

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный аэрокосмический университет

им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

Е.А. Дружинин, М.А. Латкин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Харьков «ХАИ» 2002

Проектирование автоматизированных производственных систем / Е.А. Дружинин, М.А. Латкин. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 41 с.

Представлены основные принципы построения автоматизированных производственных систем и рассмотрены особенности организационно-технологической подготовки производства. Предложены методы формирования обобщенного технологического алгоритма, выбора технологического оборудования, построения АСУ параметрами производственной системы. Приведен пример проектирования участка гальванопокрытия и его автоматизированной системы управления.

Для студентов заочной и дневной формы обучения по специальностям 8.091001 «Производство электронных средств», 8.080401 «Информационные системы» при изучении разделов курсов «Автоматизация производства РЭА», «Основы автоматизированного проектирования сложных систем». Может быть полезным при выполнении курсового и дипломного проектирования, а также для слушателей магистратуры и аспирантов, занимающихся проблемами проектирования производственных систем.

Ил. 6. Табл. 3. Библиогр.: 11 назв.

Рецензенты: нач. отделения научно-исследовательского технологического ин-та приборостроения, д.т.н. В.Е. Овчаренко;

к.т.н., доц. кафедры автоматизации и производства РЭС Харьк. нац. ун-та радиоэлектроники Н.С. Макурин.

© Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», 2002 г.

Оглавление

Введение.....	4
1. Проектирование технологической структуры предприятия.....	6
1.1. Язык регулярных схем алгоритмов.....	6
1.2. Формирование функциональной модели производственной системы.....	9
1.3. Построение минимизированного обобщенного алгоритма.....	13
2. Проектирование производственной структуры предприятия.....	14
2.1. Расчет количества оборудования для производственной системы.....	15
2.2. Формирование модели производственной структуры предприятия.....	17
2.3. Проектирование транспортно-накопительной системы.....	19
3. Проектирование АСУ производственной системы.....	22
3.1. Проектирование АСУ параметрами.....	22
3.2. Проектирование АСУ транспортно-накопительной системы.....	29
4. Проектирование участка гальванопокрытия.....	31
4.1. Исходные данные.....	31
4.2. Построение обобщенного технологического алгоритма.....	34
4.3. Расчет количества оборудования.....	36
4.4. Проектирование АСУ участка.....	38
Список использованной литературы.....	40

Введение

Научно-техническая подготовка производства по внедрению нового изделия состоит из следующих этапов: научного, конструкторского, технологического и организационного. Рассмотрим подробно технологический и организационный этапы подготовки производства.

Технологическая подготовка производства включает комплекс работ, обеспечивающих наиболее эффективное применение новых, высокопроизводительных технологических процессов с использованием передовых достижений науки и техники на базе максимальной механизации и автоматизации. Технологическая подготовка производства должна обеспечивать технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объемах выпуска, материальных и трудовых затратах. Технологическая подготовка производства неразрывно связана с организационной подготовкой производства.

Современные подходы к организации производства строятся на базе обеспечения единства следующих признаков, которые должны удовлетворяться при формировании и функционировании производственных систем:

- целевая специализация системы с выдачей на выходе готового изделия;
- обеспечение целостности системы за счет необходимого единства и достаточности ее элементного состава;
- наличие плана функционирования системы для достижения заданной цели и критериев.

Современная производственная система является сложным объектом, который можно рассматривать как:

- технологическую систему, имеющую определенный набор технологий, связанных единой целью – выпуск изделия;

- техническую систему, состоящую из полного набора технологического оборудования, обеспечивающего достижение единой цели.

Анализ производственной системы нельзя проводить, не рассматривая транспортную систему, обеспечивающей связи между элементами, нарушение или не реализуемость которых может привести к невозможности достижения общей цели. Производственная система должна обладать всеми возможностями управляющей системы, которая должна реализовывать стратегию управления по достижению общей цели на всех уровнях производства.

При проектировании и анализе производственных систем необходимо использовать системный подход, применение которого позволяет рассматривать систему как совокупность составляющих ее подсистем и различных элементов, взаимодействующих по определенным связям. Системный подход дает возможность решать задачи технологической и организационной подготовки производства с учетом общей цели – выпуска продукции в кратчайшие сроки с минимальными затратами.

На этапе организационно-технологической подготовке производства в соответствии с отраслевой специализацией предприятия производятся следующие мероприятия:

- в соответствии с конструкторской документацией для всех составных частей изделия разрабатываются маршрутные технологические процессы;
- формируется технологическая структура производства;
- производится выбор основного и вспомогательного оборудования;
- производится разработка технологической оснастки;
- производится выбор транспортно-накопительной системы;
- формируются ведомости на детали, узлы, комплектующие, основные и вспомогательные материалы;
- разрабатывается план мероприятий по реорганизации производственной структуры для перехода на новую продукцию.

1. Проектирование технологической структуры предприятия

1.1. Язык регулярных схем алгоритмов

Для описания различных технологических процессов используются формализованные алгебраические языки. В частности можно применить язык регулярных схем алгоритмов (РСА), предложенный впервые В.М. Глушковым [1]. Достоинства РСА определяются наличием функциональной полноты сигнатуры базовых операций для описания регулярных алгоритмов, контекстно-свободным алфавитом, математичностью и компактностью записи, возможностью автоматизации перевода на машинные алгоритмы [2, 3]. Язык РСА позволяет наглядно, однозначно и строго описывать действия алгоритмов, осуществлять равносильные преобразования алгоритмов из любых языков описания в РСА, реализовывать тождественные преобразования алгоритмов с целью их минимизации, как по условиям, так и по операторам на основании аксиом П.М. Иванова [4].

В общем случае в языке РСА алгоритмы можно представить в виде:

$$R = F \left(y_i; x_k; e; \emptyset; 1; 0; \dot{Y}; \hat{Y}; \vee Y; Y^* \right), \quad (1.1)$$

где y_i - основные операторы, описывающие алгоритм;

x_k - условия переходов по алгоритму;

e - переход по алгоритму без выполнения основных операторов;

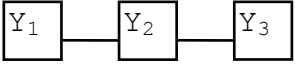
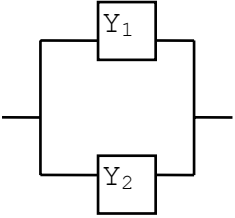
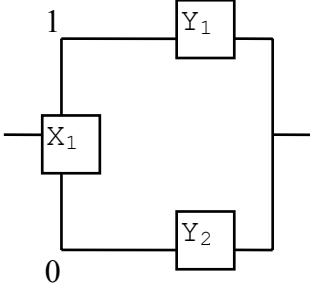
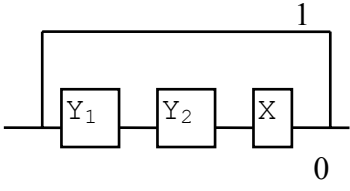
\emptyset - пустой оператор (останов алгоритма);

$1, 0$ - тождественно-истинное, тождественно-ложное условия;

$\cdot \quad \wedge \quad \vee \quad *$

$\dot{Y}; \hat{Y}; \vee Y; Y^*$ - сигнатура базовых операций РСА (таблица 1.1).

Базовые операции РСА

Операции перехода	Графическое представление	Представление в РСА	Сигнатура операций
Последовательное выполнение операторов		$R = Y_1 * Y_2 * Y_3$	Умножение \bullet Y
Параллельное выполнение операторов		$R = [Y_1 \wedge Y_2]$	Конъюнкция \wedge Y
Условное разветвление операторов		$R = (Y_1 \vee Y_2)^\alpha$ $\alpha = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	Дизъюнкция \vee Y
Циклическое выполнение операторов		$R = {}^x \{ Y_1 * Y_2 \}_x$ $x = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	Итерация $*$ Y

Математический аппарат РСА состоит из алгебры операторов и алгебры условий, который включает следующую систему аксиом:

1. $u * u = u$. Умножение одинаковых операторов может быть преобразовано в один оператор. То же относится и к единичному оператору: $e * e = e$.

2. ${}_\alpha(Q \vee Q)^\alpha = Q$. Дизъюнкция одинаковых операторов может быть преобразована в один оператор.

3. ${}_{\alpha}(PQ \vee RQ)^{\alpha} = Q_{\alpha}(P \vee R)^{\alpha}$. Одинаковые части алгоритмов могут быть вынесены за знак дизъюнкции. Соответственно можно выносить влево:
 ${}_{\alpha}(PQ \vee PR)^{\alpha} = {}_{\alpha}(Q \vee R)^{\alpha}P$.

В большинстве случаев алгоритмы возникают в виде словесного описания. Для визуального представления алгоритмов часто применяется язык граф-схем, а для внутренних преобразований – любой другой язык, в частности РСА. При этом важным элементом является система перевода из одного языка в другой. Можно предложить следующие правила перевода алгоритма из словесного описания в язык РСА:

1. Основные действия представляются в словесном описании глаголами, они составляют базис алгоритма. Одинаковые действия обозначаются одинаковыми операторами.

2. Условные разветвления и циклические возвраты возникают при появлении в тексте слова «если». В общем случае оператор «если» может быть сложным, его можно представить бинарными отношениями.

3. Параллельные участки возникают в случае указания необходимости выполнения операторов одновременно.

Язык РСА является контекстно-свободным, что позволяет вкладывать конкретный смысл в основные операторы и в условия перехода.

При проектировании производственных систем, используя математический аппарат языка РСА, можно:

- описать в формализованном виде все уровни технологических процессов;
- построить обобщенную модель производственного процесса;
- с помощью системы слабо-эквивалентных преобразований представить модель производственного процесса в базисе технологического оборудования.

Это позволит построить модель производственной структуры, первичную модель транспортных потоков и, рассчитав по ранее приведенной методике количество оборудования, получить общую структуру производственной системы.

1.2. Формирование функциональной модели производственной системы

Каждая производственная система обладает набором технологических операций, которые должны выполняться на конкретном участке (цехе) для реализации определенной цели производственной системы в соответствии со специализацией. Набор неповторяющихся технологических операций составляет базис основных технологических операций. В РСА базис основных технологических операций будет представлен в виде множества операторов технологических алгоритмов $y_i \in Y$.

Обобщенный технологический алгоритм является функциональной моделью производственной системы, который описывает в одном выражении все маршрутные технологические процессы производства всей номенклатуры изделий. Маршрутные технологические процессы, являющиеся исходными данными для проектирования производственной системы, должны быть записаны в базисе основных технологических операций.

Обобщенный технологический алгоритм получается в результате выполнения операции свертки над множеством отдельных маршрутных технологических процессов. Свертка позволяет выделить все общие части отдельных технологических процессов и с учетом программы выпуска по всей номенклатуре изделий определить загруженность каждой технологической операции [5].

На первом этапе рассматриваются построение обобщенного технологического алгоритма на множестве исходных технологических процессов (R_i).

Рассмотрим следующий пример:

$$R_1 = \underline{y_1 y_2 y_3 y_4} y_5 y_6 y_8 y_{21} y_{22} \underline{y_{24} y_{25}};$$

$$R_2 = \underline{y_1 y_2 y_3 y_4} y_7 y_{10} y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} \underline{y_{24} y_{25}};$$

$$R_3 = \underline{y_1 y_2 y_3 y_4} y_7 y_{11} y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} \underline{y_{24} y_{25}}.$$

Для уменьшения размерности исходного множества введем понятие общности первого рода. Общностью первого рода являются цепочки повторяющихся во всех алгоритмах операторов.

Выделим цепочки повторяющихся во всех алгоритмах операторов:

$$y_1 y_2 y_3 y_4; \quad y_{24} y_{25}.$$

Введем общности первого рода:

$$X_1 = y_1 y_2 y_3 y_4;$$

$$X_2 = y_{24} y_{25}.$$

Построим:

$$R_1 = \underline{X_1} y_5 y_6 y_8 y_{21} y_{22} \underline{X_2};$$

$$R_2 = \underline{X_1 y_7 y_{10} y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} X_2};$$

$$R_3 = \underline{X_1 y_7 y_{11} y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} X_2}.$$

Введем понятие общности второго рода - оператор (цепочка), имеющая применимость больше «1». Для рассматриваемого примера запишем общности второго рода:

$$X_1; \quad X_1 y_7; \quad X_2; \quad y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} X_2.$$

Введем понятие ведущий элемент - элемент, имеющий максимальную применимость. Формируется группа вокруг ведущего элемента, после чего производится свертка вокруг него. Правило свертки: сворачиваются все элементы до ведущего, а затем после него. В результате получаем исходное множество алгоритмов, которые состоят из сверток общих частей и операторов, которые являются индивидуальными для каждого конкретного алгоритма (применимость = 1).

Для рассматриваемого примера проведем выделение ведущих элементов и общностей второго рода относительно ведущих элементов:

$$1: X_1 \text{ и } X_1 y_7;$$

$$2: X_2 \text{ и } y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} X_2.$$

Проводим свертку подгрупп относительно ведущего элемента:

$$RO_1 = X_1 \left(e \vee y_7 \right)_{\alpha_1}^{\alpha_1};$$

$$RO_2 = \left(e \vee y_{16} y_{17} y_{18} y_{19} y_{20} y_{23} \right)_{\alpha_2}^{\alpha_2} X_2.$$

Затем проводится свертка по столбцам. Четные столбцы - операторы с применимостью 1, нечетные - операторы с общностью второго рода. Для рассматриваемого примера:

R1 =	RO1	y5 y6 y8 y21 y22	RO2
R2 =	RO1	y10	RO2
R3 =	RO1	y11	RO2
	RS1	RS2	RS3

$$RS1 = RO1;$$

$$RS_2 = \left(y_5 y_6 y_8 y_{21} y_{22} \vee \left(y_{10} \vee y_{11} \right) \right)_{\alpha_3}^{\alpha_4 \alpha_3};$$

$$RS3 = RO2.$$

Заполним таблицу условных переходов по обобщенному технологическому алгоритму:

	R1	R2	R3
a1	1	0	0
a2	1	0	0
a3	1	0	0
a4	0	1	0

Обобщенный технологический алгоритм определяется по формуле:

$$R_0 = \dot{Y} \sum_{i=1 \dots n} RS_i.$$

Для рассматриваемого примера:

$$R_0 = RS_1RS_2RS_3 = y_1y_2y_3y_4 \underset{\alpha_1}{\left(e \vee y_7 \right)} \underset{\alpha_3}{\left(y_5y_6y_8y_{21}y_{22} \vee \right.}$$

$$\left. \underset{\alpha_4}{\left(y_{10} \vee y_{11} \right)} \right) \underset{\alpha_2}{\left(e \vee y_{16}y_{17}y_{18}y_{19}y_{20}y_{23} \right)} y_{24}y_{25}$$

Затем формируем функциональную модель производственной системы (рис. 1.1). Эта модель является исходной для формирования и анализа структуры транспортных переходов [6].

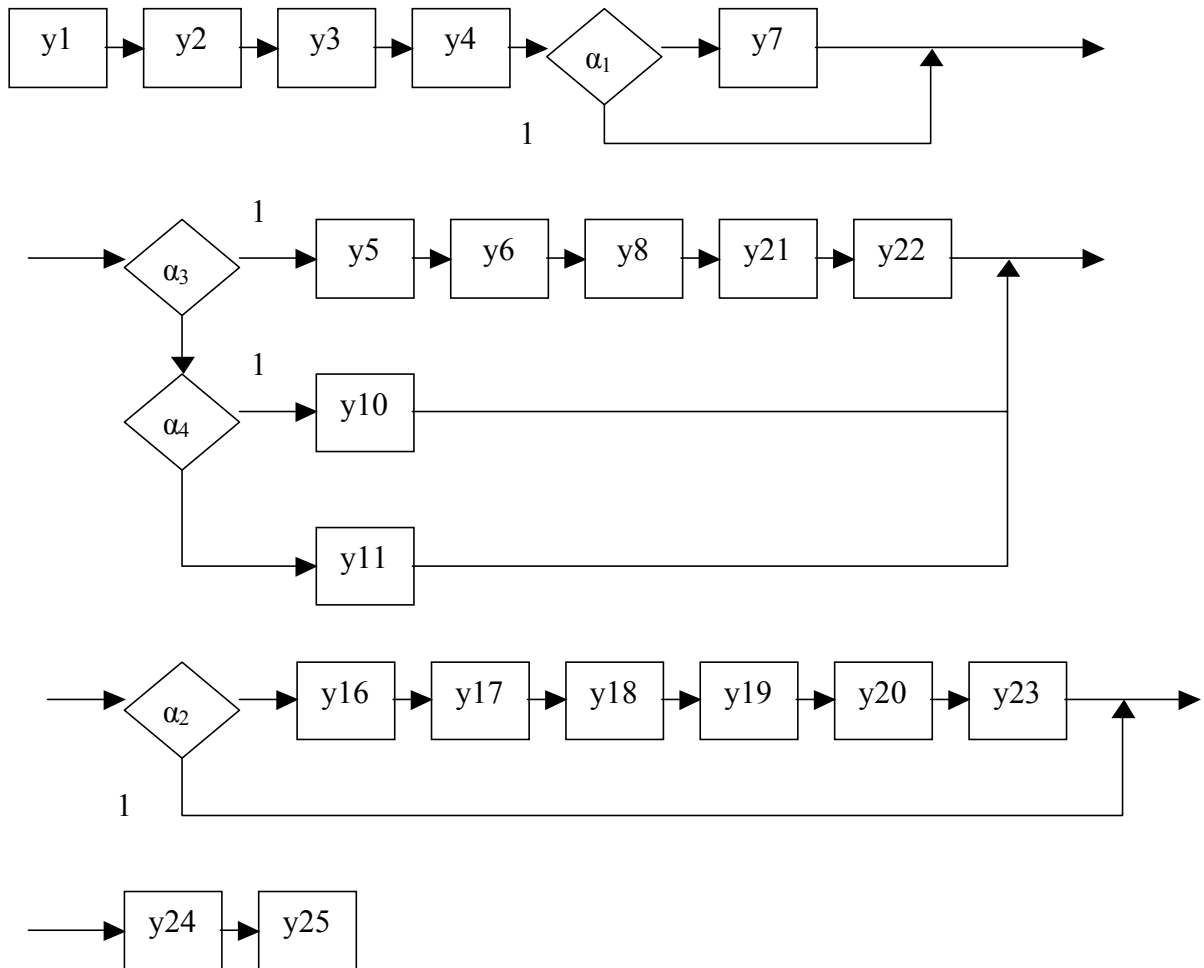


Рисунок 1.1. Блок-схема обобщенного технологического алгоритма

1.3. Построение минимизированного обобщенного алгоритма

При построении минимизированного обобщенного алгоритма необходимо учитывать следующие правила:

1. Наличие дизъюнкции. В исходном алгоритме связано с необходимостью учета состояния системы. Возникающие условия перехода, которые будут в построении обобщенного алгоритма, будут называться структурными, а в исходном алгоритме - параметрическими.

Линеаризация алгоритмов осуществляется путем замены алгоритма, имеющего дизъюнкцию, подмножеством линейных. Для этого вводятся специальные служебные операторы, указывающие на состояние оператора. Далее строится алгоритм по ранее рассмотренной методике.

2. Наличие конъюнкций.

2.1. Если есть конъюнктивные разветвления, у которых полностью совпадает алфавит, то они заменяются одним оператором.

2.2. Если существуют конъюнктивные участки, имеющие разное количество разветвлений, и их перечисления являются полным, то они так же могут быть заменены одним оператором. Если участки алгоритма имеют разный алфавит, то заменяются разными операторами.

3. Наличие итераций. В исходном алгоритме фиксируются возникновение и замыкание итерации возврата. Таким образом, алгоритмы становятся линейными. После построения обобщенного алгоритма в общем случае в месте возникновения итерационного возврата возникает такая же итерация.

Таким образом, общий случай построения минимизированного обобщенного алгоритма заключается в следующем:

1 шаг. Линеаризация исходного множества алгоритмов. Производится в определенном порядке:

- фиксация возникновения и замыкания итерационных переходов;
- замена конъюнкций соответствующими операторами;
- формирование множества алгоритмов для дизъюнкций.

2 шаг. Построение обобщенного алгоритма для множеств линейностей.

3 шаг. Введение нелинейностей:

- вводится конъюнкция;
- подстановка итераций.

В результате получается минимизированный обобщенный алгоритм в исходном базисе операций, и этот алгоритм является моделью для построения производственной системы.

2. Проектирование производственной структуры предприятия

Производственная структура - система элементов, предназначенная для обеспечения всего производственного процесса. Каждый элемент структуры строится на принципах специализации и обеспечивает реализацию набора технологий.

Технология - набор технологических процессов, которые могут быть типовыми и рабочими. Структурным элементом технологического процесса является технологическая операция. Каждая технологическая операция по ГОСТу характеризуется четырьмя составляющими: станок, приспособление, инструмент, деталь. Если рассмотреть структурные элементы с точки зрения определения серийности производства, то на одном и том же предприятии есть элементы, которые работают в режиме массового производства. Серийность производства характеризуется количеством технологических операций, выполняемых на одном рабочем месте и объемом выпуска.

Существуют следующие критерии оценки работы предприятия:

- коэффициент загрузки оборудования;
- действительный фонд времени;

- эффективный фонд работы;
- организационно-технологические потери.

2.1. Расчет количества оборудования для производственной системы

Вначале необходимо обеспечить заданный такт, а затем для каждой технологической операции определяется количество рабочих мест. Данный подход является модификацией метода баланса мощностей.

В соответствии с годовой программой выпуска по всей номенклатуре изделий для каждой технологической операции определяется необходимая производительность. Обычно на предприятиях имеется отраслевой стандарт, где указывается перечень применяемых технологических операций и для каждой технологической операции приводится перечень альтернативных типовых технологических процессов, из которых может быть выбран вариант, обеспечивающий необходимую производительность.

Каждый типовой технологический процесс описан в виде последовательности технологических операций, выполняемых на конкретном оборудовании. Обобщенный технологический алгоритм, записанный в базе технологического оборудования, представляет собой модель производственной системы. Структура связей в обобщенном технологическом алгоритме указывает требования к транспортной системе.

Определение необходимой производительности оборудования для каждой технологической операции проводится на основании количества элементов изделия, технологический процесс которых требует выполнения U_i технологических операций. Это количество определяется из анализа обобщенного технологического алгоритма по формуле:

$$N_{y_i} = \sum_{j=1}^k N_j, \quad (2.1)$$

где k - количество технологических процессов, проходящих через U_i технологическую операцию;

N_j - годовая программа выпуска деталей по j -му технологическому процессу.

Далее находится такт выхода деталей для обеспечения выполнения годового плана:

$$T_{\text{тип}} = \Phi_{\text{эф}} / N_{y_i}, \quad (2.2)$$

где $\Phi_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени на плановый период.

Эффективный фонд времени рассчитывается по следующим формулам:

1) определение календарного фонда времени:

$$\Phi_k = t_{\text{см}} * K_{\text{см}} * K_{\text{рд}}, \quad (2.3)$$

где $t_{\text{см}}$ - продолжительность смены (8 часов);

$K_{\text{см}}$ - количество смен (2 смены);

$K_{\text{рд}}$ - количество рабочих дней (300 дней за год).

2) определение действительного фонда времени:

$$\Phi_d = \Phi_k - \text{Прв}, \quad (2.4)$$

где Прв - потери на ремонт и восстановление.

$$\text{Прв} = 10\% * \Phi_k. \quad (2.5)$$

3) Эффективный фонд времени:

$$\Phi_{\text{эф}} = \Phi_d - \text{Пот}, \quad (2.6)$$

где Пот - организационно-технические потери.

$$\text{Пот} = T_{\text{цмах}} * K_{\text{рд}}, \quad (2.7)$$

где $T_{\text{цмах}}$ - максимальная продолжительность одного из технологических процессов (в часах).

Типовой технологический процесс для U_i технологической операции выбирается следующим образом. Определяется такт, который может обеспечить каждый из типовых технологических процессов (T_{y_i}), по самой

продолжительной технологической операции. Выбирается типовой технологический процесс, для которого выполняется неравенство:

$$T_{yi} < T_{yip}. \quad (2.8)$$

В случае, если неравенство не выполняется, производится распараллеливание технологического оборудования (работает не один станок, а два и т.д.). Выбор типового технологического процесса производится до тех пор, пока не выполнится условие:

$$T_{yi/n} < T_{yip}, \quad (2.9)$$

где n – количество элементов технологического оборудования, осуществляющих выполнение U_i технологической операции.

В большинстве случаев выбирается типовой технологический процесс, для которого n минимально и величина $T_{yi/n}$ наиболее близка к величине T_{yip} .

Таким образом, осуществляется выбор типовых технологических процессов для реализации технологических операций, выбор оборудования и закрепление составных частей изделия за технологическим оборудованием. Этот процесс может носить итеративный характер при наличии ограничений: компоновочных, технических и т.д.

2.2. Формирование модели производственной структуры предприятия

Введем систему слабо эквивалентных преобразований для формирования обобщенных алгоритмов в базисе оборудования. Для этого будем использовать систему бинарных отношений. Эта система позволяет описывать технологические возможности оборудования. Она представляет собой классификатор, где каждому технологическому оборудованию будет поставлено в соответствие подмножество технологических операций, которые могут выполняться на нем [7].

Наиболее простая классификация будет отражать возможность оборудования выполнить одну конкретную технологическую операцию

(однозначное отображение). Такое отображение имеет место в узкоспециализированном оборудовании. При этом процесс преобразования обобщенного технологического алгоритма будет производиться путем замены технологической операции на оборудование в соответствии с системой отношений. При замене получаем производственную структуру. В общем случае на одном типе оборудования может производиться множество технологических операций.

Для построения обобщенного алгоритма в случае многофункционального оборудования введем две леммы равносильных или слабо эквивалентных преобразований:

Лемма 1. Правило объединения линейных цепочек при переводе в новый базис операторов. Если имеет место такая система бинарных отношений, то при отображении в новый базис операторов линейно-связанная цепочка может быть преобразована в один оператор;

Лемма 2. Если существует такая система бинарных отношений, то дизъюнкция в исходном алгоритме так же может преобразоваться в один оператор.

Это обязательное условие преобразования. При проектировании производственных структур вводятся дополнительные условия, позволяющие сократить множество вариантов. Воспользуемся условием - заданный такт системы. Ограничим производительность в установившемся режиме: каждая технологическая операция имеет свое время выполнения, тогда право на существование будут иметь варианты, у которых сумма выполнения операций не превышает заданного такта.

При закреплении нескольких операций на одном рабочем месте необходимо учитывать время переналадки. Если будем рассматривать дизъюнктивно разветвленный участок, то за одним оборудованием можно закреплять все технологические операции, время выполнения которых плюс время на наладку меньше заданного такта.

В любом случае при формировании обобщенного алгоритма имеет место инвариантность. Существует множество методов выбора лучшего варианта и множество критериев, по которым осуществляется выбор. Одним из наиболее рациональных является вариант, при котором критерии ранжируются по важности, в этом случае они становятся фильтрами при выборе вариантов.

В результате отбора наиболее рациональных вариантов выделяются несколько наиболее привлекательных, при этом выбор окончательных вариантов производится с дополнением системой критериев. После получения более рациональной структуры решается задача компоновки с привлечением следующей информации:

- массогабаритные характеристики оборудования;
- информация о структуре сетей обеспечения;
- требования по технике безопасности;
- требования к транспортно-накопительной системе.

Обобщенный технологический алгоритм (см. рис. 1.1), записанный в базе технологического оборудования, дает представление о структуре производственной системы (рис. 2.1). Связи в обобщенном технологическом алгоритме позволяют получить структуру транспортно-накопительной системы.

2.3. Проектирование транспортно-накопительной системы

Транспортно-накопительная система формируется в процессе компоновки основного и вспомогательного технологического оборудования. Основными элементами транспортно-накопительной системы являются: автооператоры, перегрузочные столы, магистрали обслуживания участков. Основные структуры магистрали: линейные, кольцевые. Исходной информацией для проектирования системы является структура материальных потоков [8].

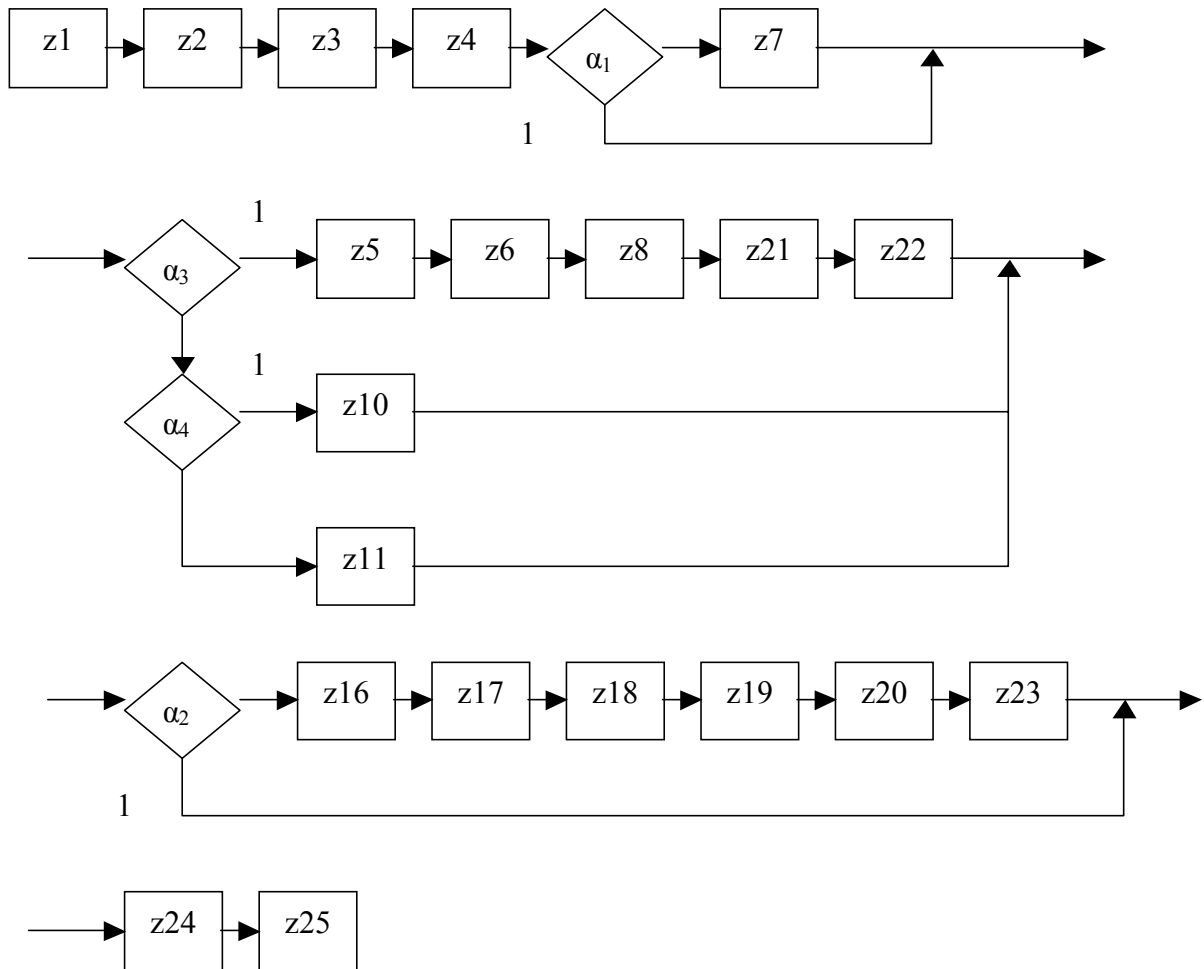


Рисунок 2.1. Модель производственной структуры в базе оборудования

Выбор автооператора осуществляется в зависимости от того, что транспортируется, количество - от интенсивности заявок на обслуживание. При необходимости в системе нескольких работающих автооператоров, особое внимание уделяется безопасности движения, которое обеспечивается применением набора технических средств и дополнительного специального алгоритма обеспечения. Исходным для построения транспортно-накопительной системы является обобщенный технологический алгоритм, описанный в базе операторов.

Обязательное логическое условие диктуется непосредственно структурой алгоритма, то есть будет выполняться тот агрегат, что свободен (делается проверка). Так как каждая технологическая операция имеет трудоемкость, то построим график загрузки основного технологического оборудования. Задаем последовательность поступления деталей на обработку. Каждая технологическая операция для каждой детали имеет свое время обработки. Эта модель является идеальной, так как не учитывает время транспортировки.

Расписание обычно составляется, исходя из приоритетности требований тех или иных деталей в производственном процессе. Но при этом величина межоперационных процессов может быть очень высока. В этом случае может решаться задача оптимизации. Критерием оптимизации являются общие издержки предприятия, влияющие на себестоимость. Они складываются из следующего:

- потери, связанные с простоем оборудования собственного участка;
- издержки, которые несут другие составляющие производственного процесса, связанные с задержкой поступления деталей к ним на обработку.

В общем случае решается задача минимизации общих потерь.

Для рационального формирования транспортной системы решается задача построения множества таких расписаний. За основу принимаются расписания, которые обеспечивают максимальную загрузку транспортной системы. Одним из критериев выбора является максимальный межоперационный переход, особенно тот, который связан с работой транспортной системы. Для расчета загрузки транспортной системы рассматриваются также компоновочные решения.

Необходимо учитывать следующее требование: суммарное время работы автооператора - средневзвешенное время переездов, умноженное на количество межоперационных переходов. В случае невыполнения условия в системе могут использоваться несколько автооператоров. В этом случае усложняется управление.

Работа транспортной системы не должна существенно увеличивать межоперационные простои. Это решается за счет возможной перекомпоновки, за счет увеличения числа автооператоров, перепланирования расписания движения материальных потоков.

В построенное расписание вносятся времена, связанные с транспортировкой детали по рабочим местам. На основе данных времен назначается автооператор, который будет выполнять эти действия. Получаем графики загрузки элементов транспортной системы, создаем расписания движения автооператора в терминах элементов производственной структуры и с видом действий, которые должны осуществляться.

3. Проектирование АСУ производственной системы

3.1. Проектирования АСУ параметрами

Рассмотрим проектирование АСУ параметрами на примере участка нанесения гальванопокрытия.

Гальваника - нанесение покрытия методом осаждения ионов на поверхность обрабатываемых металлов. Кроме моделей самого процесса гальванопокрытия вводятся алгоритмы управления, которые отражают процессы получения исходных данных, обработки информации, принятия решений и выдачи управляющих воздействий.

Будем рассматривать дискретные процессы, для которых характерно разделение технологического процесса на технологические операции. Кроме задач управления параметрами, должны решаться задачи транспортировки деталей по рабочим местам в соответствии с технологическими операциями.

Гальванический процесс можно разделить на 4 составляющие:

1. Подготовка.
2. Нанесение основного покрытия.

3. Дополнительная обработка поверхности.

4. Сушка.

Рассмотрим уровень управления параметрами на каждой технологической операции. Гальваническая ванна наполняется раствором солей определенных металлов. Прикладывается разность потенциалов к аноду и катоду. Осуществляется направленное движение ионов, которые осаждаются на детали (катод). Качество поверхности будет зависеть от температуры, концентрации, плотности тока, которые характеризуют скорость движения ионов:

$$П = f(t^0, c, j). \quad (3.1)$$

Параметры растворов (t^0 , c , j) должны соответствовать параметрам технологических операций. Вариация параметров позволяет осуществлять различное по качеству нанесение покрытия. Для управления параметрами данных строятся контура управления, формируются законы регулирования. В технологических процессах указывается номинальные значения технологических операций, допустимые отклонения (Δ), при котором процесс считается нормальным. Если параметры выходят за 3Δ , то процесс считается неуправляемым. Процесс нанесения покрытия будем считать нормальным, если все параметры будут в допустимых диапазонах.

Для контроля параметров необходимо использование датчиков. Рассмотрим некоторые типы датчиков [9]:

1. Аналоговые датчики.

Выходное напряжение или ток пропорционален измеряемому параметру: $U(I) = f(P)$. При выборе датчика определяется диапазон изменений. Основное внимание уделяется диапазону выходного напряжения. Определяется чувствительность и порог чувствительности датчика: $K = \Delta U / \Delta D$.

2. Датчики с частотным выходом.

Частота выходного сигнала пропорциональна входному параметру: $f = F(P)$.

3. Датчики с цифровым выходом.

Код пропорционален с измеряемой величиной: код = f(P).

4. Позиционные датчики.

Эти датчики, фиксирующие совершение события.

Информация с датчиков поступает на нормирующие усилители, которые предназначены для усиления входного сигнала в диапазоне работы АЦП. Усиливается как полезный сигнал, так и помеха. Поэтому необходимо использовать теорему Котельникова: аналоговый сигнал является сложным, формируется в результате сложения многих гармоник. Для восстановления аналогового сигнала после машинной обработки частота должна быть больше самой большой частотной составляющей входного сигнала.

Для отслеживания переходный процесс необходимо устройство слежения и запоминания, которое используются для фиксации напряжения на время, необходимое для преобразования сигнала в АЦП.

Если количество датчиков превышает количество используемых регистров ЭВМ, то применяется дешифратор, который преобразует двоичный код на входе в позиционный сигнал на выходе. От ЭВМ через выходной регистр на дешифратор поступает номер реле в виде двоичного кода, соответствующее реле замыкается, и информация с датчиков через АЦП поступает в ЭВМ.

Существуют различные типы АЦП: последовательного счета, поразрядного уравнивания, которые отличаются быстродействием, точностью, сложностью схемы построения [10].

При выборе АЦП особое внимание уделяется зоне чувствительности, она дает погрешность измерений, связанную с дискретностью измерения сигналов. Погрешность будет определяться удельным весом младшего разряда по следующей зависимости:

$$U_{\min} = \frac{U_d}{2^n}, \quad (3.2)$$

где U_{\min} - минимальный шаг изменения сигнала (В);

U_d - диапазон изменения сигнала (В);

2^n - диапазон измерения сигнала (в дискретах);

n - количество разрядов АЦП.

Например. Диапазон изменения сигнала на входе АЦП составляет 0 - 10 В. Диапазон измерения сигнала составляет - 2000 дискрет. Точность измерения сигнала составит (10 В разделить на 2000 дискрет) - 0,005 В.

Регулирование параметров растворов в гальванических ваннах осуществляется с помощью исполнительных механизмов.

Температура регулируется холодильником и нагревателем. Концентрация раствора регулируется заслонками для впуска концентрата или для впуска воды. Плотность тока регулируется мощным источником напряжения.

От ЭВМ через выходной регистр на дешифратор поступает номер реле в виде двоичного кода, соответствующее реле замыкается, и управляющий сигнал от ЭВМ через ЦАП поступает на исполнительные механизмы.

Точность работы ЦАП определяется аналогично точности работы АЦП [11].

Выбор дешифратора определяется количеством устройств, которые управляются с помощью ЭВМ. Количество устройств равно сумме количества датчиков и количества исполнительных механизмов. Следовательно, дешифратор должен иметь количество выходов не меньше количества устройств и количество входов (n) в соответствии с условием:

$$2^n > \text{количества устройств.}$$

Управление датчиками и исполнительными механизмами осуществляется ЭВМ с помощью программы опроса значений параметров, расчета необходимых значений и выдачи соответствующих управляющих воздействий.

Алгоритм программы управления параметрами автоматизированного участка гальванопокрытия приведен на рисунке 3.1.

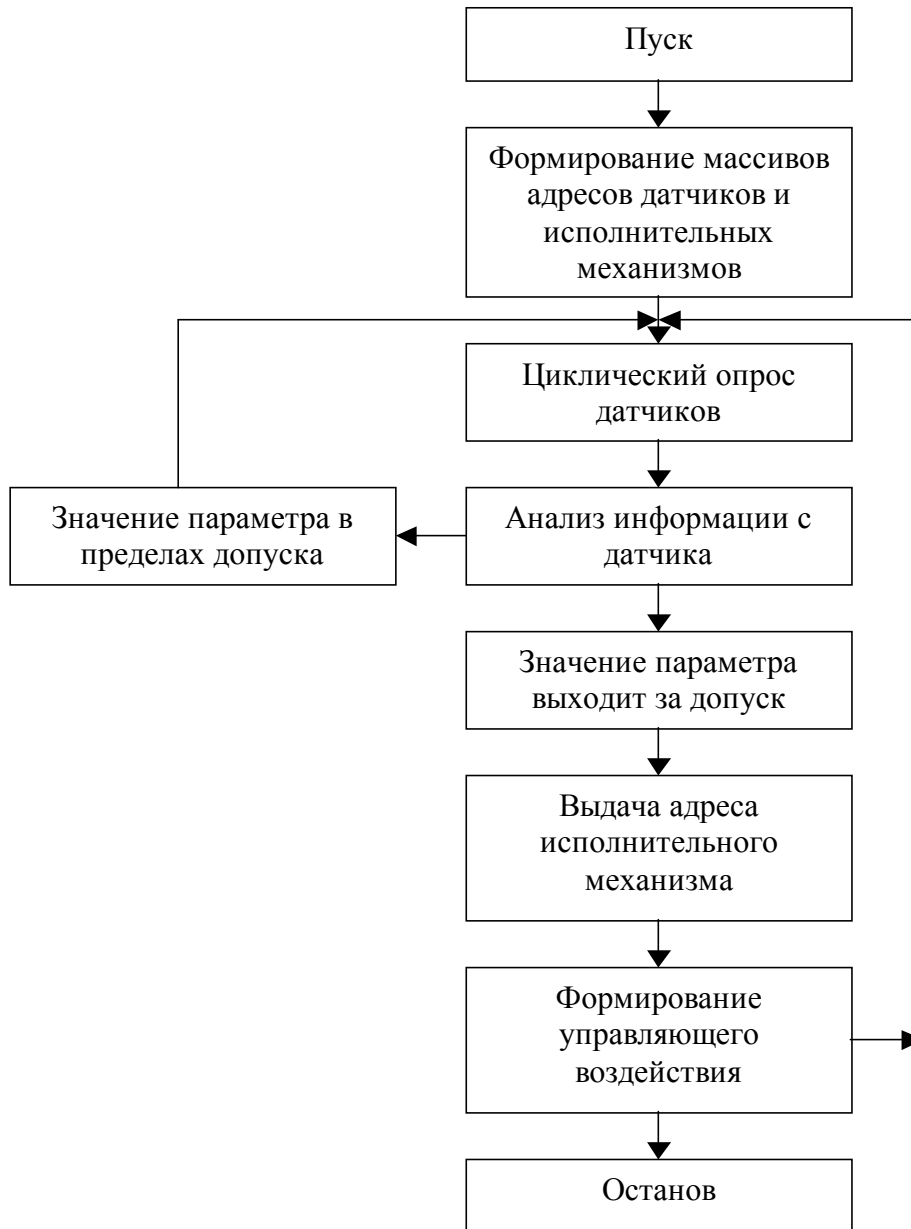


Рис. 3.1. Алгоритм программы управления параметрами

Сформируем закон управления параметрами участка гальванопокрытия (рис. 3.2), при следующих исходных данных. Все датчики измерения параметров – аналоговые. Диапазон работы АЦП 0 – 10 В (преобразуется в 2000 дискрет). Диапазон работы ЦАП – 1000 дискрет (преобразуется в 0 – 10 В). Диапазон измерения температуры $20^0 - 100^0$ С., номинальное значение температуры $t_{\text{НОМ}} = 60^0 \pm 5^0$ С. Диапазон измерения концентрации 0 – 10 В (2000 дискрет), номинальное значение концентрации $c_{\text{НОМ}} = 0,5 \text{ Д} \pm 0,1 \text{ Д}$, где Д – диапазон измерения. Диапазон измерения плотности тока 0 – 10 В (2000 дискрет), номинальное значение плотности тока $j_{\text{НОМ}} = 0,5 \text{ Д} \pm 0,1 \text{ Д}$.

Схема автоматизированной системы управления участка гальванопокрытия приведена на рисунке 3.3.

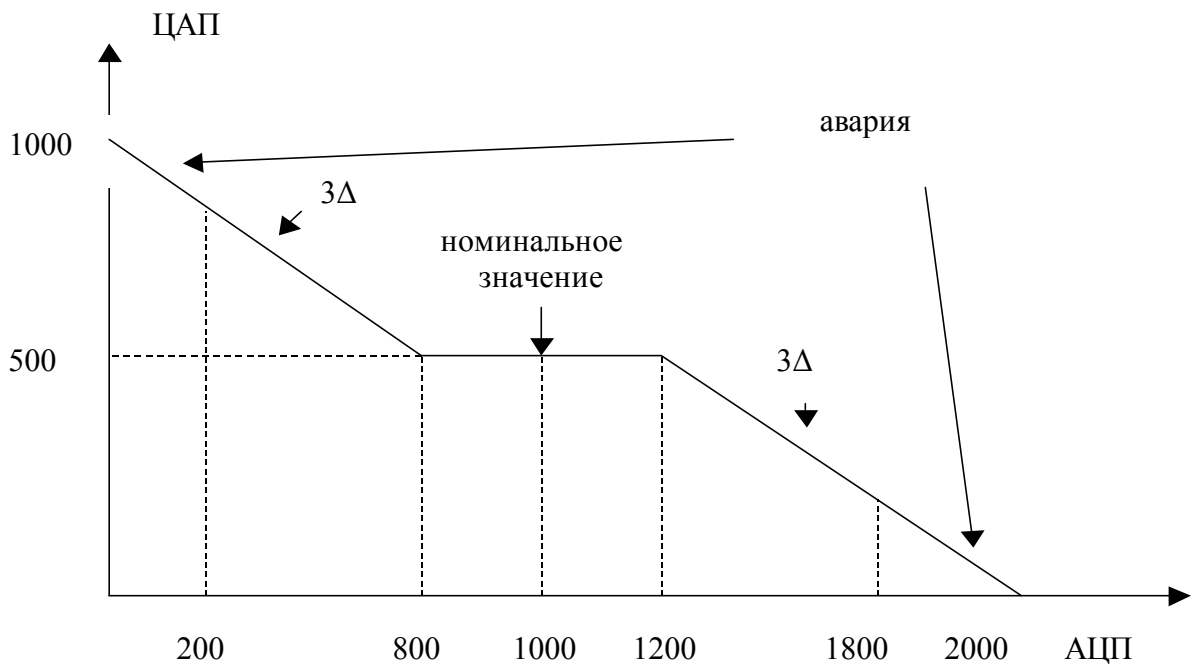


Рис. 3.2. Закон управления параметрами

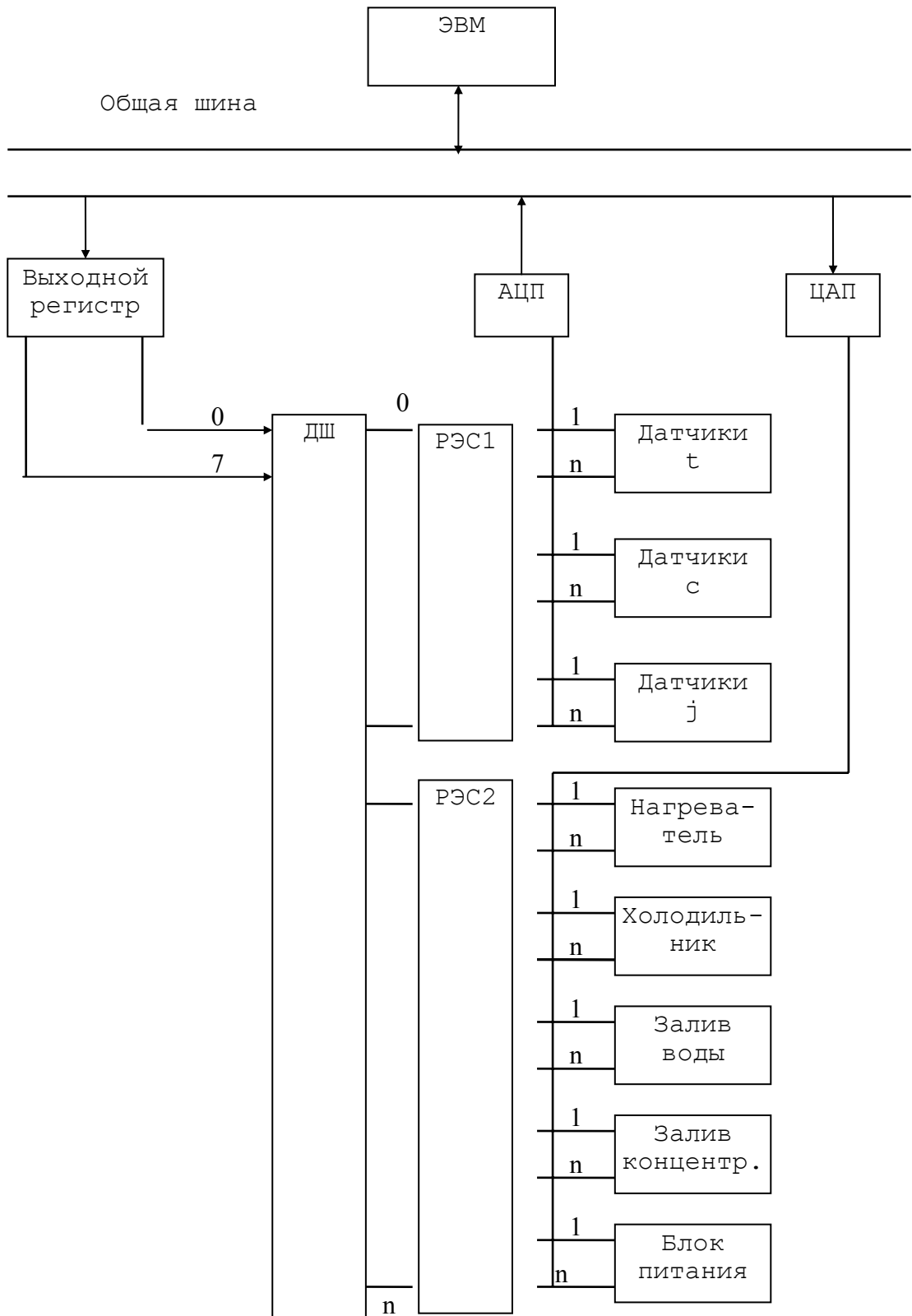


Рис. 3.3. Схема АСУ участка гальванопокрытия

3.2. Проектирование АСУ транспортно-накопительной системы

При автоматизации производственной структуры предприятия необходимо учитывать следующее:

- создание расписания движения каждого автооператора на интервале зоны обслуживания;
- стыковка этих расписаний во времени;
- анализ возможных аварийных ситуаций.

Рассмотрим формирование расписания на примере участка нанесения гальванопокрытия. В данном случае основное рабочее место - гальваническая ванна, на котором выполняются следующие операции:

- подготовка детали к нанесению покрытия;
- нанесение основного покрытия на поверхность детали;
- дополнительная обработка поверхности, сушка.

При этом основная задача автооператора - загрузка подвесок в гальванические ванны, причем на линии могут быть встречные потоки. Для организации процессов автоматизированного управления на гальванической линии требуется следующий состав технических средств:

- система датчиков, фиксирующих состояние линии и автооператора;
- датчик положения захвата автооператора;
- датчик фиксации захвата автооператора;
- датчики занятости ванн;
- датчики положения автооператора на линии.

Эти операции можно сгруппировать в две микропрограммы:

1. Переезд:

- поднятие захвата;
- переезд к ванне;

- определение положения автооператора;
- выбор направления движения;
- контроль прибытия к ванне.

2. Перенос:

- опустить захват;
- проверка фиксации захвата;
- опускание захвата;
- освобождение захвата.

При построении программы управления транспортно-накопительной системы, в качестве исходных данных используется расписание движения автооператоров. Рассмотрим два случая:

1. В системе находится одна подвеска.

Каждое рабочее место имеет свой номер, который идентифицируется с помощью датчиков. Расписание движения автооператора представляется в базе номеров рабочих мест и укрупненных функций его действий.

2. В системе находится несколько подвесок.

Одним автооператором может реализовываться работа с несколькими подвесками за счет резерва времени (в расписание добавляются операции переезда = P_1). Формирование расписания с P_1 и P_2 осуществляется методом ситуационного моделирования.

При формировании графика загрузки рабочих мест, учитывается следующее ограничение: в технологических процессах осуществляются операции, время выполнения которых строго детерминировано.

Все микроалгоритмы строятся путем анализа ситуаций, возникающих на линии, состояния автооператора и действий, которые надо произвести.

4. Проектирование участка гальванопокрытия

4.1. Исходные данные

В качестве примера рассмотрим участок нанесения гальванопокрытия, который относится к основным цехам производства изделий промышленным предприятием.

Применительно к участку нанесения гальванопокрытия рабочее время смены делится на такие отрезки времени:

- наполнение линии подвесками;
- установившийся режим;
- очищение линии.

Годовая программа выпуска может задаваться параметрами: площадь покрытия, которую необходимо обработать. Исходя из специфики выпускаемой продукции, ее конструктивных особенностей, из базы ванн выбирается оборудование, позволяющее обрабатывать детали. Для расчетов будем использовать параметр - площадь изделий, которая может обработаться в одной подвеске.

1. Годовая программа выпуска изделий гальванической линии - 4000 м².
Площадь покрытия нанесенного при одном проходе (площадь подвески) – 1 м².
2. Технологические процессы нанесения гальванопокрытия (табл. 4.1).
3. Технологические операции нанесения гальванопокрытия (табл. 4.2).
4. В качестве задания выберем ТП3, ТП4, ТП5.

Таблица 4.1.

Исходные технологические процессы

ТП 1	ТП 2	ТП 3	ТП 4	ТП 5	ТП 6	ТП 7	ТП 8
обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание	обезжиривание
Горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка
холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка
травление	травление	травление	травление	травление	травление	травление	травление
горячая промывка	горячая промывка	каскадн. промывка	каскадн. промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка	горячая промывка
холодная промывка	холодная промывка	цинкование	кадмирование	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка
декапирование	декапирование	улавливание	улавливание	декапирование	декапирование	декапирование	декапирование
холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка	холодная промывка
меднение	никелирование	осветление	осветление	серебрение	олово-висмут	олово-никель	оловянирование
холодная промывка	холодная промывка	каскадн. промывка	каскадн. промывка	улавливание	холодная промывка	холодная промывка	горячая промывка
сушка	сушка	пассивация	пассивация	горячая промывка	сушка	сушка	холодная промывка
		горячая промывка	горячая промывка	холодная промывка			сушка
		холодная промывка	холодная промывка	сушка			
		сушка	сушка				

Основные технологические операции

Название операции (обозначение в РСА)	Время выполн. мин.	Датчики		
		Темп. t^0 , С	Конц. С	Пл. тока j
обезжиривание (y1)	10	+	+	
горячая промывка после обезжиривания (y2)	1	+		
холодная промывка после обезжиривания (y3)	1			
травление (y4)	10	+	+	
горячая промывка после травления (y5)	1	+		
холодная промывка после травления (y6)	1			
каскадная промывка после травления (y7)	1			
меднение (y8)	35	+	+	+
никелирование (y9)	30	+	+	+
цинкование (y10)	140	+	+	+
кадмирование (y11)	70	+	+	+
серебрение (y12)	60	+	+	+
нанесение покрытия олово-висмут (y13)	30	+	+	+
нанесение покрытия олово-никель (y14)	30	+	+	+
оловянирование (y15)	60	+	+	+
осветление (y16)	3	+		
каскадная промывка после осветления (y17)	1			
улавливание (y18)	1	+		
каскадная промывка после улавливания (y19)	1			
пассивация (y20)	1	+	+	
декапирование (y21)	1	+	+	
холодная промывка после декапирования (y22)	1			
горячая промывка перед сушкой (y23)	1	+		
холодная промывка перед сушкой (y24)	1			
сушка (y25)	15	+		

4.2. Построение обобщенного технологического алгоритма

1) Запись ТПЗ, ТП4, ТП5 в РСА.

$$R1 = \underline{y1\ y2\ y3\ y4\ y7\ y10\ y16\ y17\ y18\ y19\ y20\ y23\ y24\ y25};$$

$$R2 = \underline{y1\ y2\ y3\ y4\ y7\ y11\ y16\ y17\ y18\ y19\ y20\ y23\ y24\ y25};$$

$$R3 = \underline{y1\ y2\ y3\ y4\ y5\ y6\ y12\ y18\ y21\ y22\ y23\ y24\ y25}.$$

2) Выделение общностей первого рода.

$$X1 = y1\ y2\ y3\ y4;$$

$$X2 = y23\ y24\ y25.$$

3) Запись алгоритмов с учетом общностей первого рода.

$$R1 = \underline{X1\ y7\ y10\ y16\ y17\ y18\ y19\ y20\ X2};$$

$$R2 = \underline{X1\ y7\ y11\ y16\ y17\ y18\ y19\ y20\ X2};$$

$$R3 = \underline{X1\ y5\ y6\ y12\ y18\ y21\ y22\ X2}.$$

4) Выделение общностей второго рода

$$X1;$$

$$X1\ y7;$$

$$X2;$$

$$y16\ y17\ y18\ y19\ y20\ X2;$$

5) Выделение ведущих элементов и общностей второго рода относительно ведущих элементов.

1) X1 и X1 y7

2) X2 и y16 y17 y18 y19 y20 X2

6) Свертка относительно ведущих элементов.

$$RO_1 = X_1 \left(y_7 \vee e \right);$$

$$RO_2 = \left(y_{16}y_{17}y_{18}y_{19}y_{20} \vee e \right) X_2.$$

7) Свертка алгоритмов по столбцам.

R1	RO1	y10	RO2
R2	RO1	y11	RO2
R3	RO1	y5 y6 y12 y18 y21 y22	RO2
	RS1	RS2	RS3

$$RS1 = RO1;$$

$$RS2 = \left(y_{10} \vee \left(y_{11} \vee y_5y_6y_{12}y_{18}y_{21}y_{22} \right) \right);$$

$$RS3 = RO2.$$

8) Формирование таблицы условных переходов.

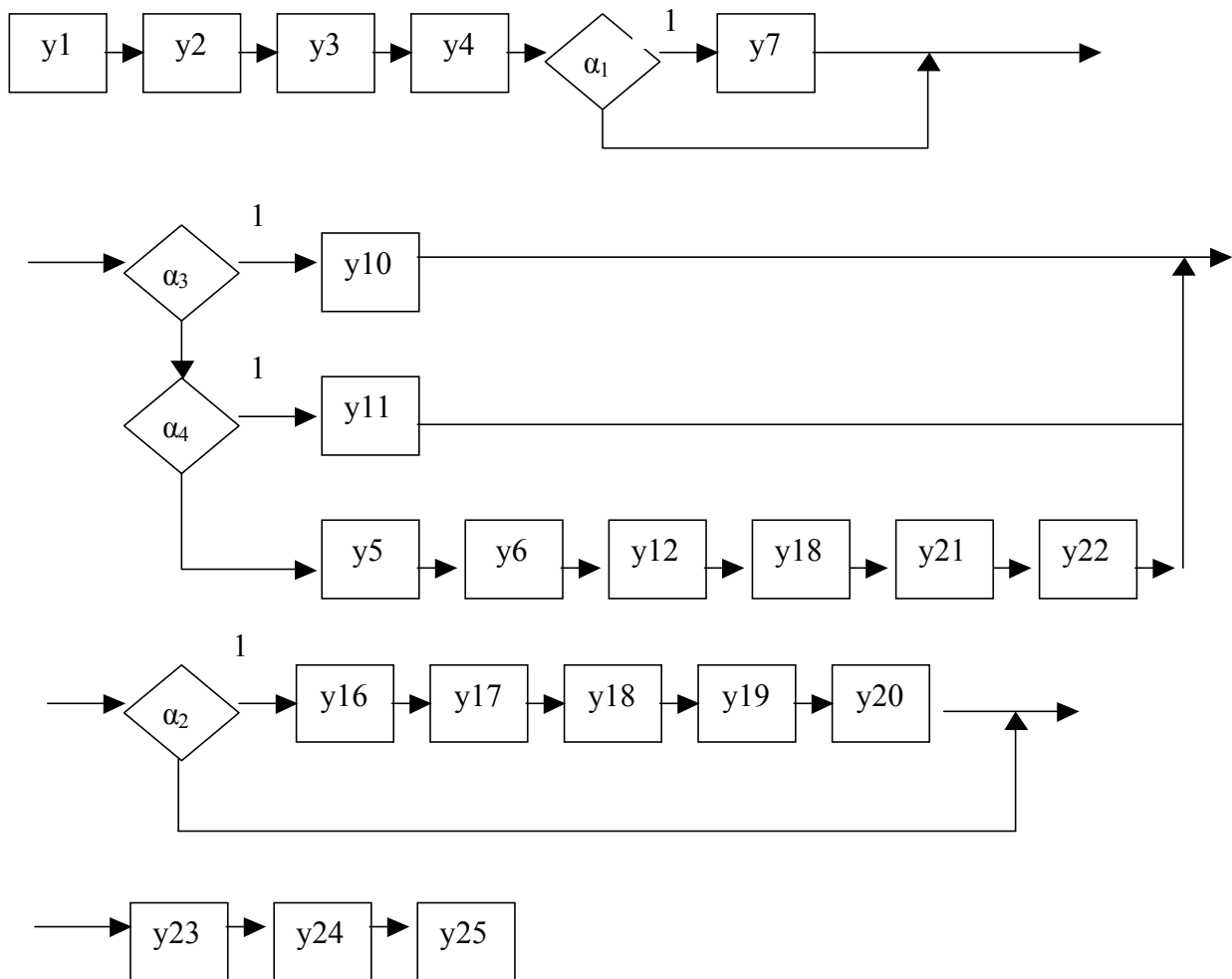
	R_1	R_2	R_3
α_1	1	1	0
α_2	1	1	0
α_3	1	0	0
α_4	0	1	0

9) Запись обобщенного технологического алгоритма.

$$R_o = y_1y_2y_3y_4 \left(y_7 \vee e \right) \left(y_{10} \vee \left(y_{11} \vee y_5y_6y_{12}y_{18}y_{21}y_{22} \right) \right)$$

$$\left(y_{16}y_{17}y_{18}y_{19}y_{20} \vee e \right) y_{23}y_{24}y_{25}.$$

10) Блок-схемы обобщенного технологического алгоритма.



4.3. Расчет количества оборудования

1) Расчет календарного фонда времени:

$$\Phi_k = t_{см} * K_{см} * K_{рд},$$

где: $t_{см} = 8$ часов; $K_{см} = 2$ смены; $K_{рд} = 300$ дней за год.

$$\Phi_k = 8 * 2 * 300 = 4800 \text{ ч.}$$

2) Расчет действительного фонда времени:

$$\Phi_{д} = \Phi_{к} - \text{Прв.}$$

Прв = 10% $\Phi_{к}$ - потери на ремонт и восстановление.

$$\Phi_{д} = 4800 - 480 = 4320 \text{ ч.}$$

3) Расчет эффективного фонда времени:

$$\Phi_{эф} = \Phi_{д} - \text{Пот.}$$

Пот = $T_{ц\max} * K_{рд}$ - организационно-технические потери.

$T_{ц\max}$ – максимальная продолжительность одного из ТП (в часах).

$$T_{ц1} = 189 \text{ мин.}$$

$$T_{ц2} = 129 \text{ мин.}$$

$$T_{ц3} = 104 \text{ мин.}$$

$$T_{ц\max} = 189 \text{ мин.} = 3,15 \text{ ч.}$$

4) Расчет (N_{yi}) количества элементов изделия:

$$N_{y1} = N_{y2} = N_{y3} = N_{y4} = N_{y18} = N_{y23} = N_{y24} = N_{y25} = 3 * 4000 = 12000;$$

$$N_{y7} = N_{y16} = N_{y17} = N_{y19} = N_{y20} = 2 * 4000 = 8000;$$

$$N_{y5} = N_{y6} = N_{y10} = N_{y11} = N_{y12} = N_{y21} = N_{y22} = 1 * 4000 = 4000.$$

5) Расчет такта выхода деталей ($T_{yп}$):

$$T_{y1п} = T_{y2п} = T_{y3п} = T_{y4п} = T_{y18п} = T_{y23п} = T_{y24п} = T_{y25п} = 3375/12000 = 0,28 \text{ ч.} = 16,8 \text{ мин.};$$

$$T_{y7п} = T_{y16п} = T_{y17п} = T_{y19п} = T_{y20п} = 3375/4000 = 0,84 \text{ ч.} = 50,4 \text{ мин.};$$

$$T_{y5п} = T_{y6п} = T_{y10п} = T_{y11п} = T_{y12п} = T_{y21п} = T_{y22п} = 3375/8000 = 0,42 \text{ ч.} = 25,2 \text{ мин.}$$

6) Проверка условия такта выхода деталей ($T_{yп}$) и времени выполнения технологической операции (T_{yi}).

Условие $T_{yi} < T_{yin}$ не выполняется для y_{10} , y_{11} , y_{12} . Увеличиваем количество оборудования в 2 раза для операций y_{11} , y_{12} и в 3 раза для операции y_{10} .

$$T_{y_{11,12}} = 3375 * 2 * 10 / 4000 = 100,8 \text{ мин.}$$

$$T_{y_{10}} = 3375 * 3 * 10 / 4000 = 151,2 \text{ мин.}$$

4.4. Проектирование АСУ участка

1) Определение количества датчиков:

$$D_t = 17 \text{ шт.};$$

$$D_c = 10 \text{ шт.};$$

$$D_j = 7 \text{ шт.};$$

$$K_d = 17 + 10 + 7 = 34 \text{ шт.}$$

2) Определение количества исполнительных механизмов:

$$\text{Холодильников} - 17 \text{ шт.};$$

$$\text{Нагревателей} - 17 \text{ шт.};$$

$$\text{Залив воды} - 10 \text{ шт.};$$

$$\text{Залив концентрата} - 10 \text{ шт.};$$

$$\text{Блок питания} - 7 \text{ шт.}$$

$$K_{им} = 17 * 2 + 10 * 2 + 7 = 61 \text{ шт.}$$

3) Определение количества выходов дешифратора:

$$K_{вых} = K_d + K_{им} = 34 + 61 = 95$$

4) Определение количества входов дешифратора.

В соответствии с условием $2^n > K_{вых}$, берем $n = 7$. Условие выполняется:

$$2^7 = 128 > 95.$$

5) Формирование схемы системы управления (рис. 4.1).

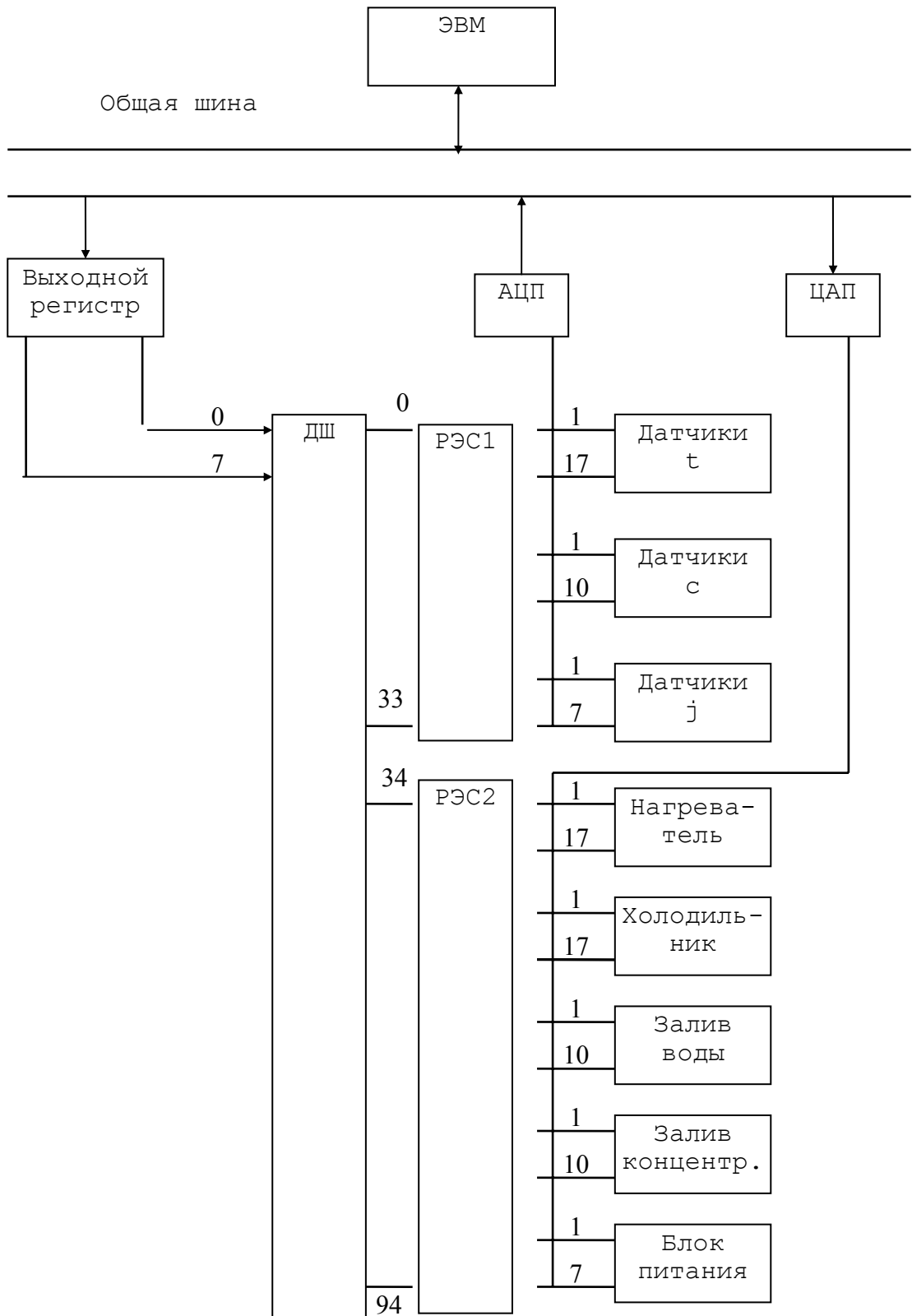


Рис. 4.1. Схема системы управления.

Список использованной литературы

1. Иванов П.М. Аксиоматизация микропрограммных алгебр // IV Республиканская научная конференция молодых исследователей по системотехнике -К.:, 1969, т. 2.
2. Илюшко В.М., Попов В.А. Об одной модификации регулярных схем алгоритмов//Математические методы анализа динамических систем –Харьков: ХАИ, 1977.
3. Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л. Алгебра, языки программирования - К.: "Наукова думка", 1974. -327 с.
4. Илюшко В.М., Чумаченко И.В. Проектирование микропроцессорных систем управления роботизированными комплексами. Учебное пособие – Харьков: ХАИ, 1984. -95с.
5. Илюшко В.М., Миланов М.В. Автоматизация проектирования технологических структур гибких производственных систем. Учебное пособие – Харьков: ХАИ, 1988.
6. Илюшко В.М., Дружинин Е.А. Автоматизированные системы подготовки и управления производством. Учебное пособие – Харьков: ХАИ, 1989. – 73 с.
7. Латкин М.А., Федорович А.О. Преобразование моделей при исследовании систем управления // Авіаційно-космічна техніка та технологія: Зб. наук. пр., вип. 7. – Харків: ХАІ, 1998. – С.174-176.
8. Ямпольский Л.С. Гибкие автоматизированные производственные системы. - К.: «Техніка», 1985.
9. Подлесный М.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. – К.: «Вища школа», 1982. – 477 с.
10. Маслов А.А., Сахаров О.Н. Аналого-цифровые микропроцессорные устройства. – М.: МАИ, 1991. – 160 с.
11. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К.: «Техника», 1991. – 191с.

Дружинин Евгений Анатольевич

Латкин Матвей Алексеевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Редактор А.Н. Емленинова

Корректор Е.Ф. Сережкина

Св. план, 2002

Подписано в печать

Формат 60×80¹/₁₆. Бум. офс. №2. Офс. печ.

Усл. печ. 2,5. Уч.-изд. л. 3,0. Т. 100 экз. Заказ . Цена свободная

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

61070, Харьков – 70, ул. Чкалова, 17

Ротапринт типографии «ХАИ»

61070, Харьков – 70, ул. Чкалова, 17