

## Глава 6. Пример проектирования АСУ ТП: АСУ ТП подготовки резиновой смеси

### 6.1 Существующая система приготовления резиновой смеси

Существующая система включает в себя четыре питателя со своими транспортерами, которые поставляют компоненты смеси в приемный бункер, вес которого контролируется электромеханическими весами (Рис.). Компоненты смеси последовательно поступают в приемный бункер по транспортерам, движение которых прекращается при достижении в бункере заданного веса компоненты. Когда все компоненты смеси в заданных количествах загружены в бункер, выдается команда на открывание люка бункера – процесс подготовки смеси завершен.

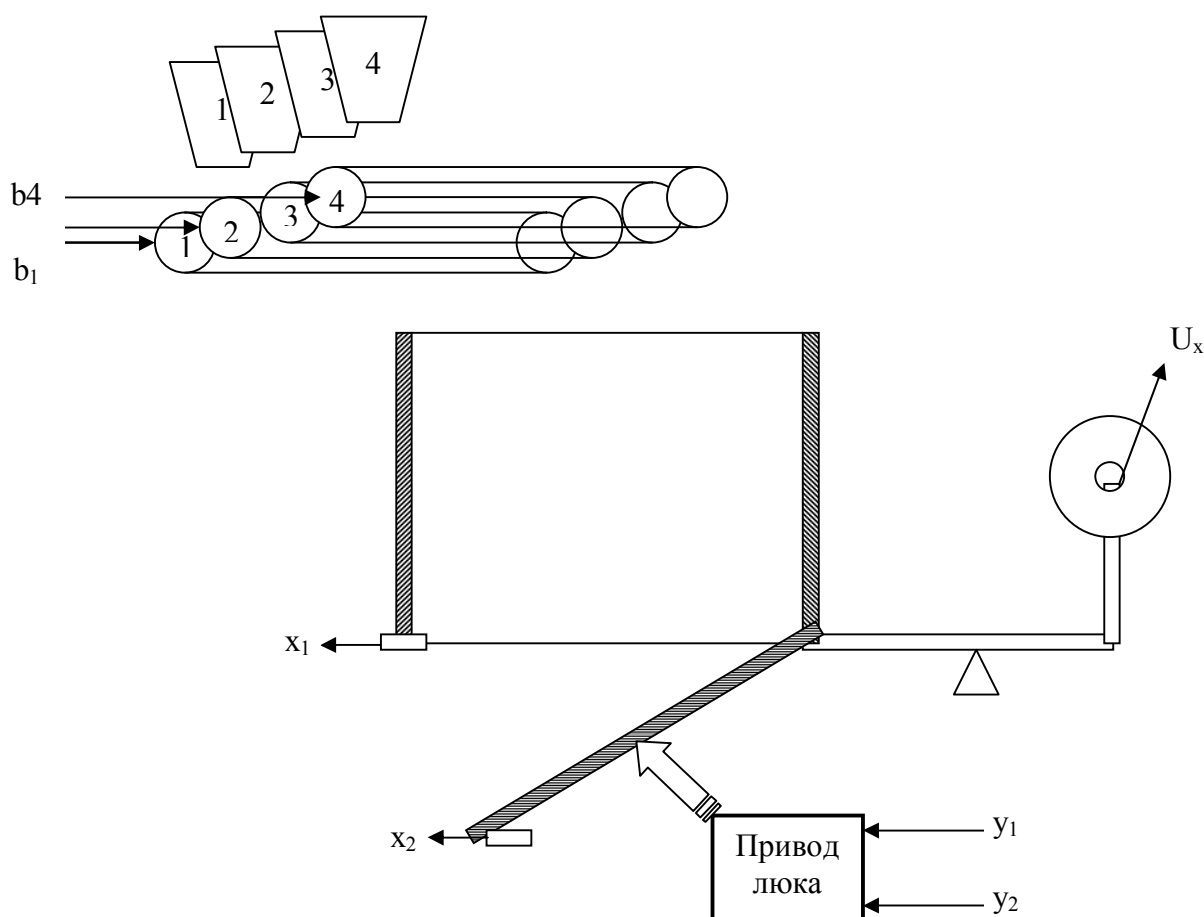


Рис.6.1. Схема устройства приготовления резиновой смеси:

Многие рецепты содержат менее четырех компонент – в этом случае работают не все питатели. Изредка встречаются рецепты, включающие более четырех компонент, однако вес дополнительных компонент весьма мал по сравнению с основными. Соответствующие «навески» готовятся «вручную» на отдельных весах за пределами рассматриваемого процесса.

Контроль за процессом приготовления смеси осуществляется с помощью блока управления, реализованного на релейно-контактных элементах. Значения навесок задается переключателями на наборном поле. Напряжение с выхода поворотного трансформатора на оси весов (оно пропорционально весу бункера) сравнивается с заданным (переключателями) и при совпадении выдается сигнал на останов соответствующего транспортера.

Существующий блок не отвечает современным требованиям как по надежности, так и по реализуемым функциональным возможностям, например, он не может реализовать переключение транспортера на пониженную скорость движения при достижении 90% заданного веса, хотя привод транспортера предусматривает две скорости движения. Весьма неудобно задавать значения весов компонент смеси.

## **6.2. Требования к разрабатываемой АСУ ТП**

### Исходные данные для разработки системы:

- 4 питателя;
- контроль навесок по каждому питателю отдельно;
- две скорости транспортеров;
- команда «Открыть люк»;
- команда «Закрыть люк»;
- сигнал «Люк открыт»;
- сигнал «Люк закрыт»;
- задание рецептов с клавиатуры;
- выбор рецептов из памяти;
- возможность связи с ПЭВМ.

АСУ ТП должна обеспечить:

- возможность задания рецепта смеси путем назначения веса каждой из компонент (не более четырех) в диапазоне 0 – 999,9 кг;
- возможность выбора рецепта по номеру из списка готовых рецептов;
- возможность автоматического контроля веса компоненты смеси, поступающей в бункер по транспортеру питателя с точностью не менее 1% (последовательно для всех работающих питателей);
- управление движением транспортеров питателей: при достижении 90% заданного веса транспортер переключается на пониженную скорость движения и выключается при достижении заданного веса;

- индикацию текущего состояния процесса;
- формирование управляющих сигналов «Открыть» и «Закрыть» на привод люка бункера.

Учитывая, что силовые элементы и датчики в системе уже существуют, в рамках настоящей разработки следует реализовать только управляющий блок, обеспечивающий:

- анализ состояния датчиков положения люка и текущего веса смеси;
- управление приводами транспортеров питателей и крышки люка;
- индикацию текущего состояния процесса приготовления смеси;
- ввод требуемых значений весов компонент смеси;
- выбор рецепта смеси из существующего списка рецептов;
- редактирование списка рецептов.

В перспективе следует предусмотреть возможность связи управляющего блока с ЦВМ верхнего уровня АСУ.

### 6.3. Выбор способа реализации управляющего блока

Очевидно, что в современных условиях подобное устройство целесообразно реализовать на микропроцессорных элементах (микроЭВМ). В настоящее время промышленностью выпускается широкий спектр разнообразных микроЭВМ, из которого всегда можно выбрать прибор с нужными параметрами.

При выборе микроЭВМ нужно оценить следующие характеристики управляемого процесса:

- 1) инерционность (требования к быстродействию);
- 2) требуемая точность измерений;
- 3) объем перерабатываемой и хранимой информации за цикл управления;
- 4) необходимость диалога с оператором и объем вводимой и выводимой информации.

Процесс подготовки резиновой смеси можно представить состоящим из двух этапов: 1 – задание рецепта (режим *набора*); 2 – *взвешивание* компонент.

(1) На первом этапе скорость процесса (ввод данных) определяется человеком, на втором – инерционностью довольно мощных

систем электропривода и громоздких механических элементов. Можно сделать вывод, что к проектируемой системе управления не предъявляется высоких требований по быстродействию.

- (2) Согласно ТЗ точность измерения веса должна быть не менее 1%, что позволяет использовать в системе *8-битовое представление данных* и 8-разрядное аналого-цифровое преобразование. В этом случае цена единицы младшего разряда составит  $2^{-8} \approx 0,5\%$ .
- (3) Процесс автоматической подготовки смеси по заданному рецепту определяется значениями весов четырех (не более) компонент, каждый из которых задается четырьмя десятичными цифрами (max). Таким образом – объем информации одного рецепта в распакованном формате – *16 байт*. В системе предполагается хранить до 99 рецептов смесей, объем информации рецепта в упакованном формате – 5 байт (4 байта – 4 значения навесок и четыре 2-битовых поля, определяющих точность задания навески – гранулярность). Таким образом, максимальный объем «книги рецептов» – около *0,5 Кбайт*. Наконец, по предварительным оценкам объем программного обеспечения, реализующего анализ состояния датчиков и АЦП, управление приводами транспортеров и люка, обеспечение диалога с оператором, преобразование форматов данных и др. составит *2 .. 4 Кбайт*.
- (4) Средства ввода/вывода должны обеспечить возможность ввода четырех четырехразрядных десятичных чисел (с указанием положения запятой), индикацию введенных значений, отображение текущих значений веса компонент смеси, положение люка бункера. Кроме того, оператор должен иметь возможность задавать номер для выбора стандартного рецепта смеси и сохранять новые рецепты в памяти. Очевидно, для реализации описанного диалога достаточно иметь группу семисегментных индикаторов, цифровую и управляющую клавиатуру, и ряд двоичных индикаторов. Индикация. Если индицировать веса компонент последовательно – достаточно будет одного четырехразрядного индикатора, если одновременно – то четырех четырехразрядных и одного двухразрядного (номер рецепта). Кроме того, следует отображать состояние люка и позицию активного в данный момент питателя. Для этого потребуются пять двоичных индикаторов (светодиодов). Клавиатура включает 11 цифровых клавиш (десятичные цифры + запятая) и 5 .. 8 управляющих клавиш.
- (5) Оценивая в целом характеристики управляемого процесса, можно сделать вывод о достаточности применения в разрабатываемой

системе управления 8-разрядной однокристальной микроЭВМ с адресным пространством 64 Кбайт. Учитывая необходимость аналого-цифрового преобразования, целесообразно выбрать микроЭВМ со встроенным АЦП.

Для указанных целей хорошо подходит 8-разрядная микроЭВМ фирмы Motorola MC68HC11E9.

#### **6.4. Выбор режима работы микроЭВМ и распределение адресного пространства**

Кристалл ...E9 включает в себя, помимо 8-разрядного микропроцессора, следующие элементы, которые можно использовать для реализации поставленной задачи:

- 12 Кбайт ПЗУ – для хранения программы и части рецептов смесей;
- 0,5 Кбайт ЭСПЗУ – для хранения вновь создаваемых рецептов;
- 0,5 Кбайт ОЗУ – для размещения текущего рецепта и других оперативных данных;
- последовательный асинхронный приемопередатчик – для организации связи с ЦВМ верхнего уровня;
- пять параллельных портов ввода/вывода – для подключения клавиатуры и индикации.

Конфигурацию ...E9 можно было бы считать оптимальной для решения поставленной выше задачи, если бы в ее состав включались средства управления динамической индикацией и матричной клавиатурой. В данном случае можно попытаться подключить внешний контроллер клавиатуры и индикации (например, K580BB79) или реализовать процедуры динамического ввода/вывода программно через порты микроЭВМ.

##### **6.4.1. Выбор режима работы**

В MC68HC11E9 предусмотрено два основных режима работы – однокристальный и расширенный. Последний позволяет использовать в адресном пространстве микроЭВМ внешние ячейки памяти и ВУ, однако использует для своей реализации два из пяти портов микроЭВМ. Ресурсов кристалла MC68HC11E9 вполне достаточно для реализации поставленных задач, поэтому напрашивается выбор *однокристального* режима. Однако в этом случае проблему динамической индикации и опроса клавиатуры следует решать программно и процесс совмещения во времени индикации, опроса клавиатуры, АЦП и управления приводами требует тщательного анализа.

Если совместить указанные процессы во времени не удастся, следует подумать о подключении внешнего контроллера клавиатуры и индикации, причем подключение его «по всем правилам» требует перехода в *расширенный* режим, а сохранение однокристалльного режима при подключенном контроллере – громоздких программных ухищрений для прямого управления контроллером через порты микроЭВМ.

Оценим возможность совмещения во времени процессов измерения веса (АЦП), динамической индикации и управления. При оценке примем тактовую частоту микроЭВМ  $E = 2$  МГц (длительность такта – 0,5 мкс).

На этапе *взвешивания* микроЭВМ циклически должна:

- (1) выдать на активный очередной индикатор соответствующий семисегментный код;
- (2) опросить клавиатуру;
- (3) преобразовать поступающее на вход АЦП напряжение в код (вес);
- (4) сравнить текущий вес с заданным;
- (5) при необходимости – выдать управляющий сигнал на привод;
- (6) задержка
- (7) изменить номер активного индикатора;
- (8) перейти к п. 1.

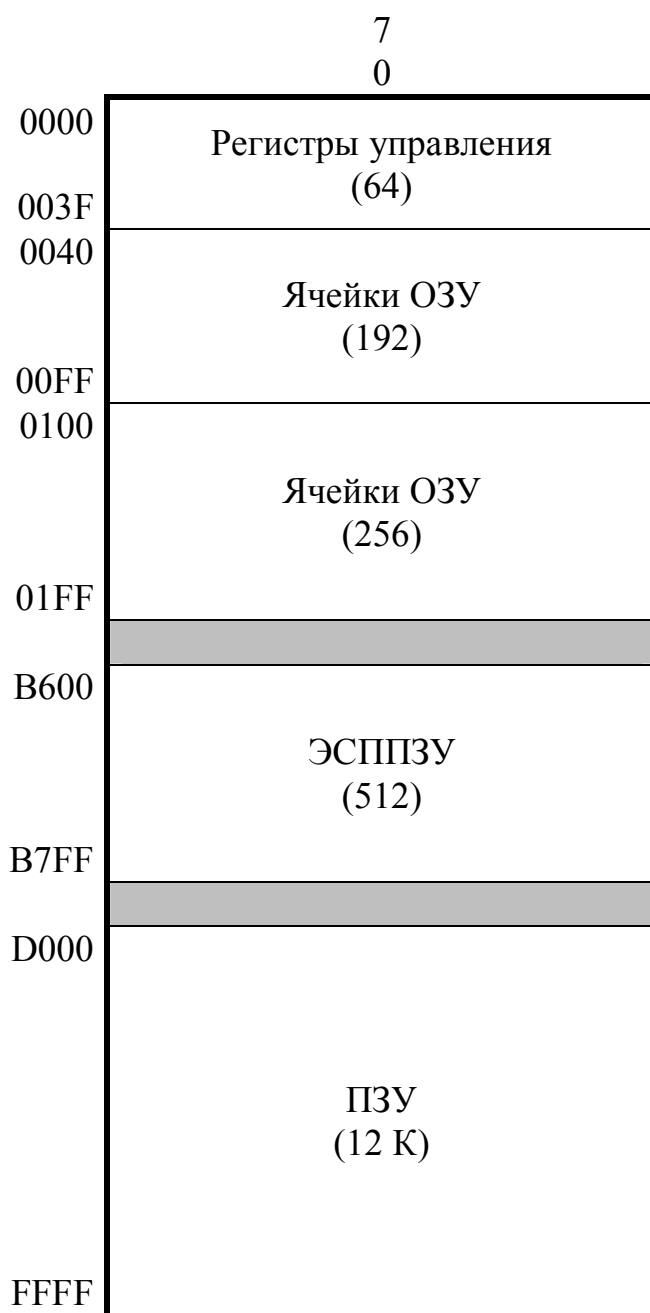


Рис.6.2. Распределение адресного пространства

Элементы цикла 1, 2, 4, 5, 7 и 8 содержат несколько (десятков) команд и могут занимать время по 20 .. 50 мкс, измерение состоит из четырех циклов, каждый из которых занимает 16 мкс, таким образом элемент цикла 3 занимает около 80 мкс (с начальным запуском и усреднением). Задержка в цикле индикации может быть 10 .. 20 мс. Учитывая, что остальные элементы цикла занимают (по максимуму)  $6 \times 50 + 80 = 380$  мкс = 0,38 мс, очевидно, что за время задержки индикации символа можно успеть произвести все необходимые действия по анализу состояния системы и управления.

Исходя из проведенного примерного анализа временных характеристик выберем **однокристалльный режим работы** микроЭВМ.

Распределение адресного пространства в МС68НС11Е9 (однокристалльный режим)

12Кбайт ПЗУ располагаются в старших адресах адресного пространства D000 .. FFFF (FFFE – вектор прерывания по сбросу), ЭСППЗУ – в адресах B600 .. B7FF. ОЗУ объемом 512 байт по умолчанию размещается в адресах 0000 .. 01FF, а 64 регистра управления – по адресам 1000 .. 1003F.

Особенностью системы команд МС68НС11Е9 является то, что адресовать ячейки нулевой страницы адресного пространства можно укороченными командами. Архитектура МС68НС11Е9 допускает возможность размещения блока ОЗУ и регистров в произвольном разделе (x000) адресного пространства, в том числе и с перекрытием других

областей памяти, например ПЗУ. На нулевой странице следует располагать те объекты, к которым наиболее часто идет обращение в программе.

Если оставить область ОЗУ на месте, назначенном по умолчанию, а область регистров перенести в раздел 0000, то 64 регистра управления перекроют соответствующие ячейки памяти. При этом 64 ячейки ОЗУ окажутся «потерянными» (недоступными) для пользователя, однако в распоряжении пользователя останется  $512 - 64 = 448$  ячеек, из которых  $256 - 64 = 192$  ячейки – на нулевой странице. Окончательное распределение памяти системы представлено на Рис.

#### **6.4.2.           *Распределение ресурсов ввода/вывода***

Следующая проблема связана с распределением ресурсов линий ввода/вывода для передачи сигналов состояния и управления и подключения клавиатуры и индикации к портам микроЭВМ.

МС68НС11Е9 в однокристальном режиме имеет:

- 11 входных линий – А(2:0), Е(7:0);
- 11 выходных линий – А(6:4), В(7:0);
- 16 двунаправленных линий, каждая из которых независимо может быть определена как входная или выходная – А(7,3), С(7:0), D(5:0).

Для подключения внешних устройств в проектируемой системе требуется:

- 1 входная линия – Ux;
- 2 входных линии – x1, x2;
- 8 выходных линий – управление движением транспортеров b1(2) .. b4(2);
- 2 выходные линии – y1, y2;
- 2 двунаправленные линии – последовательный канал RS-232;
- 8 выходных линий – код символа;
- 4 выходные линии\* – светодиоды индикации активного питателя;
- 1 выходная линия\* – светодиод “Люк закрыт”;
- ? выходные линии – сканирование клавиатуры и индикации;
- ? входные линии – линии возврата клавиатуры.

В приведенном выше списке количество выходных линий сканирования и входных линий возврата клавиатуры пока не определено, однако количество первых не может быть меньше пяти (18 индикаторов). Тогда общее число требуемых выходных линий составляет 30, что



превышает возможности MC68HC11E9, даже если все ее двунаправленные линии определить как выходные (две из них – RxD и TxD – должны использоваться в последовательном асинхронном канале).

Таблица 6.1.

Линия	Тип	Назначение	Линия	Тип	Назначение
A <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/>	Код клавиши (возврат)	D <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/>	RxD
A <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>		D <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>	TxD
A <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв	D <sub>2</sub>	↔	Резерв
A <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>	Линии кодированного сканирования	D <sub>3</sub>	↔	Резерв
A <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>		D <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>	у <sub>1</sub>
A <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>		D <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>	у <sub>2</sub>
A <sub>6</sub>	<input type="checkbox"/>				
A <sub>7</sub>	<input type="checkbox"/>				
B <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/>	Код символа	E <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/>	U <sub>x</sub>
B <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>	x <sub>1</sub>
B <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>	x <sub>2</sub>
B <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв
B <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв
B <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв
B <sub>6</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>6</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв
B <sub>7</sub>	<input type="checkbox"/>		E <sub>7</sub>	<input type="checkbox"/>	Резерв
C <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/>	b <sub>1</sub> (1:0)			
C <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/>				
C <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>	b <sub>2</sub> (1:0)			
C <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>				
C <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/>	b <sub>3</sub> (1:0)			
C <sub>5</sub>	<input type="checkbox"/>				
C <sub>6</sub>	<input type="checkbox"/>	b <sub>4</sub> (1:0)			
C <sub>7</sub>	<input type="checkbox"/>				

В качестве варианта разрешения этой проблемы можно предложить использование группы индикаторных светодиодов (5) “в стиле” девятнадцатого семисегментного индикатора. В этом случае информация на светодиоды будет передаваться в динамическом режиме и защелкиваться во внешнем регистре, а пять выходных линий, отмеченных в списке звездочкой \*, можно исключить из множества требуемых линий.

Поскольку ресурсы выходных линий MC68HC11E9 не позволяют осуществить дешифрованную выборку индикаторов (требуется 18 выходных линий для этой цели) приходится использовать кодированное сканирование и внешний дешифратор. В этом случае можно ограничиться

пятью линиями сканирования и дешифратором на 19 выходов. 12 из этих 19 линий сканирования индикаторов можно использовать и для сканирования клавиатуры, в этом случае достаточно предусмотреть две линии возврата: на одной – цифры, на другой – управляющие клавиши. Тогда распределение сигналов по линиям портов микроЭВМ может иметь вид, представленный в Табл.

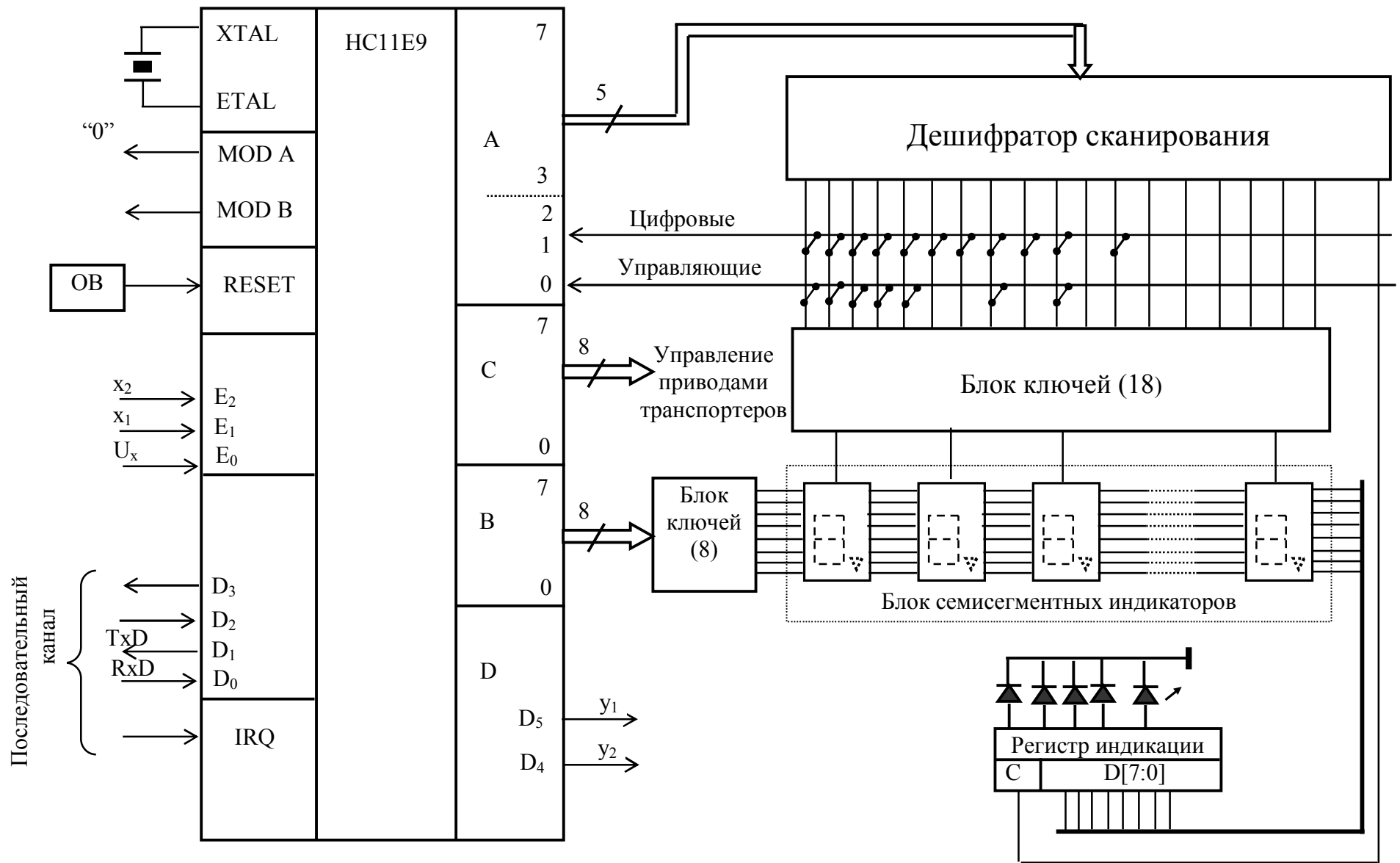
### 6.4.3. Назначение управляющих клавиш и элементы диалога

Таблица 6.2

Клавиша	Функции
<b>Сброс</b>	RESET – начальная установка и переход в режим <i>набора</i> .
<b>Набор</b>	Перевод в режим ввода четырех 4-разрядных чисел – значений навесок; по умолчанию на все индикаторы выводится 0000. Набор начинается последовательно с первого питателя. Набирается произвольное число цифр (со сдвигом влево, после запятой – вправо). Набор фиксируется по нажатию <b>Ввод</b> . Если питатель не участвует в приготовлении смеси, его значение принимается за 0000 – просто нажимается клавиша <b>Ввод</b> .
<b>Рецепт</b>	Переводит в режим ввода двухзначного номера рецепта. По нажатию <b>Ввод</b> по номеру читается рецепт из ПЗУ и выводится на индикаторы. Если клавиша <b>Рецепт</b> нажата после осуществления режима <b>Набор</b> , то по введенному номеру рецепт вносится в таблицу рецептов.
<b>Ввод</b>	Фиксирует текущий набор и переходит к следующему набору (после четвертого – опять к первому)
<b>Пуск</b>	Переводит систему в режим <i>взвешивания</i> . В этом режиме на индикаторы выводится текущее значение набранного веса для каждого питателя. Активный питатель индицируется на пульте.
<b>%</b>	В режиме взвешивания переводит индикацию на вывод % набранного веса от заданного. Повторное нажатие возвращает в режим вывода абсолютных значений веса.

Ниже на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – Рис. представлена структурно-функциональная схема системы управления, функциональные схемы некоторых ее фрагментов, вид пульта управления, используемые ресурсы микроЭВМ и основные алгоритмы функционирования системы.

Следует отметить, что в настоящей главе представлен лишь один из возможных вариантов реализации системы управления. Возможны другие подходы к выбору приоритетов при проектировании и, соответственно – другие результаты проектирования.



**Рис. 6.3. Функциональная схема блока управления**

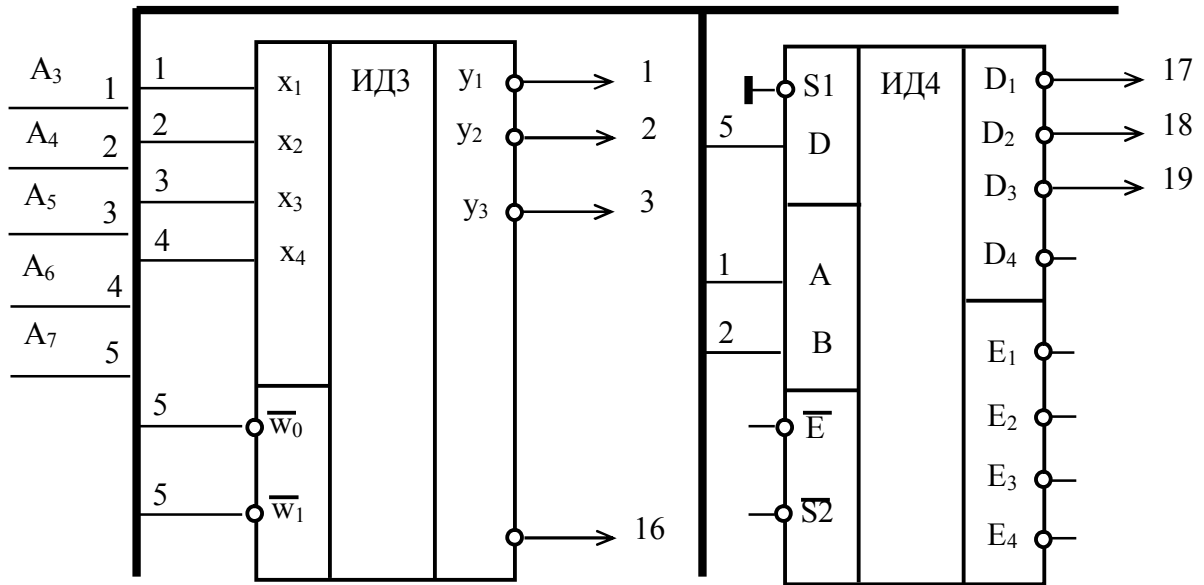


Рис.6.4. Дешифратор сканирования

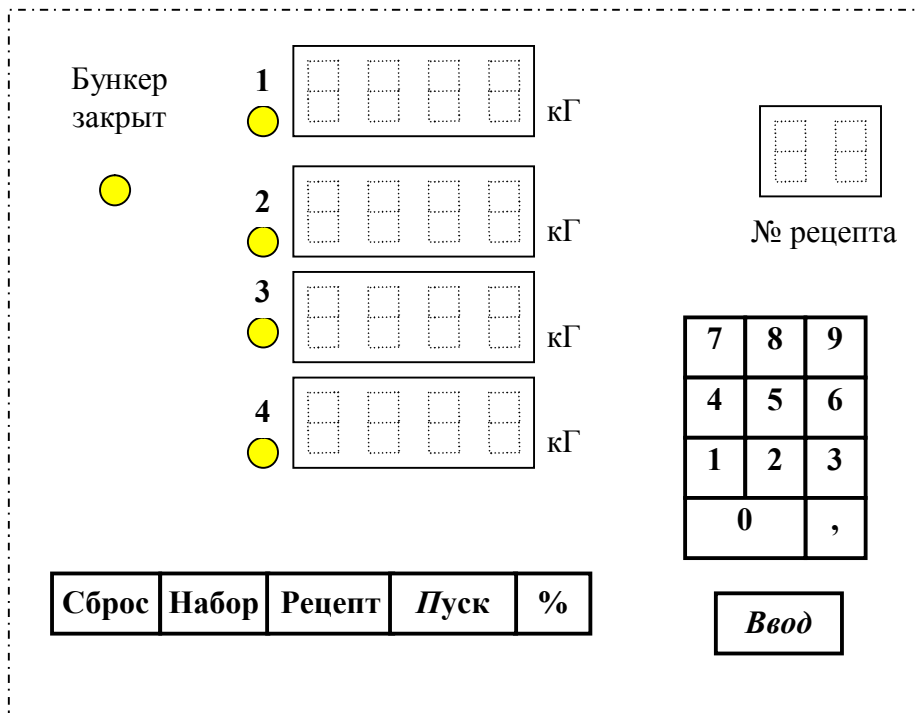


Рис.6.5. Пульт оператора

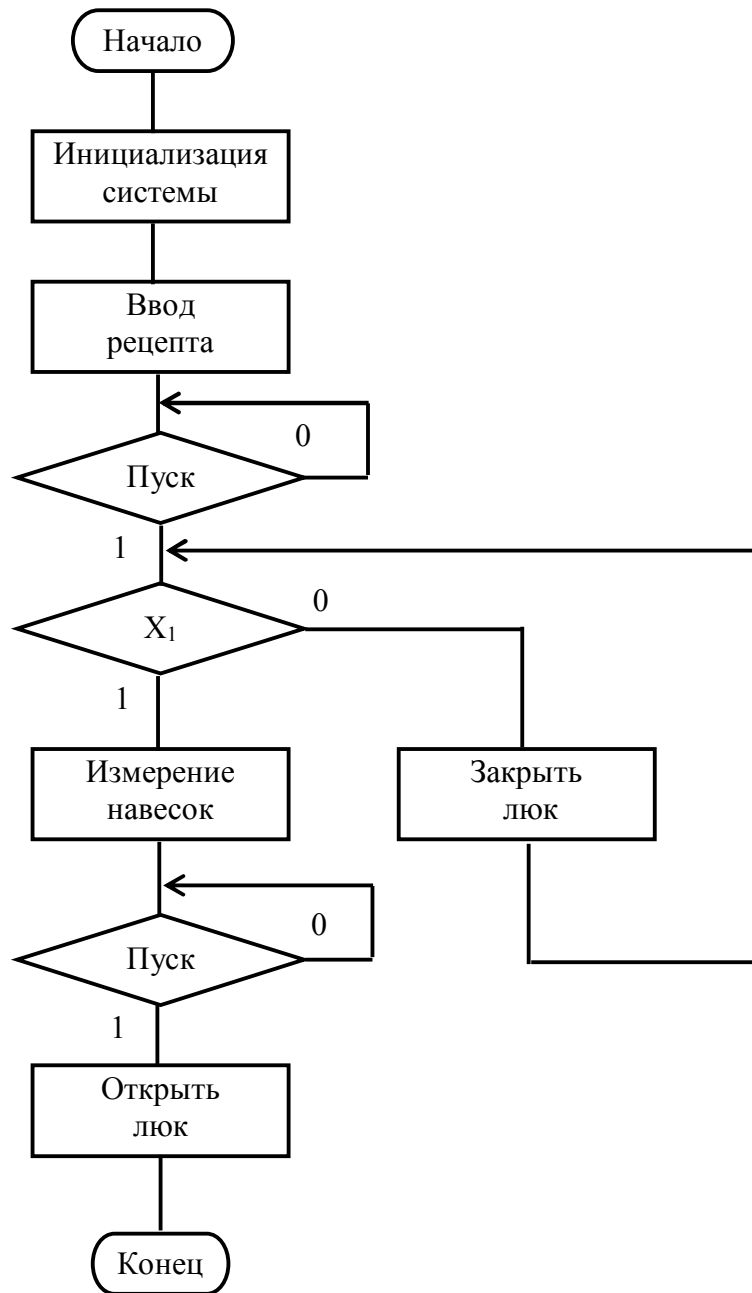


Рис.6.6. Основной алгоритм

### 6.4.4. Используемые ресурсы микроЭВМ

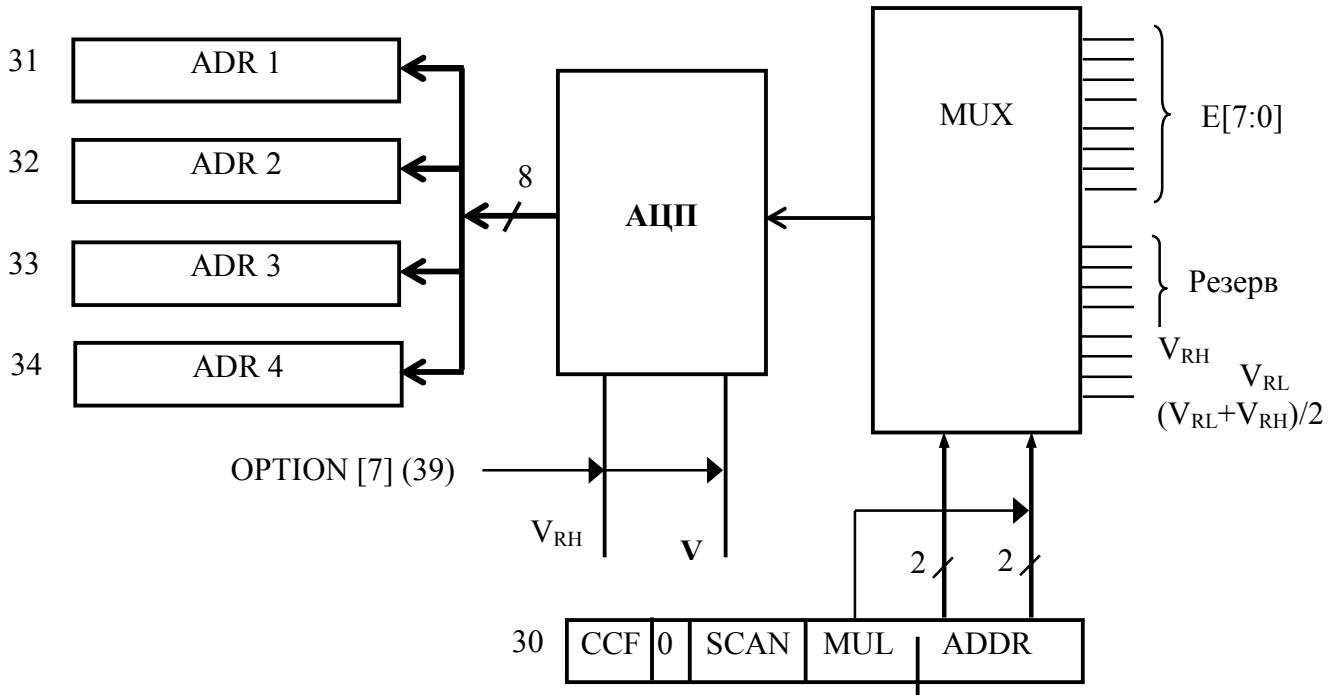


Рис.6.7. Блок аналого-цифрового преобразователя

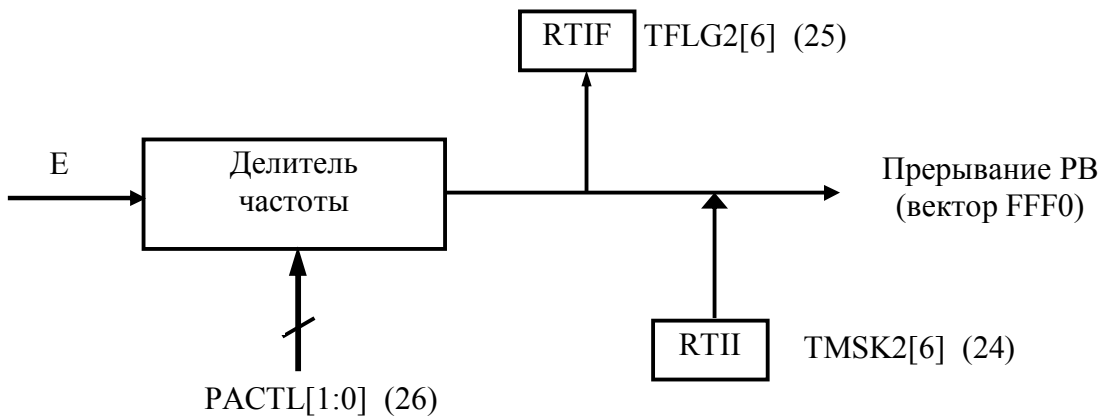


Рис.6.8. Прерывания реального времени

ХТАL = 8 МГц, E = 2 МГц		
RTR1	RTR0	Период прерывания
0	0	4,1 мс
0	1	8,19 мс
1	0	16,38 мс
1	1	32,77 мс

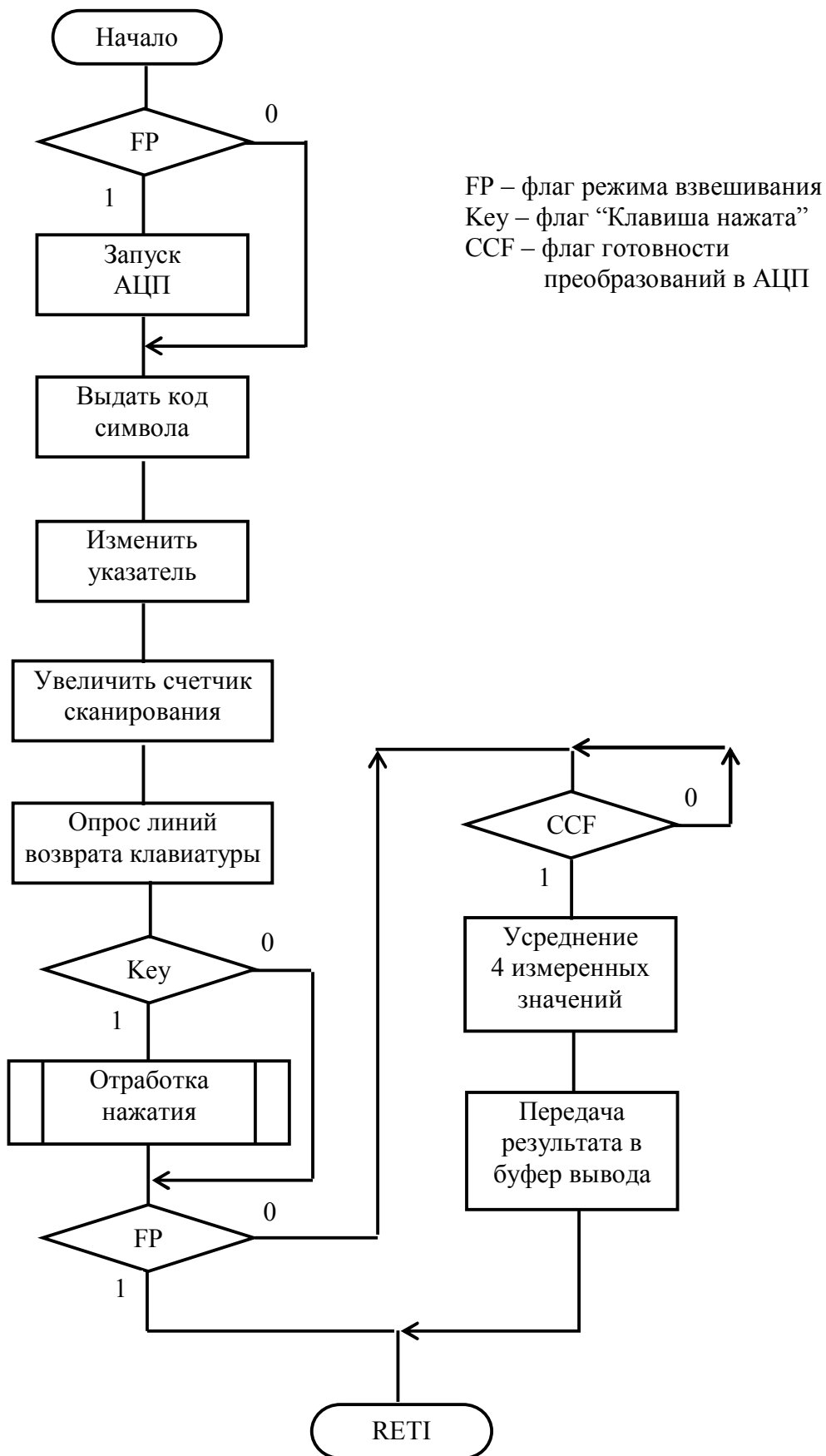


Рис. 6.9. ГСА подпрограммы прерывания реального времени