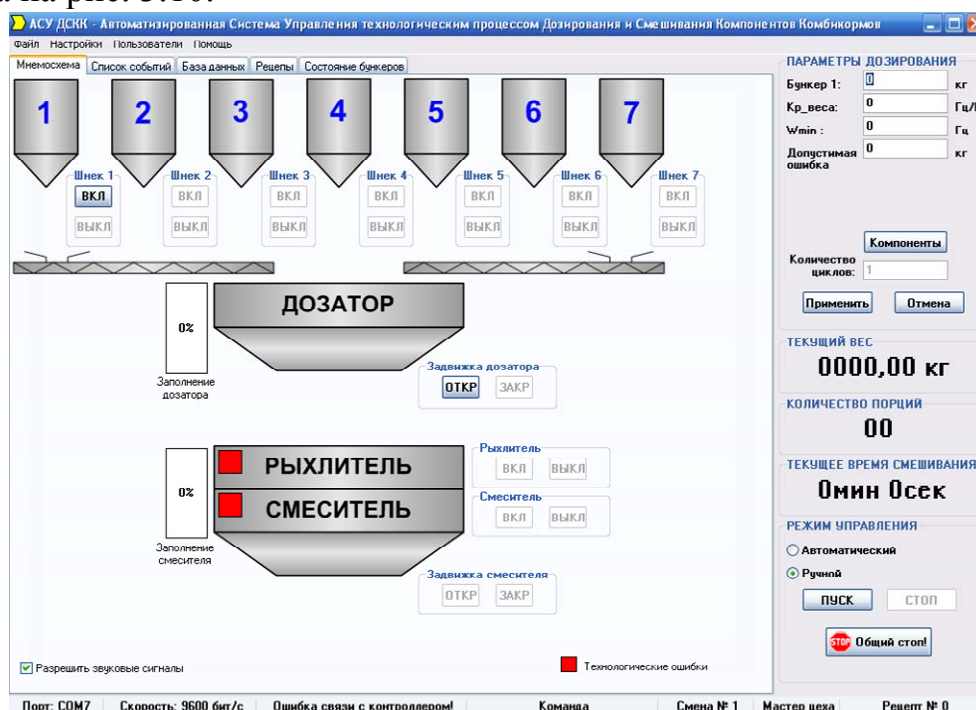


Рис. 3.10. Мнемосхема управления технологическим процессом дозирования в ручном режиме

Главное меню содержит следующие поля:

1. Файл
Загрузить настройки по умолчанию
Выход
2. Настройки
Параметры порта
Тайменги и параметры дозирования
Технологическая информация
3. Пользователи
Смена пользователя

Изменить пароль пользователя

Изменить номер смены

4. Помощь

О программе

Меню «**Загрузить настройки по умолчанию**» – загружает все технологические параметры по умолчанию:

- Продолжительность смешивания – 2мин
- Максимальный дозируемый вес – 1000кг
- Рецепт № 1
- Порт – COM1
- Технологические параметры выставляются по умолчанию (меню «Технологическая информация»)

Меню «**Выход**» – при входе в это меню программа перед выходом сохраняет все текущие параметры, которые были изменены оператором в процессе работы.

Меню «**Параметры порта**» – выбор порта, по которому осуществляется связь с контроллером.

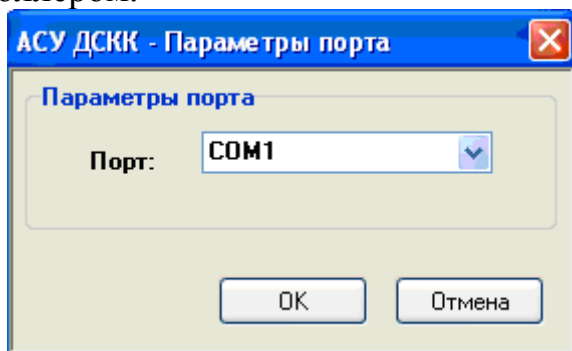


Рис. 3.11. Меню выбора порта

Меню «**Тайменги и параметры дозирования**» – выбор продолжительности смешивания и максимального дозируемого веса.

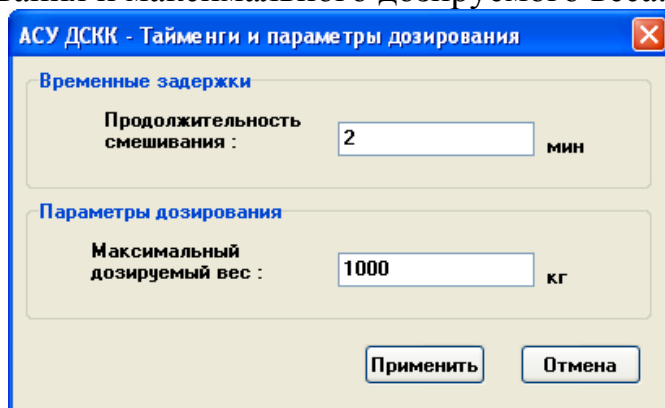


Рис. 3.12. Меню выбора параметров дозирования

Меню «**Технологическая информация**» – выбор параметров работы оборудования, логики обнаружения технологических ошибок (рис. 3.13). Помимо этого данные параметры могут быть использованы для отладки оборудования. Содержит следующие параметры:

1. *Подтверждение срабатывания контакторов* – отключает и включает ожидание контроллером подтверждения срабатывания контакторов. В рабочем режиме опция должна быть включена.

2. *Проверка на перегрузку бункера-дозатора* – контроллер анализирует наличие переполнения бункера-дозатора. В рабочем режиме опция должна быть включена.

3. *Ожидание ответа от ПЧ* – отключает и включает проверку ожидания ответа от преобразователя частоты (ПЧ) при переключении контакторов в цепи управления. При отсутствии связи с ПЧ контроллер выдаст сообщение об ошибке в списке событий. В рабочем режиме опция должна быть включена.

4. *Управление по изменению* – компоненты виртуального пульта динамически изменяются при изменении информации поступающей с контроллера. В рабочем режиме опция должна быть включена.

5. *Автодозирование в ручном режиме* – позволяет в ручном режиме произвести дозирование нажатием только одной кнопки «ВКЛ» принадлежащей требуемому шнеку. Останов дозирования происходит автоматически. При выключении этого параметра, дозирование в ручном режиме лежит полностью на операторе, так оператор должен нажать «ВКЛ» при старте дозирования и «ВЫКЛ» при завершении дозирования. Если кнопка «ВЫКЛ» не будет нажата, то компонент из текущего шнека будет высыпаться до тех пор, пока не будет переполнения бункера-дозатора. В рабочем режиме опция должна быть включена.

6. *Рыхлитель работает* – работает или нет рыхлитель в процессе смешивания компонентов в бункере-смесителе. В рабочем режиме опция должна быть выключена.

7. *Проверка наполнения бункера-дозатора* – включает проверку наполнения бункера дозатора при дозировании. Позволяет обнаружить, пуст или нет бункер с дозируемым компонентом. В случае отсутствия проверки наполнения бункера-дозатора контроль наполнения будет осуществляться по таймауту. Т. е. контроллер выждет некоторое время (в случае, если вес при включенном шнеке не будет изменяться) после чего выдаст ошибку. В рабочем режиме опция должна быть включена.

8. *Проверка выгрузки бункера-дозатора* – проверяет выгрузку смеси из бункера-дозатора. При установленном параметре задвижка дозатора закроется по завершении процесса выгрузки (когда датчик покажет вес равный 0). В случае отмены параметра контроллер будет осуществлять отгрузку по таймауту, что не оптимально по быстродействию. В рабочем режиме опция должна быть включена.

9. *Отгрузка из смесителя по датчику* – при установленном параметре задвижка бункера-смесителя откроется только в случае, если датчик в бункере отгрузки покажет готовность приема следующей дозы. В случае отмены параметра отгрузка из бункера-смесителя будет осуществляться по таймауту, что не оптимально по быстродействию. В рабочем режиме опция должна быть включена. При отсутствии датчика опция должна быть отключена т. к. сигнал готовности никогда не будет снят, даже если бункер отгрузки полон.

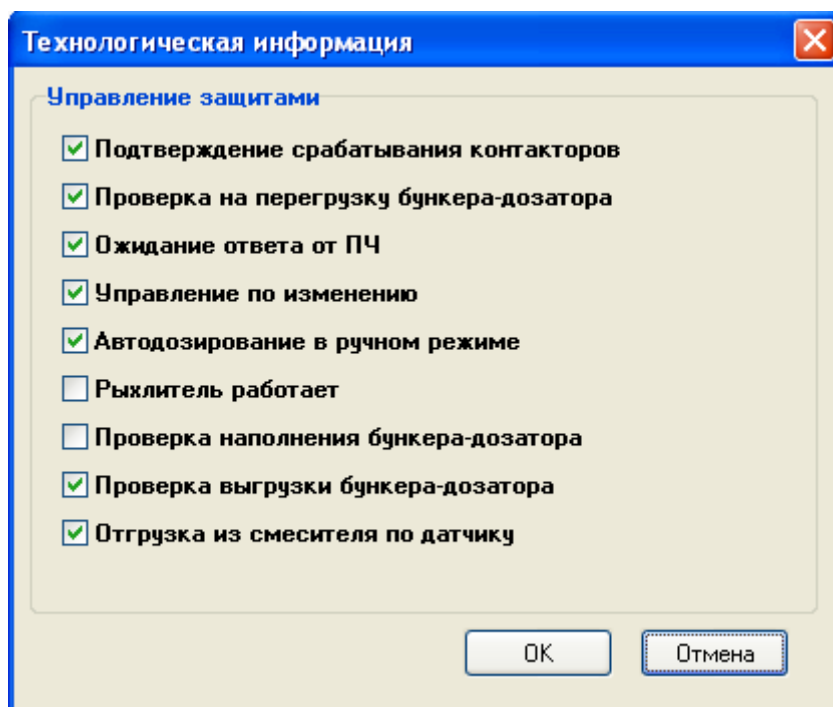


Рис. 3.13. Технологическая информация

Меню «Смена пользователя» – выбор пользователя.

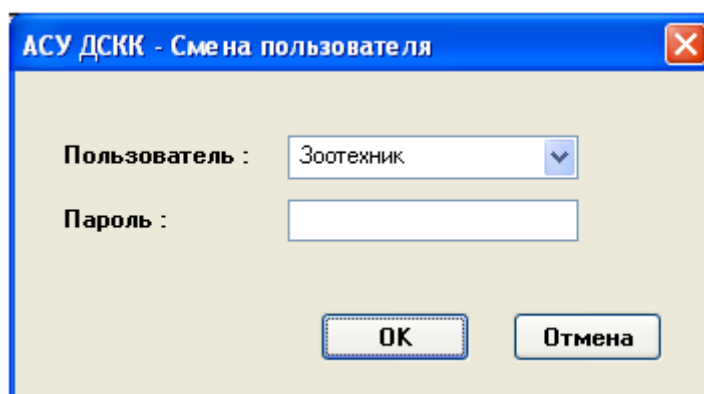


Рис. 3.14. Меню смены пользователя

Меню «Изменить пароль пользователя» – задание нового пароля пользователю.

АСУ ДСКК - Изменение пароля пользователя

Пользователь : Мастер цеха

Старый пароль :

Новый пароль :

Подтверждение пароля :

Сменить Отмена

Рис. 3.15. Меню смены пользователя

Меню «**Изменить номер смены**» – изменение номера текущей смены.

АСУ ДСКК - Изменение номера смены

Номер смены : 1

ОК Отмена

Рис. 3.16. Меню смены пользователя

Автоматизированное рабочее место оператора имеет следующие закладки:

1. Мнемосхема.
2. Список событий.
3. База данных.
4. Рецепты.
5. Состояние бункеров.

Мнемосхема содержит необходимый набор элементов для визуализации и управления техпроцессом. Так мнемосхема ручного режима управления (рис. 3.10) содержит кнопки пуска/останова шнековых питателей, открытия/закрытия задвижек дозатора и смесителя, отображение запретов и разрешений на работу (справа внизу мнемосхемы):

1. Смотровое окно – показывает, открыто (красный цвет) или закрыто (зеленый цвет) смотровое окно.
2. Разрешение на отгрузку – обратная связь с датчика отгрузки готовой продукции (зеленый цвет – датчик показывает, что система готова к отгрузке из бункера-смесителя)

3. Технологические ошибки – отображает наличие технологических ошибок, отображаемых в списке событий.

Наличие красного цвета в одном из 3-х индикаторов говорит об остановке текущего режима и перехода в режим ожидания.

Закладка «Список событий»

Список аварийных событий или неверно заданных оператором команд отображается в закладке «Список событий» (рис. 3.17). При этом каждому событию присвоен свой уникальный номер.

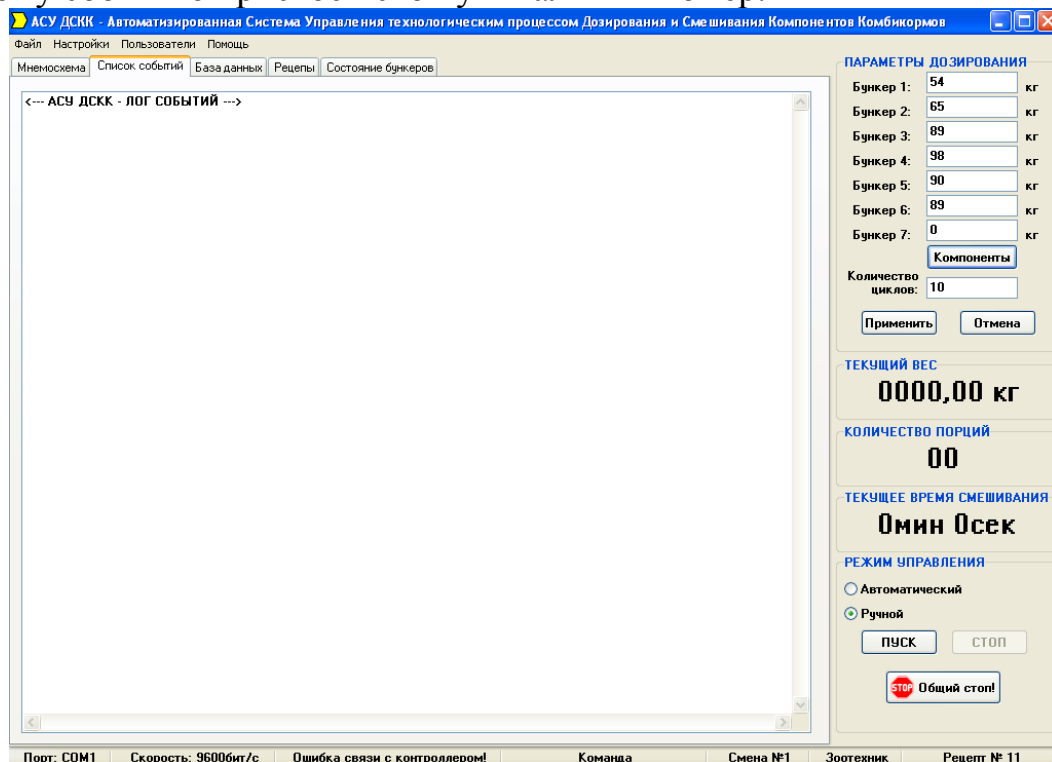


Рис. 3.17. Закладка «Список событий»

Закладка «База данных»

Внешний вид закладки «База данных» приведен на рис. 3.18.

Интерфейс базы данных позволяет пользователю получать текущую информацию о технологическом процессе, данные за прошлый период и управлять базой данных.

Для просмотра информации за предыдущий период следует ввести номер смены, выбрать дату и нажать кнопку «Найти». Для вывода текущей информации нужно нажать кнопку «Показать текущую информацию».

АСУ ДСКК - Автоматизированная Система Управления технологическим процессом Дозирования и Смешивания Компонентов Комбикормов

Файл Настройки Пользователи Помощь

Мнемосхема Список событий База данных Рецепты Состояние бункеров

Поиск в базе данных

12.09.2005 Дата 2 Номер смены Найти Показать текущую информацию

Сырьё

Дата	№ смены	Рецепт		Остаток на начало дня		Приход со склада	Расход в произ-во	Остаток на конце дня
		№	Выработка	№ бункера	Вес	Вес	Вес	Вес
12.09.2005	2	32		1	64282,1	0	0	64282,1
				2	81945,9	0	0	81945,9
				3	38710,7	0	0	38710,7
				4	23662,8	0	0	23662,8
				5	0,9	0	0	0,9
				6	10443,6	0	0	10443,6
				7	0	0	0	0
				8	0	0	0	0
Итого за смену			0		219046	0	0	219046

Заполнить базы данных и обновить информацию

Готовая продукция

Дата	№ смены	Остаток на начало дня	Выработка	Отгрузка	Остаток на конец дня
12.09.2005	2	351115,8	0	0	351115,8

Задать остаток на начало дня

Управление базой данных сырья и продукции

Дата резервирования : 12.09.2005 15:57:02 Дата сохранения на носителе: Дата

Зарезервировать Восстановить

ПАРАМЕТРЫ ДОЗИРОВАНИЯ

Бункер 1: 270 кг
Бункер 2: 300 кг
Бункер 3: 150 кг
Бункер 4: 80 кг
Бункер 5: 100 кг
Бункер 6: 100 кг
Бункер 7: 0 кг

Количество циклов: 5

Применить Отмена

ТЕКУЩИЙ ВЕС

0000,00 кг

КОЛИЧЕСТВО ПОРЦИЙ

00

ТЕКУЩЕЕ ВРЕМЯ СМЕШИВАНИЯ

0мин 0сек

РЕЖИМ УПРАВЛЕНИЯ

☐ Автоматический
☒ Ручной

ПУСК СТОП

СТОП Общий стоп!

Приход со склада

Остатки

1 64282,1
2 81945,9
3 38710,7
4 23662,8
5 0,9
6 10443,6
7 0

Задать остаток на начало дня

Порт: COM7 Скорость: 9600 бит/с Ошибка связи с контроллером! Команда не передана Смена № 2 Мастер цеха Рецепт № 32

Рис. 3.18. Закладка «База данных»

Поступление сырья со склада регистрируется нажатием кнопки «Приход со склада» и заполнением необходимых данных в открывшемся окне.

Для принудительного обновления информации о технологическом процессе необходимо нажать на кнопку «Записать базы данных и обновить информацию».

Ввод данных об отгрузке осуществляется заполнением поля «отгрузка» и последующим нажатием клавиши «Enter» или кнопки «Записать базы данных и обновить информацию».

При необходимости изменения данных об остатке сырья на конце дня следует заполнить поля по бункерам в панели «Остатки» и нажать кнопку «Задать остаток на начало дня». Также можно задать остаток готовой продукции.

Предусматривается возможность резервирования и восстановления базы данных. Для этого имеется панель «Управление базой данных сырья и продукции». Кнопки «Зарезервировать» и «Восстановить» позволяют принудительно резервировать и восстанавливать соответственно базу данных.

Закладка «Рецепты»

Внешний вид закладки «Рецепты» приведен на рис. 3.19.

АСУ ДСКК - Автоматизированная Система Управления технологическим процессом Дозирования и Смешивания Компонентов Комбикормов

Файл Настройки Пользователи Помощь

Мнемосхема Список событий База данных **Рецепты** Состояние бункеров

База данных рецептов

Дата	№ рецепта	1		2		3		4		5		6		7		8	
		Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.	Комп-нт	кг.
25.07.2005	1	Пшеница	300	Ячмень	500	Горох	0	Концент	100	Шрот пш	100	Отруби п	0	0	0	0	0
26.07.2005	2	Пшеница	0	Ячмень	0	Горох	0	Концент	0	Шрот пш	0	Отруби п	0	0	0	0	
27.07.2005	3	Пшеница	300	Ячмень	300	Горох	100	Концент	100	Шрот пш	100	Отруби п	100	0	0	0	
27.07.2005	4	Пшеница	0	Ячмень	0	Горох	0	Концент	0	Шрот пш	0	Отруби п	0	0	0	0	
27.07.2005	5	Пшеница	300	Ячмень	347	Горох	150	Концент	63	Шрот пш	40	Отруби п	100	0	0	0	
27.07.2005	6	Пшеница	300	Ячмень	397	Горох	150	Концент	63	Шрот пш	40	Отруби п	50	0	0	0	
27.07.2005	7	Пшеница	270	Ячмень	300	Горох	150	Концент	100	Шрот пш	80	Отруби п	100	0	0	0	
27.07.2005	8	Пшеница	310	Ячмень	307	Горох	150	Концент	53	Шрот пш	80	Отруби п	100	0	0	0	
27.07.2005	9	Пшеница	0	Ячмень	617	Горох	150	Концент	53	Шрот пш	80	Отруби п	100	0	0	0	
27.07.2005	10	Пшеница	340	Ячмень	417	Горох	0	Концент	63	Шрот пш	80	Отруби п	100	0	0	0	
28.07.2005	11	Пшеница	200	Ячмень	520	Горох	100	Концент	0	Шрот пш	80	Отруби п	100	0	0	0	
28.07.2005	12	Пшеница	300	Ячмень	447	Горох	150	Концент	63	Шрот пш	40	Отруби п	0	0	0	0	
28.07.2005	13	Пшеница	0	Ячмень	0	Горох	0	Концент	0	Шрот пш	0	Отруби п	1	0	0	0	
28.07.2005	14	Пшеница	0	Ячмень	0	Горох	0	Концент	0	Шрот пш	0	Отруби п	1	0	0	0	
27.07.2005	15	Пшеница	300	Ячмень	420	Горох	150	Концент	0	Шрот пш	80	Отруби п	50	0	0	0	

Описание рецепта :

Управление базой данных рецептов

Дата резервирования : 12.09.2005 16:03:26

Режим сортировки

☐ По дате ☒ По номеру рецепта

ПАРАМЕТРЫ ДОЗИРОВАНИЯ

Бункер 1: 270 кг
Бункер 2: 300 кг
Бункер 3: 150 кг
Бункер 4: 80 кг
Бункер 5: 100 кг
Бункер 6: 100 кг
Бункер 7: 0 кг

Количество циклов: 5

ТЕКУЩИЙ ВЕС

0000,00 кг

КОЛИЧЕСТВО ПОРЦИЙ

00

ТЕКУЩЕЕ ВРЕМЯ СМЕШИВАНИЯ

0 мин 0 сек

РЕЖИМ УПРАВЛЕНИЯ

☒ Автоматический
☐ Ручной

Порт: COM7 Скорость: 9600 бит/с Команда не передана Смена № 2 Мастер цеха Рецепт № 32

Рис. 3.19. Закладка «Рецепты»

Интерфейс базы данных рецептов позволяет просматривать имеющиеся в базе данных рецепты и выбирать нужный. Для выбора нужного рецепта необходимо дважды кликнуть левой кнопкой мыши на желаемом рецепте.

Для удаления рецепта следует выбрать нужный и нажать кнопку «Удалить рецепт». Текущий рецепт и отработанные рецепты удалить нельзя.

Предусматривается возможность резервирования и восстановления базы данных рецептов. Для этого имеется панель «Управление базой рецептов». Кнопки «Зарезервировать» и «Восстановить» позволяют принудительно резервировать и восстанавливать соответственно базу данных.

Выбор номера рецепта или ввод нового осуществляется нажатием кнопки

«Компоненты» на пульте управления либо двойным щелчком мыши на поле таблицы базы данных рецептов как описано выше.

В окне «Дозируемые компоненты» выбирается нужный рецепт или задаётся новый с помощью выбора компонент и заполнения полей весов. Для принятия рецепта необходимо нажать кнопку «Применить».

АСУ ДСКК - Дозируемые компоненты

Компоненты рецепта

Номер рецепта: 11 Описание : Проба тестирование

Бункер 1:	Ячмень (Кемин)	54	кг
Бункер 2:	Горох	65	кг
Бункер 3:	Отруби пшеничные	89	кг
Бункер 4:	Пшеница 11%	98	кг
Бункер 5:	Шрот подсолнечный 23	90	кг
Бункер 6:	Концентрат	89	кг
Бункер 7:	Концентрат	0	кг
Суммарный вес:		485	кг

Применить Отмена

Рис. 3.20. Окно компонент

Закладка «Состояние бункеров»

Внешний вид закладки «Состояние бункеров» приведен на рис. 3.21.

Данная закладка позволяет оператору оценить текущее состояние бункеров с дозируемыми компонентами. Помимо процентного содержания каждого бункера индицируется вес в килограммах.

Статусная панель, расположенная внизу автоматизированного места оператора, содержит следующие поля:

1. Порт, по которому установлена связь с контроллером
2. Скорость обмена между ПК – контроллером
3. Наличие (*Connect*) или отсутствие связи (*Ошибка связи с контроллером*) с контроллером
4. Подтверждение отправки команды контроллеру
5. Номер смены
6. Пользователь (*Оператор, Мастер цеха или Зоотехник*)
7. Номер текущего рецепта

Кроме того, в реальном времени отображается состояние бункера-дозатора и бункера-смесителя. Справа от мнемосхемы на рабочем поле

программы отображаются: заданный вес, значение коэффициента регулятора веса, минимальная скорость шнекового питателя на конечной стадии дозирования, допустимая ошибка дозирования, заданное количество циклов дозирования, количество выработанных порций, текущее время смешивания, панель выбора режима управления (ручной, автоматический).

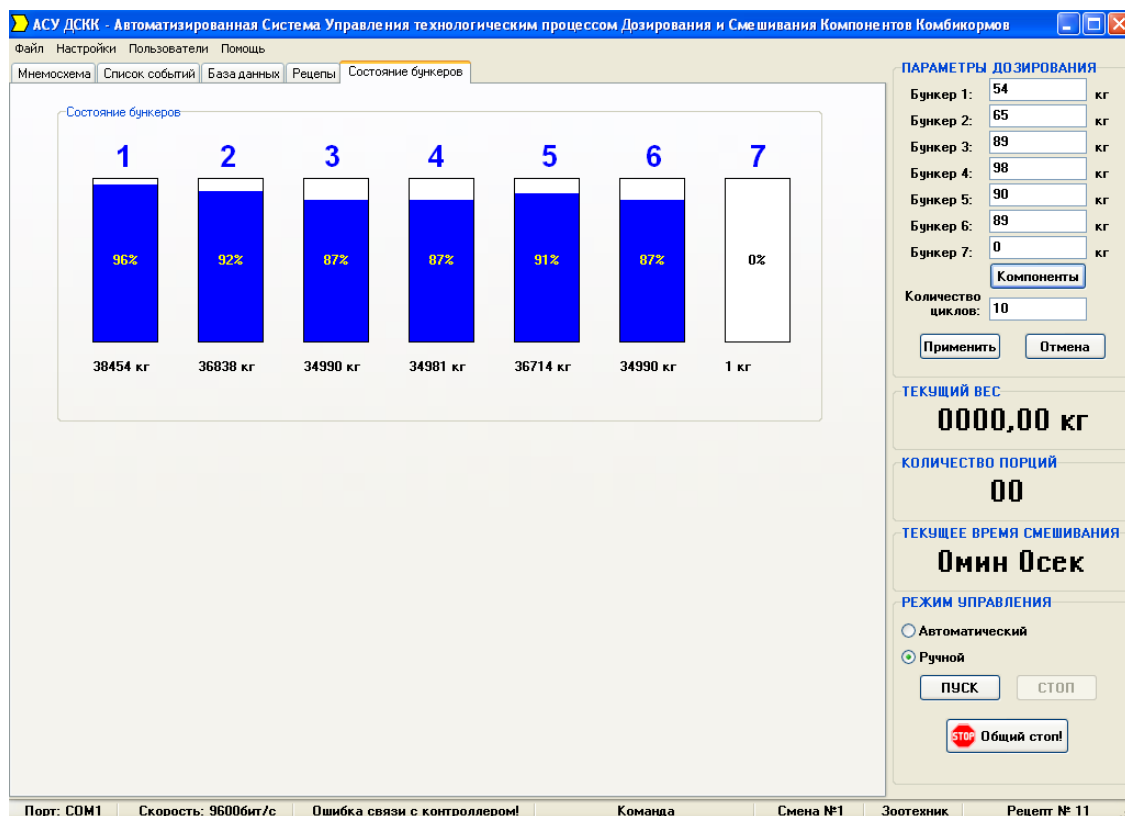


Рис. 3.21. Закладка «Состояние бункеров»

Мнемосхема АРМ оператора в автоматическом режиме изображена на рис. 3.22. При работе в автоматическом режиме, оператор (студент) определяет в правой части мнемосхемы параметры дозирования и нажимает кнопку ПУСК. Двигатель шнекового питателя останавливается автоматически при достижении определенной точности дозирования, автоматически открывается задвижка дозатора и материал перемещается в бункер готовой продукции.

В случае потери связи с персональным компьютером (например, по причине повисания), контроллер выполнит заданное количество циклов дозирования и выйдет в режим ожидания. Терминальная программа на верхнем уровне в свою очередь после перезагрузки компьютера автоматически продолжит работу.

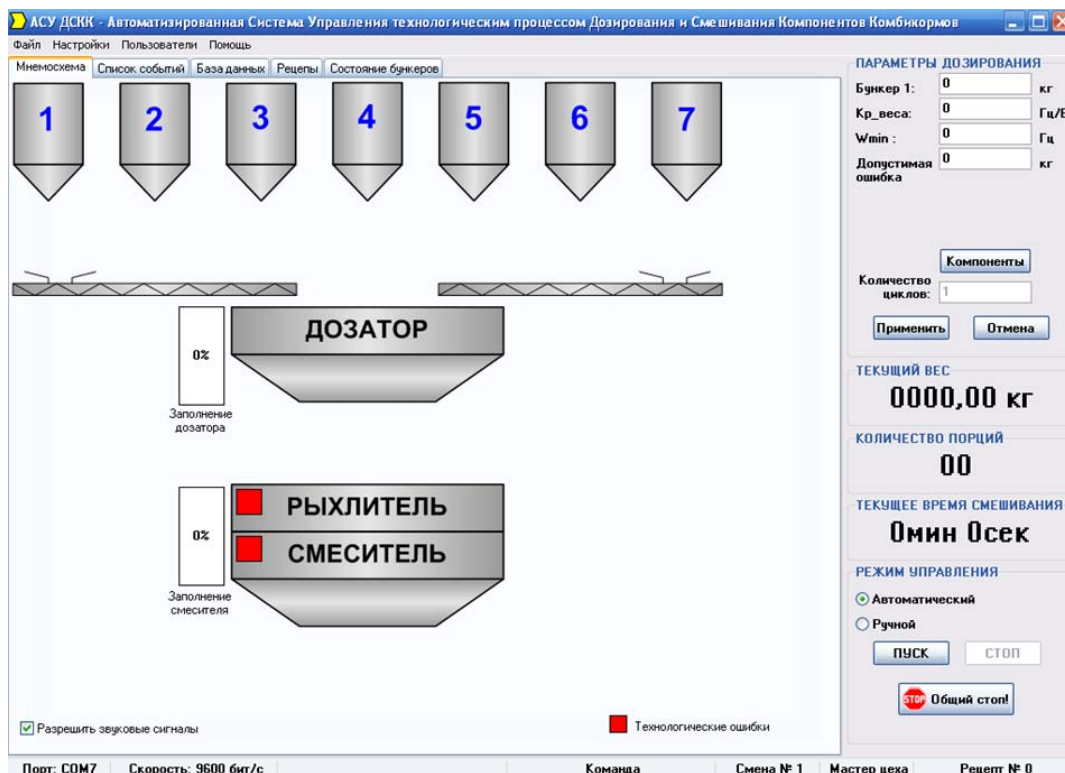


Рис. 3.22. Мнемосхема управления технологическим процессом дозирования в автоматическом режиме

3.10. Математическая модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Имитационная модель системы, разработанная в среде Matlab – 7.0 представлена на рис.3.23.

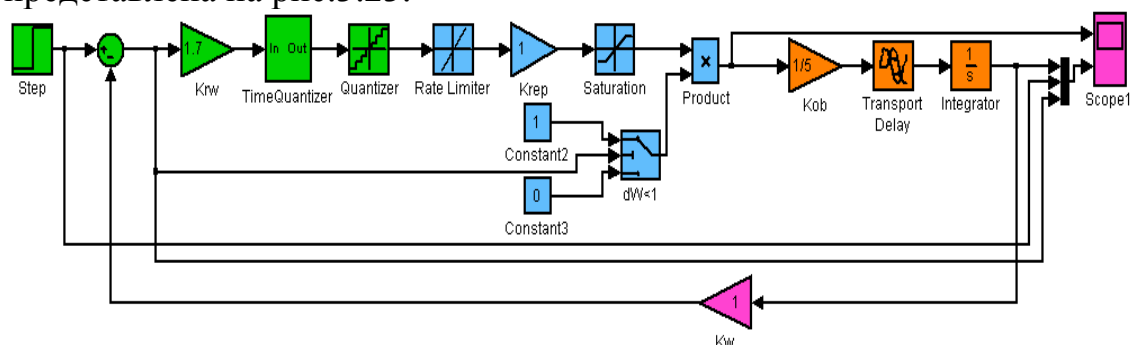


Рис. 3.23. Имитационная модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Здесь оранжевым цветом выделены блоки, моделирующие объект управления – шнековый питатель с заданной производительностью, звено транспортной задержки (время падения дозируемого материала) и

интегратор (растущая масса бункера-дозатора). Голубым цветом выделены блоки, моделирующие преобразователь частоты: задатчик интенсивности на входе преобразователя, пропорциональное звено с коэффициентом равным 1 (заданию 50 Гц соответствует выходная частота преобразователя 50 Гц), ограничение выходной частоты на верхнем и нижнем уровнях, а также блоки, имитирующие отключение электропривода при уменьшении ошибки дозирования ниже заданного уровня. Зеленым цветом выделены блоки задания на вес, регулятор веса и блоки, моделирующие квантование сигнала задания на скорость по времени и уровню. Датчик веса в модели имеет единичный коэффициент передачи.

3.11. Оптимизация контура веса

3.11.1 Определение постоянной времени транспортной задержки

При перемещении материала из шнекового питателя в бункер дозатора, необходимо учитывать массу падающего столба материала, которая прямо-пропорциональна времени падения материала в бункер. Если будем считать, что шнековый питатель расположен непосредственно над дозатором, то путь падения материала определяется геометрическими размерами бункера дозатора.

Объем бункера дозатора определяется по формуле:

$$V = \frac{m}{\gamma_0} \quad (\text{м}^3).$$

γ_0 – насыпная объемная масса материала (кг/м³)

Обычно бункеры дозатора выполняются в виде куба и поэтому высота бункера определяется по формуле:

$$L = \sqrt[3]{V} \quad (\text{м}).$$

Высота падающего столба при перемещении материала из шнека в бункер можно определить по формуле:

$$L = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (\text{м}).$$

t – время падения материала в бункер дозатора.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{g}}$$

При заполнении бункера время t динамически изменяется, но для расчета регулятора веса можно принять постоянную времени транспортной задержки равной $T_{мз} = \frac{t}{2}$.

3.11.2 Оптимизация контура веса

Структурная схема контура веса представлена на рис. 3.24

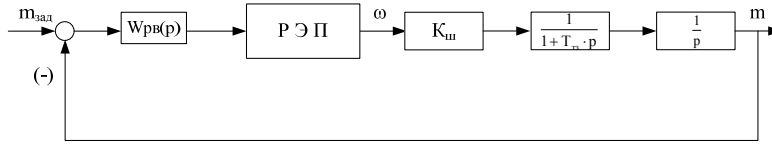


Рис. 3.24. Структурная схема линейризованного контура веса

На рисунке приняты следующие обозначения:

$W_{рв}(p)$ – передаточная функция регулятора веса;

$k_{ш}$ – коэффициент передачи шнека;

$T_{мз}$ – постоянная времени транспортной задержки.

3.11.2.1 Синтез регулятора веса на модульный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{то}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\muв} \cdot p(T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

где $T_{\muв}$ – малая постоянная времени контура веса.

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равную величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\muв} = T_{тз}$.

Протекание процессов по контуру веса имеет медленный характер по сравнению с процессами регулируемого электропривода. Поэтому в данной автоматической системе регулируемый привод (частотный преобразователь) можно представить пропорциональным звеном.

$$K_{рэн} = \frac{\omega_{\max}}{U_{рв \max}}$$

Исходя из формулы для секундной производительности, коэффициент шнекового питателя можно рассчитать по формуле:

$$K_{ш} = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \varphi_n \cdot \gamma_0$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы (рис. 24) определяется следующим образом [10]:

$$W_{разкв}(p) = W_{рв}(p) \cdot K_{рэн} \cdot \frac{k_{ш}}{p} \cdot \frac{1}{1 + T_{мз} \cdot p}$$

отсюда получаем:

$$W_{рв}(p) = \frac{(T_{мз} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{рэн} \cdot 2 \cdot T_{\muв} \cdot (T_{\muв} \cdot p + 1)} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэн} \cdot 2 \cdot T_{\muв}}$$

где $k_{pв} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{pэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв}}$ – коэффициент усиления регулятора веса.

Таким образом, при настройке контура веса на технический оптимум, получаем регулятор веса пропорционального типа с коэффициентом передачи $k_{pв}$.

3.11.2.2 Синтез регулятора веса на симметричный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на симметричный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{то}(p) = \frac{4 \cdot T_{\muв} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\muв}^2 \cdot p^2 (T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

Приравнивая разомкнутую передаточную функцию контура веса к желаемой, можно получить передаточную функцию регулятора веса.

$$W_{pв}(p) = \frac{4 \cdot T_{\muв} \cdot p + 1}{4 \cdot T_{\muв} \cdot p} \cdot \frac{1 \cdot (T_{тз} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{pэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв} \cdot (T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

где:

$$k_{pв} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{pэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв}} \text{ – коэффициент усиления регулятора веса;}$$

$$T_{pв} = 4 \cdot T_{\muв} \text{ – постоянная времени регулятора веса.}$$

Таким образом, при настройке контура веса на симметричный оптимум, с учетом что $T_{\muв} = T_{тз}$, получаем регулятор веса пропорционально-интегрального типа.

3.12. Результаты моделирования

На рис. 3.25 показаны переходные процессы дозирования 25 кг материала. В верхнем окне показан график изменения скорости шнекового питателя. В нижнем окне: желтым цветом выделен текущий вес, розовым цветом – задание на вес и голубым ошибка по весу. Наличие в системе транспортной задержки приводит к тому, что после остановки двигателя, т. е. потере управляемости системы, вес продолжает увеличиваться, как минимум, на величину массы «падающего столба» материала, причем по мере наполнения бункера задержка и, соответственно, масса уменьшаются. Кроме того, масса столба уменьшается пропорционально скорости, предшествующей остановке шнекового питателя. По-

этому конечную часть дозирования целесообразно проводить на пониженной скорости.

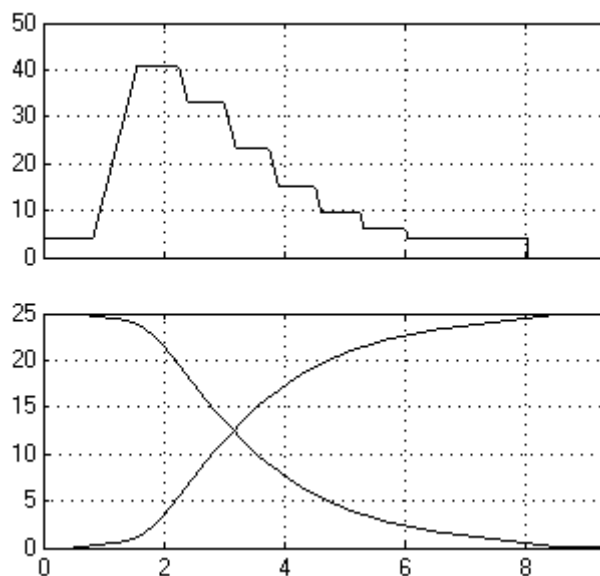


Рис. 3.25. Результаты моделирования

3.13. Программа работы

1. Включить автоматические выключатели AV 1, AV 2, AV 3, AV 4
2. На персональном компьютере, загрузить ярлык  для запуска SCADa системы управления технологическим процессом АСУДСМ.
3. В открывшемся окне выбрать «Оператор» , «Пароль» – 123 и «Смена – 1».
4. Заполнить расходный бункер лабораторной установки дозируемым материалом.
5. На мнемосхеме управления технологическим процессом выбрать Режим управления – «Ручной».
6. Нажать кнопку «Пуск».
7. Выставить параметры дозирования в соответствии с таблицей экспериментов (табл.3.3).
8. Если задвижка бункера дозатора открыта, нажать на мнемосхеме Бункер дозатора – «Закр».
9. Нажать кнопку Шнек1 – «Вкл».
10. По окончании дозирования, нажать кнопку Бункер дозатора – «Откр».
11. Результаты дозирования (время дозирования, текущий вес, ошибка по весу и скорость двигателя шнекового питателя) сохраняются в текстовый файл name1.txt. По результатам эксперимента построить зависимость $m = f(t)$, $\Delta m = f(t)$ и $\omega = f(t)$.

Таблица 3.3

№п/п	К _{рв} , о.е.	m _{зад} , кг	ω _{мин} , ГЦ	Δm _{зад} , кг	Δm, кг	Q, кг/с
1	1	1	0	0		
		1,5	0	0		
		2	0	0		
2	1	1	5	0		
		1,5	5	0		
		2	5	0		
3	1	1	10	0		
		1,5	10	0		
		2	10	0		
4	1	1	0	0,2		
		1,5	0	0,2		
		2	0	0,2		
1	10	1	0	0		
		1,5	0	0		
		2	0	0		
2	10	1	5	0		
		1,5	5	0		
		2	5	0		
3	10	1	10	0		
		1,5	10	0		
		2	10	0		
4	10	1	0	0,2		
		1,5	0	0,2		
		2	0	0,2		
5	20	1	0	0		
		1,5	0	0		
		2	0	0		
6	20	1	5	0		
		1,5	5	0		
		2	5	0		
7	20	1	10	0		
		1,5	10	0		
		2	10	0		

Продолжение табл.3.3						
8	20	1	0	0,2		
		1,5	0	0,2		
		2	0	0,2		
9	50	1	0	0		
		1,5	0	0		
		2	0	0		
		2,5	0	0		
10	50	1	5	0		
		1,5	5	0		
		2	5	0		
		2,5	5	0		
11	50	1	10	0		
		1,5	10	0		
		2	10	0		
		2,5	10	0		
12	50	1	0	0,2		
		1,5	0	0,2		
		2	0	0,2		
		2,5	0	0,2		

12. На мнемосхеме управления технологическим процессом выбрать Режим управления – «Автоматический».

13. Задать Количество циклов – 3.

14. Выставить параметры дозирования в соответствии 1 эксперимента таблицы 1.

15. Нажать кнопку «Пуск».

16. По результатам эксперимента построить зависимость $m = f(t)$, $\Delta m = f(t)$ и $\omega = f(t)$ для каждого цикла дозирования.

17. По методике раздела 12, рассчитать параметры регулятора веса.

18. Выставить параметр рассчитанного регулятора веса в окне мнемосхемы и запустить процесс дозирования. По результатам эксперимента построить зависимость $m = f(t)$, $\Delta m = f(t)$ и $\omega = f(t)$.

19. Для каждого опыта рассчитать ошибку дозирования Δm и производительность Q , кг/с.

20. Построить переходный процесс в имитационной модели в среде Matlab.

4. Изучение программируемого контроллера Siemens Logo!

Цель работы: ознакомиться с программируемым логическим контроллером LOGO, средств и пакетов для его программирования на примере лабораторного стенда.

4.1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1.1 Описание контроллера LOGO!

Серия продуктов LOGO! объединяет в своем составе логические модули LOGO!Basic и LOGO!Pure, модули ввода-вывода дискретных сигналов DM8/DM16, модули ввода и вывода аналоговых сигналов AM2, коммуникационные модули, модули бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока LOGO!Contact, блоки питания LOGO!Power, аксессуары, а также программное обеспечение LOGO!Soft Comfort. Внешний вид контроллеров представлен на рис. 4.1.

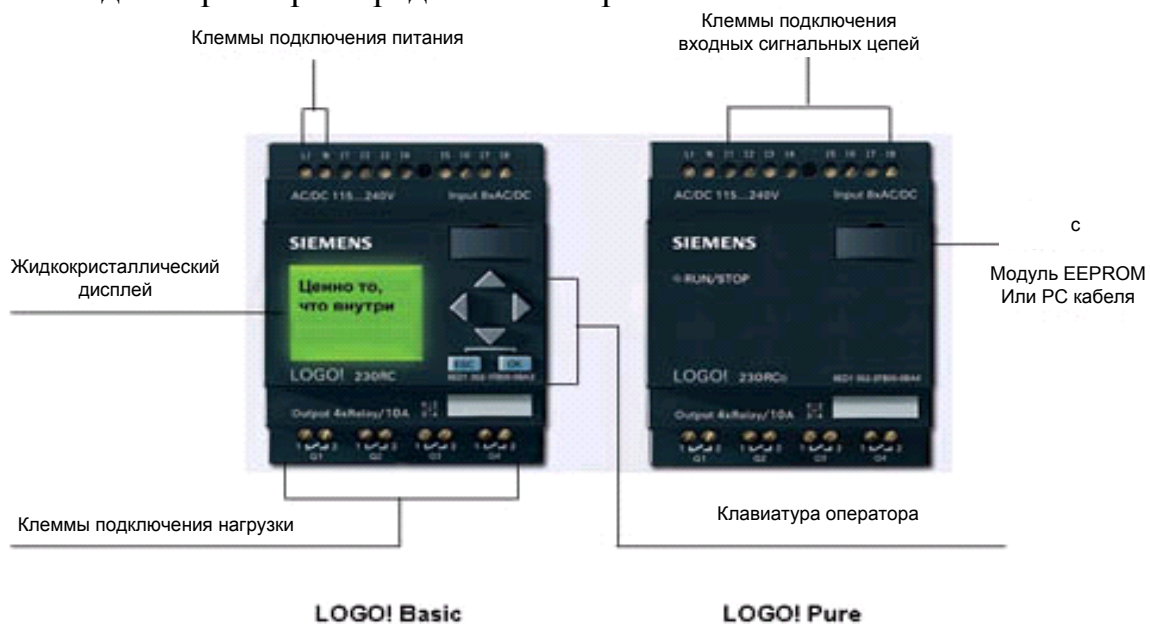


Рис. 4.1. Внешний вид модулей LOGO.

Логические модули LOGO!Basic характеризуются следующими показателями:

- 8 дискретных входов, 4 дискретных выхода.
- 39 встроенных функции, сгруппированные в библиотеки логических (GF) и специальных (SF) функций.
- объем программы до 200 программных блоков.
- 24 внутренних флагов.

- встроенный календарь и часы (кроме LOGO! 24).
- встроенный жидкокристаллический дисплей с поддержкой кириллицы и клавиатура
- интерфейс для установки модуля памяти/батареи или подключения кабеля ПК для программирования с компьютера.
- интерфейс для подключения панели TD LOGO! или соединительного кабеля для аналогового модема.
- интерфейс расширения: до 24 дискретных входов + 8 аналоговых входов + 16 дискретных выходов+2 аналоговых выхода.

4.1.2 Краткое ознакомление с пакетом LOGO!Soft Comfort.

LOGO!Soft Comfort – дружелюбное многоязычное программное обеспечение (включая русский язык) дает возможность писать, тестировать и имитировать, изменять, архивировать и распечатывать программы коммутации с помощью ПК. Можно бесплатно использовать готовые программы или написать и проверить собственную программу на персональном компьютере, а затем передать ее в LOGO! через кабель ПК. Однажды написанная программа может быть использована повторно на других LOGO! LOGO!Soft Comfort обеспечивает вас хорошо скомпонованным рабочим пространством, в котором можно полностью отображать коммутационную программу и изменять ее. Используя панель функций, можно вызывать соединения, основные и специальные функции и просто вставлять их в коммутационную программу. Можете перемещать и комбинировать эти функции в любой последовательности. Документирование легко и удобно для пользователя. Можно добавлять свои комментарии не только к входам и выходам, но и к функциональным блокам. Программы могут быть распечатаны в стандартном виде. Параметры печати позволяют создавать профессиональную документацию. LOGO!Soft Comfort предлагает оперативную помощь в формате PDF. Для работы LOGO!Soft Comfort требуется ПК с приводом CD-ROM и операционной системой Microsoft®, начиная с Windows®95 или Macintosh MAC OS-X или Linux.

С помощью LOGO!Soft Comfort могут быть эффективно и комфортно созданы коммутационные программы для LOGO!. Создание программ происходит путем простого расположения и соединения программных элементов на поверхности программирования.

Особенно удобными, помимо прочего, представляются симуляция программ в режиме оффлайн (Offline), в которой можно одновременно посмотреть статус многих специальных функций, а также профессиональное документирование созданных программ. Внешний вид окна среды LOGO!Soft Comfort представлен на рис. 2.1.

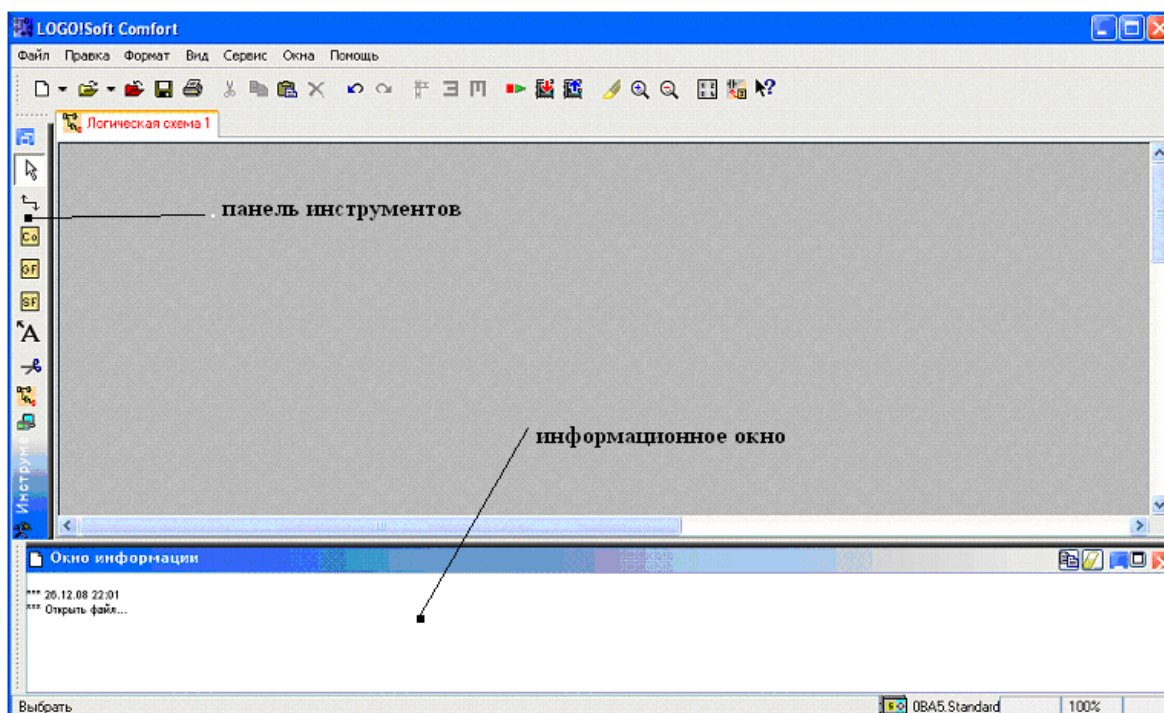


Рис. 4.2. Внешний вид окна среды LOGO!Soft Comfort

Слева находится **Панель инструментов**. Используя предлагаемые здесь символы можно переходить в разные рабочие режимы для быстрой и легкой работы с программой и составления коммутационного плана. Кнопкой мыши можно выделить и передвинуть панель инструментов. Если закрыть панель инструментов, она будет автоматически расположена сверху под линейкой стандартных символов.

Под панелью программирования находится **информационное окно**. В информационном окне отображаются информация и сообщения, возникающие при симуляции программы. Также, модули LOGO!, которые могут быть предложены Вам вызовом функции **Инструменты -> определить LOGO!** как возможные модули для работы программы, отображаются в информационном окне. Обычно, информационное окно открывается вместе с проектом. Кнопкой мыши можно перемещать информационное окно или совсем вывести его за пределы оболочки LOGO!Soft Comfort, так что будет образовано самостоятельное окно.

Ввод новой программы

После того, как была запущена LOGO!Soft Comfort, Можно сразу начать создание новой программы. Для этого, на линейке стандартных символов необходимо щелкнуть по значку «Новый» (рис. 4.3).



-> Новый файл

Рис. 4.3. Иконка открытия нового файла

После этого, LOGO!Soft Comfort откроет новое окно где можно проектировать новую коммутационную схему на свободной панели программирования. Щелчок на маленький указатель на правой стороне кнопки «Новый файл» для открытия LAD или FBD редактора.

Выбор функциональных блоков

Первый шаг создания коммутационной программы состоит в выборе необходимых функциональных блоков для реализуемой схемы (рис. 2.3). Можно выбирать, что расположить на панели программирования сначала: входы или выходы, базовые или специальные функции, порядок их появления на форме не имеет значения.



Рис. 4.4. Выбор функциональных блоков

На панели инструментов под символом Co возможно найти соединительные элементы и константы, т. е. входы, выходы и постоянные уровни сигнала. Под символом GF возможно найти базовые функции булевой алгебры или простые логические элементы. Блоки специальных функций находятся под символом SF. Возможно также вызывать соответствующие функциональные группы Быстрыми клавишами.

Панель инструментов моделирования и окно состояния

При входе в режим эмуляции раскрывается панель инструментов (рис. 4.5). Она содержит

следующие значки:

- значки (например, переключатели) для управления операторами входа;
- значок для эмуляции отказа питания, для испытания коммутационного отклика с учетом характеристик сохранения после аварии питания;
- значки (например, лампочки) для контроля выходов;
- значки для управления эмуляцией управления временем;
- значки для управления временем;

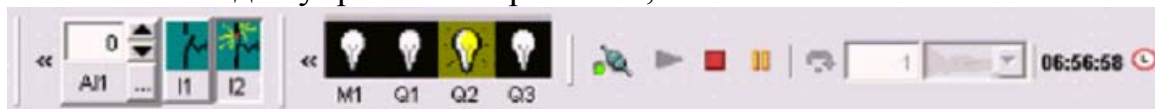


Рис. 4.5. Панель инструментов моделирования и окно состояния

Нажмите << для того, чтобы скрыть часть панели инструментов. Для возобновления отображения этой области нажмите >>.

Организация панели инструментов

Можно перемещать эту панель инструментов входов и выходов влево, вправо, вверх или вниз на интерфейсе программирования, как и в случае других панелей инструментов. Если программа является исключительно большой и содержит множество входов и выходов, также можно перетаскивать и открывать значки входов и выходов по отдельности за пределами программы LOGO!Soft Comfort в отдельных окнах. Это обеспечивает понятную компоновку выполняемой эмуляции.

Управление эмуляцией

Таблица 4.1 -Значки для управления эмуляцией

	Запуск эмуляции
	Остановить эмуляцию
	Приостановить эмуляцию (пауза)

Если была запрограммирована зависящая от времени схема, возможно воспользоваться органом управления временем для контроля за реакцией вашей коммутационной программы.

Управление временем

Таблица 4.2

Значки для управления временем

	Начало эмуляции до истечения конкретного времени или числа циклов Задайте период и число циклов при помощи следующих значков.
	Выберите период и опорное время для ограниченной по времени эмуляции или задайте конкретное число циклов.
	Отображение текущего времени в программе LOGO!Soft Comfort
	Изменение текущего времени в программе LOGO!Soft Comfort

Запись программы в модуль LOGO!

Для записи готовой программы в модуль LOGO! Необходимо произвести следующие операции:

- 1) воткнуть шнур соединения LOGO! с ПК сначала в компьютер, затем в контроллер LOGO!
- 2) запустить программу LOGO!Soft Comfort
- 3) открыть нужный вам файл в меню: **Файл – Открыть**
- 4) перейти в меню: **Сервис – Передача – ПК -> LOGO!** (или сочетанием клавиш Ctrl+D)

После проделанных операций появится окно, в котором будет отображаться информация по пересылке программы.

!!! Примечание.

При попытке записи программы в контроллер убедитесь в том, что в памяти контроллера есть хотя бы один функциональный блок. Если его нет – введите вручную (инструкция по вводу приведена выше). В противном случае контроллер не будет определяться на ПК, и при попытке записи программы будет выдаваться ошибка.

4.1.3 Описание лабораторного стенда

Как было сказано выше, контроллер LOGO! имеет 8 входов и 4 релейных выхода. При выполнении лабораторной работы необходимо задействовать их все. Лабораторный стенд содержит следующее оборудование:

- шкаф для размещения оборудования;
- контроллер LOGO! фирмы Siemens;
- источник питания постоянного тока 24В для питания светодиодов;
- автоматические выключатели в цепи 220В переменного тока;
- ручные переключатели для входных сигналов 0/220 В;

В качестве наглядного срабатывания реле на стенде использованы четыре светодиода разного цвета, которые выведены на переднюю панель. Каждый из светодиодов подключен к своему реле (выходу контроллера) и загорается только при его срабатывании.

Восемь ручных переключателей на передней панели служат для подачи сигналов на вход контроллера. Электрическая схема соединений лабораторного стенда приведена на рис. 3.1.

Для соединения контроллера с ПК используется последовательный порт RS 232 и программное обеспечение LOGO! Soft Comfort фирмы Siemens.

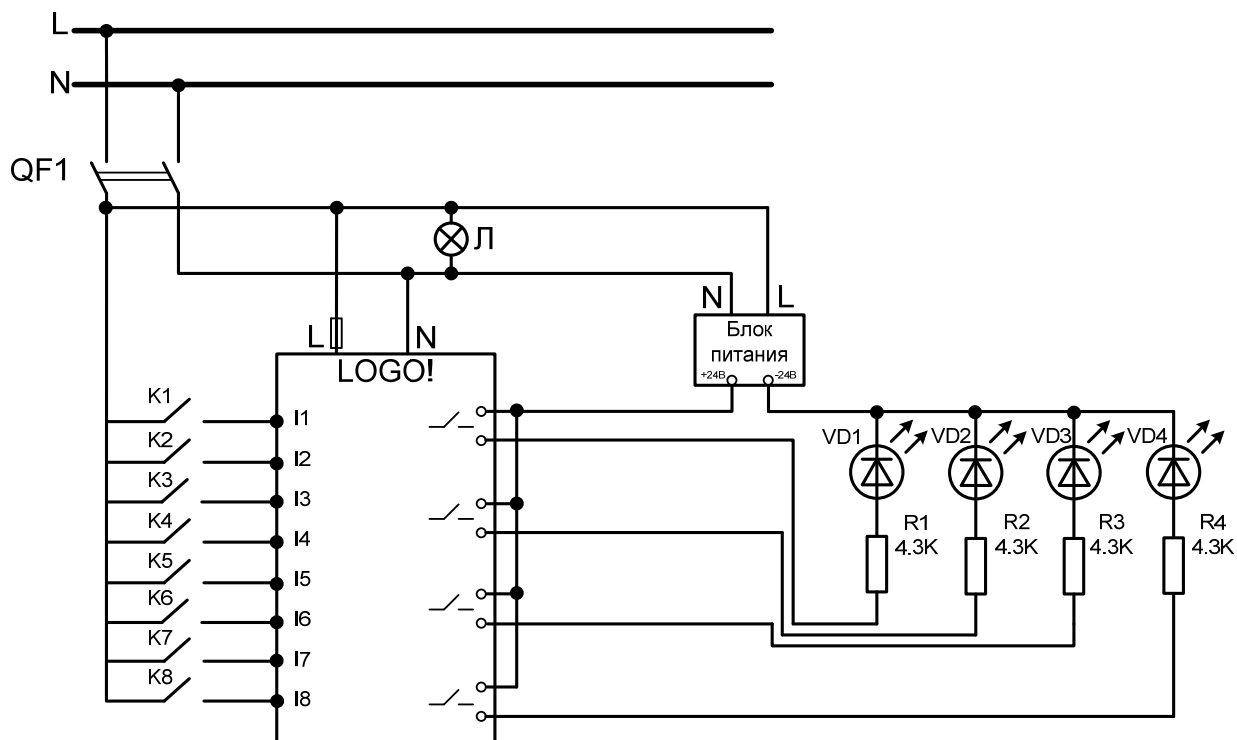


Рис. 4.6. Электрическая схема соединений лабораторного стенда

Подача питания на стенд осуществляется при помощи пакетного выключателя QF1. При включении QF1 запитывается контроллер, блок питания, лампа для освещения, а также фаза напряжения прикладывается к группе ключей K1 – K8 на лицевой панели. Для начала работы на контроллере LOGO! Необходимо выбрать опцию «Start» для запуска заранее предустановленного алгоритма работы.

!!! Примечание.

После подачи питания на стенд и установки контроллера в режим «Start» необходимо закрыть дверцу передней панели на ключ.

При отключении питания не обязательно переводить контроллер в режим «Stop» и при следующем включении контроллер автоматически установится в режим «Start».

4.2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Для создания схемы выполните следующее:

- 1) Запустите программу LOGO! Soft Comfort и задайте в меню Файл – Создать – Функциональная блок схема (FBD).
- 2) Разместите на форме необходимые блоки

- 3) Запустите эмуляцию, для проверки правильности собранной схемы
- 4) Зашейте программу в контроллер

Схема № 1

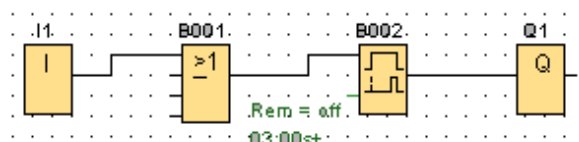


Рис. 4.7. Схема с задержкой коммутации.

Согласно методике для создания схемы показанной на рисунке 4.7 выполните следующее :

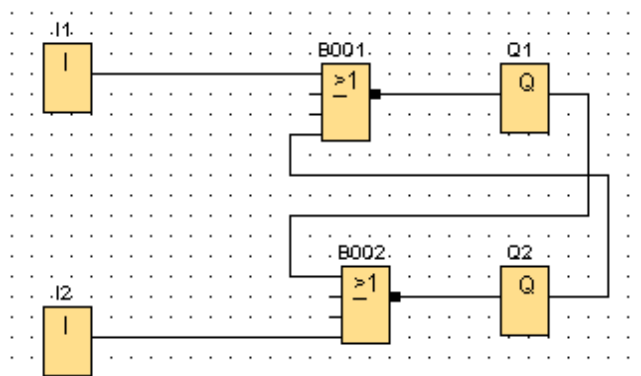
- 1) Запустите программу LOGO! Soft Comfort и задайте в меню Файл – Создать – Функциональная блок схема (FBD).
- 2) Разместите на форме блоки как показано на рис. 4.7. Блок I1 расположен в меню «Постоянные и соединители» ( или клавиша F6) на панели инструментов. Блок B001 можно найти в меню «Базовые функции» ( или клавиша F7), а блок B002 – в меню «Специальные функции» ( или клавиша F8). В данной схеме I1 – это блок, имитирующий вход контроллера и на него можно подать логические 1 или 0 (далее просто 1 или 0). Далее идет блок B001 – элемент ИЛИ. За ним следует блок B002 – временное реле с задержкой на срабатывание. В конце схемы располагается блок Q – имитирует выход контроллера.
- 3) Для запуска имитирования работы схемы необходимо на панели инструментов найти кнопку «Эмуляция» ( или нажать клавишу F3). При запуске эмуляции внизу появляется окно состояния, в котором можно задавать параметры эмуляции, время и т. д. В окне состояния имеется кнопка с названием соответствующего входа, при нажатии на которую на схему будет подаваться 1 и схема «запустится» (в данном случае кнопка I1). Далее измените время срабатывания реле B002 на 3 секунды и посмотрите что произойдет (для изменения параметров блока необходимо дважды щелкнуть по нему мышью и в появившемся окне поменять нужные параметры).

Работа схемы заключается в том, что при подаче 1 на вход контроллера сигнал пройдет через блок ИЛИ (B001) на реле с задержкой на

срабатывание (B002). По мере истечения времени срабатывания реле выдаст 1 на выход контроллера (это означает, что в окне состояния загорится лампа Q1, а на контроллере работает выходное реле).

Описанный выше алгоритм запуска и построения схемы постоянный для всех видов схем, поэтому в дальнейшем рассматриваться не будет.

Схема № 2



Рису. 4.8. Схема обычного RS – триггера выполненного на элементах ИЛИ-НЕ

На рисунке 4.8 представлена схема обычного RS – триггера выполненного на элементах ИЛИ-НЕ со взаимными перекрестными связями. Функция, описывающая работу такого триггера, выглядит так: $Q1 = \overline{I1 + Q2}$, а $Q2 = \overline{I2 + Q1}$. Такая схема может заменить RS-триггер за неимением последнего.

Смена состояния триггера происходит только при чередовании сигналов низкого уровня на входах I1 и I2. При этом, если такие сигналы поступят на оба входа одновременно, то после их прекращения состояние триггера станет неопределенным (состояние $Q1 = 0$ или $Q2 = 1$ равновероятно). Поэтому одновременная подача сигналов низкого уровня на оба входа приведет к бесконечному переключению выходных реле.

Схема № 3

На рис. 4.9 представлена схема, которую можно использовать как «школьный звонок». Схема собрана из двух недельных таймеров B03 и B05, элемента ИЛИ B002, реле с задержкой на срабатывание B004 и блока ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ B001. Таймеры настроены таким образом, что каждый день с понедельника по пятницу в определенное время

будут выдавать сигналы 1 через блок ИЛИ B002 одновременно на элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ B001 и реле B004. Выходное реле Q1 контроллера сработает и замкнет цепь звонка. Реле B004 по истечении времени 10с (настраивается по желанию) выдаст 1 на элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ B001. На входах элемента B001 окажутся 2 единицы, он выдаст 0 на выход и цепь разомкнется. Попробуйте собрать схему и настроить таймеры на срабатывание через каждую минуту, начиная с настоящего времени, которое сейчас у вас на часах (для того, чтобы видеть работу таймеров и не ждать день).

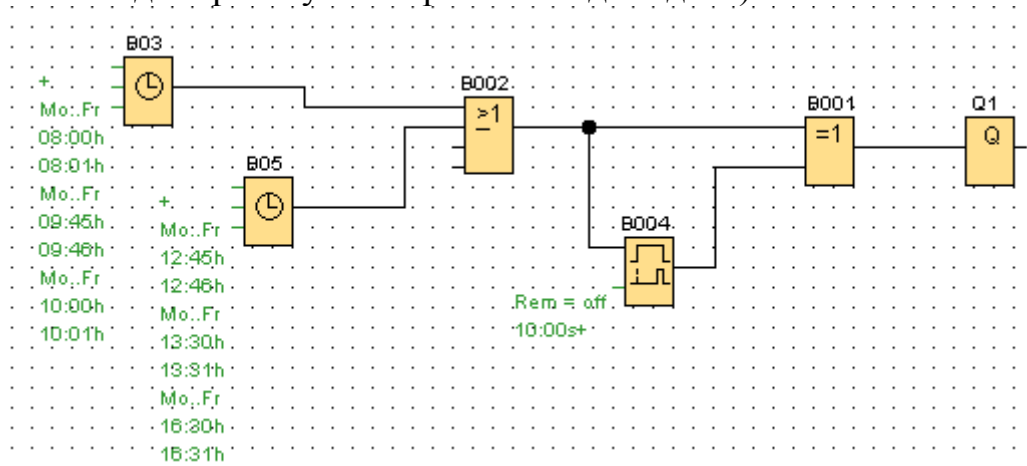


Рис. 4.9. Схема «школьный звонок»

Схема № 4

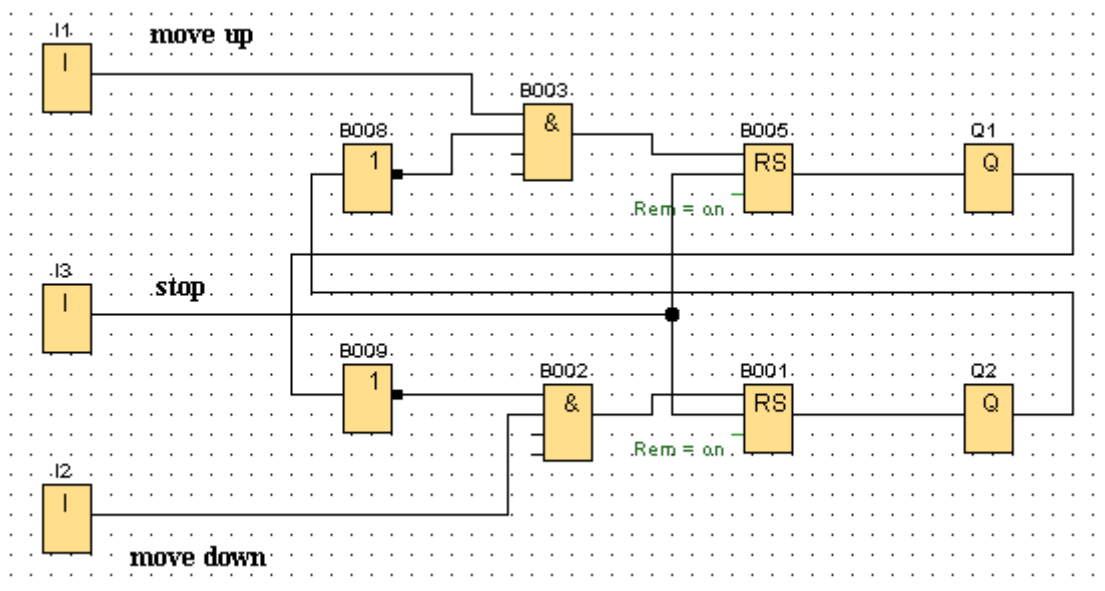


Рис. 4.10. Схема для управления реверсивным приводом.

На рис. 4.10 представлена схема, которую можно применить для управления реверсивного привода. Построена схема на трех кнопках без фиксации (I1, I2, I3), двух RS-триггерах (B005 и B001), двух элементах

И (B003 и B002), а также на двух инверторах (B008 и B009). Настроить входы на импульсную работу можно щелкнув по ним дважды и выбрав меню эмуляция – кнопка без фиксации (замыкающая).

При нажатии кнопки «**move up**» (вход I1) на выход Q1 поступит 1 через блок И (B003) и RS-триггер (B005). Триггер запомнит 1, выдаст ее на выход Q1. В это время на инвертор B009 подается 1 с выхода Q1 и после инвертора выходит 0. Выход Q2 будет выключен. Теперь, пока работает выход Q1, невозможно включить выход Q2 (типа «блокировка»). Для этого необходимо нажать кнопку «**stop**». При ее нажатии на входы обоих RS-триггеров поступает сигнал на сброс (через ножку R) и происходит отключение задействованного выхода. Аналогичная ситуация будет и с выходом Q2. При нажатии на кнопку «**move down**» на выход Q2 поступит 1 через блоки И (B002) и RS-триггер (B001). На выходе канала Q1 будет 0.

Схема № 5

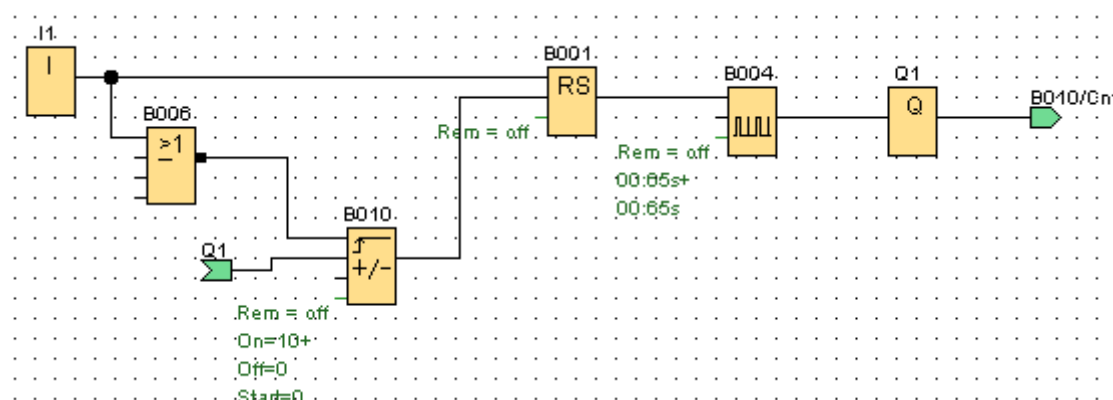


Рис. 4.11. Схема с реверсивным счетчиком и генератором импульсов

На рис. 4.11 представлена схема с реверсивным счетчиком и генератором импульсов. Схема содержит в себе RS-триггер (B001), асинхронный генератор импульсов (B004), счетчик импульсов (B010) и элемент ИЛИ-НЕ (B006).

При подаче 1 на вход контроллера I1 она поступает на RS-триггер (B001) и блок ИЛИ-НЕ (B006). Триггер запоминает сигнал и передает 1 дальше на генератор импульсов (B004) и через него на выход Q1. Генератор начинает выдавать импульсы длительностью 0,65с. (настраивается по желанию), которые через выход Q1 поступают на счетчик импульсов (B010). После того, как счетчик отсчитает 10 импульсов (настраивается по желанию), он выдаст 1 на ножку R RS-триггера, и триггер сбросится в 0. Схема обнулится при отключении входа I1.

Схема № 6

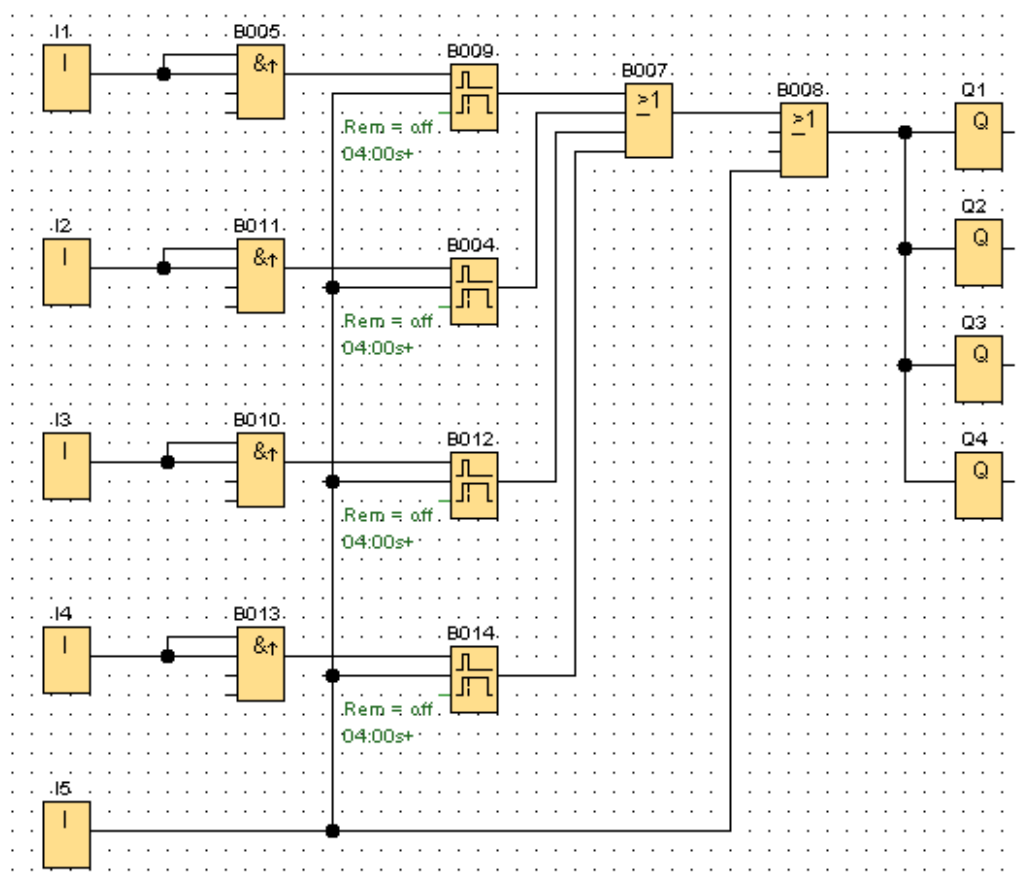


Рис. 4.12. Схема для освещения лестничного пролета

На рис. 4.12 показана схема для освещения лестничного марша четырехэтажного здания. Схема предусматривает 4 датчика на движение, представленных в схеме как входы I1-I4, 4 реле с задержкой на отключение (B009, B004, B012, B014), 4 элементов И-НЕ, которые срабатывают по фронту (выдают импульс сигнала, а не постоянный сигнал), двух элементов ИЛИ (B007 и B008), а также четырех выходов (Q1-Q4).

Работа схемы. При подаче 1 на вход контроллера I1 она поступает на два входа блока ИЛИ (B005). Блок выдаст импульсную 1, которая поступит на реле с задержкой на выключение (B009) и запустит реле, далее на блоки ИЛИ (B007 и B008) соответственно, а дальше на выходы Q1-Q4 одновременно. Т. е. лампы загорятся сразу на всех этажах и погаснут тогда, когда реле B009 отсчитает выдержку времени на выключение.

Аналогично, если сигнал поступит на любой другой вход (I1-I4). Вход I5 служит для того, чтобы в ручном режиме можно было включить свет в случае поломки датчиков. При подаче сигнала на вход I5 сигнал поступит на все реле с задержкой времени и обнулит их счетчики, а также через блок ИЛИ (B008) на 4 выхода Q1-Q4.

Схема № 7

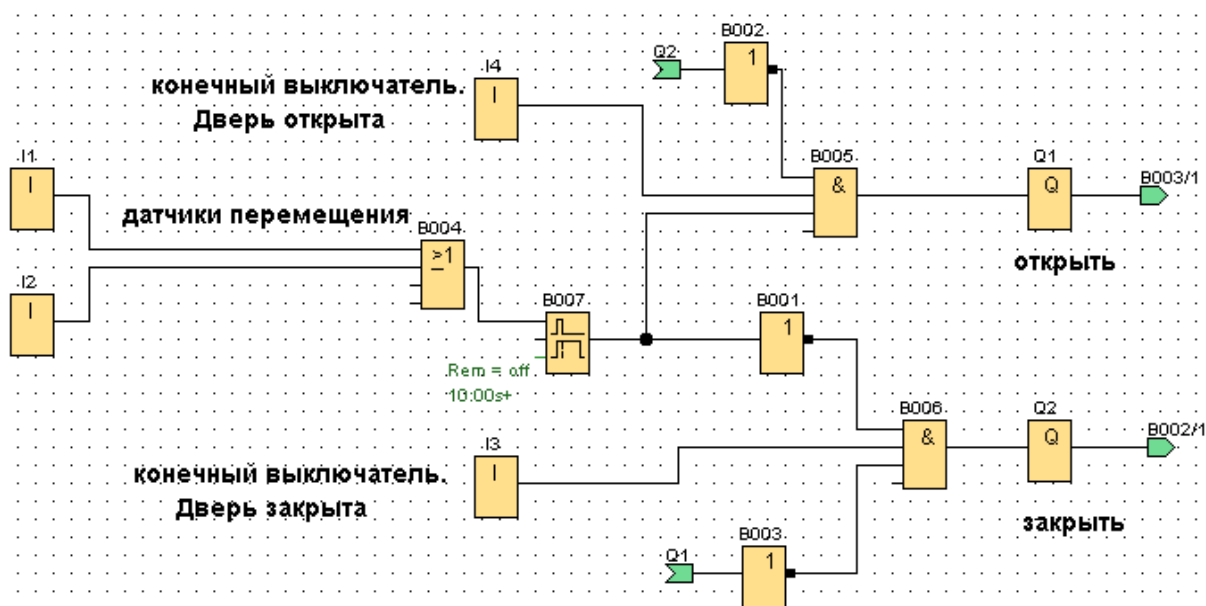


Рис. 4.13. Схема для автоматического открытия/закрытия дверей

На рис. 4.13 представлена схема для автоматического открывания дверей магазина, супермаркета, офиса и т. д. Схема содержит в себе три инвертора (B001, B002 и B003), два элемента И (B005 и B006), одно реле с задержкой на отключение (B007), одного элемента ИЛИ (B004), четырех входов и двух выходов. Входы I1 и I2 имитируют сигналы от инфракрасных датчиков внутри и снаружи помещения, а входы I4 и I5 – конечные выключатели соответственно на закрытие и открытие.

Работа схемы. Предположим, что дверь закрыта. На конечном выключателе I3 стоит 0, т. к. дверь стоит на нем, а на конечном выключателе I4 наоборот 1, т. к. с него дверь съехала при закрытии. Таким образом, при подаче сигнала любым из датчиков положения на входы I1 или I2 произойдет следующее: импульсная 1 пройдет через блок ИЛИ (B004) на реле B007. С реле 1 идет одновременно на инвертор (B001) и элемент И (B005). На входе элемента И будет три 1 и он выдаст сигнал на открытие двери (Q1), в то время как инвертор B001 заблокирует сигнал на закрытие. В это время дверь съедет с датчика «дверь закрыта» и на входе I3 появится 1. После отсчета времени, реле выдаст 0, дверь наедет на датчик «дверь открыта» и на входе I4 появится 0. На входе элемента И (B006) появится три единицы и дверь начнет закрываться, пока не наедет на датчик «дверь закрыта». После этого система вернется в исходное состояние. Если дверь находится в промежуточном состоянии между открытием и закрытием и поступит сигнал от датчиков положения, то дверь сразу начнет открываться с того состояния, в котором находилась.

Схема № 8

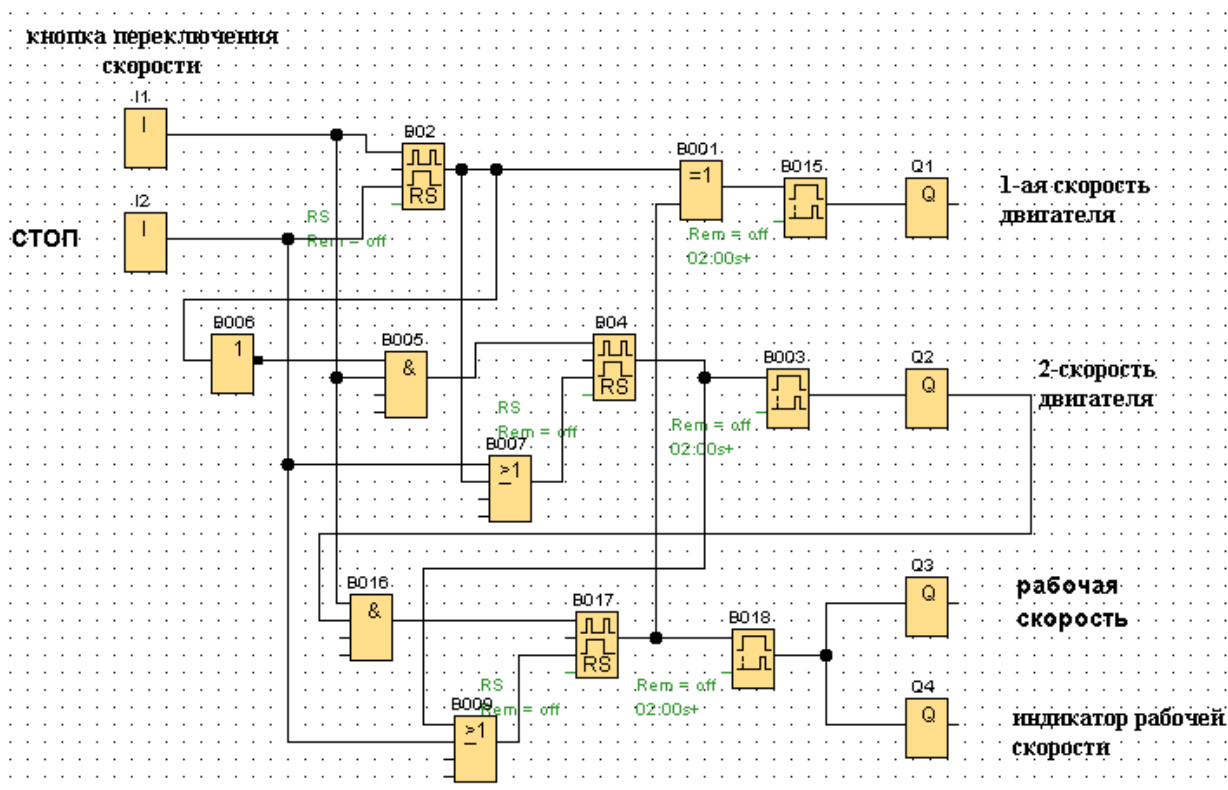


Рис. 4.14. Схема пуска двигателя в 3 ступени

На рис. 4.14 приведена схема для пуска двигателя в 3 ступени. Схема построена на 3 импульсных реле (B02, B04 и B017), 3 реле с задержкой на включение (B015, B003, B018), 2 элементах И (B016, B005) и ИЛИ (B007, B009), а также на одном инверторе B006 и элементе ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ B001.

Работа схемы. При подаче импульсной 1 на вход I1 происходит переключение импульсного реле B002 и дальше через блок ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (B001) импульсная единица поступает на реле с задержкой на включение. По истечении времени включится выход Q1 (первая скорость). При повторном нажатии на «кнопку переключения скорости» импульсная 1 вновь поступит на вход I1. Теперь реле B002 отключится (при этом отключив выход Q1 через блоки B001 и B015), и одновременно импульсная 1 поступит на блок ИЛИ (B005). Таким образом, на входе блока будет две 1 (первая – от инвертора B006) и блок выдаст 1 на вход импульсного реле (B04). Реле запустится и выдаст 1 на реле с задержкой на включение (B003) и выдаст 1 на выход Q2 (2-ая скорость двигателя). При следующем поступлении на вход I1 импульсной единицы, произойдет отключение импульсного реле второй скорости (B04) и включение импульсного реле третьей скорости (B017) через блок И (B016). На входе которого будет две 1. Далее, подобно выше-

описанному, произойдет отключение второй скорости и запуск реле с задержкой на срабатывание (B018). По мере отсчета времени реле выдаст 1 на выход Q3 (двигатель выходит на 3 – рабочую скорость). Выход Q4 предназначен для сигнализирования, что в данный момент двигатель вращается на рабочей скорости.

При возникновении аварии необходимо задействовать вход I2. При поступлении сигнала на этот вход, все импульсные реле сбросятся на 0 и отключат все выходы.

4.3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с кратким описанием контроллера LOGO! и средств его программирования
2. Включить лабораторный стенд под руководством преподавателя.
3. Собрать три любые схемы из приведенных в пункте «примеры коммутационных схем» (по усмотрению преподавателя), проверить их на работоспособность.
4. Собрать одну схему, отличающуюся от приведенных, но содержащую не менее 8–10 блоков.
5. Написать выводы по проделанной работе.

Содержание отчета:

- 1) цель работы;
- 2) краткое теоретическое описание работы и стенда;
- 3) изображения собранных 3 схем (по усмотрению преподавателя) и снятые скриншоты во время включения выходов в среде LOGO! Soft Comfort.
- 4) Описание, изображение и принцип работы схемы, собранной самостоятельно.
- 5) выводы по работе.

СОЕДИНЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРА

В качестве МПС верхнего уровня в САР температуры на базе ПЧ «ВЕСПЕР» используется программируемый контроллер на базе микроконтроллера Intel 80C196КС. Внешний вид контроллера и программирующей ЭВМ высшего уровня представлен на рис. П1.1.

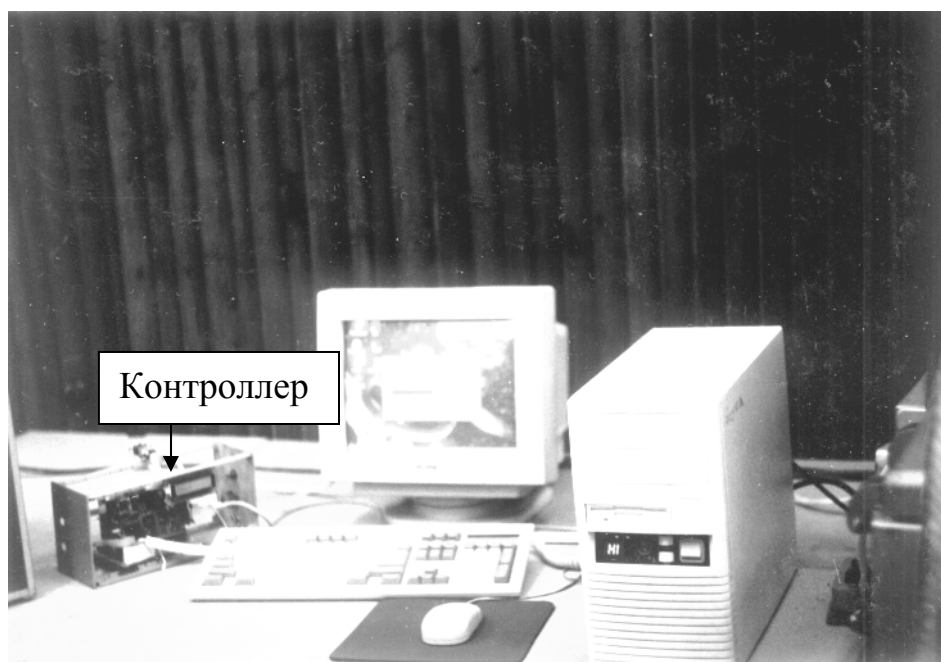


Рис. П1.1. Внешний вид контроллера и ЭВМ высшего уровня

Контроллер содержит в себе две платы, связь между которыми осуществлена с помощью третьей кросс-платы, на которой имеется 8 параллельных разъемов. Используемые платы присоединяются своей ответной частью к соответствующим разъемам. Внешний вид основной и дополнительной плат контроллера приведен на рис. П1.2, П1.3.

Для функционирования контроллера как МПС верхнего уровня в САР температуры в контроллере нужно осуществить соответствующее подключение дополнительной платы контроллера путем соединения соответствующих ответных частей разъемов, показанных на рис. П1.3:

- A2.1-XP6* и *X6* (разъем *X6* на кросс-плате);
- A2.1-XP7* и *X7* (разъем *X7* на кросс-плате);
- A2.1-XS8* и *A2.0-XP8* (разъем *A2.0-XP8* показан на рис. П1.2);
- A2.1-XP11* и *A2-XS11* (разъем *A2-XS11* расположен внутри корпуса контроллера);
- A2.1-XP9* – остается свободной.

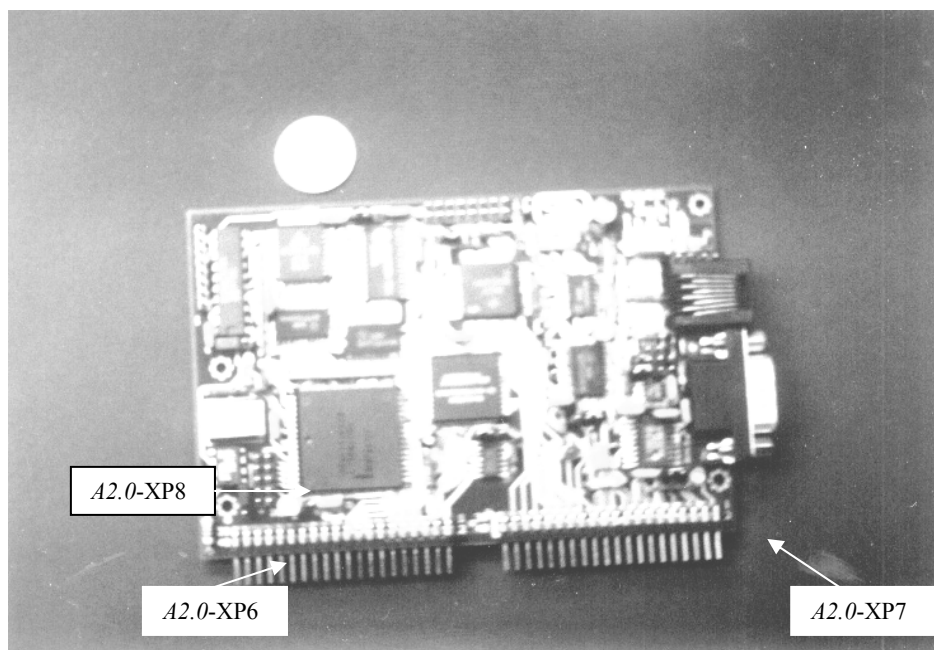


Рис. П1.2. Внешний вид основной платы контроллера – *A2.0*

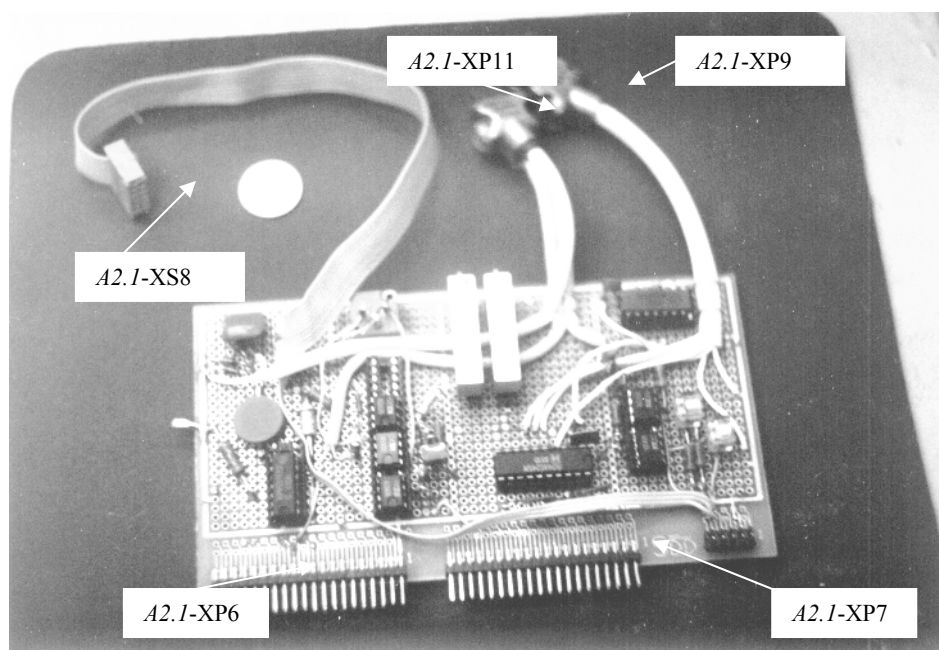


Рис. П1.3. Внешний вид дополнительной платы контроллера – *A2.1*

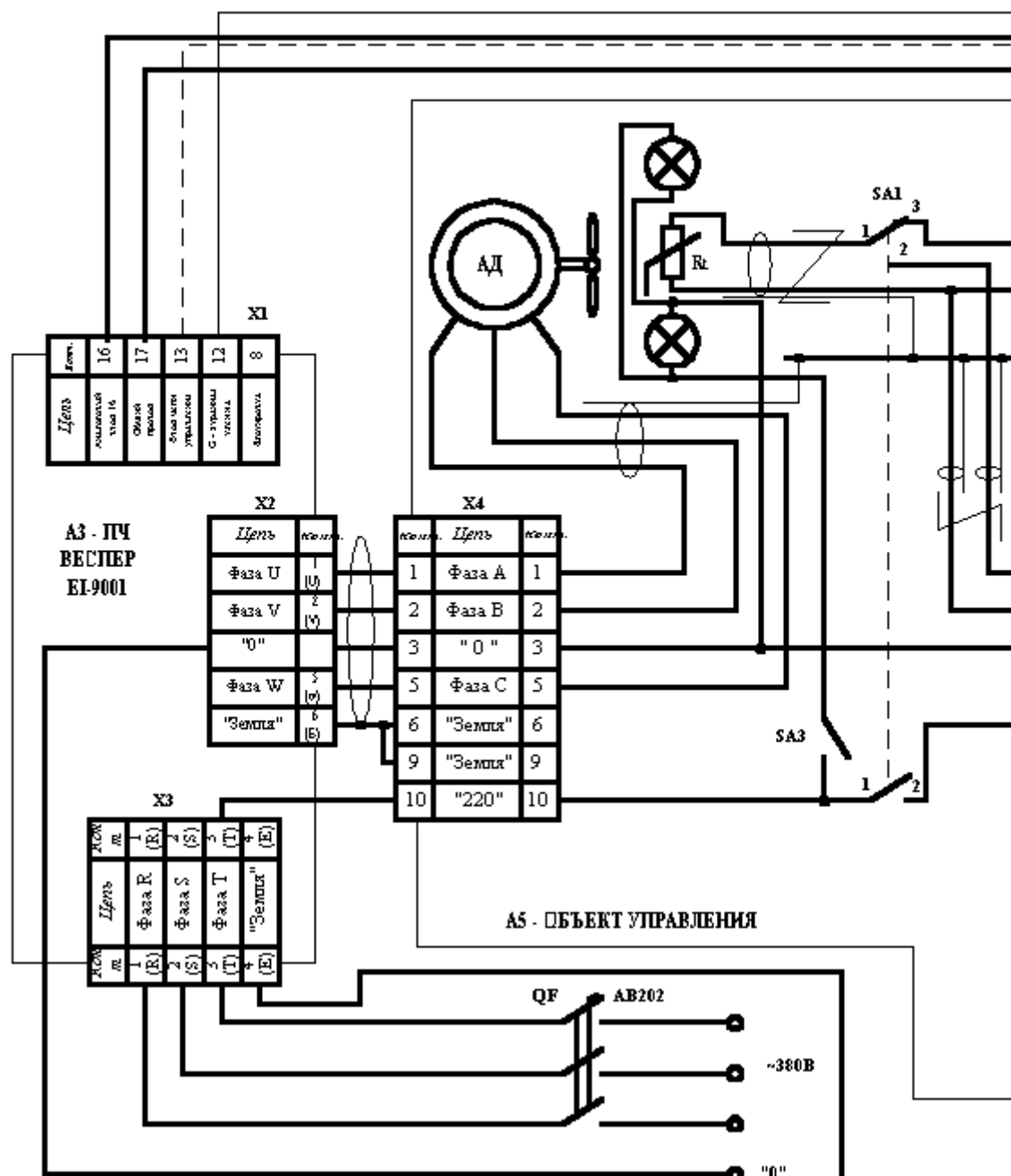
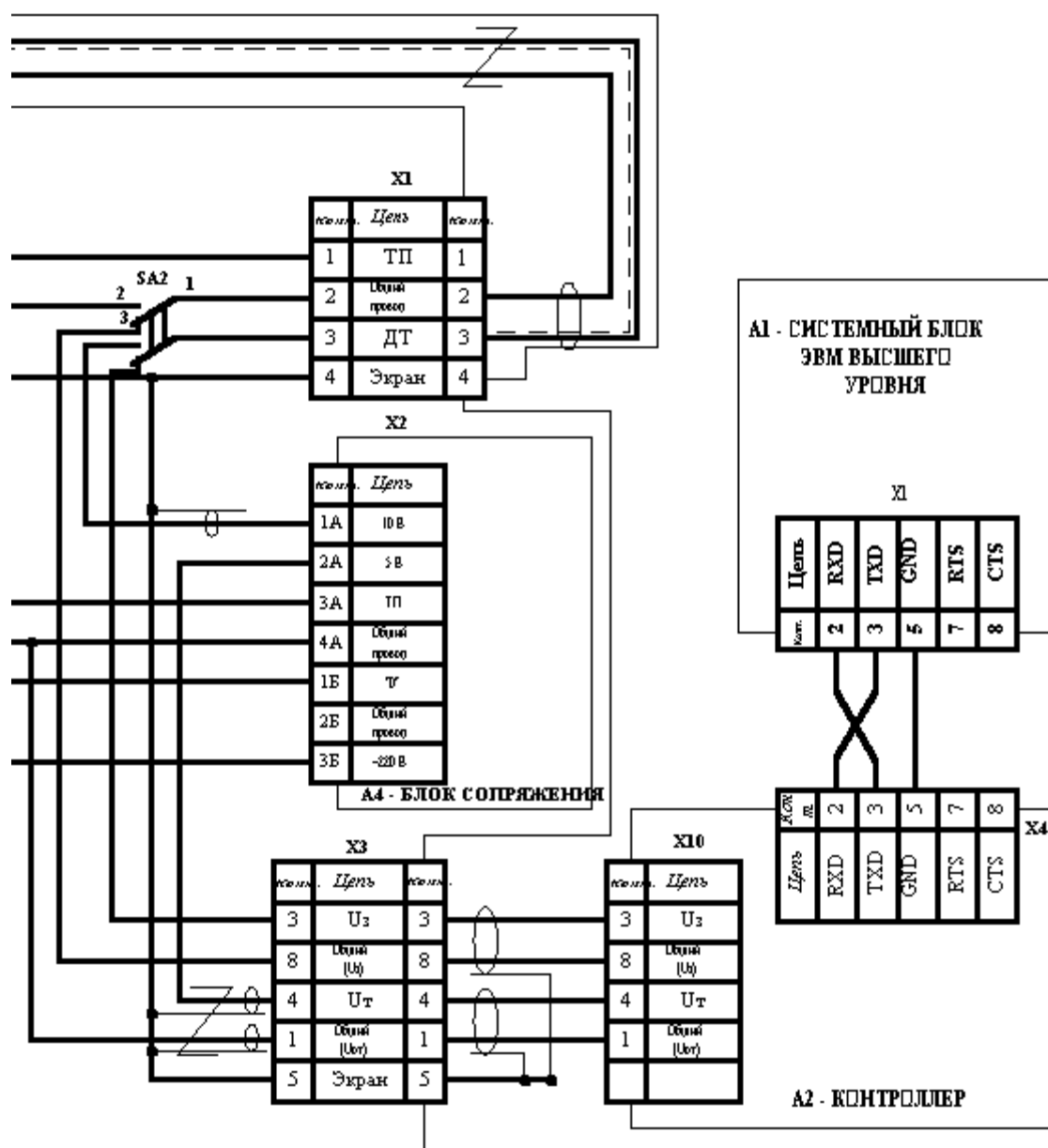


СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ САР ТЕМПЕРАТУРЫ



ПРОГРАММА «ИНСПЕКТОР»

Программа «Инспектор» позволяет осуществлять следующие действия:

- вызов основной программы контроллера (кнопка «A96-файл»);
- вызов подключаемого файла (кнопка «Inc-файл»);
- запуск оболочки «Турбоконтроллер» (кнопка «Turboctl»);
- последовательное закрытие двух активных окон и последовательный запуск двух программ при нажатии кнопки «Выполнить».

Последовательность действий оператора по настройке программы следующая:

Найти ярлык программы «Инспектор» на рабочем столе Windows или на панели задач и запустить её.



1. Выбрать вкладку «**Настройка**» (рис. ПЗ.1).
2. Произвести настройку (выбрать необходимые файлы):
 - A96-файл – основная программа контроллера,
 - Inc-файл – подключаемая программа,
 - Txt-файл – файл с данными о переходном процессе;
 - Turboctl – расположение программы «Турбоконтроллер».

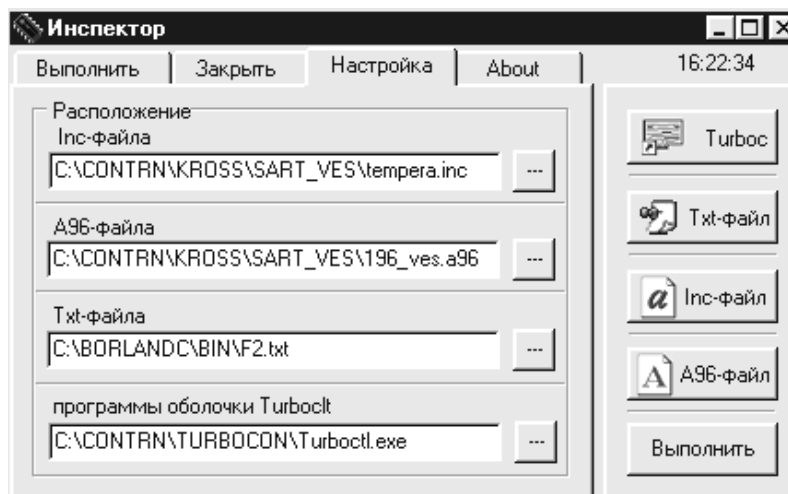


Рис. ПЗ.1. Вкладка «Настройка»

3. Выбрать вкладку «**Заккрыть**» (рис. ПЗ.2).
4. Произвести настройку:
 - ввести имя подключаемого файла без расширения;
 - при необходимости также можно указать второе закрываемое приложение.

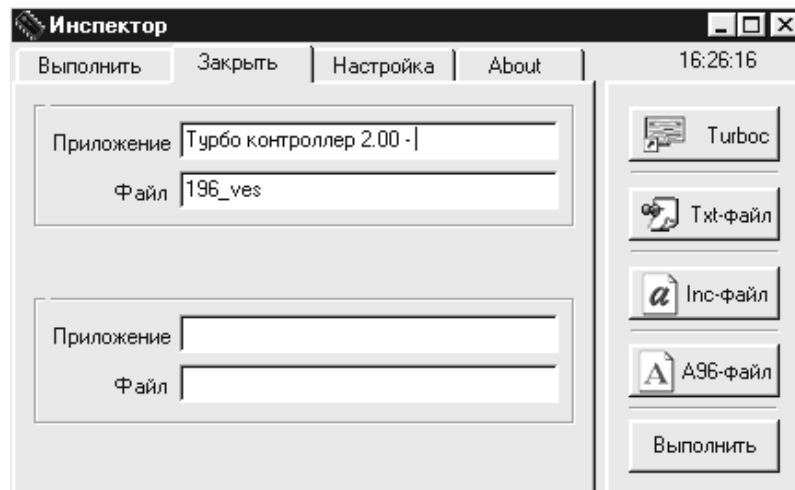


Рис. ПЗ.2. Вкладка «Заккрыть»

5. Выбрать вкладку «**Выполнить**» (рис. ПЗ.3).
6. Произвести настройку:
 - указать выполняемый файл Incom20.exe;
 - при необходимости указать и второй выполняемый файл.

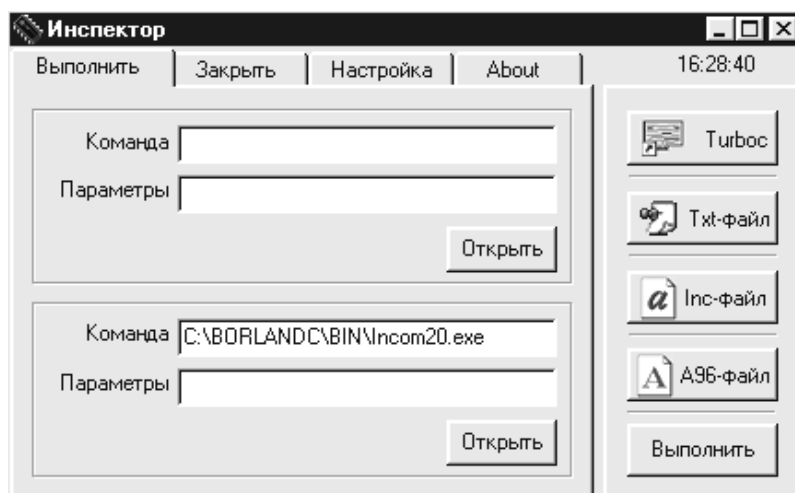


Рис. ПЗ.3. Вкладка «Выполнить»

ПРОГРАММА «ТУРБОКОНТРОЛЛЕР»

Данная программа предназначена для подготовки и отладки программ, написанных на языке **Ассемблер** для контроллера MC196 фирмы SDD Ltd.

При запуске приложения на экране появляется главное окно приложения (рис. П4.1). С помощью нанесённых на него клавиш можно управлять контроллером, производить сборку программы, её отладку, а также осуществлять настройку программы в целом.



Рис. П4.1

Данное окно появляется сразу после запуска программы. Оно состоит из заголовка и скоростной полосы. Заголовок содержит в себе название приложения, номер версии, имя текущего проекта, а также клавиш управления окном. Скоростная полоса состоит из следующих клавиш (слева направо):

- **Сброс** – Реинициализация контроллера;
- **Режим** – Смена режима контроллера: лампа ВКЛ/ВЫКЛ – АВТОНОМ/ОТЛАДКА;
- **Правка** – Вызов редактора для правки исходного файла;
- **Сборка** – Вызов диалога для сборки программы;
- **Отладка** – Вывод отладочного окна (не используется);
- **Наблюдение** – Вывод окна наблюдения за регистрами и памятью;
- **Настройка** – Настройка программы;
- **Кто, что написал** – Информация о программе;
- **Помощь** – Вызов системы помощи;
- **Выход** – Выход из программы.

Общение оператора с программой осуществляется с помощью диалогов.

Диалог «Настройка» вызывается при нажатии на клавишу «Настройка» главного окна приложения. Он состоит из шести страниц различной настроечной информации и двух клавиш. Имеются следующие страницы:

- Редактор;
- Ассемблер;

- Компоновщик;
- Связь;
- Проект;
- Общая.

После указания параметров нажмите на клавишу «ОК», если Вы хотите сохранить внесённые изменения или на клавишу «Отмена», если нет.

Поясним работу с каждой страницей в отдельности.

Страница «Редактор» (рис. П4.2). На данной странице указывается полное имя файла текстового редактора, который будет использоваться для просмотра листингов и правки исходных файлов. Вы можете либо набрать имя редактора в строке ввода текста, либо нажать на клавишу «Пролистать» для поиска редактора.

В командной строке

E:\Program Files\Microsoft Office\Office\Winword.exe

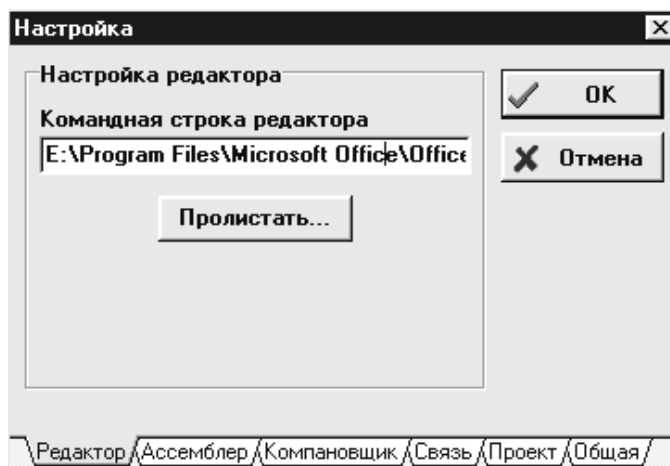


Рис. П4.2. Страница «Редактор»

Страница «Ассемблер» (рис. П4.3). На данной странице указывается полное имя файла ассемблера. После имени файла нужно указать управляющие символы %S%. Если Вы не помните местоположение файла ассемблера можно нажать на клавишу «Пролистать» для поиска его на диске. В графе «Признак ошибки» укажите фрагмент текста в файле листинга, который однозначно идентифицирует ошибку ассемблирования. В графах «Расширение имени файла» укажите расширения для исходного файла, файла листинга и объектного файла соответственно.

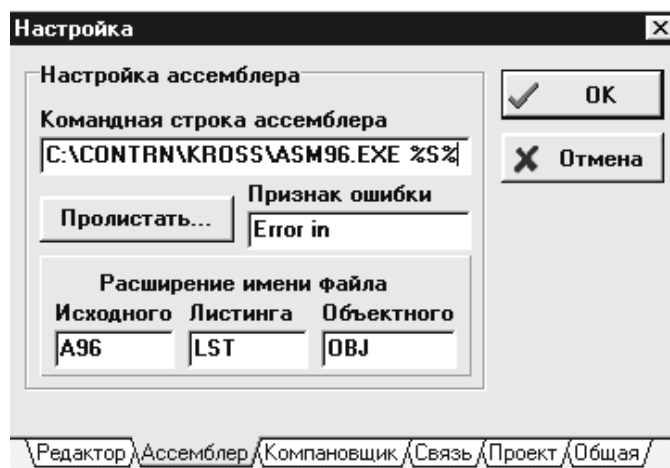


Рис. П4.3. Страница «Ассемблер»

Страница «**Компоновщик**» (рис. П4.4). На данной странице указывается полное имя файла компоновщика. После имени файла нужно указать в нужной последовательности для конкретного компоновщика символы %O% и %E%. Вместо данных символов во время компоновки будут подставлены реальные имена объектного и исполняемого файлов соответственно. Если Вы не помните местоположение компоновщика можно нажать на клавишу «Пролистать» для поиска его на диске. В графе «Расширение имени исполняемого файла» укажите нужное расширение.

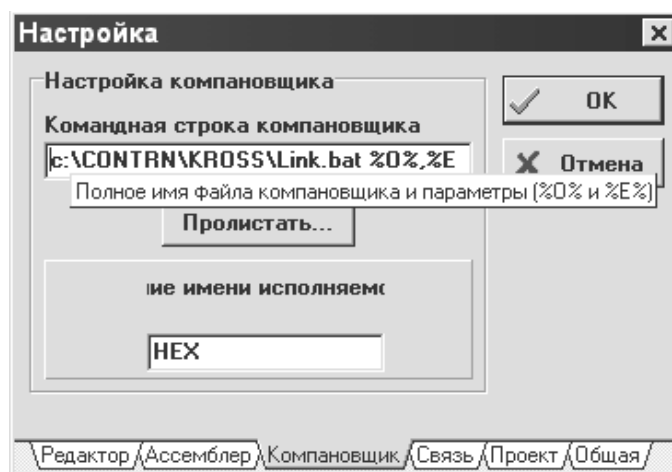


Рис. П4.4. Страница «Компоновщик»

Страница «**Связь**» (рис. П4.5). На данной странице указываются имя порта связи и скорость приема передачи. Для выбора порта щелкните по нему. Для выбора скорости щелкните по стрелке вниз и выберите нужную скорость.

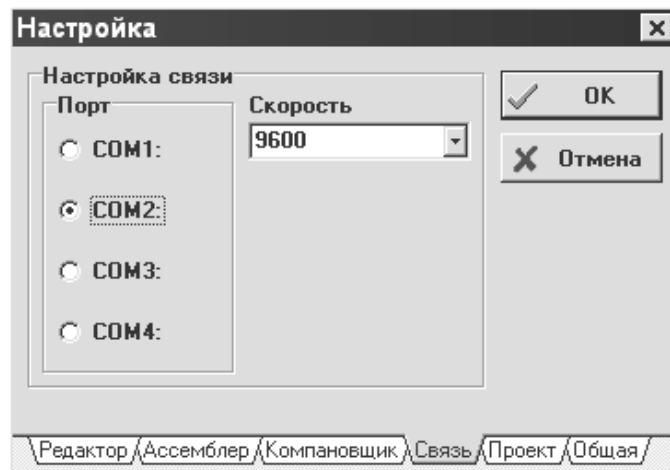


Рис. П4.5. Страница «Связь»

Страница «**Проект**» (рис. П4.6).

На данной странице указываются проекты. Под проектом подразумевается имя проекта и маршрут, по которому располагаются исходный, листинг, объектный и исполняемый файлы. В дальнейшем при работе к имени проекта будут присоединяться различные расширения, чтобы получилось имя исходного, листинга, объектного или исполняемого файлов. Для создания нового проекта нажмите на клавишу «Вставить» и укажите маршрут и имя проекта. Для удаления проекта выберите его в списке проектов и нажмите на клавишу «Удалить». Для указания текущего проекта выделите его в списке щелчком.



Рис. П4.6. Страница «Проект»

Страница «**Общая**»

На данной странице указываются:

- Опора АЦП – Опорное напряжение АЦП;
- Синхронизация – Синхронизация процессора;
- Ёмкость FLASH – Ёмкость памяти программ;
- Сохранение среды – Нужно или нет сохранять открытые окна.

Список использованной литературы

1. Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. – Л.: Химия, 1990 г.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1992.
3. Орлов С.П. Дозирующие устройства. – М.: Машиностроение, 1980.
4. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов. – М.: Энергия, 1995.
5. Пугачев А.В. Контроль и автоматизация переработки сыпучих материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
6. Чернышев А.Ю., Ланграф С.В. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: методические указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
7. Современные Технологии Автоматизации. – 2000. – № 1.
8. Коровин Б.Г., Прокофьев Г.И., Рассудов Л.Н. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
9. Следящие электроприводы станков с ЧПУ/ А.М. Лебедев, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 233 с.
10. Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л. Концепция числового программного управления мехатронными системами: реализация геометрической задачи // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2001. – № 1. – С. 9–15.
11. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция числового программного управления мехатронными системами: методологические аспекты построения открытых систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 2. – С. 2–11.
12. Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989. – 320 с.
13. Преобразователь частоты с управлением вектором потока EI-9001. Инструкция по эксплуатации. Ч. 1; Ч. 2 (константы).
14. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. – М.: Изд-во ЭКОМ, 1997. – 688 с.
15. Микроконтроллер i8XC196KC/KD. Руководство пользователя. – Томск, 1996.
16. Паспорт на контроллер MC196.01. – Томск, 1998.

17. Сартаков В.Д. Микропроцессорное управление электроприводами: учебное пособие. Ч. 1. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 165 с.
18. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
13. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Ч. 2. – Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 144 с.

Учебное издание

ГУСЕВ Николай Владимирович
НЕЧАЕВ Михаил Анатольевич
ЛЯПУШКИН Сергей Викторович
КОВАЛЕНКО Михаил Васильевич

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторный практикум

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Дизайн обложки XXXXXX

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати xx.xx.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 7,79. Уч.-изд. л. 7,05.
Заказ xxx-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru