



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Информатика и вычислительная техника»

ПРИКЛАДНАЯ ТЕОРИЯ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Самара
Самарский государственный технический университет
2025

Печатается по решению методического совета Института автоматизации и информационных технологий (протокол № 6 от 28.01.2025 г.).

УДК 004.92(076.5)

Пугачёв А.И.

Прикладная теория цифровых автоматов: лабораторный практикум / *А.И. Пугачёв.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2025. – 48 с.

Методические указания предназначены для обучающихся по программе бакалавриата по направлениям 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника.

УДК 004.92(076.5)
ББК 32.97я73

© А.И. Пугачёв, 2025
© Самарский государственный
технический университет, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ.....	4
1.1 АБСТРАКТНЫЕ АВТОМАТЫ Мили и Мура	4
1.2 ФУНКЦИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ.....	8
1.3 ФУНКЦИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ВЫХОДА И РЕАКЦИЯ АВТОМАТА	9
1.4 ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ АВТОМАТЫ.....	11
1.5 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АВТОМАТА Мура в автомат Мили.....	11
1.6 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АВТОМАТА Мили в автомат Мура.....	13
1.7 СИНТЕЗ СТРУКТУРНЫХ АВТОМАТОВ Мили и Мура с жесткой логикой.....	17
1.8 ЭТАПЫ СИНТЕЗА АВТОМАТОВ ТИПА Мура и Мили по ГСА.....	18
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	20
2.1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	20
2.2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	22
2.3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	23
2.4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ГСА	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ ...	48

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Прикладная теория цифровых автоматов» в направлении 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» является фундаментальной, поскольку закладывает базовые знания и навыки разработки систем дискретной автоматики и вычислительной техники.

1. ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ

1.1 Абстрактные автоматы Мили и Мура

Абстрактный автомат (АА) – математическая модель реальных технических устройств. Абстрактный автомат описывается шести-компонентным набором

$$\mathbf{S} = (\mathbf{A}, \mathbf{Z}, \mathbf{W}, \delta, \lambda, a_1). \quad (1.1)$$

$\mathbf{A} = \{a_1, \dots, a_m, \dots, a_M\}$ – множество состояний или алфавит состояний АА.

$\mathbf{Z} = \{z_1, \dots, z_f, \dots, z_F\}$ – множество входных сигналов или входной алфавит АА.

$\mathbf{W} = \{w_1, \dots, w_g, \dots, w_G\}$ – множество выходных сигналов или выходной алфавит АА.

δ – функция переходов АА, которая для каждого текущего состояния автомата $a_m(t)$ с учетом текущего входного символа $z_f(t)$ задает состояние $a_s(t+1)$, в котором автомат будет находиться в течение следующего такта его функционирования, то есть

$$a_s(t+1) = \delta(a_m(t), z_f(t)), \quad a_s, a_m \in \mathbf{A}, z_f \in \mathbf{Z}. \quad (1.2)$$

λ – функция выходов АА, задает алгоритм формирования его выходных сигналов w_g .

a_1 – начальное состояние АА.

Под алфавитом понимается непустое множество попарно различных символов. Символы – это элементы алфавита. Слово – конечная, упорядоченная последовательность символов.

АА имеет один вход \mathbf{Z} и один выход \mathbf{W} (рисунок 1.1).

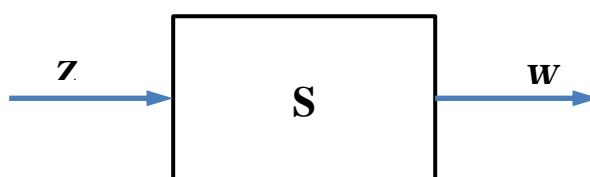


Рисунок 1.1 – Абстрактный автомат

Работа АА состоит в преобразовании слов входного алфавита в слова выходного алфавита.

В теории цифровых автоматов различают два основных закона (модели) формирования выходных сигналов: модель Мили и модель Мура.

Функция переходов для обоих автоматов одинакова, то есть это функция (1.2). Автоматы отличаются функциями выходов.

Автомат Мили формирует текущий выходной символ с учетом как текущего состояния автомата, так и текущего входного символа:

$$w_g(t) = \lambda(a_m(t), z_f(t)), \quad a_m \in \mathbf{A}, w_g \in \mathbf{W}, z_f \in \mathbf{Z}. \quad (1.3)$$

Автомат Мура формирует текущий выходной сигнал с учетом только текущего состояния автомата:

$$w_g(t) = \lambda(a_m(t)), \quad a_m \in \mathbf{A}, w_g \in \mathbf{W}. \quad (1.4)$$

Как видно из определения двух моделей автоматов, у автомата Мили на текущем такте выходной символ зависит от входного символа, а у автомата Мура – не зависит.

Текущий такт t работы АА состоит в следующем:

- в течение всего такта автомат находится в состоянии $a_m(t)$ и на его входе задан некоторый символ $z(t)$;
- в соответствии с моделью (1.3), либо (1.4) на выходе автомата в течение всего рассматриваемого такта сформирован некоторый символ $w(t)$ выходного алфавита;
- в момент окончания текущего такта автомат переходит в следующее состояние (которое может повторить текущее) и одновременно с этим на входе автомата задается очередной символ входной цепочки.

Длительность каждого такта больше нуля, но она никак не сопоставляется с реальным физическим временем. При этом считается,

что все изменения в автомате (новый символ на входе, новый символ на выходе, новое состояние) происходят мгновенно.

Основным начальным языком описания служит язык графических схем алгоритмов (ГСА).

В автоматных языках поведение автомата задается путем явного задания функций δ и λ .

Среди автоматных языков наиболее распространены **таблицы и графы переходов и выходов**.

В таблице переходов для каждой пары (a_m, z_f) задается переход в новое состояние (Табл. 1.1).

Таблица 1.1

Таблица переходов автомата

δ	a_1	a_2	\dots	a_M
z_1	a_2	a_1	a_k	a_4
z_2	a_3	a_2	a_k	a_1
\dots	a_k	a_k	a_k	a_k
z_F	a_5	a_4	a_k	a_3

В таблице выходов автомата Мили для каждой пары (a_m, z_f) задается символ, формируемый при переходе в новое состояние (Табл. 1.2).

Таблица 1.2

Таблица выходов автомата Мили

λ	a_1	a_2	\dots	a_M
z_1	w_1	w_2	w_g	w_3
z_2	w_2	w_3	w_g	w_1
\dots	w_g	w_g	w_g	w_g
z_F	w_4	w_1	w_g	w_3

Таблицы переходов и выходов могут быть объединены в единую **совмещенную** таблицу переходов и выходов. Совмещенная таблица переходов и выходов автомата Мили (Табл. 1.3).

Таблица 1.3

Совмещенная таблица переходов и выходов автомата Мили

δ / λ	a_1	a_2	\dots	a_M
z_1	a_2 / w_1	a_1 / w_2	a_k / w_g	a_4 / w_3
z_2	a_3 / w_2	a_2 / w_3	a_k / w_g	a_1 / w_1
\dots	a_k / w_g	a_k / w_g	a_k / w_g	a_k / w_g
z_F	a_5 / w_4	a_4 / w_1	a_k / w_g	a_3 / w_3

Автомат Мура задается одной **отмеченной таблицей переходов**: состояниям автомата сопоставлены выходные символы.

В таблице 1.4 функция выходов задана двумя верхними строками таблицы: выходные символы сопоставлены состояниям вне зависимости от входных символов.

Таблица 1.4

Отмеченная таблица переходов автомата Мура

δ, λ	w_1	w_2	\dots	w_4
	a_1	a_2	\dots	a_M
z_1	a_2	a_1	a_k	a_4
z_2	a_3	a_2	a_k	a_1
\dots	a_k	a_k	a_k	a_k
z_F	a_5	a_4	a_k	a_3

Граф автомата – это ориентированный граф, вершинам которого соответствуют состояния автомата, а дугам – переходы автомата от текущих состояний к следующим.

Дуге (a_m, a_s) , направленной от вершины a_m к вершине a_s , приписывается входной сигнал z_f , а в модели Мили добавляется выходной сигнал $w_g = \lambda(a_m, z_f)$. Метка, приписываемая дуге, ставится у начала дуги желательно над дугой, либо справа от нее.

Пример графа автомата Мили приведен на рисунке 1.2.

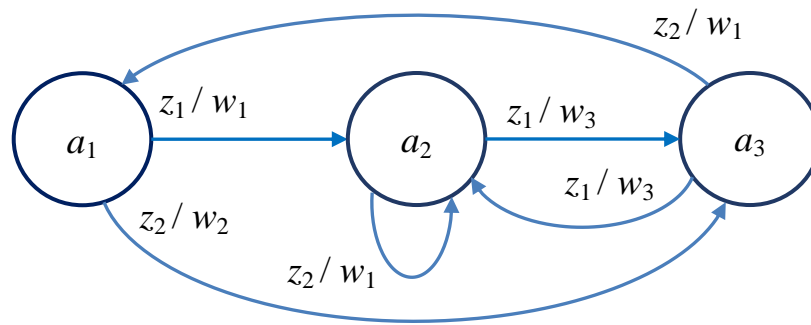


Рисунок 1.2 - Граф автомата Мили

В графе автомата Мура выходной символ $w_g = \lambda(a_m)$ приписывается вершине графа, то есть, состоянию автомата.

Пример графа автомата Мура приведен на рисунке 1.3.

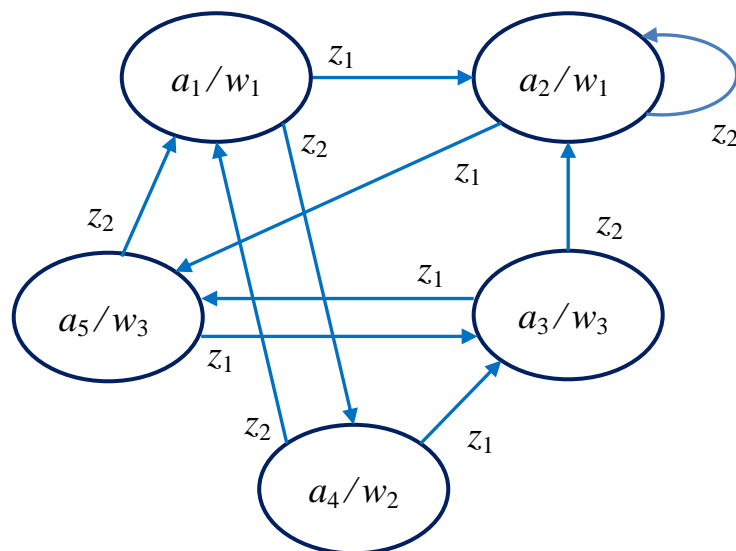


Рисунок 1.3 - Граф автомата Мура

1.2 Функция заключительного состояния

Расширим функции δ и λ , определив их на множестве пар вида (состояние, входное слово).

Обозначим:

- $\xi = z_{i1}z_{i2}\dots z_{ik}$ - i -е входное слово длиной k символов;
- E - множество всех конечных входных слов ненулевой длины.

Функция заключительного состояния $\tilde{\delta}(a_m, \xi)$ на множестве $\mathbf{A} \times (\mathbf{E} \cup \{e\})$, где e - пустое слово, определяется как **заключительное состояние, в которое перейдет автомат** из состояния a_m под действием входного слова ξ :

1. $\tilde{\delta}(a_m, e) = a_m$ для всех $a_m \in \mathbf{A}$, где e - пустое слово;
2. $\tilde{\delta}(a_m, \xi) = \begin{cases} \tilde{\delta}(a_m, z_{i1} \dots z_{ik}) = \delta\left(\delta\left(\delta\left(\dots\left(\delta(a_m, z_{i1}), z_{i2}\right), \dots\right), z_{ik-1}\right), z_{ik}\right) = \\ \delta(a_{ik}, z_{ik}), \text{ если } \tilde{\delta}(a_m, \xi) \text{ определена для всех } j = 1, 2, \dots, k; \\ \text{не определена в противном случае.} \end{cases}$

1.3 Функция заключительного выхода и реакция автомата

Функция заключительного выхода $\tilde{\lambda}(a_m, \xi)$ автомата на множестве $\mathbf{A} \times (\mathbf{E} \cup \{e\})$ – это **выходной сигнал**, который появляется **в результате действия последнего символа цепочки** ξ .

В автомате Мура – это выходной сигнал, отмечающий заключительное состояние. В автомате Мили – это выходной сигнал, появляющийся на переходе в заключительное состояние.

Автомат Мура:

$$\tilde{\lambda}(a_m, \xi) = \begin{cases} \lambda(\tilde{\delta}(a_m, \xi)) \text{ для } \xi \in \mathbf{E}, \text{ если } \tilde{\delta}(a_m, \xi) \text{ определена;} \\ \text{не определена в противном случае.} \end{cases}$$

Автомат Мили:

$$\tilde{\lambda}(a_m, \xi) = \begin{cases} \lambda(\tilde{\delta}(a_m, \xi'), z_{ik}), \xi = \xi' z_{ik}, \text{ если } \tilde{\delta}(a_m, \xi) \text{ определена;} \\ \text{не определена в противном случае.} \end{cases}$$

Пример: для автомата Мили на рисунке 1.2 найдем $\tilde{\lambda}(a_1, z_1 z_2 z_1 z_1)$.

Решение.

$$\begin{aligned} \tilde{\delta}(a_1, z_1 z_2 z_1 z_1) &= \tilde{\delta}(\delta(a_1, z_1), z_2 z_1 z_1) = \tilde{\delta}(\delta(a_2, z_2), z_1 z_1) = \tilde{\delta}(\delta(a_2, z_1), z_1) = \\ &= \delta(a_3, z_1) = a_2. \end{aligned}$$

Задача решается отслеживанием по графу (рисунок 1.4) последовательности переходов автомата под действием заданной входной цепочки: $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_2$.

Последний переход автомата под действием заданной входной цепочки это переход $a_3 \rightarrow a_2$ под действием символа z_1 . Поэтому $\tilde{\lambda}(a_1, z_1 z_2 z_1 z_1) = \lambda(a_3, z_1) = w_3$.

Реакция автомата $w(a_m, \zeta)$ в состоянии a_m на входное слово ζ - это цепочка выходных символов (выходное слово) $w(a_m, \zeta) = w_{i2}w_{i3}\dots w_{i(k+1)}$ вырабатываемая автоматом под действием входной цепочки.

Для модели Мили:

$$w(a_m, \xi) = \begin{cases} \lambda(a_m, z_{i1})\lambda(\delta(a_m, z_{i1}), z_{i2})\dots\lambda(\tilde{\delta}(a_m, \xi'), z_{ik}) = w_{i1}w_{i2}\dots w_{ik}, \\ \text{если } \tilde{\delta}(a_m, \xi) \text{ определена;} \\ \text{не определена в противном случае.} \end{cases} \quad (1.5)$$

Для модели Мура:

$$w(a_m, \xi) = \begin{cases} \lambda(\delta(a_m, z_{i1}))\dots\lambda(\delta(\delta(a_m, z_{i1}), z_{i2}))\dots\lambda(\tilde{\delta}(a_m, \xi)) = w_{i1}w_{i2}\dots w_{ik}, \\ \text{если } \tilde{\delta}(a_m, \xi) \text{ определена;} \\ \text{не определена в противном случае.} \end{cases} \quad (1.6)$$

Обратим внимание, что **выходной сигнал вырабатываемый автоматом Мура в состоянии a_m не входит в цепочку $w(a_m, \xi)$, так как он не является следствием действия первого символа входной цепочки.**

Под реакцией автомата Мура в состоянии a_m на входное слово $\zeta = z_{i1}z_{i2}\dots z_{ik}$ длиной k символов понимается выходное слово

$w_{i2}w_{i3}\dots w_{i(k+1)}$ длиной k символов, но сдвинутое на 1 такт автоматного времени сравнительно с реакцией автомата Мили.

1.4 Эквивалентные автоматы

Два автомата S_A и S_B с одинаковыми входными и выходными алфавитами называются *эквивалентными*, если после установки их в начальные состояния их *реакции на любое входное слово совпадают*.

Для данного автомата Мили всегда можно построить эквивалентный ему автомат Мура, и наоборот.

1.5 Преобразование автомата Мура в автомат Мили

При преобразованиях автоматов модели Мили в модель Мура и наоборот выходным сигналом автомата Мура $\lambda(a_1)$, связанным с начальным состоянием, следует пренебрегать, поскольку этот сигнал не является следствием какого-либо входного сигнала.

На рисунке 1.4 для наглядности показаны эквивалентные переходы автоматов Мура и Мили.

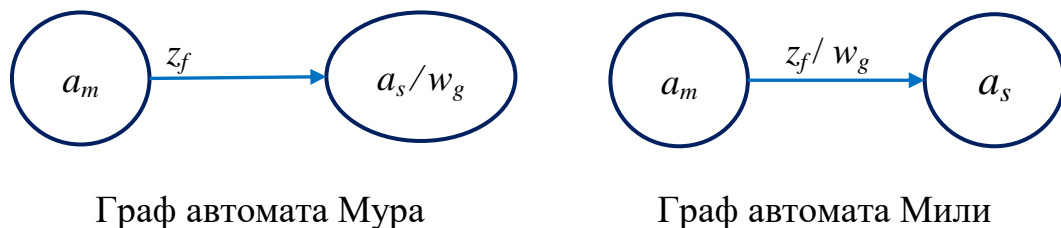


Рисунок 1.4 – Пример переходов двух автоматов

Дан автомат Мура $S_A = (\mathbf{A}_A, \mathbf{Z}_A, \mathbf{W}_A, \delta_A, \lambda_A, a_{1A})$.

Требуется построить автомат Мили $S_B = (\mathbf{A}_B, \mathbf{Z}_B, \mathbf{W}_B, \delta_B, \lambda_B, a_{1B})$, эквивалентный заданному автомату Мура.

Для решения задачи необходимо принять следующие равенства:

$$\mathbf{A}_B = \mathbf{A}_A, \mathbf{Z}_B = \mathbf{Z}_A, \mathbf{W}_B = \mathbf{W}_A, a_{1B} = a_{1A} = a_1, \delta_B = \delta_A.$$

Осталось определить функцию $\lambda_B : \mathbf{A}_B \times \mathbf{Z}_B \rightarrow \mathbf{W}_B$.

Если в автомате Мура $\delta_A(a_m, z_f) = a_s$ и $\lambda(a_s) = w_g$, то в автомате Мили зададим $\lambda(a_m, z_f) = w_g$. Это значит, что выходной сигнал w_g переносится на все дуги, входящие в вершину a_s .

На рисунке 1.5 приведен конкретный пример преобразования автомата Мура в автомат Мили.

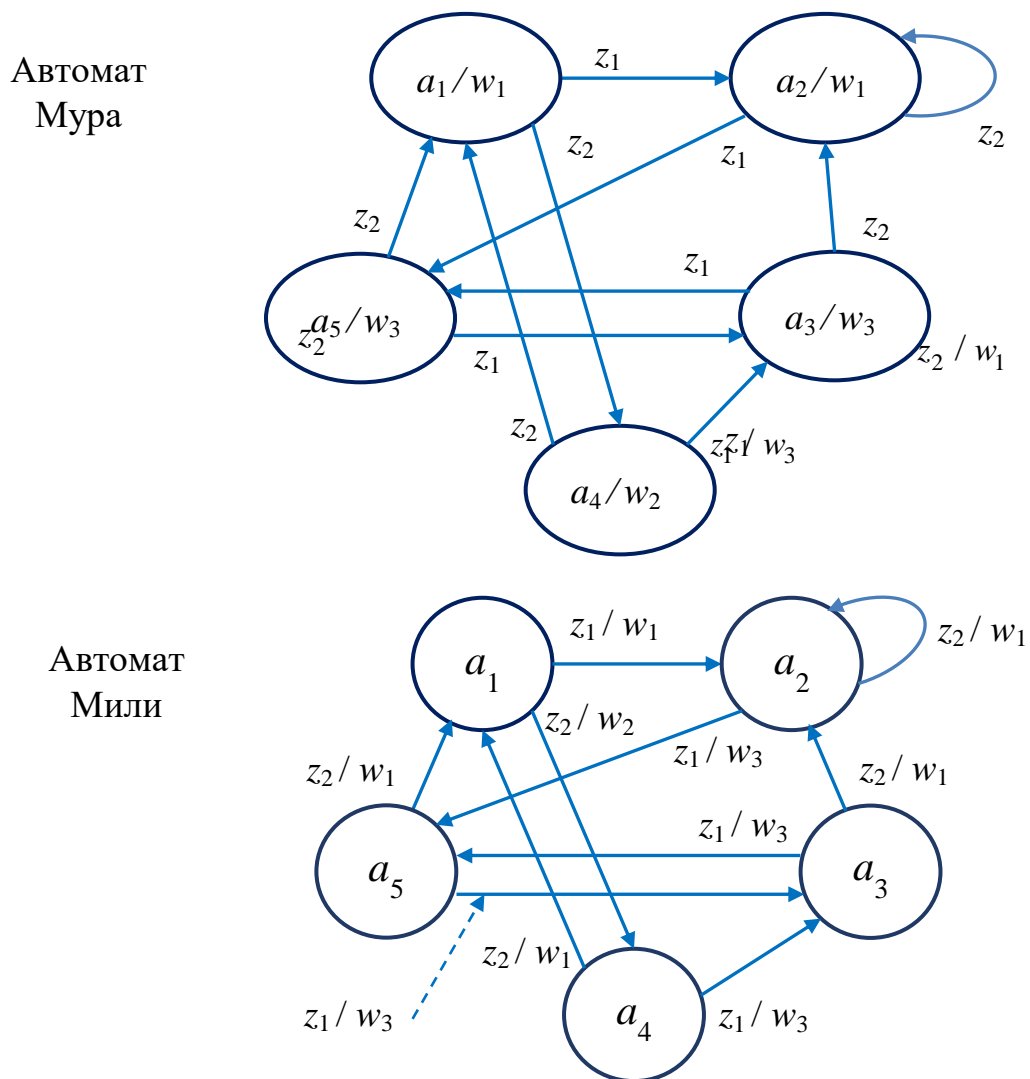


Рисунок 1.5 – Автомат Мура и эквивалентный ему автомат Мили

При табличном способе задания автоматов:

1 - таблицы переходов двух автоматов совпадают, поскольку $\delta_B = \delta_A$;

2 - совмещенная таблица переходов и выходов искомого автомата Мили S_B строится дополнением таблицы переходов автоматов на основе содержимого отмеченной таблицы переходов (ОТП) автомата Мура S_A по следующим правилам:

2.1 - для каждого состояния $a \in A_A$ из ОТП выбирается символ выходного алфавита $w = \lambda_A(a)$;

2.2 - выбранный символ w дописывается во все клетки таблицы переходов, содержащие символ состояния a_m такой, что $\delta_A(a_m, *) = a$, где символ $*$ означает любой символ входного алфавита.

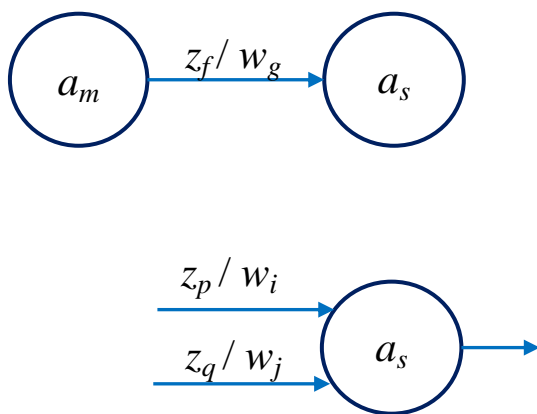
Сформулированные правила вытекают из рисунка 1.4.

Из изложенного способа построения автомата Мили S_B очевидно, что он эквивалентен заданному автомату Мура S_A .

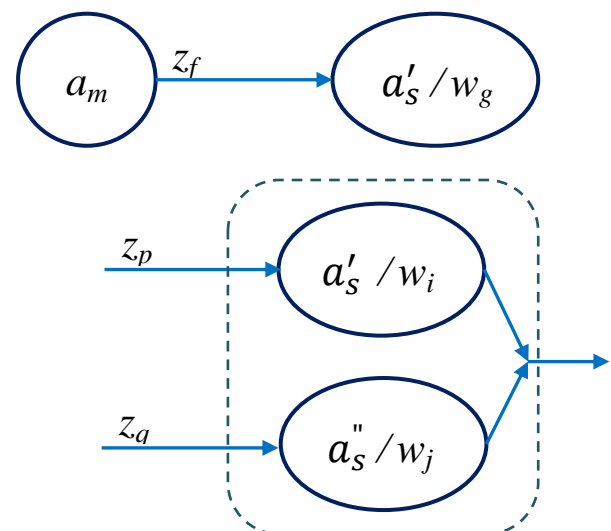
1.6 Преобразование автомата Мили в автомат Мура

На рисунке 1.6 даны примеры переходов автомата Мили и эквивалентные им переходы автомата Мура.

Каждая пара (a_s, w_g) графа автомата Мили, где w_g – символ на стрелке входящей в a_s , порождает в графе автомата Мура отдельную вершину a'_s , отмеченную символом w_g .



Переходы автомата Мили



Переходы автомата Мура

Рисунок 1.6 – Два фрагмента преобразования автомата Мили

Дан автомат Мили $S_A = (A_A, Z_A, W_A, \delta_A, \lambda_A, a_{1A})$.

Требуется построить автомат Мура $S_B = (A_B, Z_B, W_B, \delta_B, \lambda_B, a_{1B})$ эквивалентный заданному автомату Мили.

Необходимые условия эквивалентности автоматов:

$$Z_B = Z_A; W_B = W_A.$$

Рисунок 1.6 показывает, что $|A_B| \geq |A_A|$. Поэтому в общем случае $\delta_B \neq \delta_A$.

1) Определим λ_B и A_B .

Каждому состоянию $a_s \in A_A$ поставим в соответствие множество λ_s состояний, отмеченных выходными символами, то есть, множество пар вида (a_s, w_g) , где w_g – выходной символ, приписанный на графе автомата Мили дуге, входящей в вершину a_s :

$$\lambda_s = \left\{ (a_s, w_g) \mid \left(\delta_A(a_m, z_f) = a_s \right) \wedge \left(\lambda(a_m, z_f) = w_g \right) \right\}. \quad (1.7)$$

Для графа на рисунке 1.7 $\lambda_s = (a'_s, w_1), (a''_s, w_2), (a'''_s, w_3)$.

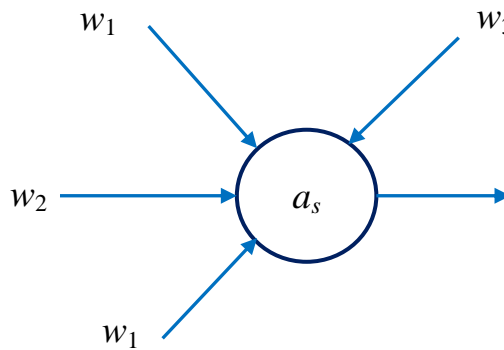


Рисунок 1.7

Число элементов в λ_s можно взять равным числу дуг, входящих в a_s . При этом новый автомат в большинстве случаев будет иметь избы-

точное число состояний, что нежелательно. Для исключения такой избыточности следует задать в λ_s столько различных пар, сколько различных выходных сигналов приписано дугам, входящим в вершину a_s .

Искомая функция выходов λ_B задается объединением всех множеств λ_s .

$$\lambda_B = \bigcup_{s=1}^M \lambda_s, \quad (1.8)$$

где M - количество состояний в S_A .

При этом искомое множество A_B задается множеством имен состояний, входящих в пары $a_s, w_g \in \lambda_s$.

2) Определим δ_B .

2.1. Каждому состоянию S_B , представляющему собой пару вида (a_s, w_g) , ставится в соответствие выходной сигнал w_g .

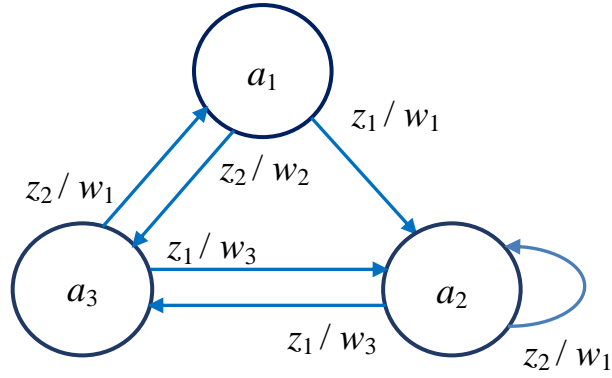
2.2. Если в S_A есть переход $\delta_A(a_m, z_f) = a_s$ и при этом $\lambda_A(a_m, z_f) = w_k$, то в S_B будет переход из множества состояний A_B , порождаемых состоянием a_m , в состояние (a_s, w_k) под действием того же входного сигнала z_f .

3) В качестве начального состояния a_{1B} можно назначить любое из отмеченных состояний множества λ_1 , порожденного состоянием a_{1A} .

Пример.

Дан автомат Мили S_A . Требуется построить эквивалентный ему автомат Мура S_B (рисунок 1.8).

автомат
Мили



автомат
Мура

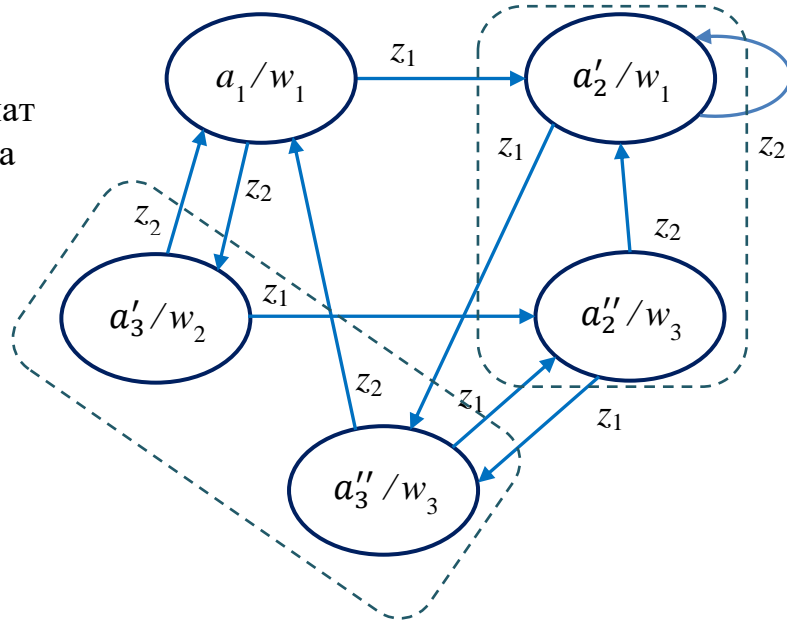


Рисунок 1.8 – Автомат Мили и эквивалентный ему автомат Мура

В заданном автомате Мили \mathbf{S}_A имеем:

$$\mathbf{Z}_A = \{z_1, z_2\}; \mathbf{W}_A = \{w_1, w_2, w_3\}; \mathbf{A}_A = \{a_1, a_2, a_3\}; a_{1A} = a_1.$$

Функции δ_A и λ_A определены графом автомата.

В процессе проектирования автомата Мура \mathbf{S}_B согласно моделям (1.7) и (1.8) созданы множества отмеченных состояний автомата Мура: $\lambda_1 = (a_1, w_1)$; $\lambda_2 = (a_2', w_1), (a_2'', w_3)$; $\lambda_3 = (a_3', w_3), (a_3'', w_2)$.

При этом: $\lambda_B = (a_1, w_1), (a_2', w_1), (a_2'', w_3), (a_3', w_3), (a_3'', w_2)$ и

$$\mathbf{A}_B = a_1, a_2', a_2'', a_3', a_3''.$$

Дуги нового графа заданы согласно примеру, показанному на рисунке 1.6.

Рассмотренные преобразования автоматов показывают, что при преобразовании автомата Мура в автомат Мили количество состояний автомата сохраняется. При преобразовании автомата Мили в автомат Мура количество состояний может увеличиваться.

1.7 Синтез структурных автоматов Мили и Мура с жесткой логикой

Абстрактный автомат (АА) – математическая модель реальных технических устройств. Абстрактный автомат описывается шести-компонентным набором.

В отличие от абстрактных математических моделей автоматов, рассмотренных выше, **структурный автомат** задается внутренним устройством на уровне электрических структурных схем и учитывает структуру входных и выходных символов.

Входному и выходному алфавитам абстрактного автомата соответствуют **структурные входной (X) и выходной (Y) алфавиты** структурного автомата. Везде далее используется двоичный структурный алфавит. При этом символы всех алфавитов абстрактного автомата кодируются векторами конечной длины, компоненты которых принимают одно из двух возможных значений: 0, либо 1.

Задачей этапа структурного синтеза автомата является построение электрической схемы, реализующей автомат в заданном элементном базисе.

Существует общий конструктивный прием, называемый **каноническим методом структурного синтеза**, который задачу структурного синтеза автомата сводит к задаче синтеза комбинационных схем. Результатом этого метода является **система логических уравнений, называемых каноническими**, описывающих:

- сигналы структурного выходного алфавита Y как функции от сигналов структурного входного алфавита X и сигналов структурного алфавита Q состояний автомата;
- внутренние сигналы автомата как функции сигналов X и Q .

В каноническом методе структурного синтеза автомат представляется в виде памяти, хранящей текущий *код состояния автомата*, и комбинационной схемы.

1.8 Этапы синтеза автоматов типа Мура и Мили по ГСА

Процесс синтеза автомата зависит от следующих факторов:

- от критерия синтеза;
- минимум оборудования;
- максимум быстродействия;
- от типа автомата (Мили, Мура);
- от элементной базы;
- от способа кодирования состояний;
- от принятой структурной схемы автомата.

Синтез (проектирование) автомата по содержательной ГСА осуществляется в несколько этапов.

1. Построение структурной схемы автомата с учетом выбранного (заданного) типа автомата (Мили, Мура), а также особенностей элементной базы, заданной для построения автомата.

2. Кодирование микроопераций (МО) и логических условий (ЛУ) с последующим преобразованием содержательной ГСА в закодированную ГСА путем замены содержательного описания МО и ЛУ на их заданные обозначения.

3. Разметка закодированной ГСА поименованными метками состояний автомата. Эту процедура кратко называется «разметка состояний».

4. Кодирование состояний автомата. Выбранный принцип кодирования состояний может существенно повлиять на структуру авто-

мата на жесткой логике и, как следствие, на сложность реализации структурных компонент автомата.

5. Построение прямой и обратной таблиц переходов.

6. Построение логических выражений для выходных сигналов автомата и функций возбуждения элементов памяти автомата. Это соответствует построению конкретных математических моделей функции переходов и функции выходов структурного автомата.

7. Проектирование памяти состояний и комбинационной схемы автомата по логическим выражениям. На этом этапе учитывается заданный логический базис, определяющий доступные типы операционных элементов, и выбранный принцип кодирования состояний автомата.

Проектируя автоматы по ГСА, необходимо понимать следующие особенности МП, заданной в виде ГСА.

1. Вершина **«Начало»** – *это указатель на начальное состояние автомата*: на состояние, соответствующее первому шагу выполнения алгоритма управления. В схемной реализации автомата этому указателю должна соответствовать электрическая цепь, сигнал на входе которой (сигнал «Сброс») обеспечивает запись на память состояний автомата кода его начального состояния.

2. Достижение вершины **«Конец»** должно перевести автомат в его начальное состояние, подготавливая автомат к очередному выполнению МП. Поэтому на входе вершины **«Конец»** необходимо ставить метку повторяющую метку начального состояния.

2. Лабораторные работы

2.1 Лабораторная работа № 1

Тема: «Абстрактные автоматы моделей Мили и Мура»

Цель работы – Программное моделирование абстрактных автоматов Мили и Мура.

Программное обеспечение. Для выполнения лабораторной работы на компьютере должен быть установлен пакет программ Microsoft Visual Studio.

Задание

Построить модель абстрактного автомата-преобразователя, реализованную в виде программы.

Мощности алфавитов **A**, **Z** и **W**, входящих в модель автомата **S**, должны равняться 4 – 5. Для упрощения можно все алфавиты задать одинаковыми. Желательно элементы каждого алфавита задавать символами, указывающими на конкретный алфавит, и цифрами, например: $A = \{a1, a2, a3, a4, a5\}$.

Порядок проведения работы

1. Создайте в Visual Studio новый проект Visual C++ в виде Windows-приложения.

2. Используя встроенный в язык программирования генератор псевдослучайных числовых последовательностей, сгенерировать:

- случайное содержание таблицы переходов автомата;
- случайное содержание таблицы выходов автомата Мили;
- случайное содержание таблицы выходов автомата Мура;
- случайное входное слово длиной 8 – 10 символов.

3. Программа, используя содержание сгенерированных таблиц и входного слова, должна:

- вывести на экран содержание всех сгенерированных данных, организованное в виде соответствующих таблиц и входное слово в виде строки символов;
- вывести на экран реакцию двух моделей автоматов на входное слово.
- вывести на экран значение функции заключительного состояния отдельно для двух моделей автоматов;
- вывести на экран значение функции заключительного выхода отдельно для двух моделей автоматов.

Содержание отчета

Отчет должен включать

- цель работы;
- текст задания;
- текст программы с комментариями;
- результаты тестирования;
- конечные результаты;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются между собой абстрактные автоматы Мили и Мура?
2. Записать функции выходов и переходов автомата Мили в виде функционального соответствия между множествами и в виде функций для текущего такта работы автомата.
3. Записать функции выходов и переходов автомата Мура в виде функционального соответствия между множествами и в виде функций для текущего такта работы автомата.
4. Записать функции заключительного выхода и заключительного состояния для автомата Мили.
5. Записать функции заключительного выхода и заключительного состояния для автомата Мура.

2.2 Лабораторная работа № 2

Тема: «Преобразования моделей автоматов»

Цель работы – практическое знакомство методом преобразования абстрактного автомата Мили в автомат Мура.

Программное обеспечение. Для выполнения лабораторной работы на компьютере должен быть установлен пакет программ Microsoft Visual Studio.

Задание

Преобразовать модель абстрактного автомата Мили в автомат Мура.

Порядок проведения работы

1. Используя программу из лабораторной работы № 1, сгенерировать модель автомата Мили в виде таблиц, задающих функции переходов и выходов автомата.
2. Построить граф, задающий автомат Мили.
3. Граф автомата Мили преобразовать в граф автомата Мура.

Графы можно рисовать от руки.

Содержание отчета

Отчет должен включать

- цель работы;
- текст задания;
- текст программы с комментариями;
- алфавиты алфавитов A , Z и W ;
- таблицу переходов и таблицу выходов автомата Мили;
- граф автомата Мили;
- граф автомата Мура;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Для автомата Мили, заданного графом переходов и выходов, построить граф автомата Мура, эквивалентного заданному автомату Мили.
2. Чем отличаются функции заключительного выхода автоматов Мили и Мура?

2.3 Лабораторная работа № 3

Тема: «Автомат Мура на жесткой логике»

Цель работы – проектирование по заданной абстрактной ГСА МПА модели Мура на жесткой логике с памятью на D триггерах.

Программное обеспечение. Программа моделирования электронных схем Multisim 10.

Задание

На основе индивидуального варианта задания (табл. 2.1):

- спроектировать функциональную схему автомата;
- смоделировать функциональную схему автомата в Multisim 10.

Порядок проведения работы

1. На заданной ГСА выполнить разметку состояний автомата.
2. Разработать прямую таблицу переходов.
3. Выполнить кодирование состояний.
4. Сформировать обратную структурную таблицу.
5. Сформировать функции переходов и выходов.
6. Разработать функциональную схему автомата.
7. Выполнить моделирование разработанной схемы автомата в программе моделирования электронных схем Multisim_10. В главном меню выберите пункт «*Simulate/Digital Simulation Settings...*» и установите режим *Real*.

Варианты заданий на проектирование автомата

Таблица 2.1

Варианты заданий на проектирование автомата Мура

Вариант №	Номер ГСА
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12

Содержание отчета

Отчет должен включать

- таблица переходов автомата Мура;
- таблица выходов автомата Мура;
- кодирование состояний автомата;
- функции переходов и выходов;
- функциональная схема автомата;
- схема модели автомата в программе Multisim_10
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие объекты и функции используются для описания закона функционирования структурного автомата Мура?
2. Какие правила необходимо соблюдать при разметке состояний автомата Мура?
3. Какое различие между структурными автоматами Мили и Мура?
4. Какие элементы памяти могут использоваться в автоматах Мура?

2.4 Лабораторная работа № 4

Тема: «Автомат Мили на жесткой логике»

Цель работы – проектирование по заданной абстрактной ГСА МПА модели Мили на жесткой логике с памятью на D триггерах.

Программное обеспечение. Программа моделирования электронных схем Multisim 10.

Задание

На основе индивидуального варианта задания (табл. 2.2):

- спроектировать функциональную схему автомата;
- смоделировать функциональную схему автомата в Multisim 10.

Порядок проведения работы

1. На заданной ГСА выполнить разметку состояний автомата.
2. Разработать прямую таблицу переходов.
3. Выполнить кодирование состояний.
4. Сформировать обратную структурную таблицу.
5. Сформировать функции переходов и выходов.
6. Разработать функциональную схему автомата.
7. Выполнить моделирование разработанной схемы автомата в программе моделирования электронных схем Multisim_10. В главном меню выберите пункт «*Simulate/Digital Simulation Settings...*» и установите режим *Real*.

Таблица 2.2

Варианты заданий на проектирование автомата Мили

Вариант №	Номер ГСА
1	7
2	12
3	9
4	16
5	11
6	12
7	8

8	18
9	5
10	17
11	14
12	20

Содержание отчета

Отчет должен включать

- таблица переходов автомата Мили;
- таблица выходов автомата Мили;
- кодирование состояний автомата;
- функции переходов и выходов;
- функциональная схема автомата;
- схема модели автомата в программе Multisim_10
- выводы.

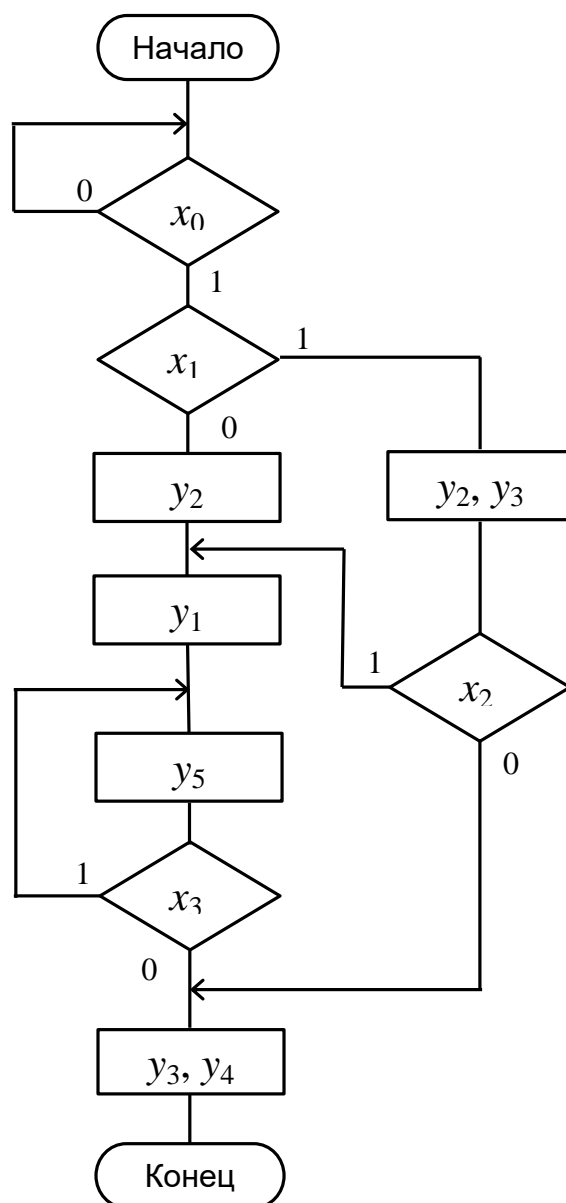
Контрольные вопросы

1. Какие объекты и функции используются для описания закона функционирования структурного автомата Мили?
2. Какие правила необходимо соблюдать при разметке состояний автомата Мили?
3. Какое различие между структурными автоматами Мили и Мура?
4. Какие элементы памяти могут использоваться в автоматах Мили?

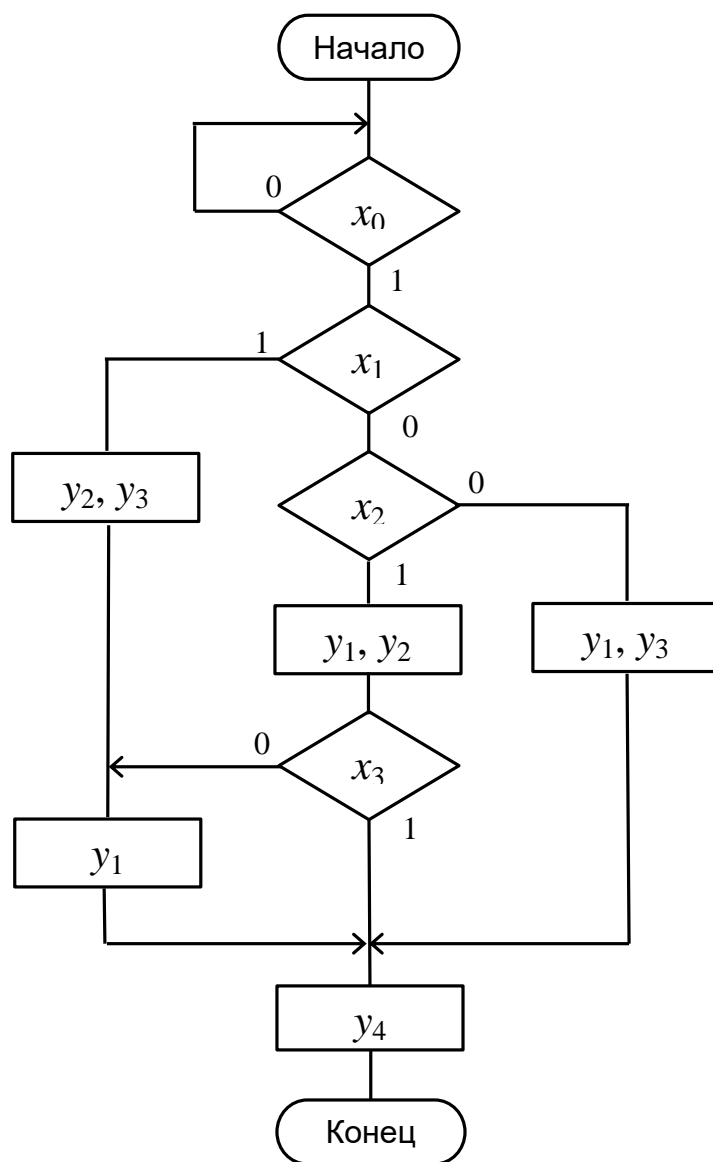
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мартемьянов Б.В., Кузнецов П.К.* Прикладная теория цифровых автоматов: учеб. пособ. / *Б.В. Мартемьянов, П.К. Кузнецов.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2025. – 203 с.
1. *Орлов, С.П.* Арифметика ЭВМ и логические основы переключательных функций: учеб. пособ. / *С.П. Орлов, Б.В. Мартемьянов.* 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение – 1, 2005. – 256 с.
2. *Воронцов, И.В.* Теория автоматов и формальных языков: лабораторный практикум / *И.В. Воронцов, С.П. Орлов.* - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2013. – 156 с.

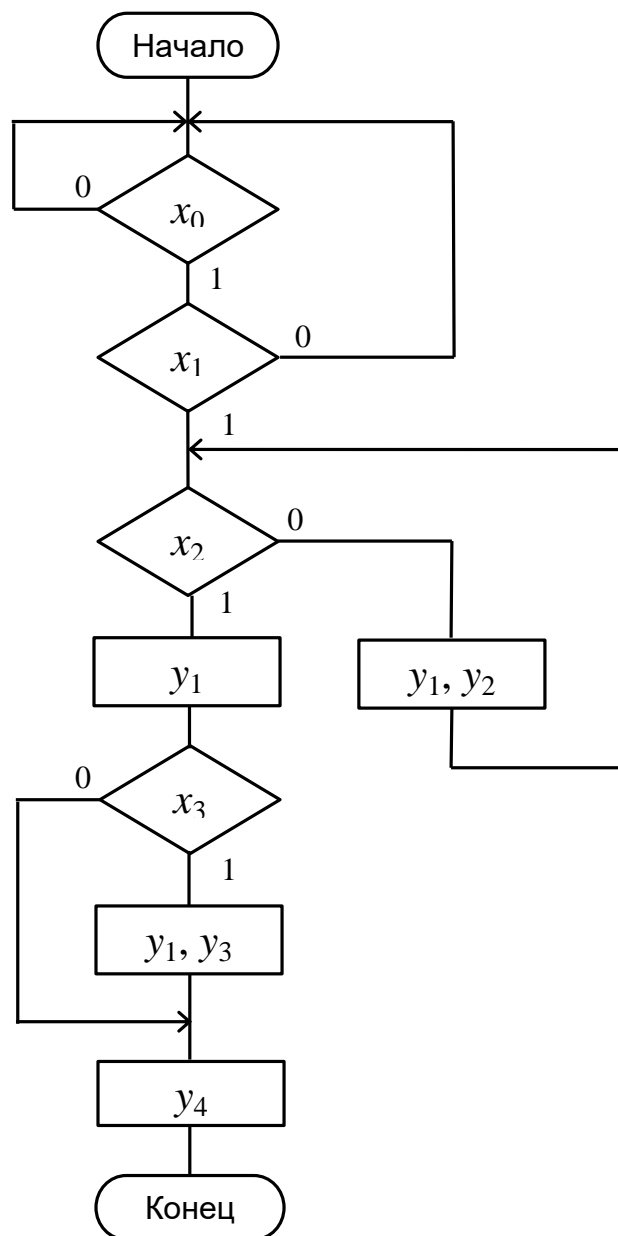
Приложение 1. ГСА



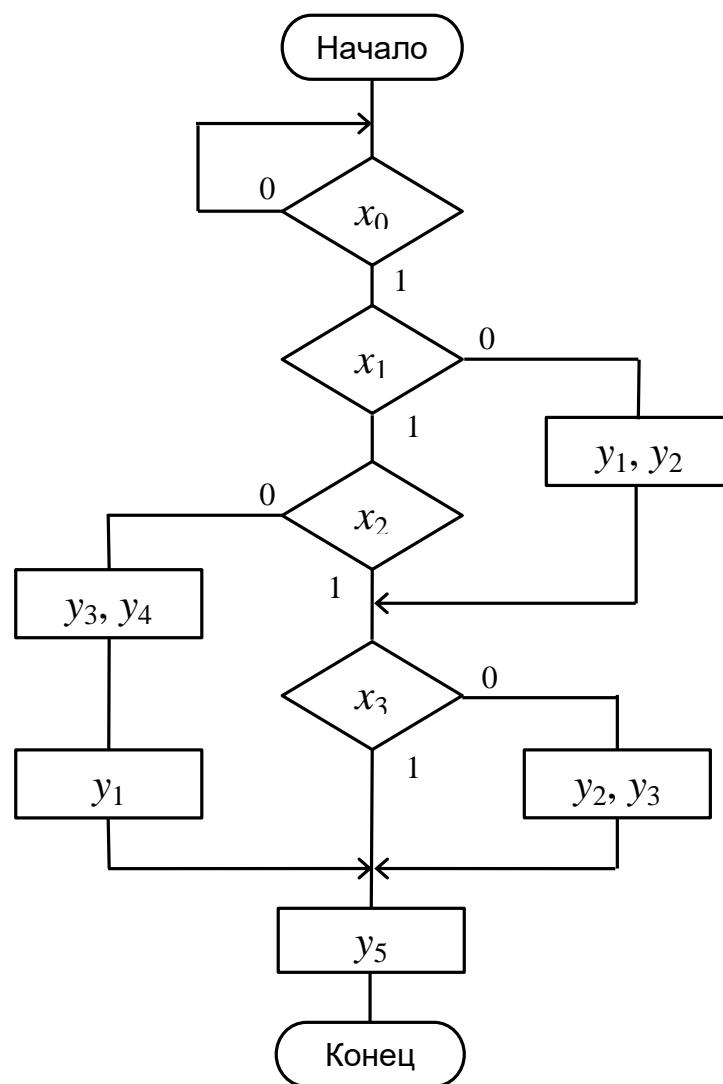
ГСА 1



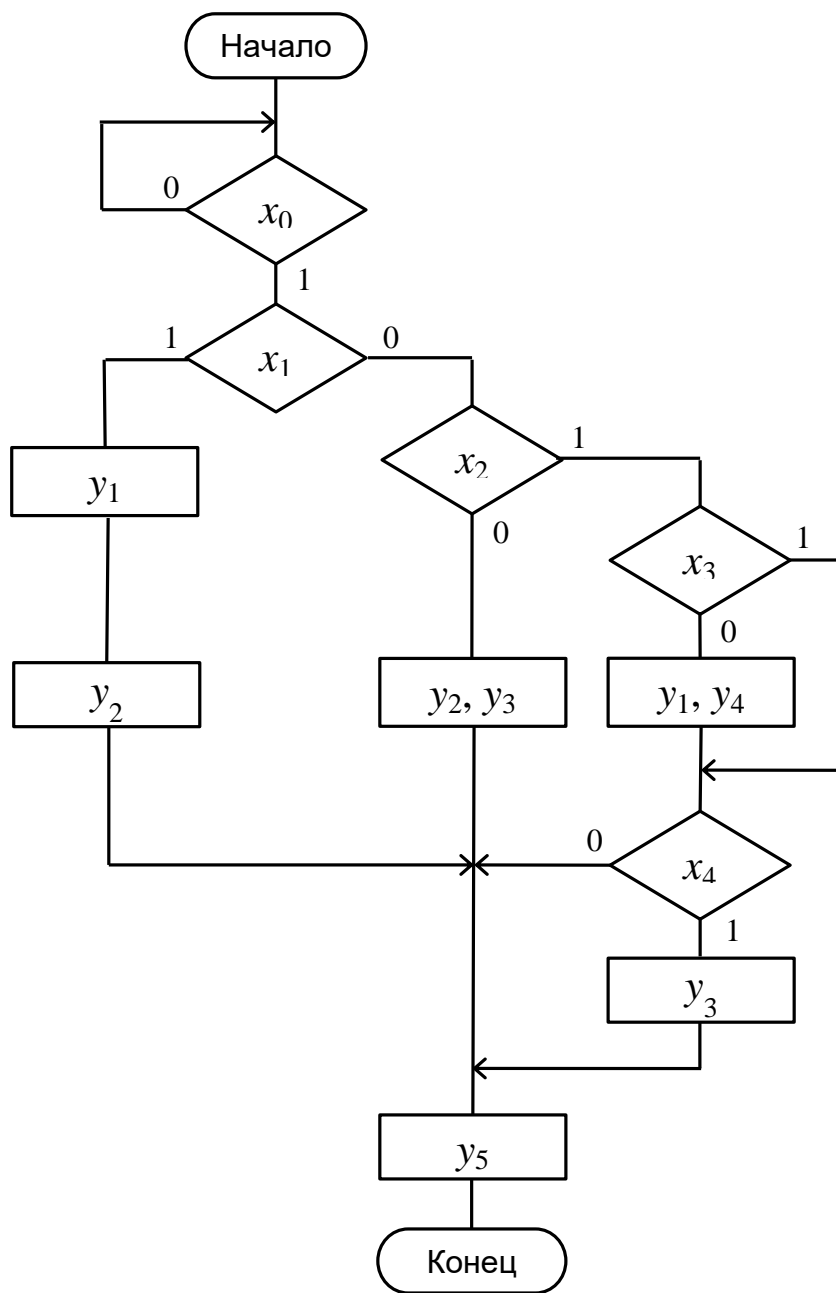
ГСА 2



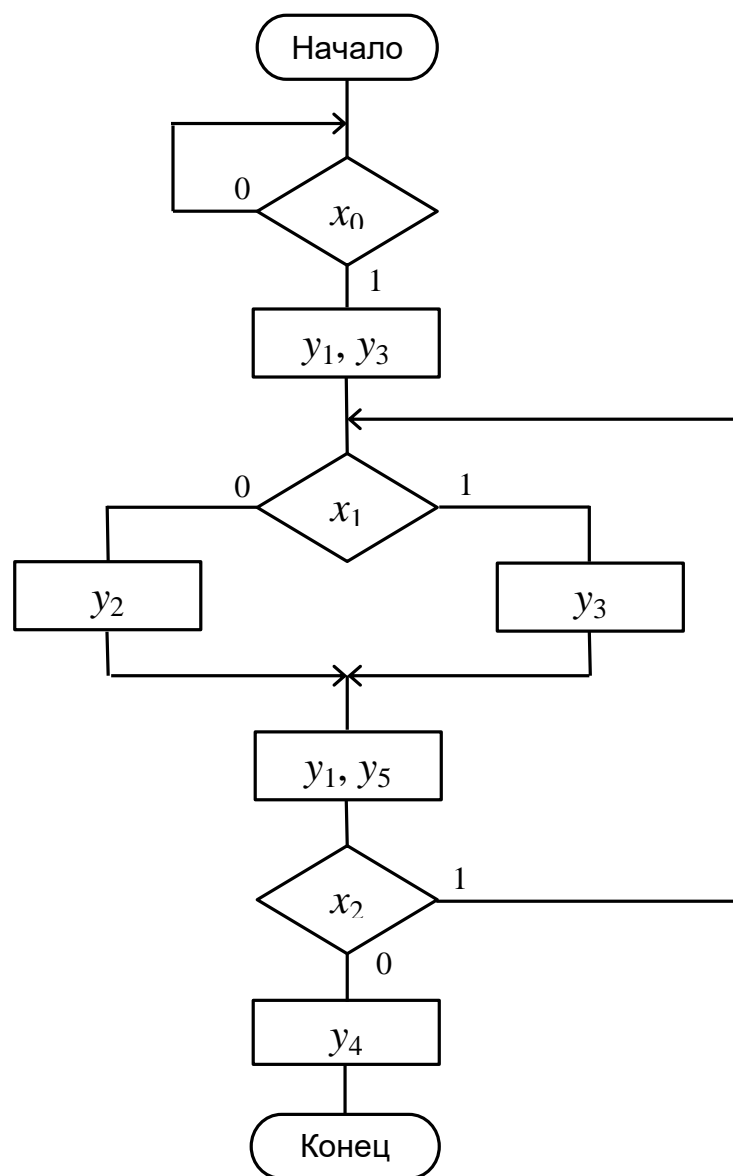
ГСА 3



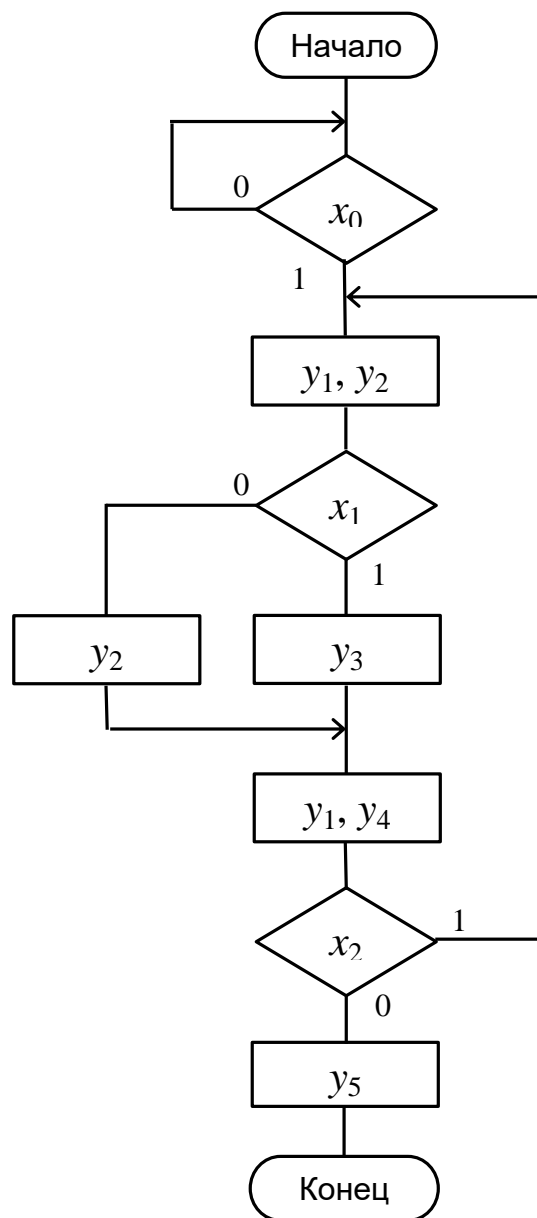
ГСА 4



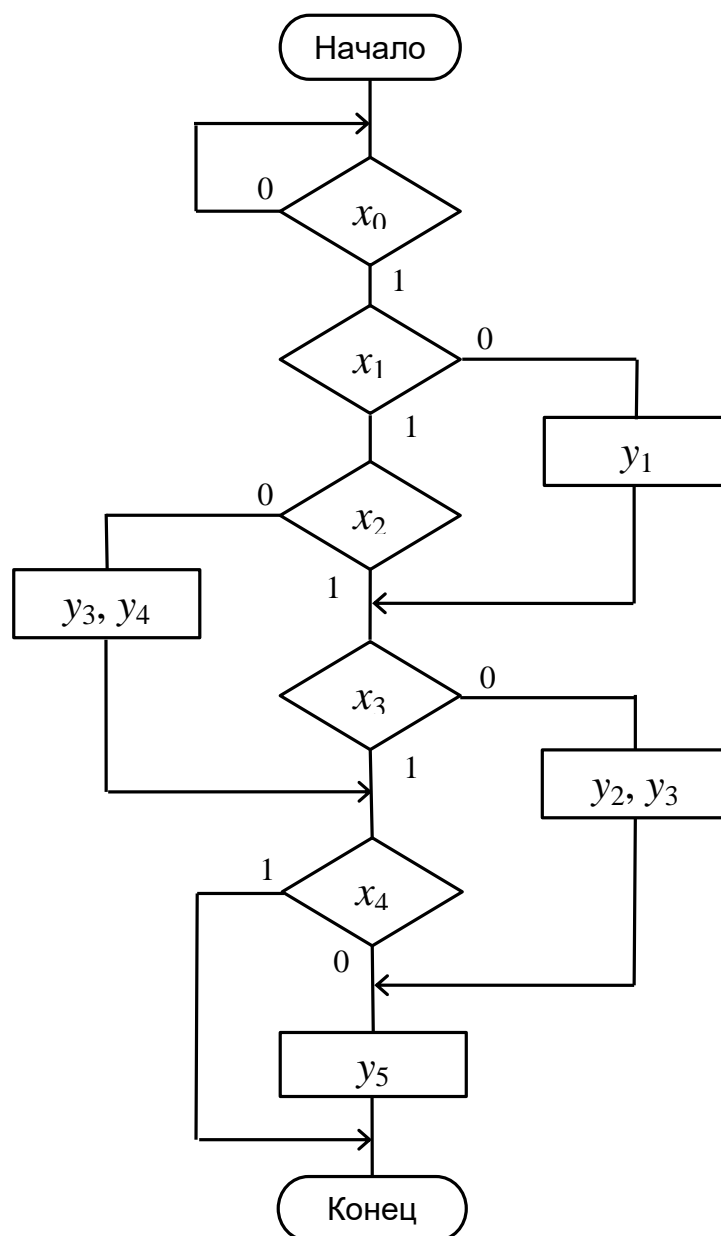
ГСА 5



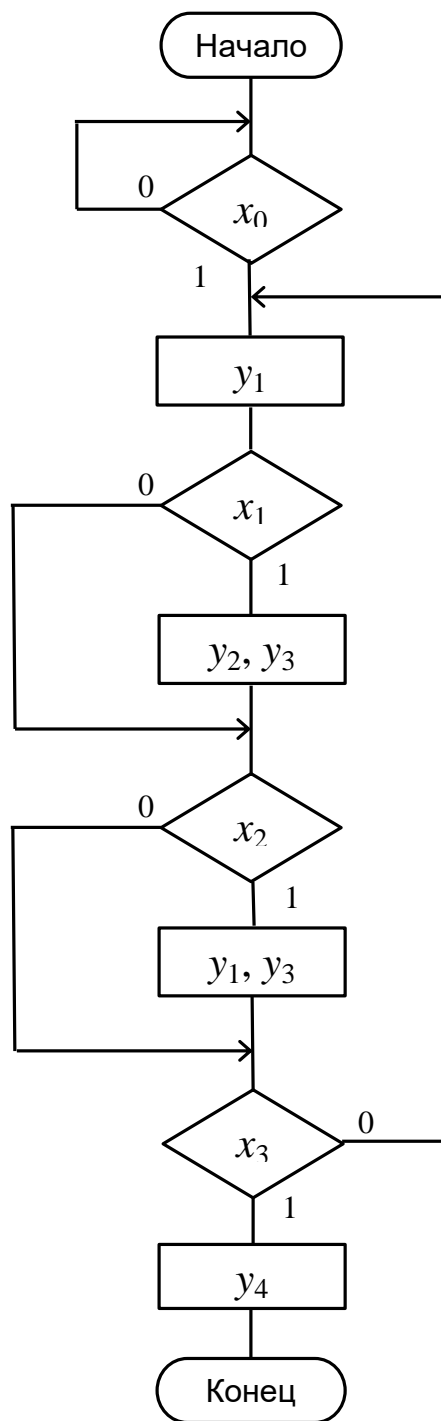
ГСА 6



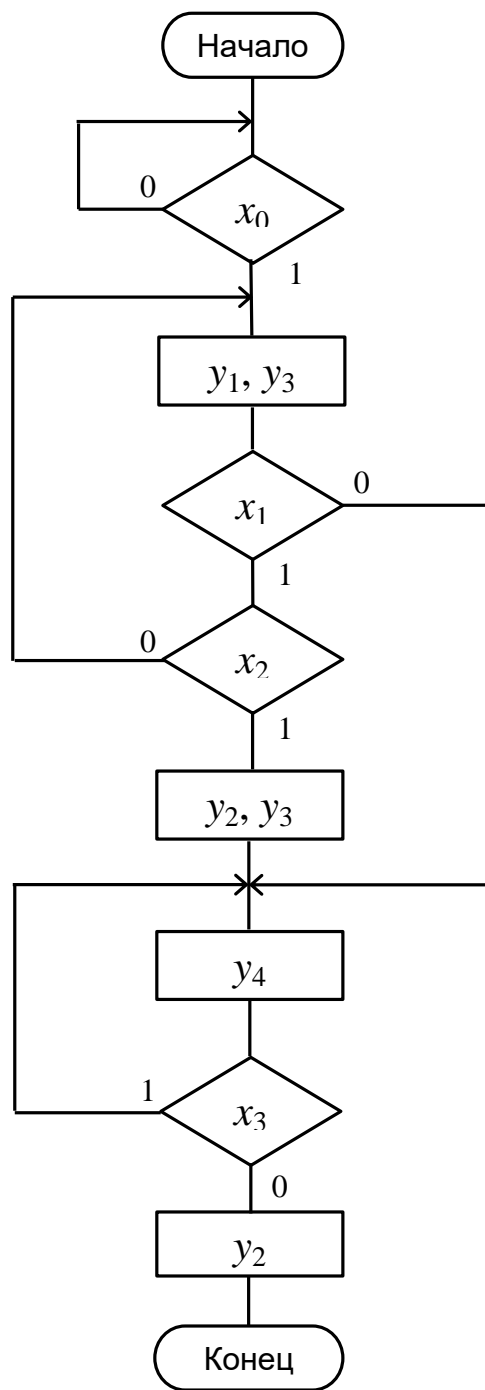
ГСА 7



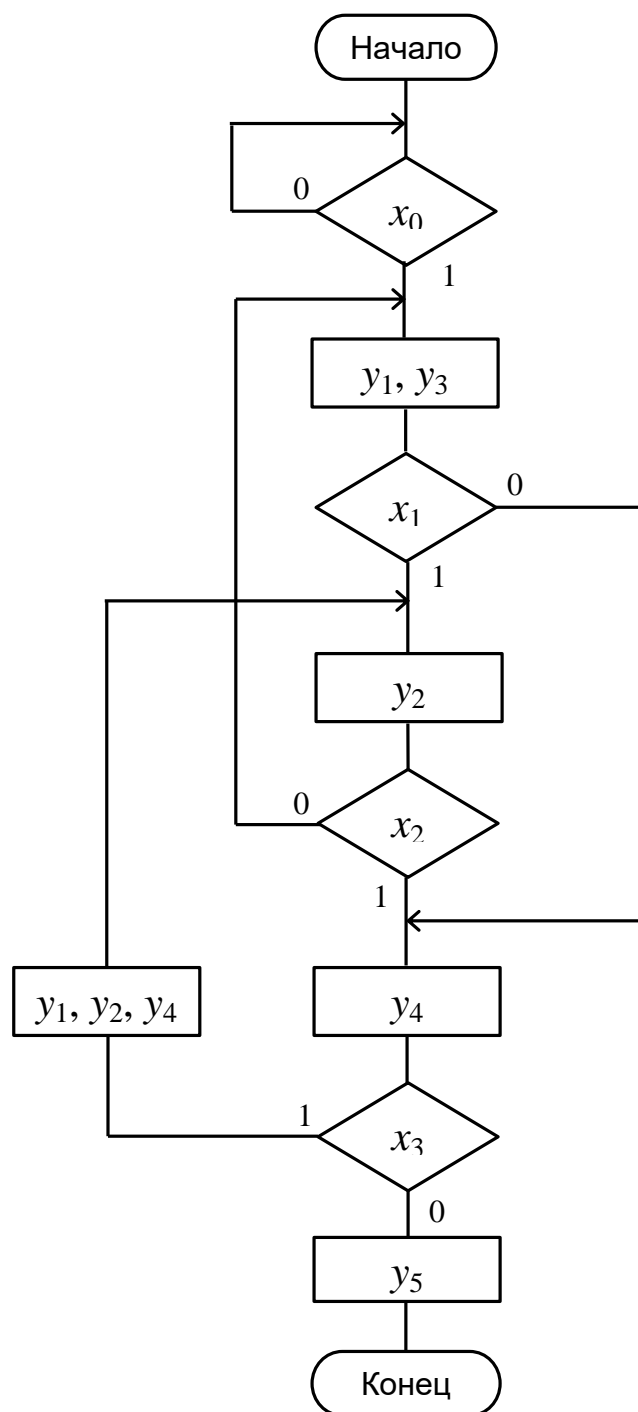
ГСА 8



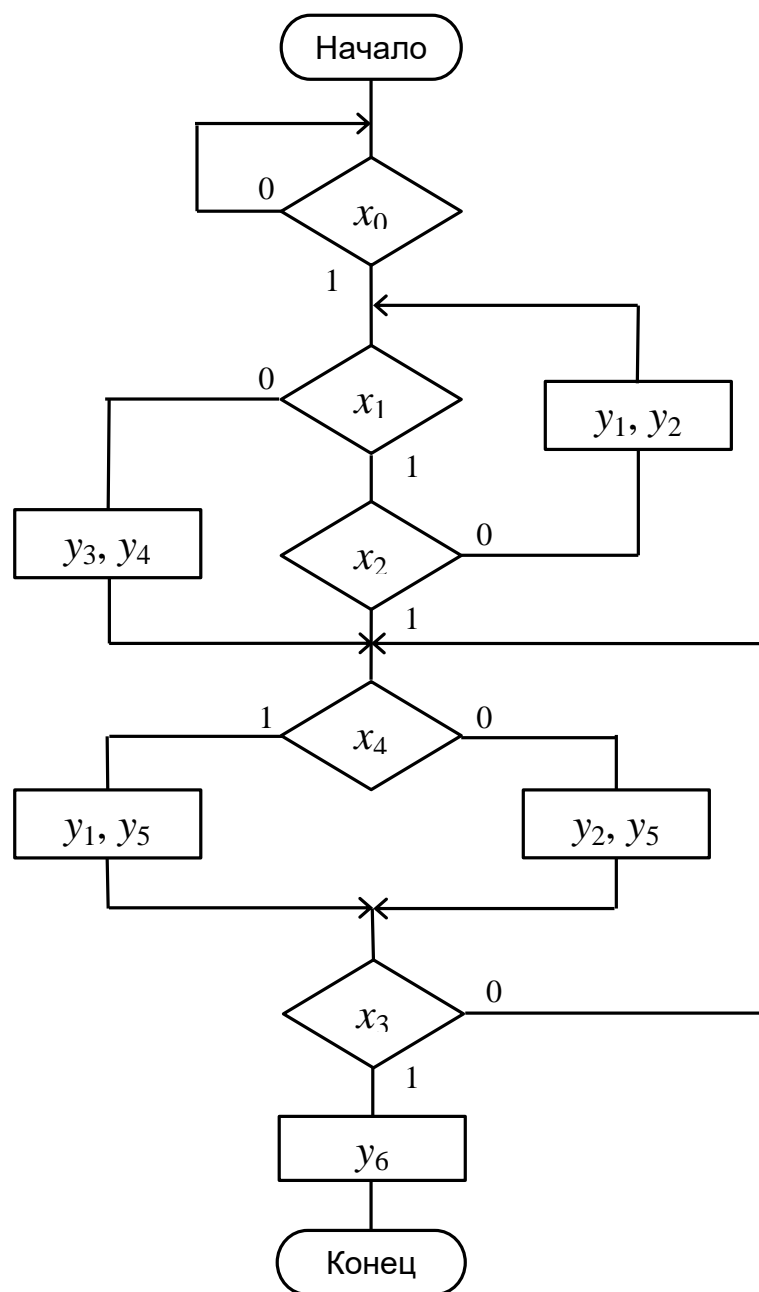
ГСА 9



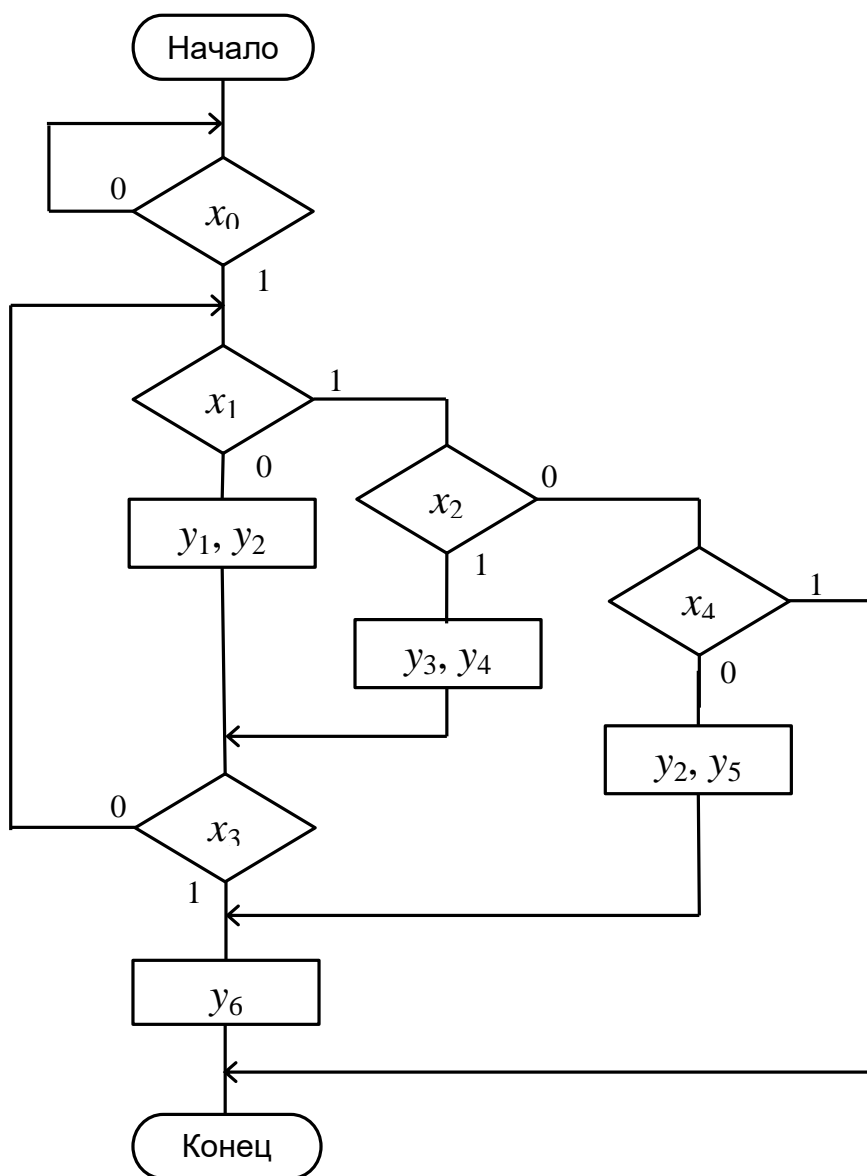
ГСА 10



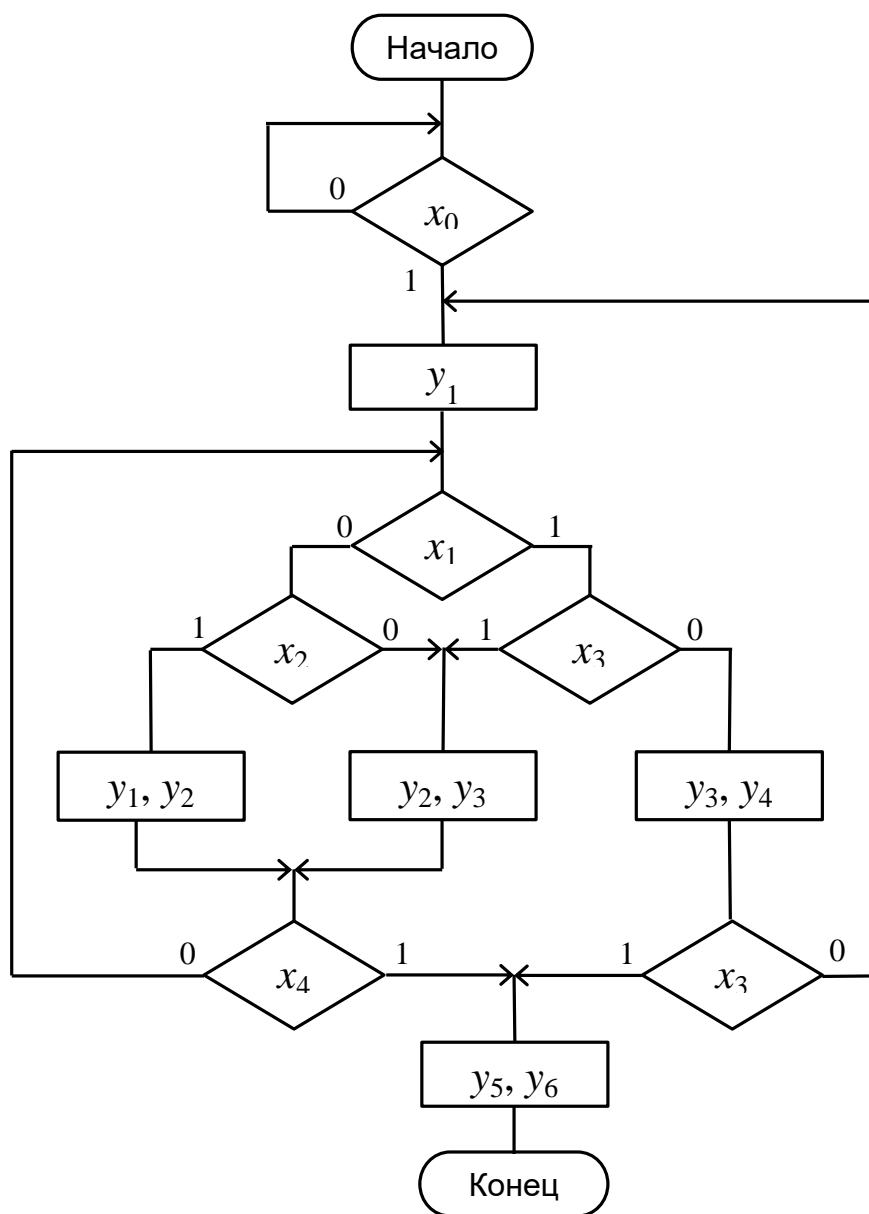
ГСА 11



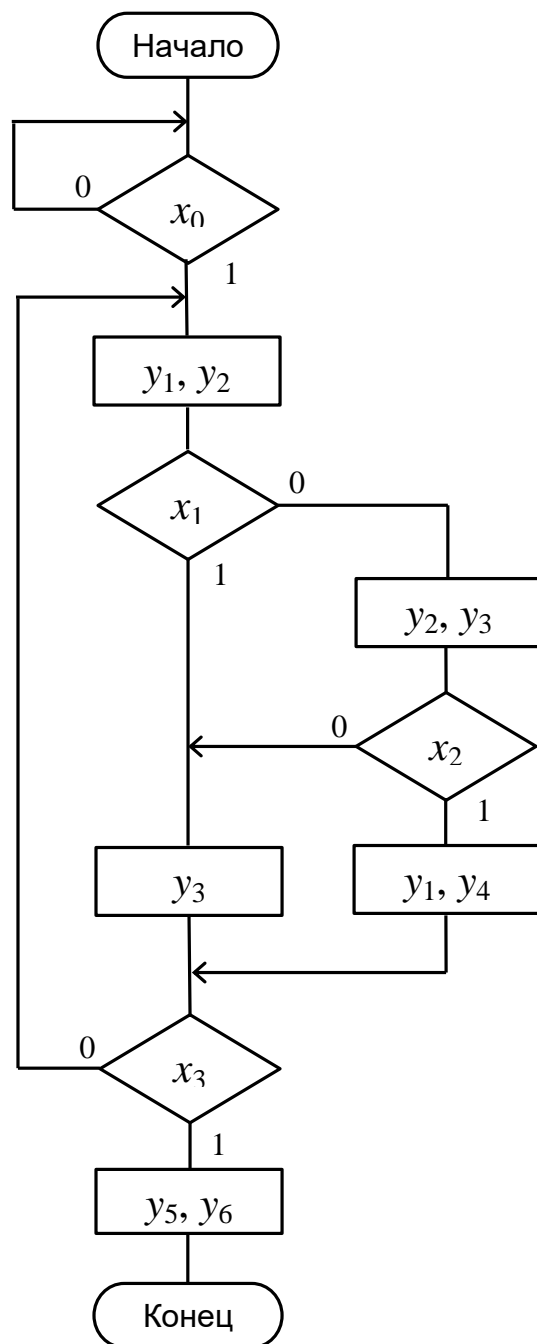
ГСА 12



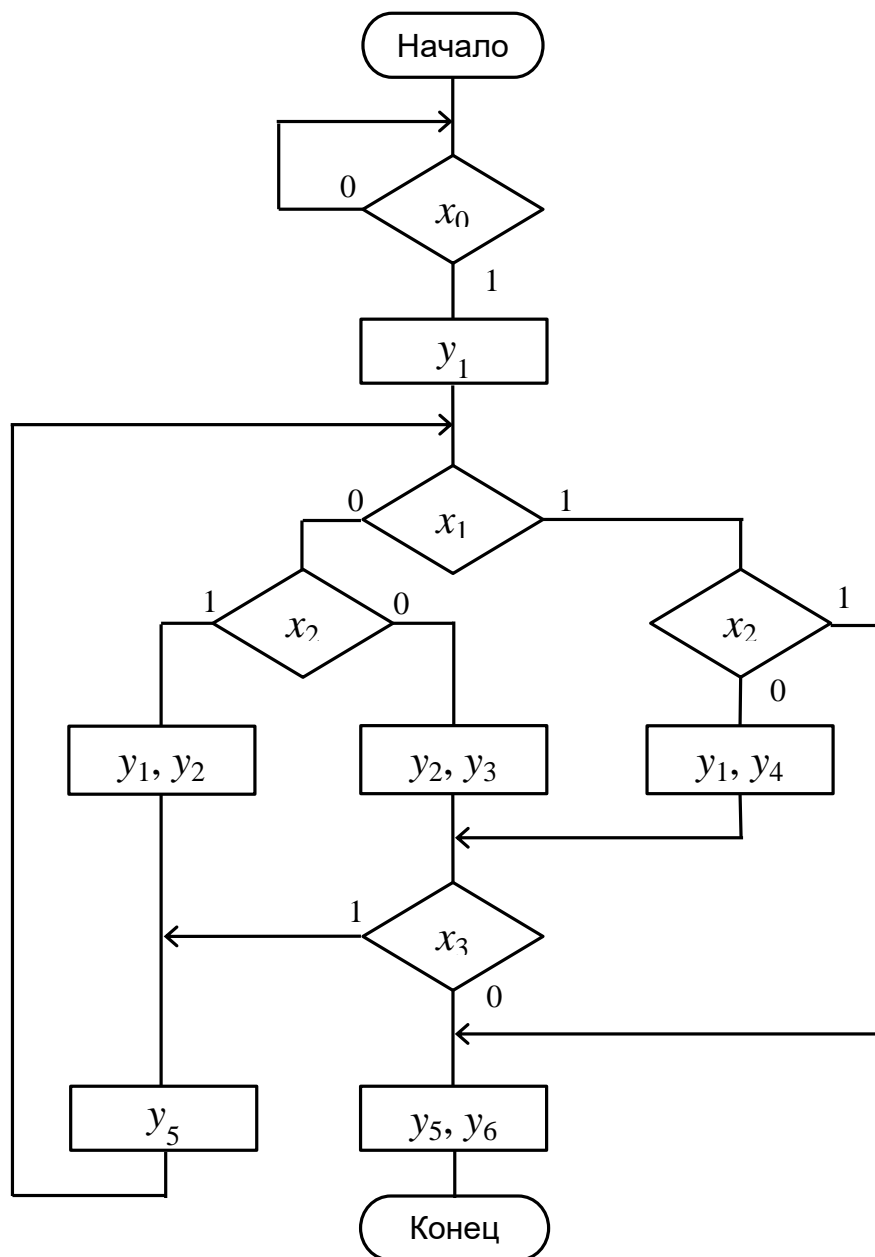
ГСА 13



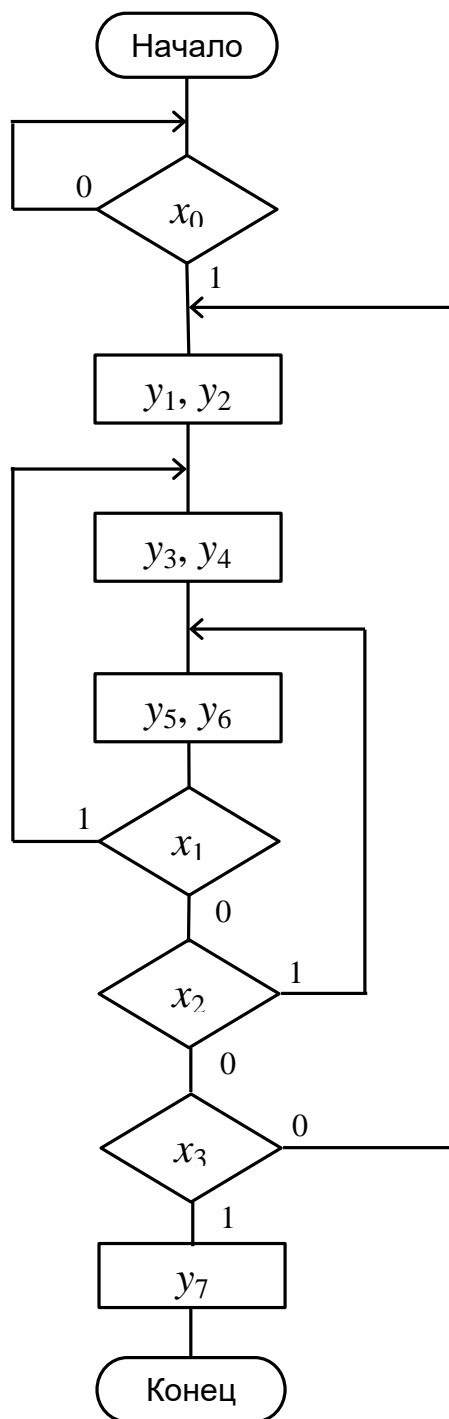
ГСА 14



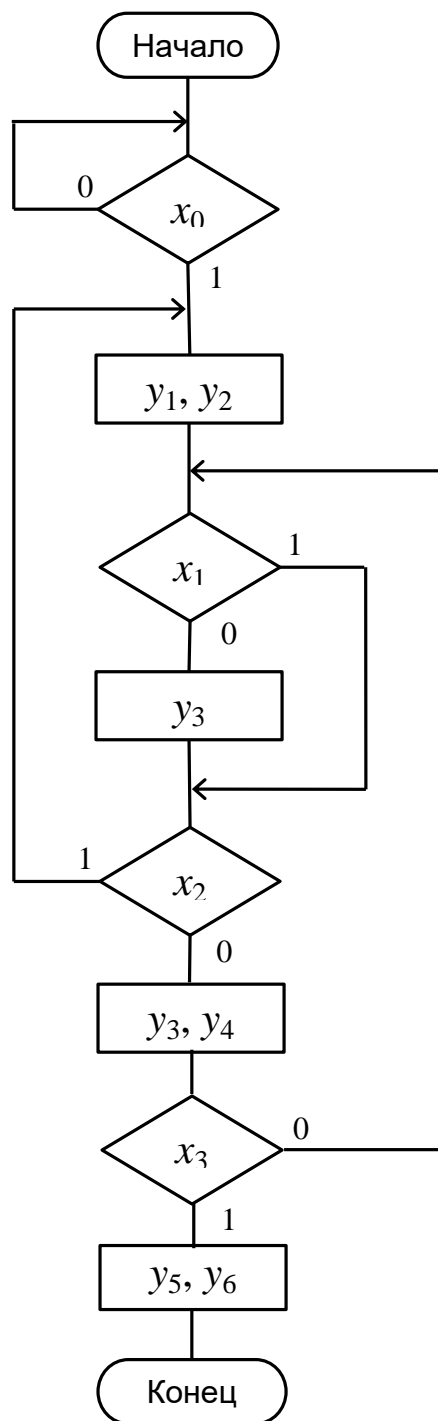
ГСА 15



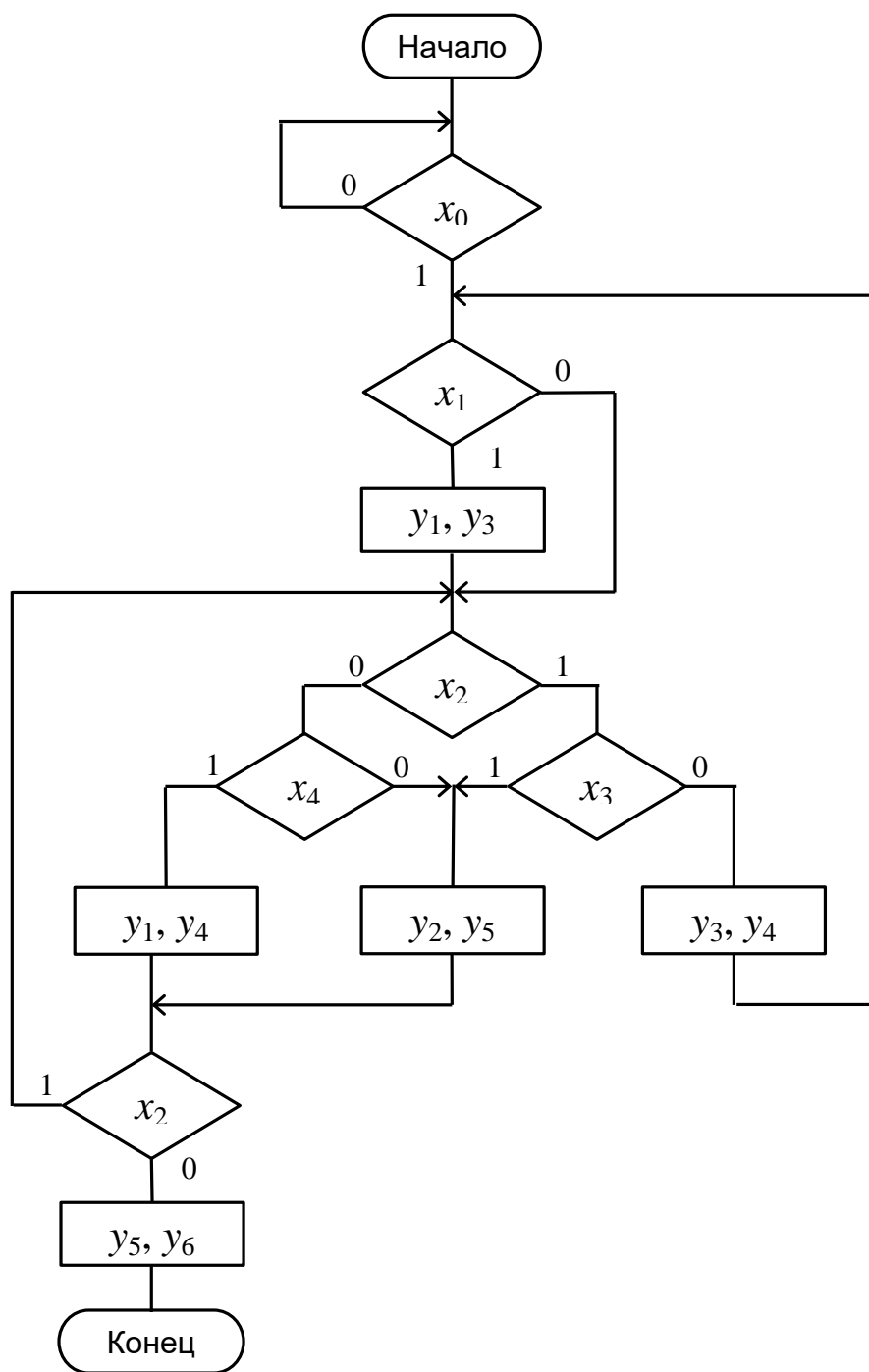
ГСА 16



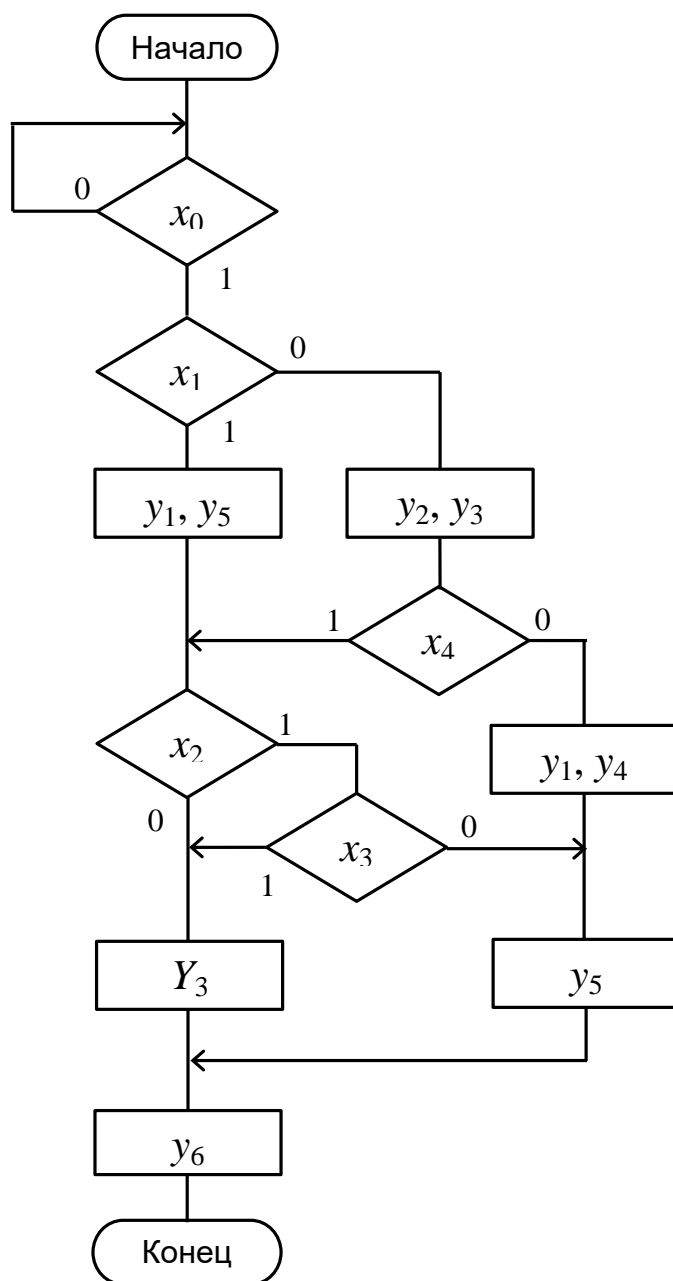
ГСА 17



ГСА 18



ГСА 19



ГСА 20

Приложение 2. Образец титульного листа к лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Информатика и вычислительная техника»

Прикладная теория цифровых автоматов

Лабораторная работа №

ВЕКТОРНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Вариант индивидуального задания № ____

Руководитель доцент кафедры
«Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель И.О.

Выполнил обучающийся группы 3-ИАИТ-103

Обучающийся И.О.

Самара 2025

Учебное издание

ПУГАЧЁВ Анатолий Иванович

Прикладная теория цифровых автоматов

В авторской редакции
Компьютерная верстка
Выпускающий редактор

Подписано в печать 01.05.25
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Усл. п. л. 1,23. Уч.-изд. л. 1,3
Тираж 50 экз. Рег. № 56/21

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус № 8