

Министерство образования и науки РФ
Белгородский государственный технологический университет
имени В.Г. Шухова

Магергут В.З., Мишунин В.В., Гольцов Ю.А.

**Методические указания к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Робототехнические системы»**

Белгород 2012

УДК 681.5+004.932+621.865.8

Авторы:
Магергут В.З., Мишунин В.В., Гольцов Ю.А.

Магергут В.З. **Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Робототехнические системы»** [электронный ресурс]/ В.З. Магергут, В.В. Мишунин, Ю.А. Гольцов – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 27 с.

В методических указаниях изложены основные требования к выполнению и оформлению типового курсового проекта по дисциплине «Робототехнические системы» по специальностям 220301.65 и 220201.65.

Методические указания направлены на получение студентами навыков по проектированию современных управляющих систем роботов.

Методические указания также может быть полезны для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 221000.62, 220400.62, 220700.62

УДК 681.5+004.932+621.865.8

© Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Порядок выполнения проекта.....	4
2. Объем и содержание курсового проекта	5
3. Оформление курсового проекта	5
4. Защита курсового проекта.....	5
5. Возможные темы курсовых проектов	6
6. Литература, рекомендуемая для выполнения курсового проекта	12
7. Некоторые вопросы теории.....	13
8. Пример выполнения курсового проекта	17
Приложение 1	26
Приложение 2	27

ВВЕДЕНИЕ

Учебный план по дисциплине «Робототехнические системы», читаемый студентам V курса в 9 семестре по специальностям 220301.65 и 220201.65, предусматривает выполнение ими курсового проекта.

При этом курсовой проект может выполняться по следующим разделам дисциплины:

1. Средства оучствления промышленных роботов (ПР) и методы обработки сенсорной информации;
2. Приводы промышленных роботов;
3. Управляющие системы роботы;
4. Мобильные роботы.

Ниже по каждому из разделов тематики курсовых проектов приведен примерный перечень тем, возможные задания на проектирование, рекомендации и пояснения к нему; ориентировочные этапы проектирования, а также литература по данному разделу, которая может быть использована при выполнении проекта. Кроме того, по трем разделам – 1,2 и 3 для конкретных тем даны примеры выполнения курсовых проектов, а также некоторые вопросы теории.

Наряду с курсовым проектом, студент может выполнят и курсовую работу по дисциплине. При этом тематика курсовой работы посвящается, как правило, более узкому вопросу того или иного раздела, но с более глубоким его рассмотрением, носящим, обычно, исследовательский характер. При этом графическая часть в курсовой работе может отсутствовать, но в ПЗ имеет место большее число расчетов, методик и результатов исследований.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

Курсовой проект (работа) выполняется студентом под руководством преподавателей, аспирантов, старших и младших научных сотрудников или инженеров, являющихся сотрудниками института.

Курсовой проект (работа) выполняется в соответствии с заданием [см. Приложение], полученным студентом перед уходом на конструкторско-технологическую практику.

За время прохождения практики (или до начала нового учебного семестра) необходимо собрать соответствующий материал для выполнения курсового проекта (работы).

Выполнение курсового проекта (работы) студент начинает с начала учебного семестра. Перед началом его выполнения студент уточняет и уясняет задание с руководителем проекта (работы).

2. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект содержит пояснительную записку (ПЗ) объемом до 30 страниц компьютерного текста (шрифт pt.13, через 1,5 интервала) и двух листов графики формата А2. При компьютерном выполнении графической части проекта, она может быть выполнена на листах формата А3 и вставляться в ПЗ.

ПЗ должна содержать обоснование принятых при разработке проекта (работы) решений, основные результаты расчетов по всем этапам проектирования и ЗАКЛЮЧЕНИЕ по результатам проделанной работы в соответствии с заданием.

3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Первой страницей расчетно-пояснительной записки является титульный лист, второй – задание на курсовое проектирование. Рекомендуемая форма титульного листа и бланка задания приведены в Приложениях 1,2.

Ориентировочный план и содержание ПЗ даны в соответствующих примерах к разделам тематик курсовых проектов.

Каждый раздел записки следует начинать, как правило, с новой страницы. Нумеруются все разделы кроме ВВЕДЕНИЯ и ЗАКЛЮЧЕНИЯ.

4. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Защита курсового проекта (работы) проводится в период осенней зачетной сессии. К защите допускаются студенты, выполнившие курсовой проект (работу) в полном объеме с заданием. Пояснительная записка должна быть подписана как студентом, так и руководителем проекта (работы). Защита курсового проекта осуществляется, как правило, перед комиссией, состоящей не менее чем из 2-ух преподавателей кафедры, назначаемой распоряжением зав. кафедрой. Она состоит из преподавателей, читавших лекции и проводивших у студентов занятия по данной дисциплине или руководившими у них курсовыми проектами (работами) по ней. В работе комиссии может принимать участие руководитель проекта, даже если он и не входит в состав комиссии.

5. ВОЗМОЖНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Тема №1 – «Цикловое устройство управления манипуляционного робота».

Задание на проектирование:

Разработать цикловое устройство управления (УУ) промышленного манипуляционного робота. Реализовать временной и (или) путевой принцип позиционирования. Реализовать следующие режимы работы: «ручной», «автомат», «программирование».

Рекомендации к выполнению:

В качестве манипулятора может быть взят манипулятор одного из известных студенту роботов.

Проектирование может быть выполнено по одному или совокупности вариантов (задает руководитель):

1. УУ реализовать аппаратными средствами;
2. УУ реализовать программно на базе промышленных микропроцессорных систем;
3. Дать матричное описание алгоритма работы УУ для его использования в универсальной программе логического управления (УПЛУ);
4. Написать уравнения алгоритма работы УУ для их реализации посредством ПЛК.

Ориентировочные этапы проектирования:

- Уточнение задания с руководителем проекта;
- Выбор подхода к проектированию (индивидуальный или регулярный аппаратный или программный) ;
- Исследование объекта управления;
- Разработка алгоритма работы УУ;
- Разработка структурной схемы УУ;
- Разработка функциональной схемы УУ;
- Выбор технических средств в состав УУ;
- Разработка электрической схемы подключения датчиков и приводов к УУ;
- Техническая реализация УУ в зависимости от варианта:
 - а) разработка электрической, пневматической или гидравлической принципиальных схем УУ (вариант 1);
 - б) составление блок-схемы алгоритма функционирования УУ и её аппаратной реализации (вариант 2);

- в) составление матричного описания алгоритма работы УУ и подбор технических средств для реализации УПЛУ (вариант 3);
- г) составление уравнений алгоритма работы УУ с подбором ПЛК для их реализации (вариант 4) ;
- д) выбор конструктивов ГСП УТК (при необходимости) для технической реализации УУ по предшествующим пунктам (а - г).

Тема №2 - «Устройство группового управления цикловыми ПР».

Задание на проектирование:

Разработать цикловое устройство группового управления промышленными манипуляционными роботами в составе РПК. Реализовать временную и фактическую отработку кадров цикла. Реализовать следующие режимы работы: "ручной", "автомат", "программирование". РПК должен включать не менее 3-х ПР и одного станка ЧПУ.

Рекомендации к выполнению: те же, что и при выполнении темы № 1

Ориентировочные этапы проектирования:

Этапы проектирования могут быть теми же, что и при выполнении курсового проекта по теме № 1.

В качестве дополнительного этапа должен быть выполнен этап:

- выбор участка технологического процесса для РПК, промышленных роботов и оборудования.

Тема №3 - «Позиционное устройство управления манипуляционного робота».

Задание на проектирование:

Разработать позиционное устройство управления (УУ) промышленного манипуляционного робота. Реализовать следующие режимы работы: «ручной», «покадровый», «автоматический», «обучение».

Рекомендации к выполнению: те же, что и при выполнении темы № 1

Ориентировочные этапы проектирования:

Этапы проектирования могут быть теми же, что и при выполнении курсового проекта по теме № 1.

Тема №4 – «Позиционно - контурное устройство управления манипуляционного робота».

Задание на проектирование:

Разработать позиционно - контурное устройство управления (УУ) промышленного манипуляционного робота. Реализовать временной и (или) путевой принцип позиционирования. Реализовать следующие режимы работы: «ручной», «покадровый», «автоматический», «обучение».

Рекомендации к выполнению: те же, что и при выполнении темы № 1

Ориентировочные этапы проектирования:

Этапы проектирования могут быть теми же, что и при выполнении курсового проекта по теме № 1.

В качестве дополнительного этапа должен быть выполнен этап:

- разработка принципа непрерывного позиционирования и системы кодирования кадровой информации.

Тема №5 – «Контурное управление роботом».

Задание на проектирование:

вариант "а":

Разработать интерполятор контурной системы управления манипуляционного робота. Интерполятор реализовать программно с использованием сплайн-метода;

вариант "б":

Разработать интерполятор контурной системы управления манипуляционного робота. Интерполятор реализовать аппаратными средствами по методу оценочной функции. (для робота работающего в декартовой системе координат и имеющего шаговые ИД).

Ориентировочные этапы проектирования:

- разработка функциональной и(или) структурной схемы интерполятора;
- выбор вычислительных или аппаратных средств, реализующих УУ;
- разработка принципа непрерывного позиционирования и системы кодирования кадровой информации;
- разработать схему сопряжения интерполятора с контурной СУ ПР;
- разработка электрической функциональной схемы интерполятора и эюр, поясняющих ее работу (вар "б");

- составление блок-схемы алгоритма функционирования интерполятора (вар "а");
- составление контрольного примера, реализованного на ПЭВМ (вар "а");

Тема №6 – «Решение траекторных задач при аналитическом программировании контурного манипуляционного робота».

Задание на проектирование:

Разработать автоматизированную систему построения движения манипуляционного ПР по опорным точкам (в базовой системе осей) программной траектории (ПТ). Система должна выполнять следующие функции:

- получение многовариантного каркаса ПТ (решение ОЗК);
- оптимизация каркаса ПТ (по min количества движения или по быстродействию).

Манипуляционный робот должен иметь шесть степеней подвижности и работать в системе координат:

вариант "а": сферической;

вариант "б": угловой.

Ориентировочные этапы проектирования:

- разработка функциональной и(или) структурной схемы автоматизированной системы;
- выбор промышленного манипуляционного робота по каталогу;
- выбор вычислительных средств реализующих эту систему;
- разработка системы кодирования кадровой информации;
- составление контрольного примера, реализованного на ПЭВМ;
- представление результатов работы программы.

Тема №7 – «Динамическое управление манипуляционным роботом».

Задание на проектирование:

Разработать систему управления с учетом динамики трехзвенного электромеханического манипулятора работающего в системе координат:

вариант "а": декартовой;

вариант "б": цилиндрической;

вариант "в": сферической;

вариант "г": угловой.

Ориентировочные этапы проектирования:

- разработка функциональной структурной схемы СУ;
- выбор манипуляционного ПР по каталогу;
- выбор вычислительных средств, реализующих УУ;
- решение обратной динамической задачи для манипулятора;
- получение преобразования "момент-напряжение управления ДПТ";
- разработка структурной схемы САУ с учетом динамики манипулятора;
- составление контрольного примера, реализованного на ПЭВМ;
- представление результатов работы программы.

Тема №8 – «Система самопрограммирования движения манипуляционного ПР».

Задание на проектирование:

Разработать систему построения движения ПР по исходному состоянию манипулятора и целевому положению его РО с учетом условия достижимости РО, конструктивных ограничений, обхода препятствий. Результат работы системы - получение ПТ в виде непрерывных функций обобщенных координат от времени (полиномов). Манипуляционный робот должен иметь три степени подвижности и работать в системе координат:

вариант "а": сферической;

вариант "б": угловой.

Ориентировочные этапы проектирования:

- разработка функциональной и(или) структурной схемы системы;
- выбор промышленного манипуляционного робота по каталогу;
- выбор вычислительных средств реализующих эту систему;
- разработка способа описания препятствий;
- решение обратной задачи кинематики для манипулятора;
- составление контрольного примера, находящегося искомым полиномом;
- реализация его на ПЭВМ и представление результатов работы программы.

Тема №9 – «Система адаптивного управления манипуляционного ПР».

Задание на проектирование:

Разработать распределенной микропроцессорной системы адаптивного управления манипуляционного робота. Адаптацию реализовать на уровне:

вариант "а": построения ПТ;

вариант "б": стабилизации ПТ.

Ориентировочные этапы проектирования:

- разработка функциональной схемы адаптации;
- выбор промышленного манипуляционного робота;
- выбор вычислительных и др. средств реализующих эту систему;
- разработка функциональной и(или) структурной схемы распределенной СУ;
- составление контрольного примера иллюстрирующего адаптацию, реализованного на ПЭВМ;

Тема №10 – «Синтез управляющего автомата (УА) манипулятором робота или технологическим объектом управления регулярным методом на базе стандартной позиционной структуры (СтПС)».

Задание на проектирование:

Описать (смоделировать) работу манипулятора робота или дискретного технологического процесса, происходящего в объекте управления, с помощью помеченной сети Петри (графа операций) с последующей реализацией алгоритма управления посредством управляющего автомата (УА), реализованного регулярным методом по стандартной позиционной структуре (СтПС) [1]. Кроме того, дать матричное описание алгоритма работы УА для его использования в УПЛУ [2].

Рекомендации и требования к выполнению:

Для выполнения задания студент берет произвольный манипулятор того или иного робота или совокупность аппаратов, применяемых в строительной индустрии, и моделирует в них произвольный дискретный процесс, содержащий не более 20 и не менее 15 технологических операций, выполняемых в определенной логической последовательности. Кроме того, процесс должен содержать параллелизм или альтернативу, а условия перехода от операции к операции, т.е. пометка переходов графа операций, не менее двух дизъюнкций и (или) конъюнкций.

Примеры таких объектов можно найти, например, в [3, 4]. Еще лучше, если объект берется по производству, на котором студент проходил производственную технологическую практику. Выполненное задание должно содержать уравнения блоков стандартной позиционной структуры (СтПС) и доведено до функциональной схемы УА на конкретной технической базе (при аппаратной реализации). Кроме того, составляется шесть или семь (при применении ингибиторной сети Петри) матриц, описывающих алгоритм работы УА для его использования в УПЛУ. Пример выполнения задания показан ниже.

Этапы проектирования:

- уточнение задания и объекта управления с руководителем проекта;
- исследование объекта управления, включающие словесное описание алгоритма его работы и функциональную схему автоматизацию (ФСА) с использованием ГОСТ 21.404-85.
- алгоритмы работы объекта управления в виде графа операций (помеченной ординарной или ингибиторной сети Петри) с показом таблицы начальных условий работы объекта и условий срабатывания датчиков;
- проверка правильности алгоритма в виде графа операций посредством дерева достижимых маркировок;
- составление уравнений блоков СтПС – блока логических условий (БЛУ), блока индикации операции (БИО) и блока выходов (БВ);
- синтез УА в виде функциональной схемы на базе конкретной элементной базы (например, элементов УСЭППА, ИС серии К555 и т.п.);
- выбор технических средств (датчиков и исполнительных устройств) в состав УУ объектом управления;
- составление матричного описания алгоритма работы УА для его реализации посредством УПЛУ;

6. ЛИТЕРАТУРА, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез. М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
2. Бунько Е.Б., Юдицкий С.А. Программная реализация сетей Петри в асинхронных устройствах логического управления // Автоматика и телемеханика. 1983. №3. С. 109 – 119.
3. Ефремова Т.К., Тагаевская А.А., Шубин А.Н. Пневматические комплексы технических средств автоматизации. М.: Машиностроение, 1987. – 280с.
4. Построение пневматических управляющих устройств на базе аппаратуры системы ЦИКЛ/ Т.К. Берендс, Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская и др. – М.: Институт проблем управления, 1975. – 104с.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. – 264 с.
6. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. – 160 с.
7. Юдицкий С.А., Вукович И.Ю. Динамическое экспресс-моделирование организационных систем(информационная технология ДЭМОС). М.: Институт проблем управления, 1998.–63 с.
8. Управляющие системы промышленных роботов./ Под ред. И.М. Макарова, В.А. Чиганова. М.: Машиностроение, 1989. – 286с.

9. Попов Е.П. Робототехника и гибкие производственные системы. М.: Наука, 1987. – 191с.
10. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-и книгах. / Под ред. И.М. Макарова. М.: Высшая школа, 1986.
11. Байков В.Д. и др. Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ / Под ред. В.Б. Смолова. - Л.:Машин.,1986.
12. Каляев А.В. и др. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов.- М.: Наука, 1990.
13. Макаров И.М. Управление робототехническими системами и их ощущение.
14. Нильсон А. Дж. Теория сплайнов и ее приложения.- М.: Мир, 1972.
15. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. М.: Наука, 1976.
16. Попов Е.П. и др. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы.- М.: Наука, 1978.
17. Программное управление станками и ПР / В.Л. Косовский и др.- М.:Высш.шк.,1986.
18. Промышленная робототехника / А.В. Бабич и др. Под ред. Я.А.Шифрина - М.: Машиностр.,1982.
19. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники. Введение в специальность: Учебник для вузов. - М.: Высш.шк.,1990. – 224 с.
20. Тимофеев А.В. Адаптивное управление робототехническими системами на базе микропроцессоров и микроЭВМ / Под ред. И.М. Макарова.- М.: Наука, 1984.
21. Тимофеев А.В. Построение адаптивных СУ ПД.- Л.:Энергия,1980.
22. Юревич Е.И. Управление роботами от ЭВМ.
23. Юревич Е.И. Основы робототехники. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

Примечание: Помимо названной литературы по каждой теме курсового проекта может быть дана дополнительная литература.

7. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Математический аппарат моделирования работы систем логического управления

Роботы, являясь самостоятельными устройствами в системах управления, в то же время сами построены, зачастую, на принципах систем логического управления (СЛУ). При этом при создании их систем управления, в принципе, применимы те же подходы, что и к синтезу управляющих автоматов (УА) СЛУ, в том числе подходы на основе стандартной позиционной структуры (СтПС). Алгоритмы их работы, естественно, удобно и целесообразно строить на основе сетей Петри, как это делается при синтезе СЛУ.

Математическим аппаратом написания этих алгоритмов являются ординарные или ингибиторные сети Петри и графы операций, которым и посвящен последующий раздел теории.

Сети Петри

Сеть Петри [5-7] формально может быть задана пятеркой вида

$$N = \langle P, T, I, O, M_0 \rangle, \quad (1)$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - конечное множество позиций, $n > 0$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ - конечное множество переходов, $m > 0$, $P \cap T = \emptyset$; $I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ - прямая функция инцидентности, определяющая входные позиции переходов, т.е. $I(t_j)$, причем, $I(p_i, t_j) = 1$, если дуга (p_i, t_j) существует и $I(p_i, t_j) = 0$, если дуга (p_i, t_j) - не существует. $O: T \times P \rightarrow \{0, 1\}$ - обратная функция инцидентности, определяющая выходные позиции переходов, т.е. $O(t_j)$, причем, $O(t_j, p_i) = 1$, если дуга (t_j, p_i) существует и $O(t_j, p_i) = 0$, если дуга (t_j, p_i) - не существует. $M_0: P \rightarrow E$ - функция начальной маркировки сети, которая каждой позиции ставит в однозначное соответствие элемент из множества неотрицательных целых чисел $E = \{0, 1, 2, \dots\}$.

Графическим представлением сети Петри [3,4] является двудольный ориентированный граф, в котором вершины позиции p_i обозначены кружками, вершины переходы t_j - черточками, а дуги направлены только от кружочков к черточкам, либо от черточек к кружкам в соответствии с функциями I и O .

Таким образом, сеть Петри как граф имеет два типа вершин - вершину позицию (кружок) и вершину переход (черточка), соединяемых между собой дугами. При этом для дуг можно записать вершины, которые она соединяет, что записывается в виде:

$$d_K = (p_i, t_j) \quad (2)$$

Говорят, что дуга d_K инцидентна вершинам p_i и t_j , а также, что вершины p_i и t_j инцидентны дуге d_K , которая их соединяет.

Кроме того сеть Петри является маркированным графом. В начальной маркировке M_0 в кружок, соответствующей позиции p_i помещаются $\mu_0(p_i)$ фишек, изображаемых жирными точками. При этом начальная маркировка характеризуется вектором:

$$M_0 = \langle \mu_0(p_1), \mu_0(p_2), \dots, \mu_0(p_n) \rangle, \quad (3)$$

где n - число позиций сети Петри.

Для каждого перехода t_j можно определит множество его выходных и входных позиций. Если из позиции p_i ведет дуга в t_j , то p_i называют входной позицией относительно перехода t_j . Все входные позиции перехода t_j могут быть записаны через функцию $I(t_j)$ или через обозначение *t_j , т.е. в виде:

$$I(t_j) = ^*t_j = \{p_i \in P / O(p_i, t_j) = 1\} - \text{выходные позиции} \quad (4.1)$$

Если из перехода t_j ведет дуга в позицию p_r , то p_r называют выходной позицией относительно перехода t_j , а все выходные позиции этого перехода могут быть записаны через функцию $O(t_j)$ или через обозначение *t_j , т.е. в виде:

$$O(t_j) = t_j^* = \{p_r \in P / O(t_j, p_r) = 1\} - \text{выходные позиции} \quad (4.2)$$

Аналогично можно определить множество входных и выходных переходов для каждой позиции. Эти множества соответственно могут быть обозначены как $I(p_i) = {}^*p_i$ и $O(p_i) = p_i^*$.

Помимо начальной маркировки сети Петри, можно говорить и о текущей, которая определяется текущим размещением фишек во всех ее позициях и характеризуется вектором:

$$M_T = \langle \mu_T(p_1), \mu_T(p_2), \dots, \mu_T(p_n) \rangle, \quad (4.3)$$

где $\mu_T(p_i)$ – переменные, принимающие значения из множества целых неотрицательных чисел, соответствующих числу фишек в каждой из i -ой позиции, $i = \overline{1, n}$, в текущий момент времени.

Динамика изменения маркировок моделирует движение фишек, обусловленных срабатыванием переходов. Для срабатывания перехода t_j необходимым и достаточным условием является:

$$\forall p_i \in I(t_j) : [\mu(p_i) > 0], \quad (5)$$

где $\mu(p_i)$ – разметка позиции p_i , т.е. если каждая из входных позиций перехода t_j содержит по меньшей мере одну фишку, то говорят, что этот переход возбужден и может сработать в этой маркировке. Если условие (5) выполняется при одной и той же маркировке для нескольких переходов, то сработать может любой, но только один из них.

Срабатывание перехода t_j приводит к изменению маркировки сети $M = \langle \mu(p_1), \mu(p_2), \dots, \mu(p_n) \rangle$ на маркировку $M' = \langle \mu'(p_1), \mu'(p_2), \dots, \mu'(p_n) \rangle$ по правилу:

$$\mu'(p_i) = \begin{cases} \mu(p_i) - 1, & \text{если } (p_i \in I(t_j)) \wedge (p_i \notin O(t_j)) \\ \mu(p_i) + 1, & \text{если } (p_i \in O(t_j)) \wedge (p_i \notin I(t_j)) \\ \mu(p_i), & \text{если } [(p_i \notin I(t_j)) \wedge (p_i \notin O(t_j))] \wedge [(p_i \in I(t_j)) \wedge (p_i \in O(t_j))] \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, при срабатывании перехода из каждой его входной позиции изымается, а в каждую выходную позицию добавляется по одной фишке.

Зная начальную маркировку M_0 сети Петри, на основании правил (6) можно определит все возможные в ней последовательности «переход – маркировка» (t_μ – последовательности).

Маркировка M_j непосредственно достижима из маркировки M_i , если существует переход t , который может сработать в маркировке M_i и в результате его срабатывания образуется маркировка M_j . Этот факт обозначается $M_i \xrightarrow{t} M_j$

(читается «если M_i , то M_j по t »). Если имеет место $M_0 \xrightarrow{t_1} M_1 \xrightarrow{t_2} M_2 \xrightarrow{t_3} \dots \xrightarrow{t_i} M_j$, то говорят, что маркировка M_j достижима из M_0 , что обозначается через:

$$R(N, M_0) = R(M_0) \quad (7)$$

Сеть Петри называют k – ограниченной (при заданной начальной маркировке M_0), если для любой ее позиции p и любой маркировке M на множестве достижимых маркировок существует такое число k , что $\mu(p) \leq k$, т.е.

$$\forall p_i \in P, \forall M \in R(M_0) \rightarrow \mu(p) \leq k, \quad (8)$$

где k – количество меток в позиции.

Если $k=1$, то сеть Петри называют **безопасной**.

Сеть Петри называют **живой** (при заданной начальной маркировке M_0), если в ней для любой пары маркировок M_i, M_j , принадлежащих множеству $R(M_0)$, имеет место $M_i \left| - M_j$, и для любого перехода t в множестве T

существует пара маркировок M_g, M_h , в множестве $R(M_0)$, таких, что $M_g \left| -^t M_h$:

$$\forall M_i, M_j \in R(M_0) \rightarrow M_i \left| - M_j \quad (9.1)$$

$$\forall t \in T, \exists M_g, M_h \in R(M_0) \rightarrow M_g \left| -^t M_h \quad (9.2)$$

Таким образом, условие живости состоит из двух подусловий – отсутствия тупиков (9.1), т.е. такой вершины – позиции из которой метка не может выйти, и – срабатывания любого из переходов сети (9.2).

Живые и безопасные сети, т.е. сети, отвечающие условиям (8), (9.1) и (9.2), называют правильными сетями.

Именно такие сети используются для моделирования работы СЛУ и синтеза УА этих систем, в том числе роботов.

Граф операций

Правильные сети Петри являются необходимым, но не достаточным аппаратом для моделирования работы СЛУ, т.к. любая такая система получает информацию от датчиков, а само управление объектом осуществляется посредством исполнительных устройств. Такую особенность позволяет учесть помеченная сеть Петри, называемая графом операций [5].

Определение. Сеть Петри, в которой позиции сопоставлены операциям процесса и помечены состояниями исполнительных устройств (z_i), при которых эта операция выполняется, в частном случае, исполнительными устройствами включения часов (таймеров) (u_i) или органами световой (v_i) или звуковой (ω_i) индикации, а переходы – условиями перехода от операции к операции в виде булевых функций от сигналов датчиков (x_i), в частном случае – таймеров (τ_i), внешних устройств (γ_i) и команд от тумблеров (α_i) и кнопок (β_i), называется графом операций. Именно граф операций и использован для моделирования работы СЛУ, в том числе, для написания алгоритмов работы роботов.

8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Рассмотрим задание №10 из раздела 5. В качестве примера возьмем объект логического управления (рис. 1), связанный с подготовкой компонентов А и В для их использования в последующей технологии. Объект состоит из 3-х аппаратов, структура соединения которых показана ниже. Все три аппарата являются аппаратами периодического действия с дискретным управлением (включено - выключено) исполнительными устройствами Z_i ($i = 1 - 9$).

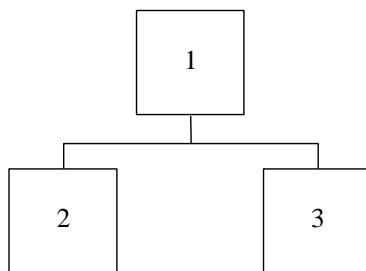


Рис. 1. Фрагмент технологического объекта управления

1 – аппарат периодического действия;

2 – аппарат периодического действия;

3 – аппарат периодического действия.

Характер окончания режима взаимодействия аппарата 1 с аппаратами 2 и 3 – полный объем из заполнения.

Выполнение задания

1. Описание технологического процесса

В аппарат 1 (рис. 2) объемом 100л подается 20л компонента А, затем 80л компонента В, после чего вся смесь перемешивается в течение 20 минут. В аппарат 2 или 3 объемом 100л каждый подается приготовленная в аппарате 1 смесь (А+В), которая в дальнейшем подогревается до температуры 50°C в аппарате 2 и до 80°C в аппарате 3. Приготовленные растворы выгружаются для дальнейшего использования.

2. Функциональная схема автоматизации объекта управления с использованием ГОСТ 21.404 - 85

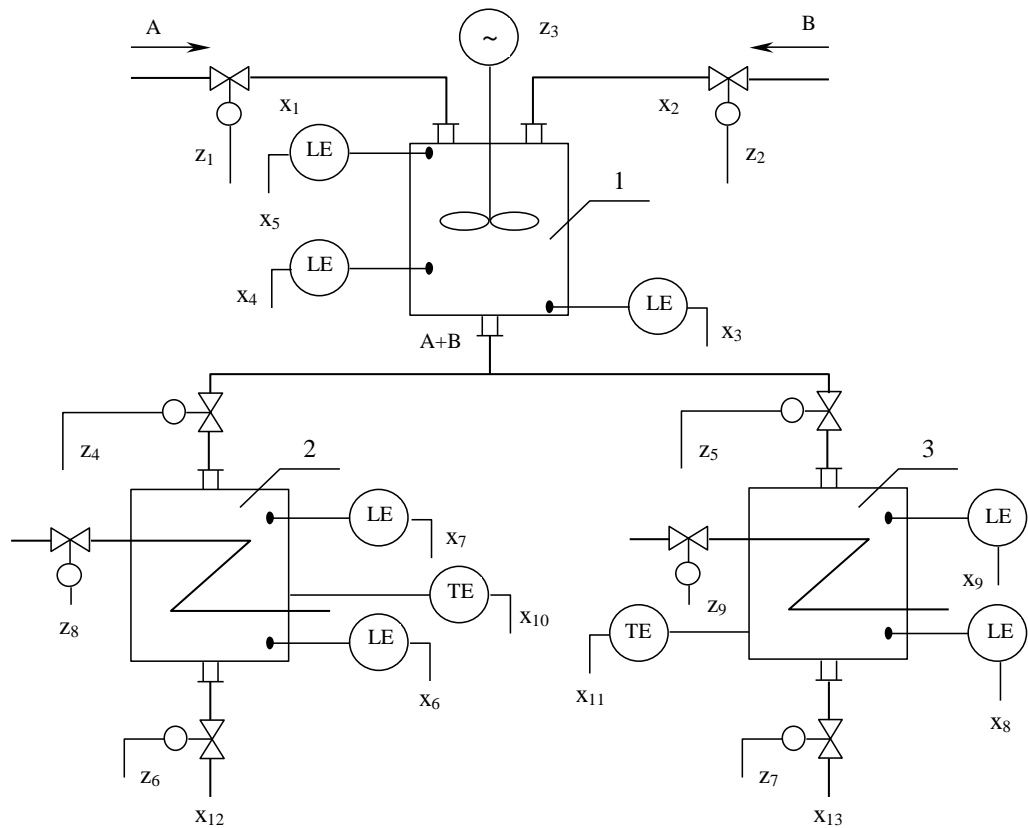


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации для синтеза СЛУ.

2. Алгоритм работы системы управления в виде графа операций (помеченной ингибиторной сети Петри [1])

Введем условия срабатывания датчиков:

$$x_1 = \begin{cases} 1 - \text{наличие необходимого количества компонента A на складе и подача} \\ \text{команды на открытие ИУ } z_1 \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_2 = \begin{cases} 1 - \text{наличие необходимого количества компонента B на складе} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_3 = \begin{cases} 1 - \text{аппарат 1 пустой} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_4 = \begin{cases} 1 - \text{достигнут уровень налива 20л компонента A} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_5 = \begin{cases} 1 - \text{достигнут уровень налива 80л компонента B} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_6 = \begin{cases} 1 - \text{аппарат 2 пустой} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_7 = \begin{cases} 1 - \text{достигнут уровень налива 100л смеси A + B в аппарате 2} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_8 = \begin{cases} 1 - \text{аппарат 3 пустой} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_9 = \begin{cases} 1 - \text{достигнут уровень налива 100л смеси A + B в аппарате 3} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_{10} = \begin{cases} 1 - \text{достигнута температур а } 50^0 \text{ C в аппарате 2} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_{11} = \begin{cases} 1 - \text{достигнута температур а } 50^0 \text{ C в аппарате 3} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_{12} = \begin{cases} 1 - \text{сигнал на слив смеси A + B из аппарата 2} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

$$x_{13} = \begin{cases} 1 - \text{сигнал на слив смеси A + B из аппарата 3} \\ 0 - \text{если иначе} \end{cases}$$

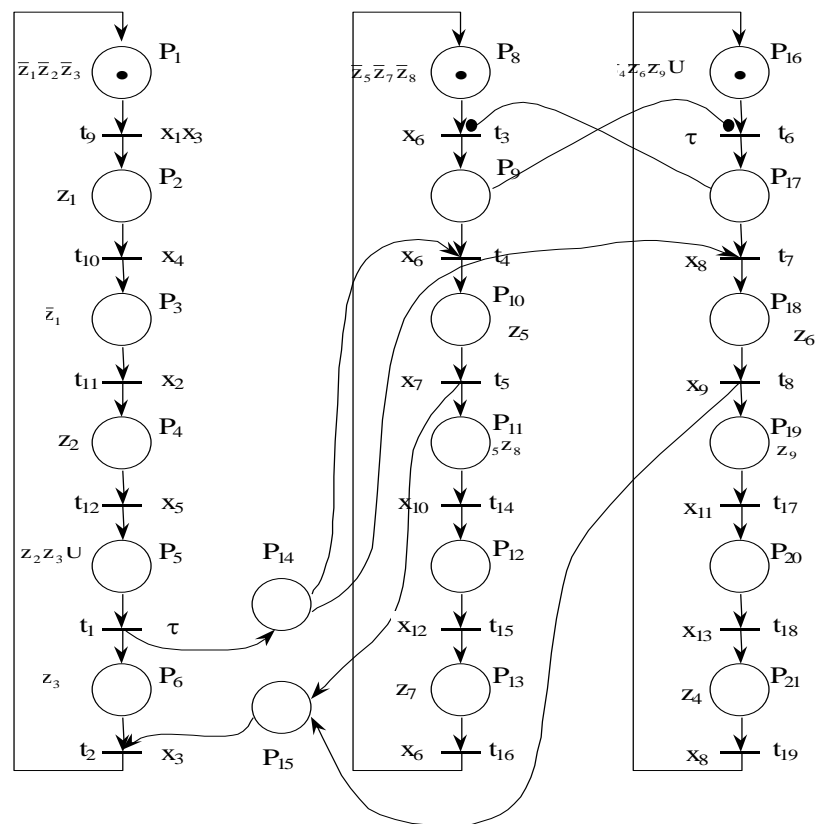


Рис. 3. Алгоритм работы системы логического управления в виде графа операций с начальной маркировкой в позициях P₁, P₈, P₁₆ на базе ингибиторной сети Петри

Таблица 1

Описание позиций – операций

Обозначение позиции	Содержание операции	Нагружаемые переменные
p1	Ожидание загрузки аппарата 1	$\bar{z}_1 \bar{z}_2 \bar{z}_3$
p2	Подача в аппарат 1 компонента А	z_1
p3	Окончание налива компонента А	\bar{z}_1
p4	Подача в аппарат 1 компонента В	z_2
p5	Окончание налива компонента В, включение мешалки и таймера	$\bar{z}_2 z_3 U$
p6	Выключение мешалки	\bar{z}_3
p8	Ожидание заполнения аппарата 2	$\bar{z}_5 \bar{z}_7 \bar{z}_8$
p9	Служебная вершина	
p10	Подача в аппарат 2 смеси (А+В)	z_5
p11	Окончание налива смеси, включение обогрева	$\bar{z}_5 z_8$
p12	Отключение обогрева	\bar{z}_8
p13	Слив смеси (А+В) на склад	z_7
p14	Служебная вершина	
p15	Служебная вершина	
p16	Ожидание заполнения аппарата 3	$\bar{z}_4 \bar{z}_6 \bar{z}_9$
p17	Служебная вершина	
p18	Подача в аппарат 3 смеси (А+В)	z_6
p19	Окончание налива смеси, включение обогрева	$\bar{z}_6 z_9$
p20	Отключение обогрева	\bar{z}_9
p21	Слив смеси (А+В) на склад	z_4

Таблица 2

Описание переходов – условий срабатывания

Обозначение перехода	Наименование условия	Условие срабатывание перехода
t1	Срабатывание таймера	τ
t2	Аппарат 1 пустой	x_3
t3	Пустой переход	
t4	Аппарат 2 пустой	x_6
t5	Аппарат 2 полный	x_7

t6	Пустой переход	
t7	Аппарат 3 пустой	x ₈
t8	Аппарат 3 полный	x ₉
t9	Аппарат 1 пустой, наличие достаточного количества компонента А на складе и подача команды на открытие ИУ z ₁	x ₁ x ₃
t10	В аппарате 1 налито 20л	x ₄
t11	Наличие компонента В на складе	x ₂
t12	Аппарат 1 полный	x ₅
t14	Нагрев смеси (А+В) до температуры 50°	x ₁₀
t15	Слив смеси на склад	x ₁₂
t16	Аппарат 2 пустой	x ₆
t17	Нагрев смеси (А+В) до температуры 50°	x ₁₁
t18	Слив смеси на склад	x ₁₃
t19	Аппарат 3 пустой	x ₈

Описание выходных переменных управляющего устройства. Все клапана нормально закрытого типа исполнения, поэтому:

$z_1, z_2, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9$ – открытие соответствующих клапанов;

$\bar{z}_1, \bar{z}_2, \bar{z}_4, \bar{z}_5, \bar{z}_6, \bar{z}_7, \bar{z}_8, \bar{z}_9$ - закрытие соответствующих клапанов;

z_3 и \bar{z}_3 - включение и отключение мешалки.

4. Проверка правильности составленного графа операций

Проверку правильности графа операций (помеченной сети Петри) выполним с помощью графа достижимых маркировок [1]. Соответствующий граф представлен на рис. 4. Для упрощения изображения графа кодировка различных маркировок состоит из указания позиций, в которых имеется метка, а остальные позиции не указываются.

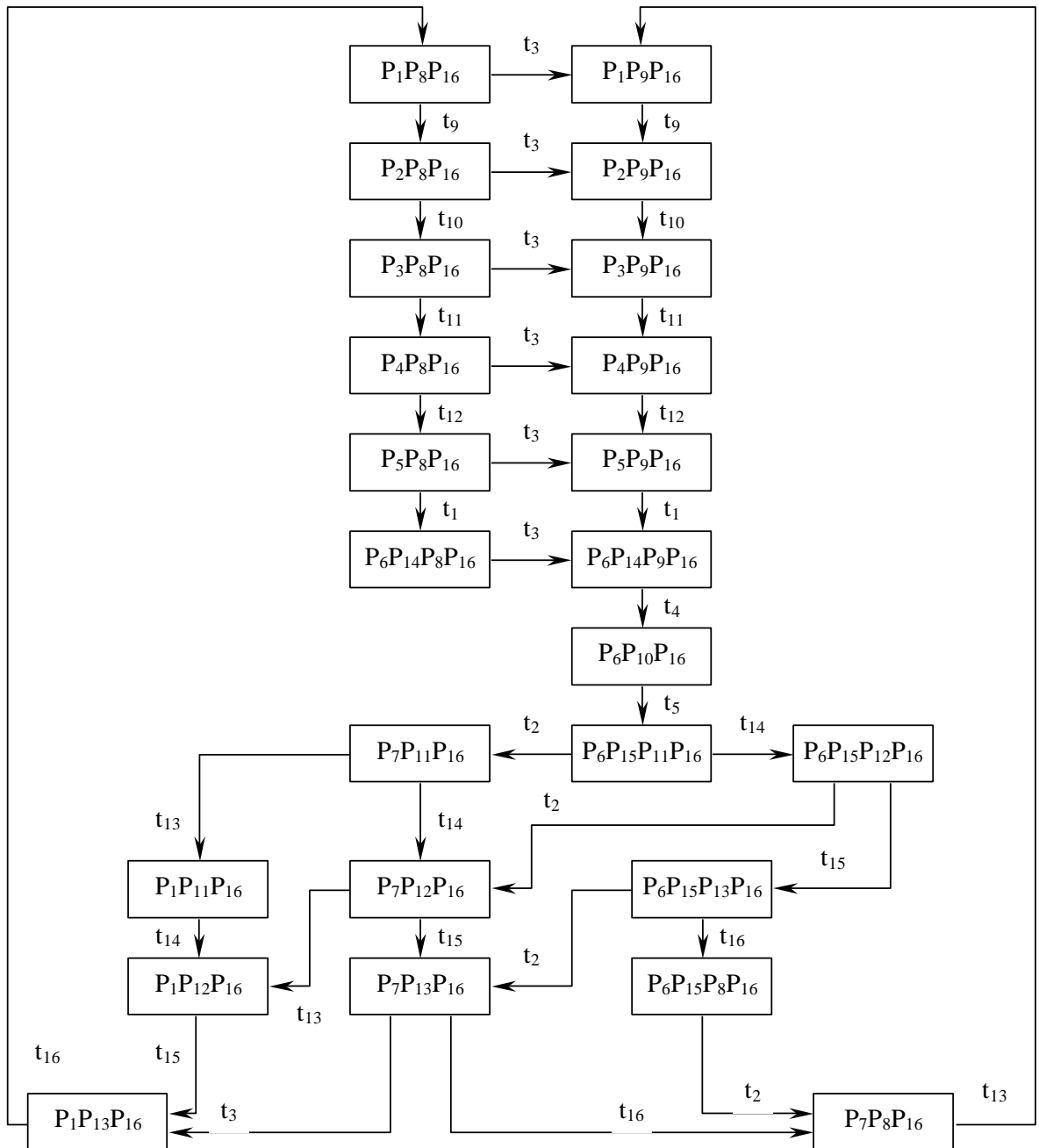


Рис. 4. Граф достижимых маркировок

1. Условие безопасности сети: $\forall p_i \in P \& \forall M \in R(M_0) [M(p_i) \leq 1]$ [1, 12].
 Непосредственно из рисунка видно, что поскольку символы p_i в вершинах графа не накапливаются, то условие безопасности выполнено.
2. Условие живости сети:
 - отсутствие тупиков (определяет возможность возобновления для операции): $\exists M', M'' \in R(M_0) [M_0 \mapsto M', M_0 \mapsto M'' \Rightarrow M' \mapsto M'']$ [1, 12].
 - живость переходов (любая операция должна быть когда-нибудь обязательно выполнена): $\forall t_j \in T \exists M', M'' \in R(M_0) \left[M' \xrightarrow{t_j} M'' \right]$ [1, 12].

Проверка указанных условий свидетельствует о выполнении условия живости сети.

Таким образом, построенная сеть Петри (граф операций) является правильной.

5. Аппаратная реализация управляющего автомата

Для аппаратной реализации управляющего автомата (УА) используем регулярный подход синтеза УА на базе стандартной позиционной структуры [1-3] (СТПС). Структура СТПС приведена на рис. 5.

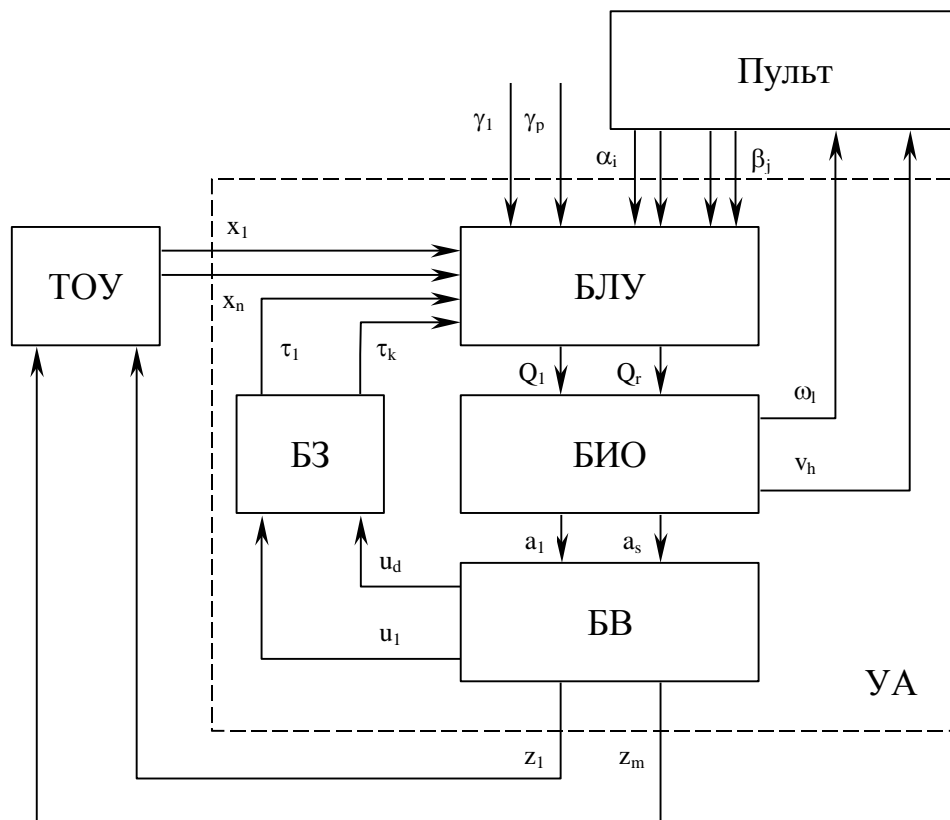


Рис.5. Стандартная позиционная структура управляющего автомата.
 На рисунке: БЛУ – блок логических условий;
 БИО – блок индикации операций;
 БВ – блок выходов;
 БЗ – блок задержек;
 ТОУ – технологический объект управления;
 УА – управляющий автомат.

6. Составление уравнений блоков СТПС

Уравнения БЛУ	
$Q_1 = x_1 x_3$	

Уравнения БИО	
$a_1 = T(a_6 a_{15} x_3; a_2)$	$a_{12} = T(a_{11} x_{10}, a_{13})$
$a_2 = T(a_1 Q_1; a_3)$	$a_{13} = T(a_{12} x_{12}; a_8)$
$a_3 = T(a_2 x_4; a_4)$	$a_{14} = T(a_5 \tau; a_{10} \cup a_{18})$
$a_4 = T(a_3 x_2; a_5)$	$a_{15} = T(a_{10} x_7 \cup a_{18} x_9; a_1)$
$a_5 = T(a_4 x_5; a_6 a_{14})$	$a_{16} = T(a_{21} x_8; a_{17})$
$a_6 = T(a_5 \tau; a_1)$	$a_{17} = T(a_{16} \bar{a}_9 \tau; a_{18})$
$a_8 = T(a_{13} x_6; a_9)$	$a_{18} = T(a_{14} a_{17} x_8; a_{15} a_{19})$
$a_9 = T(a_8 \bar{a}_{17} x_6; a_{10})$	$a_{19} = T(a_{18} x_9; a_{20})$
$a_{10} = T(a_9 a_{14} x_6; a_{11} a_{15})$	$a_{20} = T(a_{19} x_{11}; a_{21})$
$a_{11} = T(a_{10} x_7; a_{12})$	$a_{21} = T(a_{20} x_{13}; a_{16})$
$a_{12} = T(a_{11} x_{10}; a_{13})$	

Уравнения БВ	
$Z_1 = a_2$	$Z_5 = a_{10}$
$Z_2 = a_4$	$Z_6 = a_{18}$
$Z_3 = a_5$	$Z_7 = a_{13}$
$Z_4 = a_{21}$	$Z_8 = a_{11}$
$U = a_5 \vee a_{16}$	$Z_9 = a_{19}$

7. Разработка функциональной схемы управляющего автомата

В соответствии с уравнениями блоков СТПС получаем управляющий автомат, функциональная схема которого приведена на рис. 6.

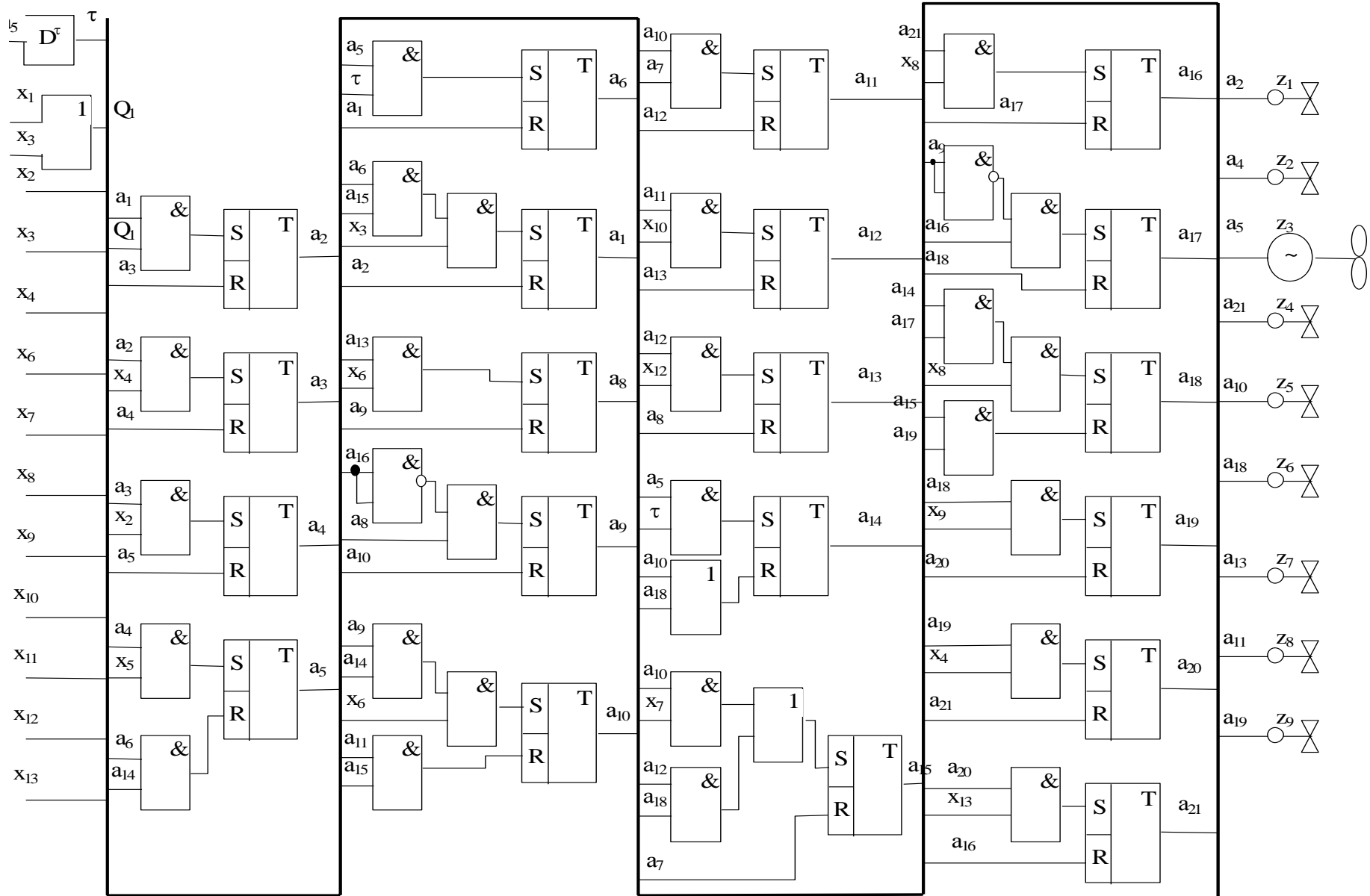


Рис. 6. Функциональная схема управляющего автомата

Образец титульного листа проекта (работы)

Министерство образования и науки РФ

Белгородский государственный технологический университет
имени В.Г. Шухова

Институт информационных технологий и управляющих систем

Кафедра «Техническая кибернетика»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту (работе) по предмету: «Робототехнические системы»

Тема: «Синтез управляющего автомата манипулятора робота ПР - 18 - 2М »

Группа: АП-51

Студент(ка): _____

Руководитель: _____

Белгород
2012

Приложение 2

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ТК ИТУС
_____/В.Г. Рубанов/
«__» _____ 20__

Типовое задание на курсовой проект по курсу РТС

Студенту (ке) _____ гр. _____

Тема: «Синтез управляющего устройства токарным станком для обработки асбоцементных труб»

1. Исследовать объекта управления (подход от операций). Исследование должно включать словесное описание алгоритма его работы и функциональную схему автоматизацию (ФСА) с использованием ГОСТ 21.404-85.
2. Составить алгоритм работы объекта управления в виде графа операций (помеченной ординарной или ингибиторной сети Петри) с показом таблицы начальных условий работы объекта и условий срабатывания датчиков;
3. Проверить правильность алгоритма управления посредством дерева достижимых маркировок;
4. Составить уравнения блоков СтПС;
5. Синтезировать управляющий автомат (УА) в виде функциональной схемы на базе ИС серии К555;
6. Выбрать технические средства (датчики и исполнительные устройства) в состав УА объектом управления;
7. Составить матричное описание алгоритма работы УА для его реализации посредством универсальной программы логического управления (УПЛУ).

Руководитель проекта _____ (В.З. Магергут)

Задание принял к исполнению _____ (А.И. Иванов)

«__» _____ 20__

Срок сдачи проекта

«__» _____ 20__