

Модуль 7. Синтез микропрограммных автоматов с жёсткой логикой

1. Преобразование граф - схемы алгоритма (ГСА) в граф автомата Мили
2. Реализация ГСА в тактах автомата Мили
3. Преобразование ГСА в граф автомата Мура
4. Реализация ГСА в тактах автомата Мура
5. Интерпретационный метод синтеза микропрограммных управляющих автоматов (УА) на основе структурной таблицы
6. Синтез УА Мили
7. Синтез УА Мура
8. Контрольные вопросы

Преобразование граф - схемы алгоритма (ГСА) в граф автомата Мили

Как отмечалось в предыдущем 6-м модуле, ГСА (функция УА) представляет собой кодированную форму графа микропрограммы (МП) и получается путем замены микрокоманд, указанных в операторных вершинах, управляющими сигналами Y_t , а флагов условий в условных вершинах - логическими условиями x_k (сигнал ПУСК также относится к множеству $X = \{x_k\}$).

Автомату Мили свойственен следующий закон функционирования

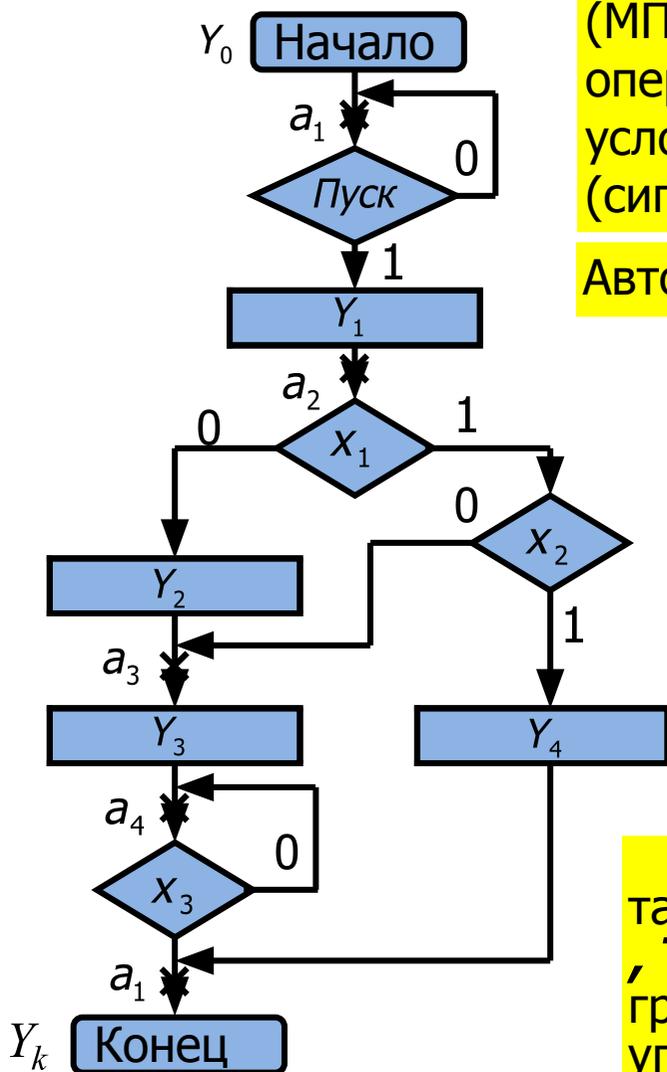
$$a(t+1) = \delta(a(t), X(t)) \quad Y(t) = \lambda(a(t), X(t))$$

Где $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ - множество состояний автомата, каждое из которых задаётся комбинацией триггеров Q_1, \dots, Q_R ;

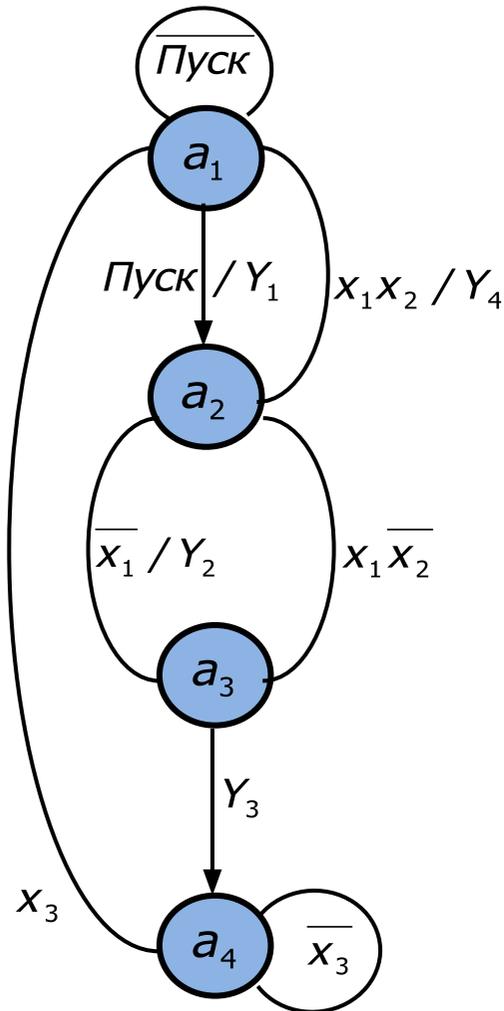
$X(t) = \{x_1, \dots, x_k\}$ представляет собой вектор входных двоичных переменных (логических условий);

$Y(t) = Y_t$ - принадлежит множеству управляющей последовательности микрокоманд для заданной микропрограммы, например $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$

Набор микроопераций выполняемых одновременно за один такт автоматного времени, образует **микрокоманду** Y_t ($t = 1, \dots, T$), которая и составляет содержимое операторных вершин графа МП. В ГСА каждая микрокоманда Y_t отождествляется с управляющим сигналом, имеющим то же обозначение.



Правило разметки для интерпретация ГСА автоматом Мили



– символом a_1 отмечается вход вершины, следующей за начальной, а также вход конечной вершины;
– входы вершин, следующих за операторными, отмечаются символами a_2, a_3, \dots, a_m , при этом входам различных вершин даются различные символы.

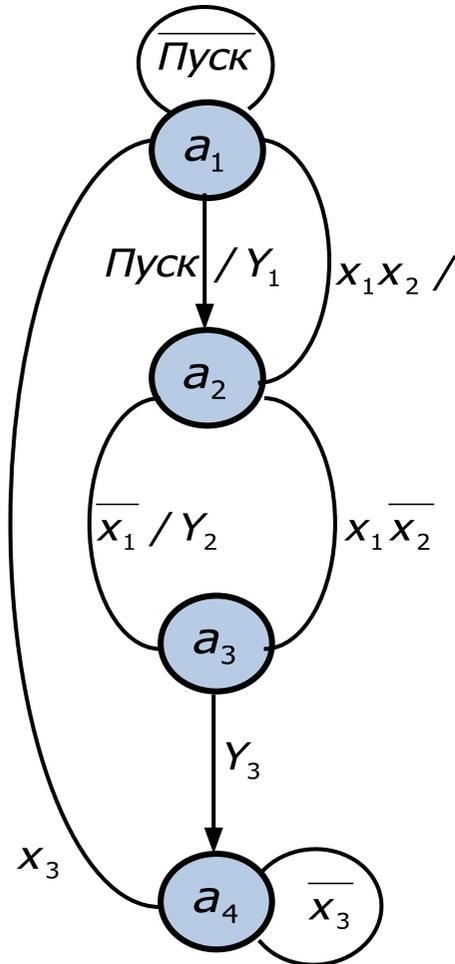
Если отметкам a_1, \dots, a_m поставить в соответствие вершины графа и соединить их дугами, число и направление которых определяется всевозможными переходами между одноименными отметками ГСА, то получим граф автомата Мили.

Каждый переход может включать произвольное число условных вершин, но не более одной операторной.

Каждая дуга помечается символом x_k (без инверсии, если путь проходит через выход условной вершины, отмеченный символом "1") и выходным сигналом Y_t , если путь проходит через операторную вершину.



Корректность полученного графа автомата



Корректность графа автомата определяется выполнением условий для функций перехода. Рассмотрим выполнение этих условий для **функции перехода**, которыми помечены выходные дуги вершины :

- Свойство **ортогональности** (из всего множества выходов из вершины a_2 реализуется только один)

$$\overline{x_1} * \overline{x_1 x_2} = 0, \quad \overline{x_1} * x_1 x_2 = 0, \quad x_1 \overline{x_2} * x_1 x_2 = 0$$

- Свойство **полноты** (выход из вершины a_2 обязательно будет реализован)

$$\overline{x_1 x_2} \vee x_1 \overline{x_2} \vee x_1 x_2 = 1$$



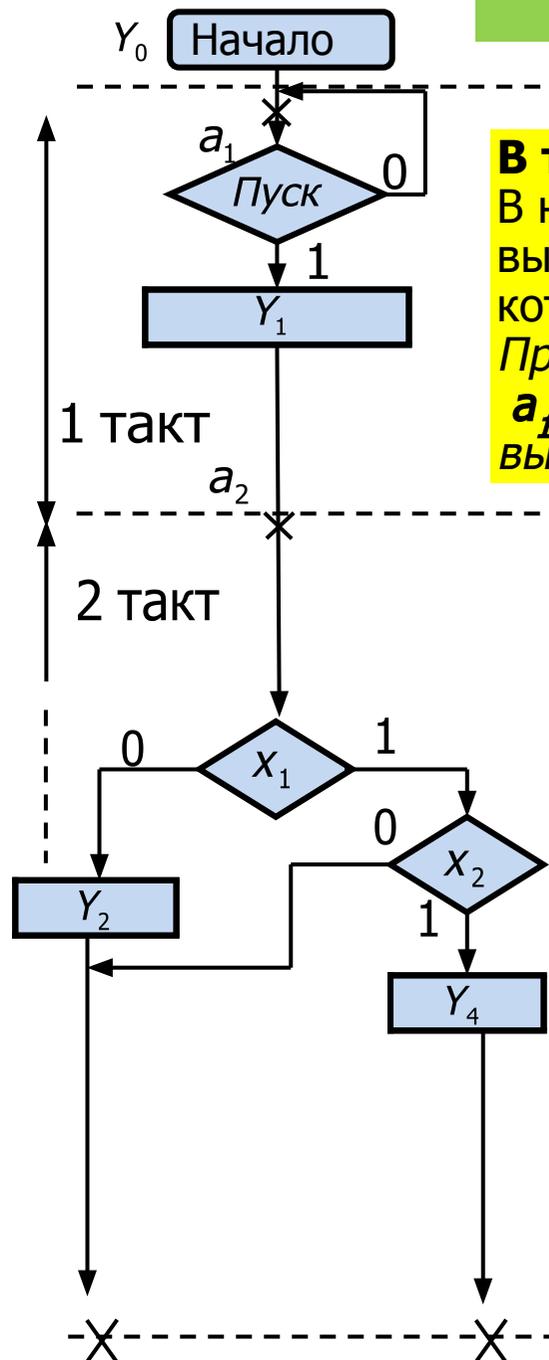
Реализация ГСА в тактах автомата Мили

Работа автомата по выполнению микропрограммы является циклической, поэтому рассмотрим его функционирование в течение одного машинного такта, совпадающего с одним тактом синхронизации сигнала CLK. Будем также считать, что временные такты работы УА и операционного автомата (ОА) совпадают во времени.

Функционирование ГСА для первых 2-х тактов автомата Мили, а также временные диаграммы работы УА с ОА в течение i -го такта приведены на следующих слайдах.



Функционирование ГСА для первых 2-х тактов



В течение 1-го такта сохраняется состояние a_1 .
 В начале такта (срез сигнала **Clk**), при условии **Пуск=1**, вырабатывается выходной упр. сигнал Y_1 и сигналы возбуждения триггеров памяти автомата, которые обеспечат переключение автомата в состояние a_2 при смене такта. *Прежде, чем синхросигнал **Clk** переведёт УА из состояния $a_1 \rightarrow a_2$ из ОА должны быть получены признаки условий x_1 и x_2 на основе выполнения им микрокоманды Y_1 .*

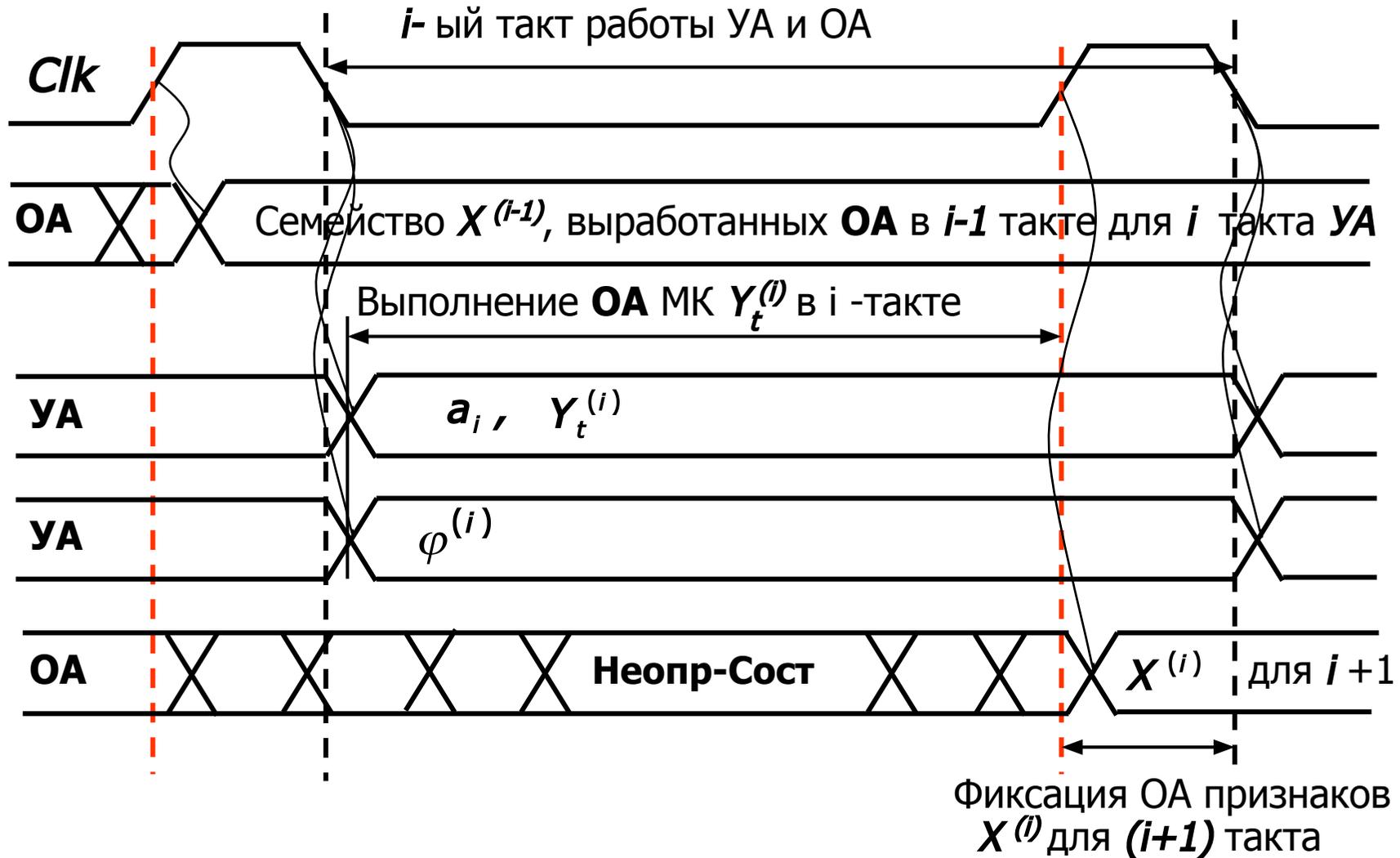
В начале 2-го такта по срезу сигнала **Clk** УА переходит в состояние a_2 , которое сохраняется неизменным в течение всего такта, также как и значения признаков x_1 и x_2 , независимо от условий выполнения ОА микрокоманды Y_2 или Y_4 . *Это главная особенность (независимость признаков, выработанных в предыдущем такте, от результатов выполнения МК в следующем такте) функционирования автомата Мили.* Её невыполнение приведёт к сбою в работе УА.

На основе известных значений признаков x_1 и x_2 УА выработает сигнал Y_2 (если $x_1=0$) и сигналы возбуждения триггеров обеспечивающих переключение автомата $a_2 \rightarrow a_3$ (при $x_1=1$ & $x_2=0$ сигнал Y_2 не вырабатывается), или сигнал Y_4 и сигналы возбуждения триггеров ($i=2$), обеспечивающих переключение автомата $a_2 \rightarrow a_1$, если $x_1=1$ и $x_2=1$.

ОА, выполнив МК (Y_2 или Y_4), установит в конце такта (**Clk=1**) значения, соответствующих выполненной МК признаков условий x_1 и x_2 .

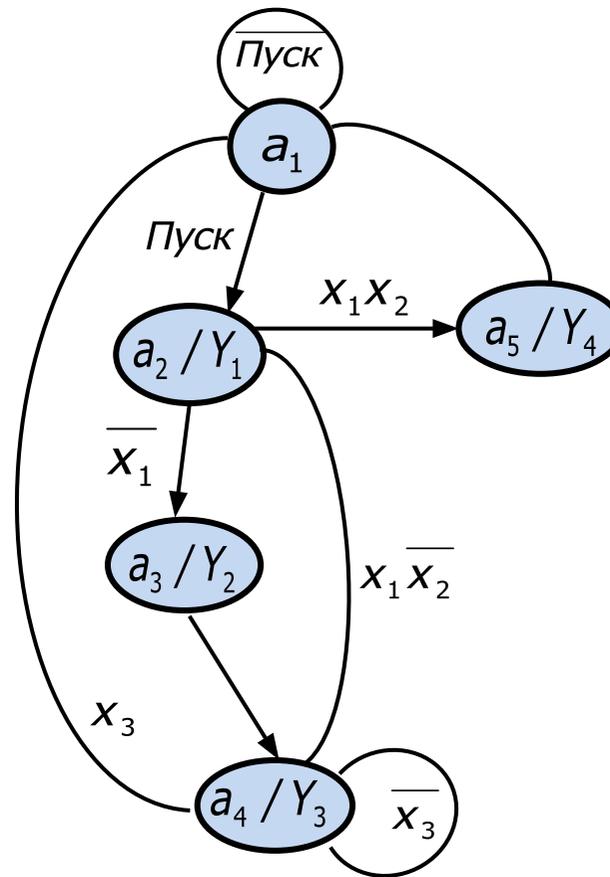
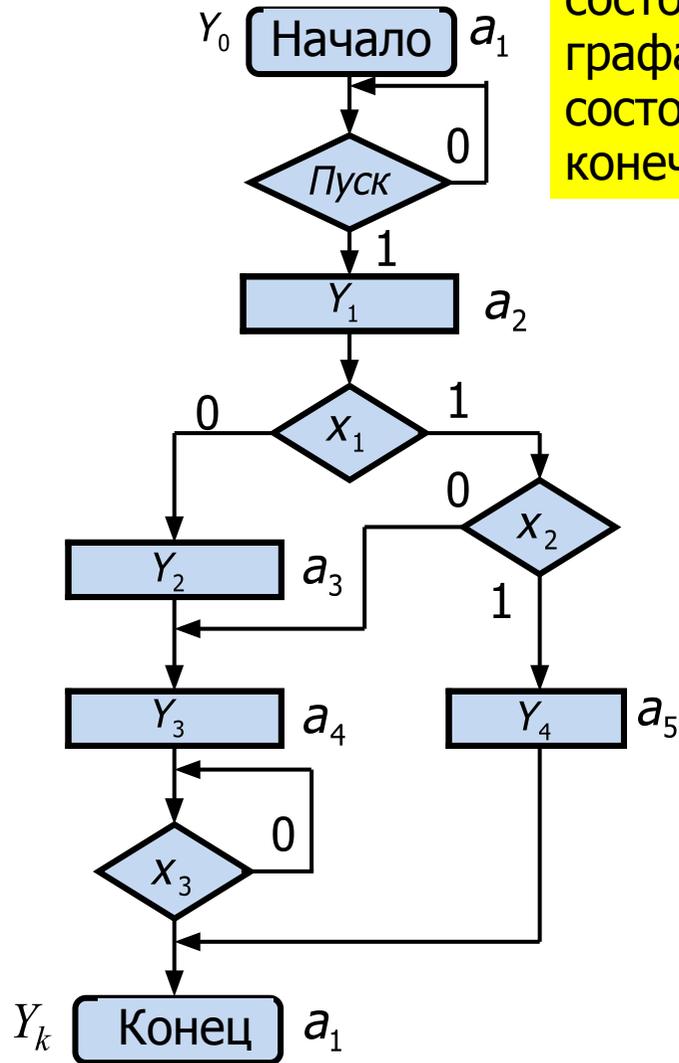


Временные диаграммы работы УА Мили с ОА в течение такта



Преобразование ГСА в граф автомата Мура

Поскольку в автомате Мура выходные МК Y_t связаны только с состояниями автомата, то каждой операторной вершине графа ГСА следует поставить в соответствие одно из состояний a_2, a_3, \dots . Символом a_1 помечаются начальная и конечная вершины.

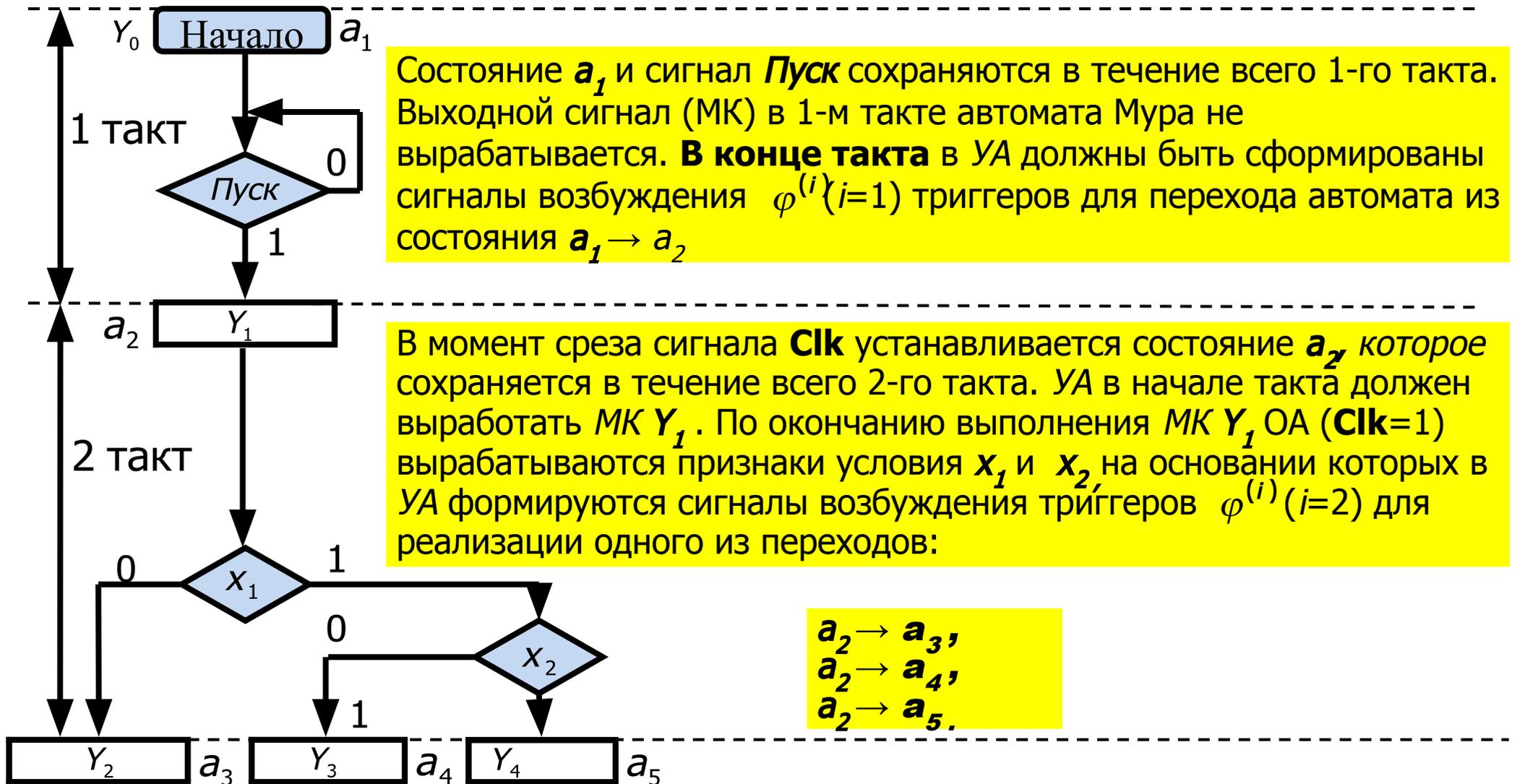


В отличие от графа автомата Мили, в графе автомата Мура выходные сигналы помещаются внутри кружка вместе с состоянием a_j . В общем случае автомат Мура имеет большее число состояний, чем автомат Мили, поэтому его реализация требует больших аппаратных затрат.

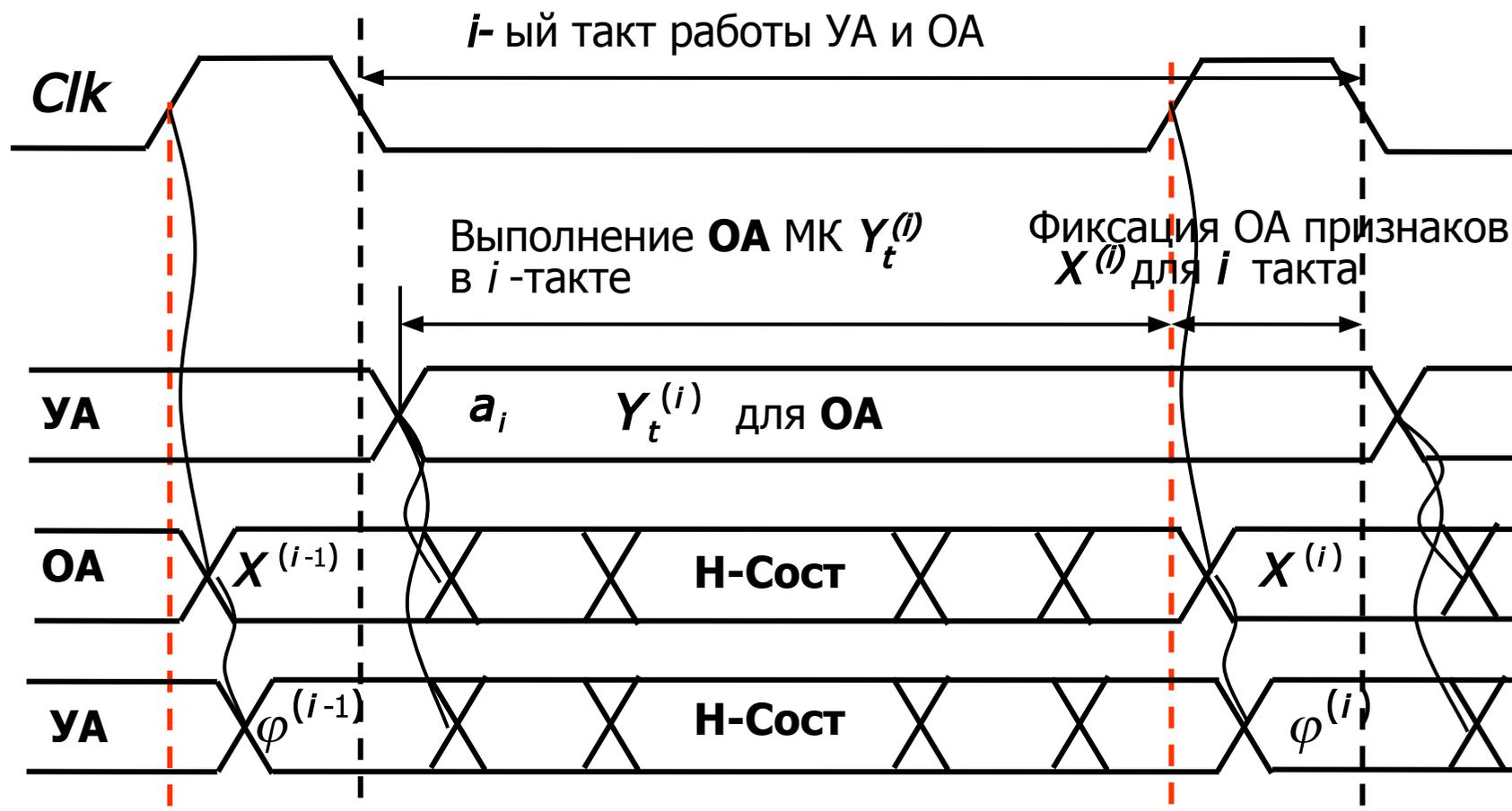


Реализация ГСА в тактах автомата Мура

В силу цикличности работы автомата по выполнению микропрограммы рассмотрим его функционирование в течение одного машинного такта, совпадающего с одним тактом синхронизации сигнала **CLK** (начало такта задаётся срезом сигнала **CLK**)



Временные диаграммы работы УА Мура с ОА в течение такта.



Интерпретационный метод синтез УА на основе структурной таблицы

Канонический метод синтеза структурного автомата (Мили или Мура) на основе таблицы истинности для выходных сигналов и сигналов возбуждения триггеров является универсальным методом, позволяющим получить схему автомата с минимальными аппаратными затратами. Однако этот метод становится трудоёмким для реализации **ГСА** с большим числом операторных вершин, порождающих автоматы с большим числом состояний.

В таких случаях используется **интерпретационный метод синтез УА на основе структурной таблицы**.

Исходной информацией для составления структурной таблицы является граф автомата Мура или Мили, представленный в стандартной форме.

Дальнейшие этапы синтеза схемы автомата включают следующие этапы:

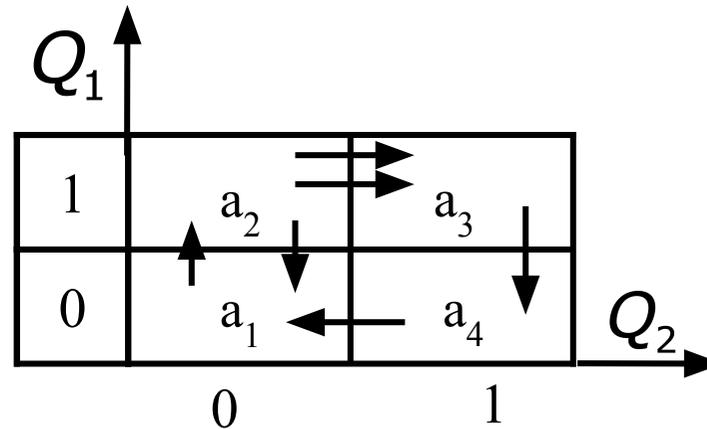
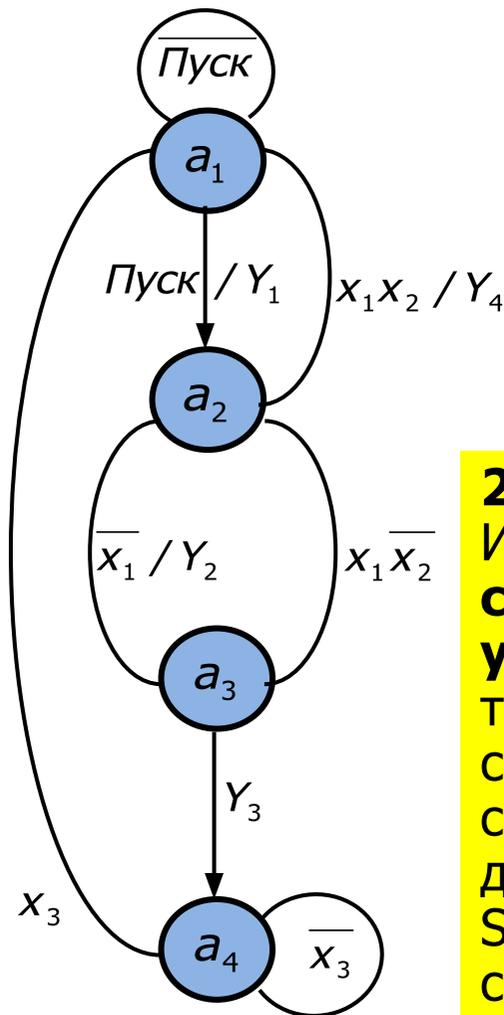
1. Кодирование состояний автомата с использованием какого-либо способа.
2. Выбор типа триггера
3. Составление структурной таблицы (прямой или обратной)
4. Запись логических выражений для выходных сигналов управления Y_t и сигналов возбуждения триггеров φ_j .
5. Составление структурной схемы автомата. При этом элементы структуры автомата как бы моделируют содержательную часть столбцов структурной таблицы (этот момент предопределил название метода).
6. Построение функциональной схемы.



Синтез УА Мили на основе прямой структурной таблицы

1. Кодирование состояний автомата.

Рассмотренная выше структура (топология) графа автомата Мили очень простая, и полностью удовлетворяет требованиям **соседнего кодирования**.



Таким образом:

$$K(a_1) = \overline{Q_1}\overline{Q_2} = 00$$

$$K(a_2) = Q_1\overline{Q_2} = 10$$

$$K(a_3) = Q_1Q_2 = 11$$

$$K(a_4) = \overline{Q_1}Q_2 = 01$$

2. Выбор типа триггера.

Используемые триггеры должны быть **синхронного типа с динамическим управлением записью информации**, Кроме того триггеры должны тактироваться срезом сигнала *Clk*, если мы хотим оставить принцип синхронизации, указанный на временных диаграммах. Выбираем синхронный *D*-триггер SN 7474, дополнив его инвертором в цепи синхронизации.

Триггерный словарь *D*-триггера

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	D^t
0	0
0	1
1	0
1	1



3. Составление структурной таблицы автомата Мили

В прямой структурной таблицы, в графе «Исходные состояния» перечисляются все состояния автомата, начиная с первого (в обратной таблице указанная последовательность перечисления состояний автомата производится в графе «Состояния переходов»). Переход автомата из состояния a_m в a_s контролируется частной функцией перехода $F_i(a_m, a_s) = a_m X(a_m, a_s)$, которая и определяет значения выходных сигналов Y_t и функций возбуждения Φ_i для каждого перехода.

№ перехода	Исходные состояние a_m	Код исход. сост $K(a_m) = Q_1 Q_2$	Состояния переходов a_s	Код сост. перехода $K(a_s) = Q_1 Q_2$	Частные функции перехода $F_i(a_m, a_s)$	Выходные Сигналы $Y_i(a_m, a_s)$	Сигналы Возбуждения $\Phi_i(a_m, a_s)$
1	a_1	00	a_1	00	$a_1 \overline{\text{пуск}}$	-	-
2		00	a_2	10	$a_1 \text{пуск}$	Y_1	D_1
3	a_2	10	a_1	00	$a_2 x_1 x_2$	Y_4	-
4		10	a_3	11	$a_2 x_1 \overline{x_2}$	-	$D_1 D_2$
5		10	a_3	11	$a_2 \overline{x_1}$	Y_2	$D_1 D_2$
6	a_3	11	a_4	01	a_3	Y_3	D_2
7	a_4	01	a_4	01	$a_4 \overline{x_3}$	-	D_2
8		01	a_1	00	$a_4 x_3$	-	-



4. Запись логических выражений для выходных сигналов управления Y_t и сигналов возбуждения триггеров ϕ_j

Дополнение к П.3. В колонке «Сигналы возбуждения $\phi_i(a_{пр}, a_с)$ » выписываются значения D_i , принимающие единичные значения.

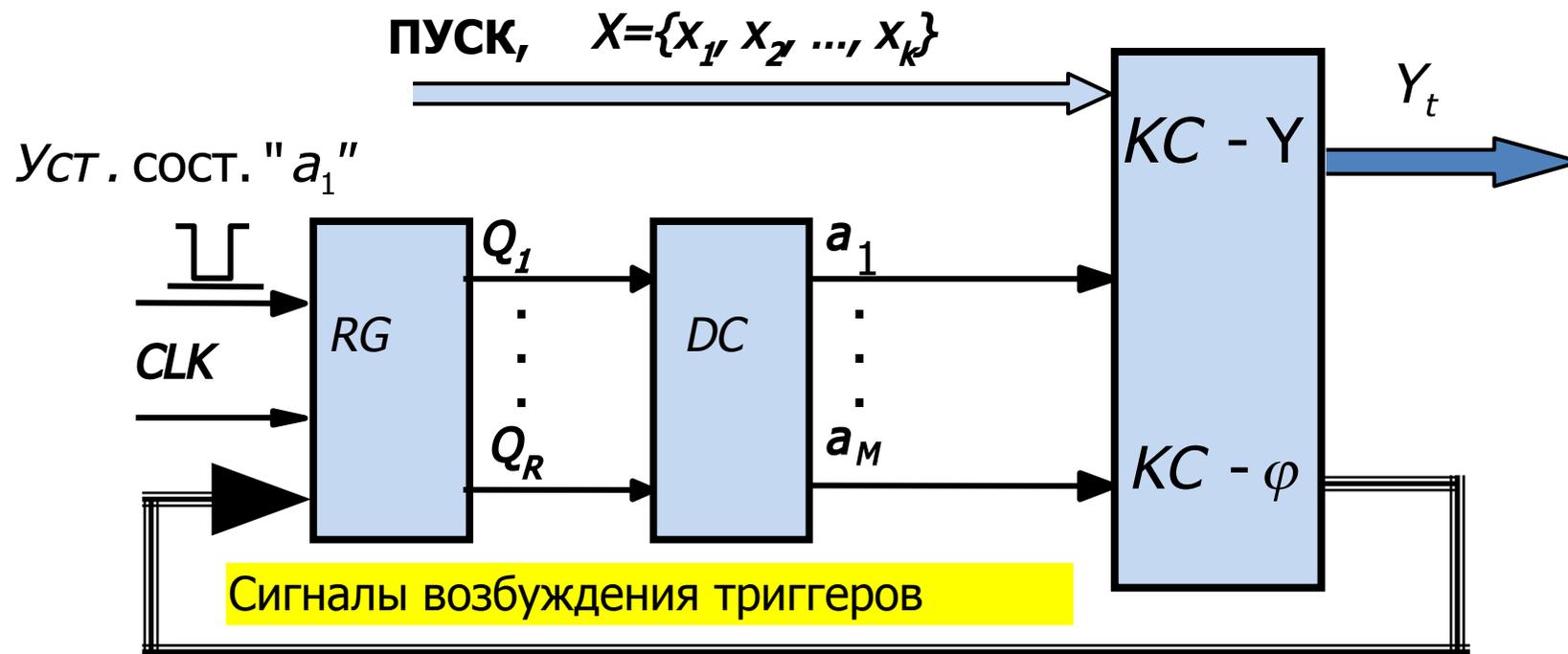
Аналитические выражения для определения функций Y_t и ϕ_i записываются на основе объединения по **ИЛИ** соответствующих функций переходов (в данной таблице отсутствуют одинаковые выходные сигналы для разных функций перехода).

Выходные сигналы управления	Сигналы возбуждения триггеров
$Y_1 = F_2 = a_1 \& \text{пуск}$	$D_1 = F_2 \square F_4 \square F_5 = a_2 \text{Пуск} \square a_2 (\overline{x_1} \square \overline{x_2})$
$Y_2 = F_5 = a_2 \overline{x_1}$	
$Y_3 = F_6 = a_3$	$D_2 = F_4 \square F_5 \square F_6 \square F_7 = a_2 (\overline{x_1} \square \overline{x_2}) \square a_3 \square a_4 \overline{x_3}$
$Y_4 = F_3 = a_2 x_1 x_2$	



5. Составление структурной схемы автомата Мили

Структурная схема управляющего автомата Мили включает три составные части: регистр состояний (состоит из триггеров, которые были выбраны перед составлением структурной таблицы), дешифратор состояний и комбинационной части, предназначенной для реализации выражений для выходных сигналов управления Y_t и сигналов возбуждения триггеров.



6. Построение функциональной схемы

Здесь ограничимся лишь двумя фрагментами структурной схемы, связанными с регистром состояний автомата и схемой задания входных управляющих сигналов для отладки и проверки работоспособности автомата

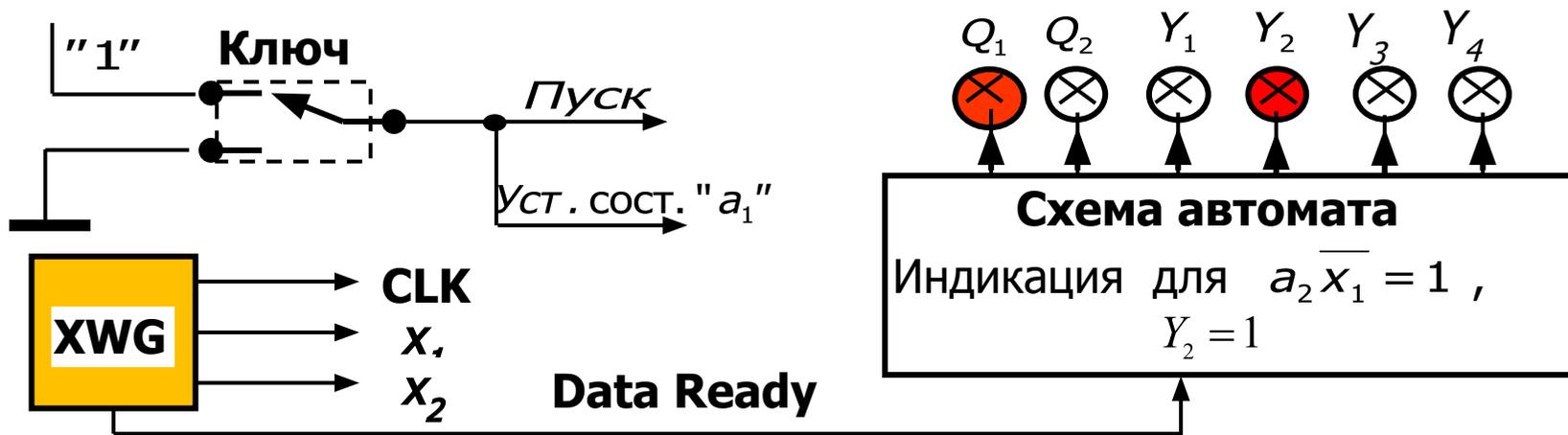
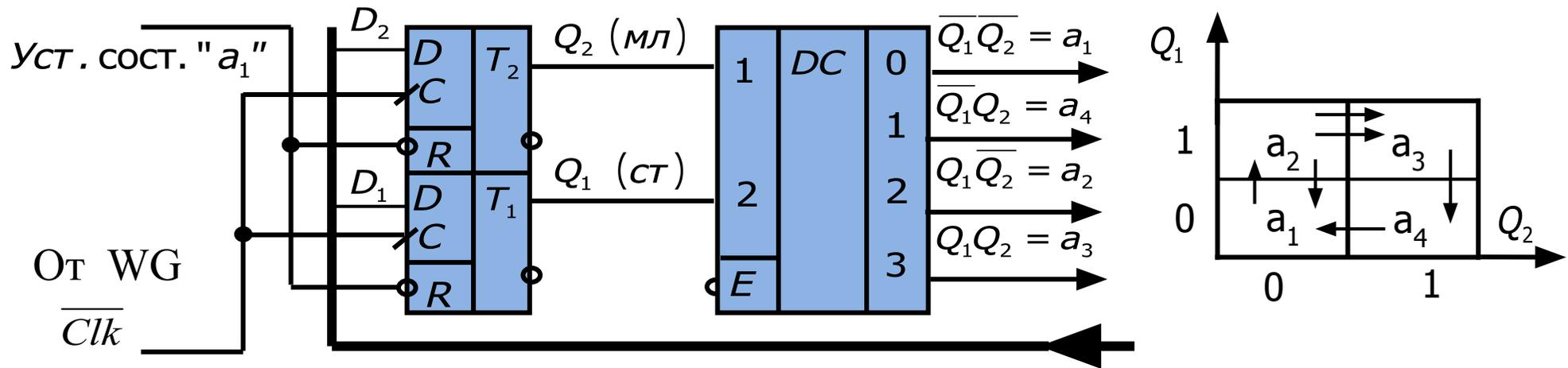


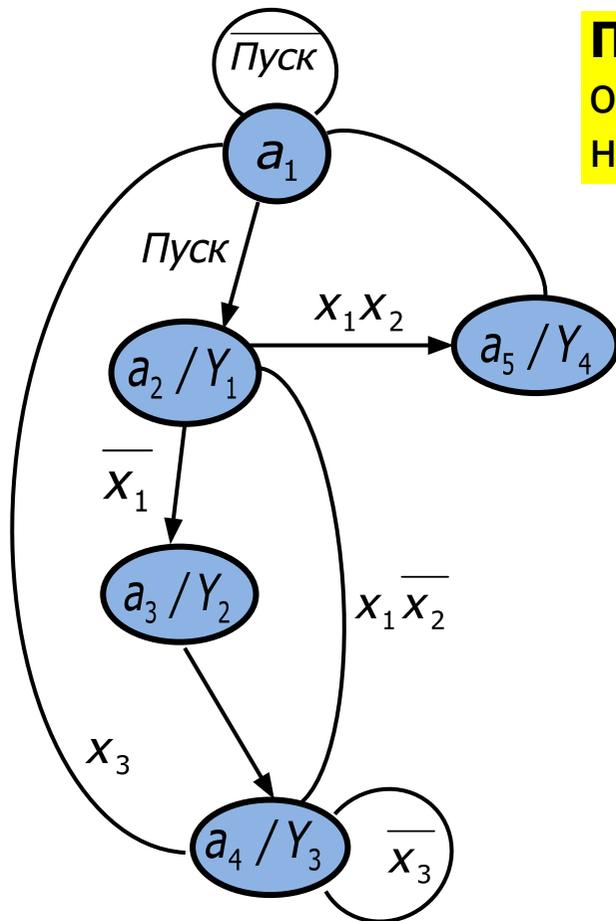
Схема задания входных управляющих сигналов для отладки и проверки работоспособности автомата



Синтез УА Мура на основе прямой структурной таблицы

1. Кодирование состояний автомата (5 состояний – 3 триггера) с использованием какого-либо способа. Выберем способ приоритетного кодирования логически смежных состояний.

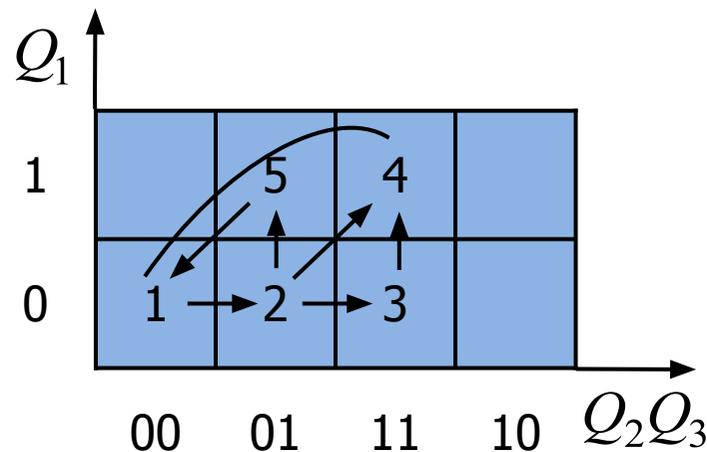
Правило 1. Два или группа состояний автомата из которых возможны переходы в одно и тоже третье состояние, называются логически смежными (**ЛСС-1**).



Правило 2. Два или группа состояний, в которые может быть осуществлён переход из одного какого-либо состояния, также называются логически смежными (**ЛСС-2**).

Таким образом, имеем.

ЛСС-1: (2,3); (4,5). **ЛСС-2:** (3,4,5)



Следовательно:

$$k(a_1) = \overline{Q_1}\overline{Q_2}\overline{Q_3} = 000$$

$$k(a_2) = \overline{Q_1}\overline{Q_2}Q_3 = 001$$

$$k(a_3) = \overline{Q_1}Q_2Q_3 = 011$$

$$k(a_4) = Q_1Q_2Q_3 = 111$$

$$k(a_5) = Q_1\overline{Q_2}Q_3 = 101$$



2 & 3. Выбор типа триггера и составление структурной таблицы

Память состояний автомата Мура выполним на **JK**-триггерах с отрицательным фронтом синхронизации типа **SN 7473**. Структурная табл. автомата Мура имеет на один столбец меньше, т.к. **ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ $Y(a_m)$** и **ИСХОДНЫЕ СОСТОЯНИЯ** объединены в одном столбце. В колонке «Сигналы возбуждения $\Phi_i(a_m, a_s)$ » выписываются значения J_i и K_i , принимающие единичные значения.

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	J^t	K^t
0 0	0	*
0 1	1	*
1 0	*	1
1 1	*	0

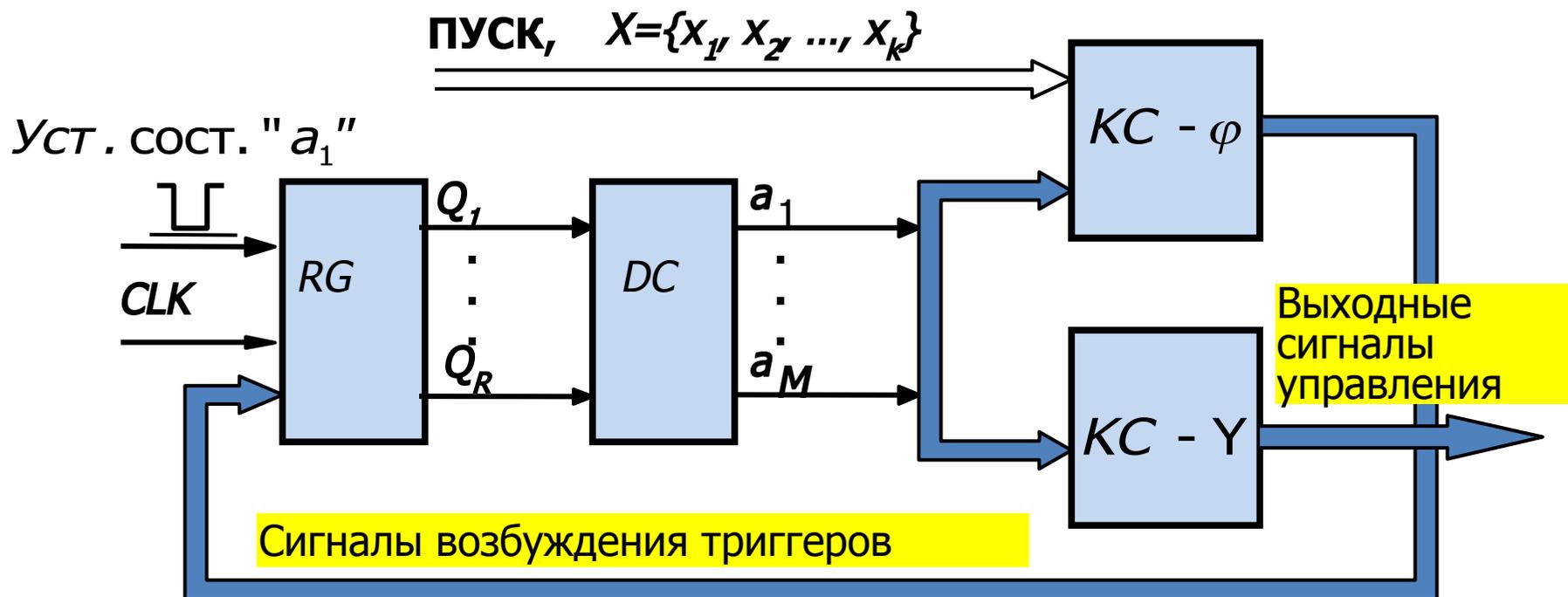
№ перехода	Исход.сост./ Вых. сигнал $a_m/Y(a_m)$	Код исход.сост $K(a_m) =$ $Q_1 Q_2 Q_3$	Состояния переходов a_s	Код сост. перехода $K(a_s) =$ $Q_1 Q_2 Q_3$	Частные функции перехода $F_i(a_m, a_s)$	Сигналы возбуждения $\Phi_i(a_m, a_s)$
1	a_1	000	a_1	000	a_1 Пуск	
2			a_2	001	a_1 Пуск	J_3
3	a_2/Y_1	001	a_3	011	$a_2 x_1$	J_2
4			a_4	111	$a_2 x_1 \overline{x_2}$	J_1, J_2
5			a_5	101	$a_2 x_1 x_2$	J_1
6	a_3/Y_2	011	a_4	111	a_3	J_1
7	a_4/Y_3	111	a_4	111	$a_4 x_3$	
8			a_1	000	$a_4 x_3$	K_1, K_2, K_3
9	a_5/Y_4	101	a_1	000	a_5	K_1, K_3



4 & 5. Запись логических выражений для выходных сигналов управления Y_t и сигналов возбуждения триггеров ϕ_j . Составление структурной схемы автомата Мура.

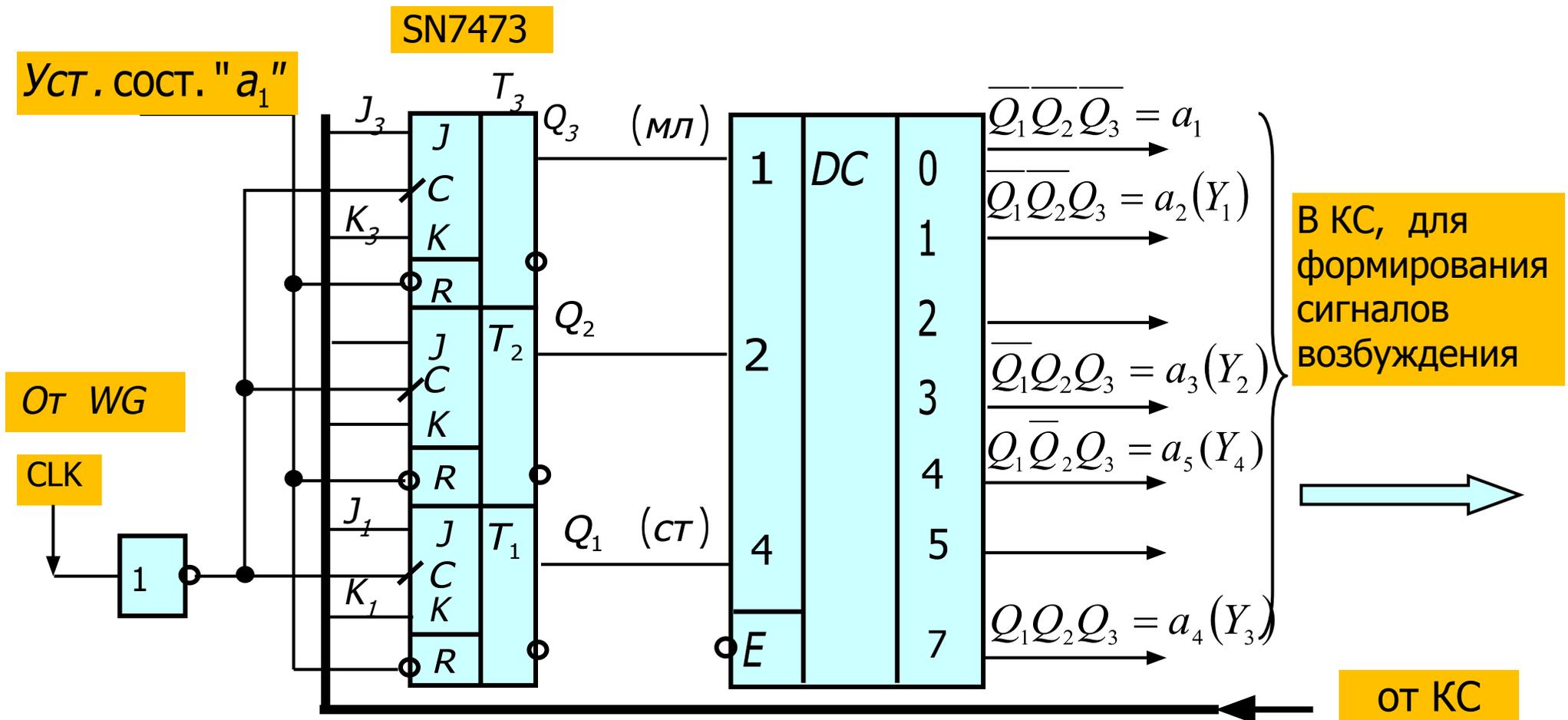
4. Запись логических выражений для выходных сигналов управления Y_t и сигналов возбуждения триггеров ϕ_j . Аналитические выражения для определения функций Y_t и ϕ_j для автомата Мура записываются на основе объединения по ИЛИ соответствующих функций переходов, т.е. также как это было показано для автомата Мили.

5. Составление структурной схемы автомата Мура. Схема имеет отличия от схемы автомата Мили лишь в части формирования выходных сигналов Y_t , которые зачастую представляют собой выходы дешифратора DC



5. Построение функциональной схемы.

Здесь ограничимся рассмотрением лишь интерфейса регистра состояний и дешифратора состояний.



Контрольные вопросы

1. Изложите правила разметки ГСА с целью преобразования её в граф автомата Мили.
2. Как определяется корректность полученного графа автомата.
3. Какова важная особенность функционирования автомата Мили в течение машинного такта
4. Изложите правила разметки ГСА с целью преобразования её в граф автомата Мура.
5. Назовите этапы синтеза схемы управляющего автомата Мили (Мура) на основе использования структурных таблиц.
6. Нарисуйте форму прямой (обратной) структурной таблицы для автомата Мили.
7. Нарисуйте структурную схему автомата Мили.
8. В чём отличие формы структурной таблицы для синтеза автомата Мура от соответствующей таблицы для автомата Мили.

