

Словесное описание разработанного алгоритма

- 1) Принять делимое, перейти к п.2.
- 2) Принять делитель, перейти к п.3.
- 3) Проверить делитель на равенство нулю. Если равен нулю, сформировать сообщение об ошибке (ДНН) и перейти к п.20. Иначе перейти к п.4.
- 4) Проверить делимое на равенство нулю. Если равно 0, перейти к п.17. Иначе перейти к п.5.
- 5) Определить порядок частного вычитанием порядка делителя из порядка делимого, перейти к п.6.
- 6) Обработать исключительные ситуации:
 - В результате вычитания порядков в знаковом разряде 1, но отсутствует единица переноса (ПРС), перейти к п.15.
 - В результате вычитания порядков в знаковом разряде 0, но присутствует единица переноса (ПМР), перейти к п.17.
 - В результате вычитания порядков в знаковом разряде 1, присутствует единица переноса, а мантисса заполнена 0, зафиксировать временную ПМР, перейти к п.7.
 - Если ни одна из ситуаций выше не возникла, перейти к п.7.
- 7) Вычесть из мантиссы делимого (остатка) мантиссу делителя в обратном коде за один такт, запомнить единицу переноса, перейти к п.8.
- 8) Зафиксировать знак остатка и перейти к п.9.
- 9) Если остаток отрицателен, то восстановить его, сложив с делителем за один такт, запомнить единицу переноса и перейти к п.10.
- 10) Выполнить сдвиг частного и остатка, в сторону старших разрядов, при этом занести инвертированный знак остатка в младший разряд частного и перейти к п.11.
- 11) Проверить предпоследний разряд частного: если 1, перейти к п.12. Иначе перейти к п.7.
- 12) Проверить счётчик тактов:
 - Если значение счетчика равно 23, перейти к п.13.
 - Если значение счетчика равно 24, перейти к п.16.
- 13) Увеличить порядок частного на 1, перейти к п.14.
- 14) Если в результате сложения в знаковом разряде 1, но отсутствует единица переноса (ПРС), перейти к п.15. Иначе перейти к п.18.
- 15) Сформировать сообщение об ошибке (ПРС), перейти к п.20.

- 16) Если ранее была зафиксирована временная ПМР, перейти к п.17. Иначе перейти к п.18.
- 17) Сформировать результат 0, перейти к п.19.
- 18) Определить знак частного сложением по модулю 2 знаковых разрядов делимого и делителя, перейти к п.19.
- 19) Выдать результат, перейти к п.20.
- 20) Конец операции.

Состав операционного автомата

Операционный автомат должен содержать следующие элементы:

- 23-разрядный регистр RG1 для хранения делителя;
- 24-разрядный сдвиговый регистр RG2 для делимого (остатков);
- 23-разрядный сдвиговый регистр RG3 для частного;
- 24-разрядный сумматор SM1 для вычисления остатков;
- набор схем логического «И» и инверторов, схема «ИЛИ-НЕ»
- усилитель-формирователь для выдачи результата на выходную шину;
- набор схем сложения по модулю два для организации управляемой инверсии содержимого RG1, RG4, CT1 а также для получения знака результата;
- D-триггер T1 для хранения знака делимого;
- D-триггер T2 для хранения единицы переноса остатка;
- D-триггер T3 для хранения знака остатка;
- D-триггер T4 для хранения единицы переноса порядка;
- D-триггер T5 для хранения знака делителя;
- RS-триггер T6 для фиксации ДНН;
- RS-триггер T7 для фиксации ПРС;
- T-триггер T8 для счета тактов цикла деления;
- 8-разрядный регистр RG4 для хранения порядка делителя;
- 8-разрядный счетчик CT1 для хранения и счёта порядка результата;
- 9-разрядный сумматор SM2 для вычисления порядка результата;

Описание операционного автомата

После поступления на входную шину делимого, его мантисса заносится в регистр RG1, порядок – в регистр RG4, а знак делимого – в D-триггер T1. В следующем такте мантисса и порядок делимого поступают, соответственно, через сумматоры SM1 и SM2 в регистр RG2 и

Для выполнения операции деления из управляющего автомата будут поданы управляющие сигналы и получены осведомительные.

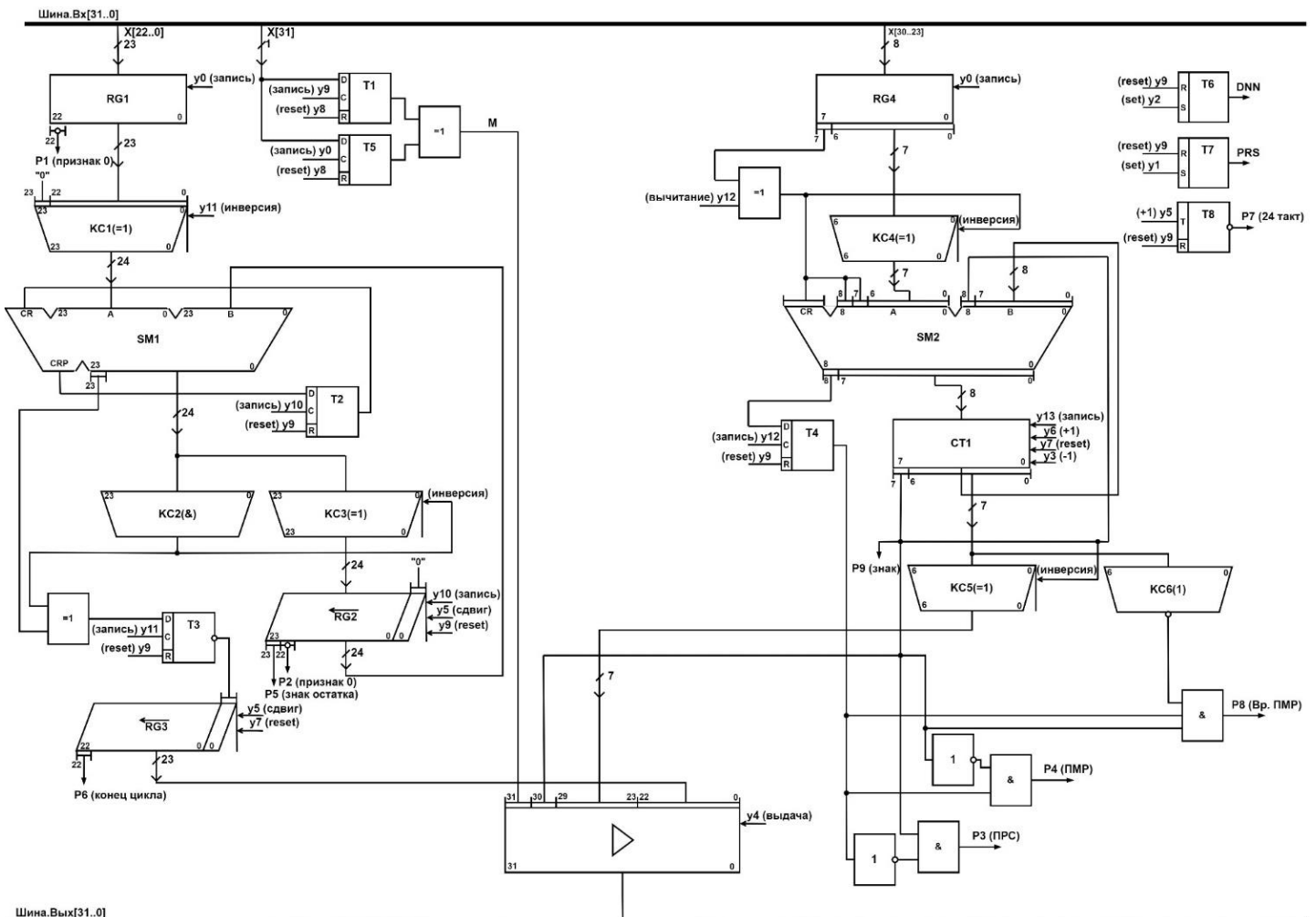


Рисунок 1 – Функциональная схема операционного автомата

Управляющие и осведомительные сигналы

Для взаимодействия, операционного и управляющего автоматов введены наборы управляющих и осведомительных сигналов

- y_0 – запись в RG1, T5, RG4;
- y_1 – установка в единицу триггера T7 (ДНН);
- y_2 – установка в единицу триггера T6 (ПРС);
- y_3 – декремент CT1;
- y_4 – выдача результата;
- y_5 – сдвиг RG2, RG3;
- y_6 – инкремент CT1;
- y_7 – установка в ноль RG3, CT1;
- y_8 – установка в ноль T1, T5;
- y_9 – запись в T1, установка в ноль T2, T4, T6, T7, T8, RG2;
- y_{10} – запись в RG2, T2;
- y_{11} – управление схемой KC1, запись в T3;
- y_{12} – управление схемой сложения по модулю 2, запись в T4
- y_{13} – запись в CT1.

Из ОА в УА необходимо передавать осведомительные сигналы о состоянии ОА, которые определяются следующими логическими условиями:

- X – проверка наличия операнда на входной шине;
- p_1 – делитель равен нулю;
- p_2 – делимое равно нулю;
- p_3 – признак ПРС;
- p_4 – признак ПМР;
- p_5 – проверка на восстановление остатка;
- p_6 – проверка на конец цикла деления;
- p_7 – отслеживание 24-го такта деления;
- p_8 – признак временного ПМР;
- Z – проверка возможности выдачи результата на выходную шину.

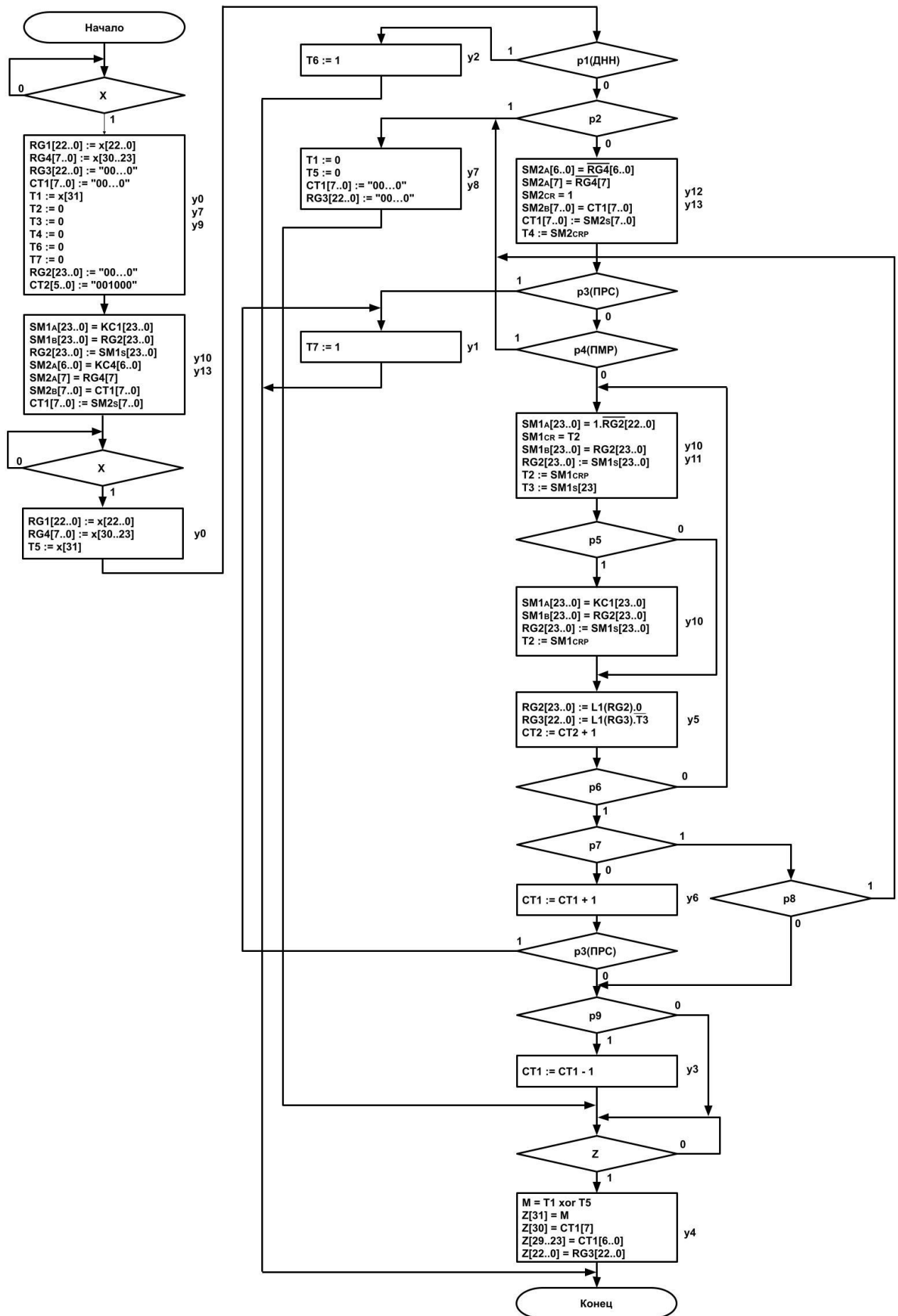


Рисунок 2 – Содержательная граф-схема алгоритма

Отмеченная граф-схема алгоритма

Соответствие логических условий и входных сигналов	
Входной сигнал	Логическое условие
X0	X
X1	P1
X2	P2
X3	P3
X4	P4
X5	P5
X6	P6
X7	P7
X8	P8
X9	P9
X10	Z

На рисунке 3 представлена отмеченная граф - схема алгоритма. Для модели Мили состояния обозначены символами a0..a9, для модели Мура символами b0..b15.

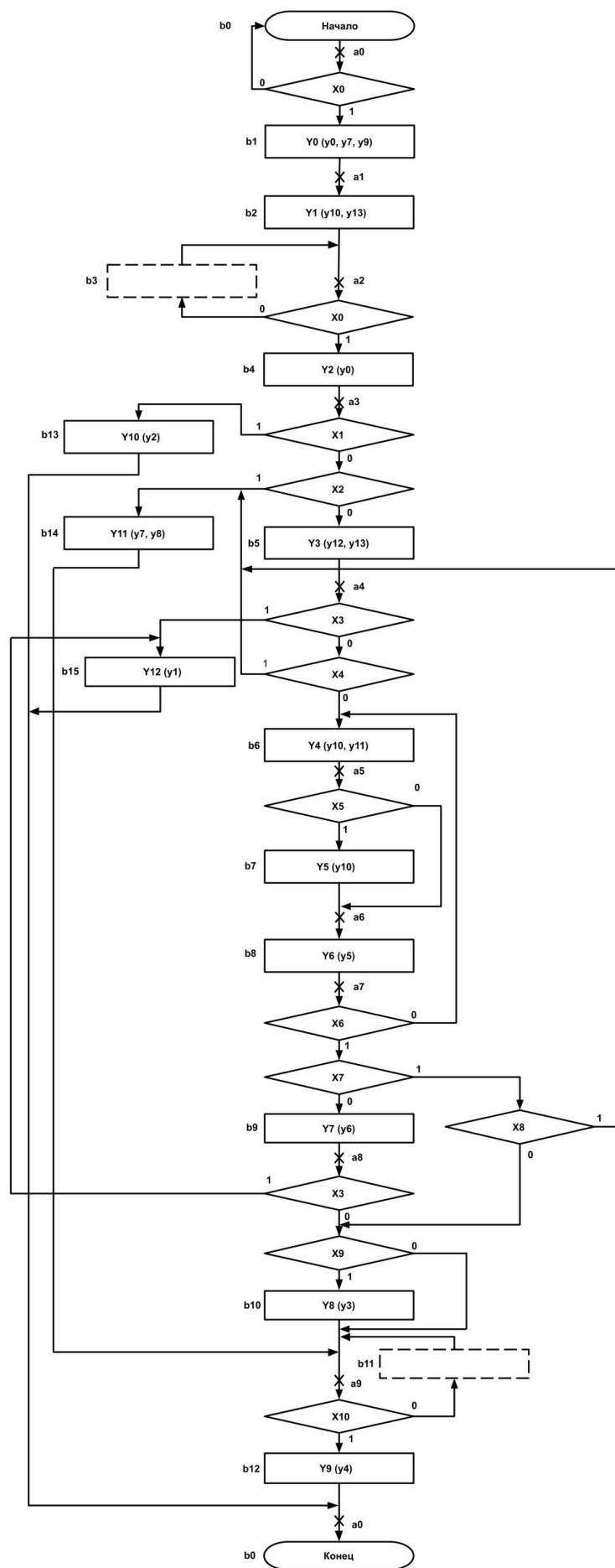
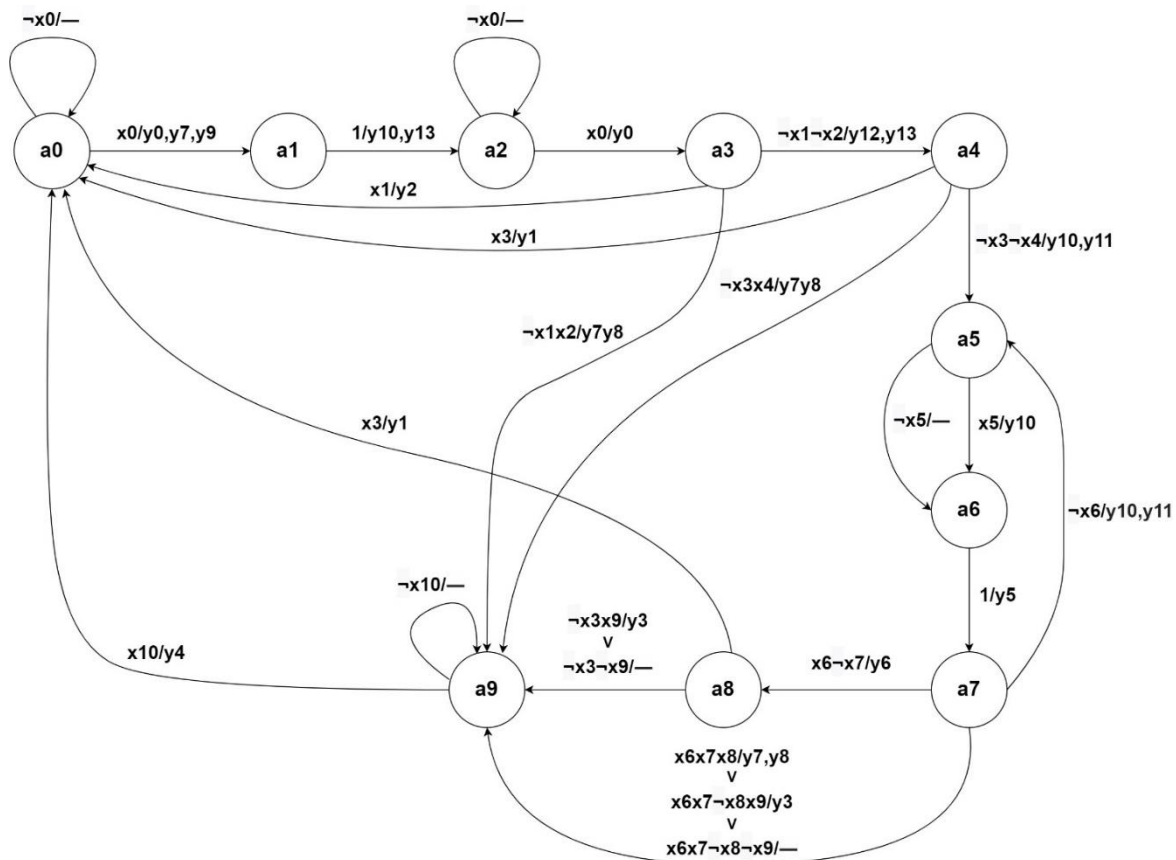


Рисунок 3 – Отмеченная граф-схема алгоритма

Граф автомата модели Мили



В графе автомата Мили, обнаружен «пустой» переход. Он снижает быстродействие автомата на 28%. Для повышения быстродействия пустой переход устранён.

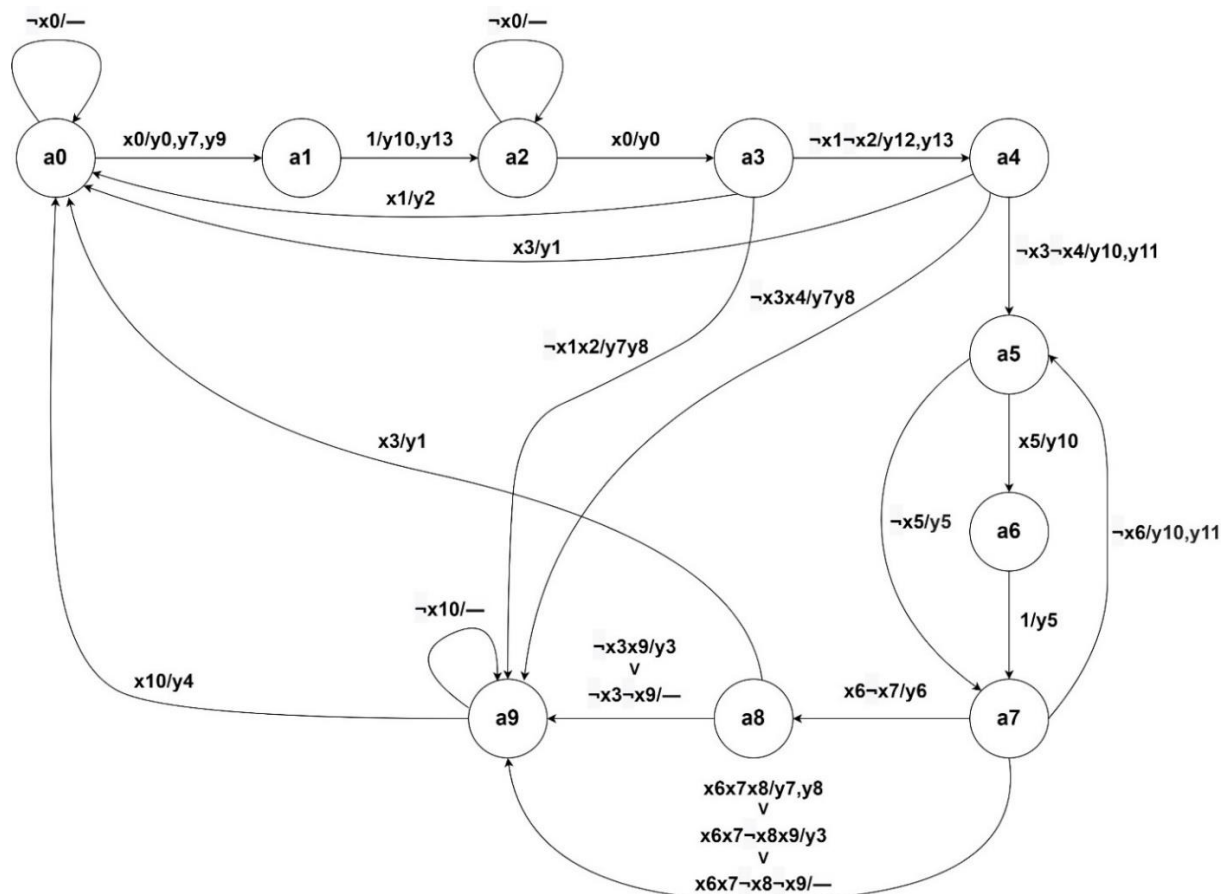


Рисунок 4 – Граф автомата модели Мили без пустых переходов

Синтез автомата для модели Мили на счетчике с устранением пустых переходов

С учётом специфики работы счётчика автомат на основе графа, представленного на рисунке 4, не будет иметь минимальную цену по Квайну, но будет иметь приемлемое быстродействие.

Кодирование состояний для модели Мили на счетчике представлено в таблице 21.

Таблица 21 – Кодирование состояний для модели Мили на счетчике с устранением пустых переходов

a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
a0, a3, a4, a8, a9	a0	a1, a2	a2	a3	a4, a7	a5	a5, a6	a7	a3, a4, a7, a7, a7, a8, a8, a9
0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	0000
6	1	2	1	1	2	1	2	1	8

Для получения логических выражений для функций возбуждения составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата Мили и формируются логические выражения для функций возбуждения. Структурная таблица переходов и выходов для автомата Мили представлена на таблице 22.

Таблица 22 – Таблица переходов и выходов автомата Мили на счетчике с устранением пустых переходов

Исходное состояние	Код	Состояние перехода	Код	Входной сигнал	Выходные сигналы	Функции возбуждения
a0	0001	a0	0001	$\overline{x0}$	-	-
		a1	0010	x0	y0, y7, y9	+1
a1	0010	a2	0011	-	y10, y13	+1
a2	0011	a2	0011	$\overline{x0}$	-	-
		a3	0100	x0	y0	+1
a3	0100	a0	0001	x1	y2	D0, EWR
		a4	0101	$\overline{x1} \overline{x2}$	y12, y13	+1
		a9	0000	$\overline{x1} x2$	y7, y8	R
a4	0101	a0	0001	x3	y1	D0, EWR
		a5	0110	$\overline{x3} \overline{x4}$	y10, y11	+1
		a9	0000	$\overline{x3} x4$	y7, y8	R
a5	0110	a6	0111	x5	y10	+1
		a7	1000	$\overline{x5}$	y5	D3, EWR
a6	0111	a7	1000	-	y5	+1
a7	1000	a5	0110	$\overline{x6}$	y10, y11	D2, D1, EWR
		a8	1001	x6 $\overline{x7}$	y6	+1
		a9	0000	x6x7x8	y7, y8	R
		a9	0000	x6x7x8x9	y3	R
		a9	0000	x6x7x8 $\overline{x9}$	-	R
a8	1001	a0	0001	x3	y1	D0, EWR

		a9	0000	$\overline{x3x9}$	y3	R
		a9	0000	$\overline{x3x9}$	-	R
a9	0000	a0	0001	x10	y4	+1
		a9	0000	$\overline{x10}$	-	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения получаются по таблице как конъюнкции соответствующих исходных состояний и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения.

$$D0 = a3x1 \vee a4x3 \vee a8x3$$

$$D1 = a7\overline{x6}$$

$$D2 = a7\overline{x6}$$

$$D3 = a5\overline{x5}$$

$$EWR = a3a1 \vee a4a3 \vee a5\overline{x5} \vee a7\overline{x6} \vee a3x3$$

$$+1 = a0x0 \vee a1 \vee a2x0 \vee a3\overline{x1x2} \vee a4\overline{x3x4} \vee a5x5 \vee a6 \vee a7x6\overline{x7} \vee a9x10$$

$$R = a3\overline{x1x2} \vee a4\overline{x3x4} \vee a7x6x7 \vee a8\overline{x3}$$

Аналогичные выражения составляются для функций выходов:

$$y0 = a0x0 \vee a2x0$$

$$y1 = a4x3 \vee a8x3$$

$$y2 = a3x1$$

$$y3 = a7x6x7\overline{x8x9} \vee a8\overline{x3x9}$$

$$y4 = a9x10$$

$$y5 = a5\overline{x5} \vee a6$$

$$y6 = a7x6\overline{x7}$$

$$y7 = a0x0 \vee a3\overline{x1x2} \vee a4\overline{x3x4} \vee a7x6x7x8$$

$$y8 = a3\overline{x1x2} \vee a4\overline{x3x4} \vee a7x6x7x8$$

$$y9 = a0x0$$

$$y10 = a4\overline{x3x4} \vee a5x5 \vee a7\overline{x6} \vee a1$$

$$y11 = a4\overline{x3x4} \vee a7\overline{x6}$$

Общие части:

$$q_0 = a_0x_0 \text{ (2)} \quad q_5 = a_4x_3 \text{ (2)} \quad q_{10} = a_7\overline{x_6} \text{ (2)} \quad q_{15} = a_7x_6x_7 \text{ (3)}$$

$$q_1 = a_2x_0 \text{ (2)} \quad q_6 = a_4\overline{x_3}x_4 \text{ (3)} \quad q_{11} = a_7x_6\overline{x_7} \text{ (3)} \quad q_{16} = a_8\overline{x_3} \text{ (2)}$$

$$q_2 = a_3x_1 \text{ (2)} \quad q_7 = a_4\overline{x_3}x_4 \text{ (3)} \quad q_{12} = a_7x_6x_7x_8 \text{ (4)} \quad q_{17} = a_7x_6x_7\overline{x_8}x_9 \text{ (5)}$$

$$q_3 = a_3\overline{x_1}x_2 \quad q_8 = a_5x_5 \text{ (2)} \quad q_{13} = a_8x_3 \text{ (2)} \quad q_{18} = a_8\overline{x_3}x_9 \text{ (3)}$$

$$q_4 = a_3\overline{x_1}x_2 \text{ (3)} \quad q_9 = a_5\overline{x_5} \text{ (2)} \quad q_{14} = a_8x_{10} \text{ (2)}$$

После выделения общих частей в логических выражениях получаются логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата.

$$D_0 = q_2 \vee q_5 \vee q_{13} \text{ (3)}$$

$$D_1 = q_{10} \text{ (0)}$$

$$D_2 = q_{10} \text{ (0)}$$

$$D_3 = q_9 \text{ (0)}$$

$$EWR = q_2 \vee q_5 \vee q_3 \vee q_{10} \vee q_{13} \text{ (5)}$$

$$+1 = q_0 \vee a_1 \vee q_1 \vee q_3 \vee q_6 \vee q_8 \vee a_6 \vee q_{11} \vee q_{14} \text{ (9)}$$

$$R = q_4 \vee q_7 \vee a_7x_6x_7 \vee a_8\overline{x_3} \text{ (4)}$$

$$y_0 = q_0 \vee q_1 \text{ (2)}$$

$$y_1 = q_5 \vee q_{13} \text{ (2)}$$

$$y_2 = q_2 \text{ (0)}$$

$$y_3 = a_7x_6x_7\overline{x_8}x_9 \vee a_8\overline{x_3}x_9 \text{ (2)}$$

$$y_4 = q_{14} \text{ (0)}$$

$$y_5 = q_9 \vee a_6 \text{ (2)}$$

$$y_6 = q_{11} \text{ (0)}$$

$$y_7 = q_0 \vee q_4 \vee q_7 \vee q_{12} \text{ (4)}$$

$$y_8 = q_4 \vee q_7 \vee q_{12} \text{ (3)}$$

$$y_9 = q_0 \text{ (0)}$$

$$y_{10} = q_6 \vee q_8 \vee q_{10} \vee a_1 \text{ (4)}$$

$$y_{11} = q_6 \vee q_{10} \text{ (2)}$$

$$y_{12} = q_3 \text{ (0)}$$

$$y_{13} = a_1 \vee q_3 \text{ (2)}$$

Инверторы: $\overline{x1}, \overline{x2}, \overline{x3}, \overline{x4}, \overline{x5}, \overline{x6}, \overline{x7}, \overline{x8}$ (8)

Схема формирования начальной установки на счетчике представлена на рисунке 13.

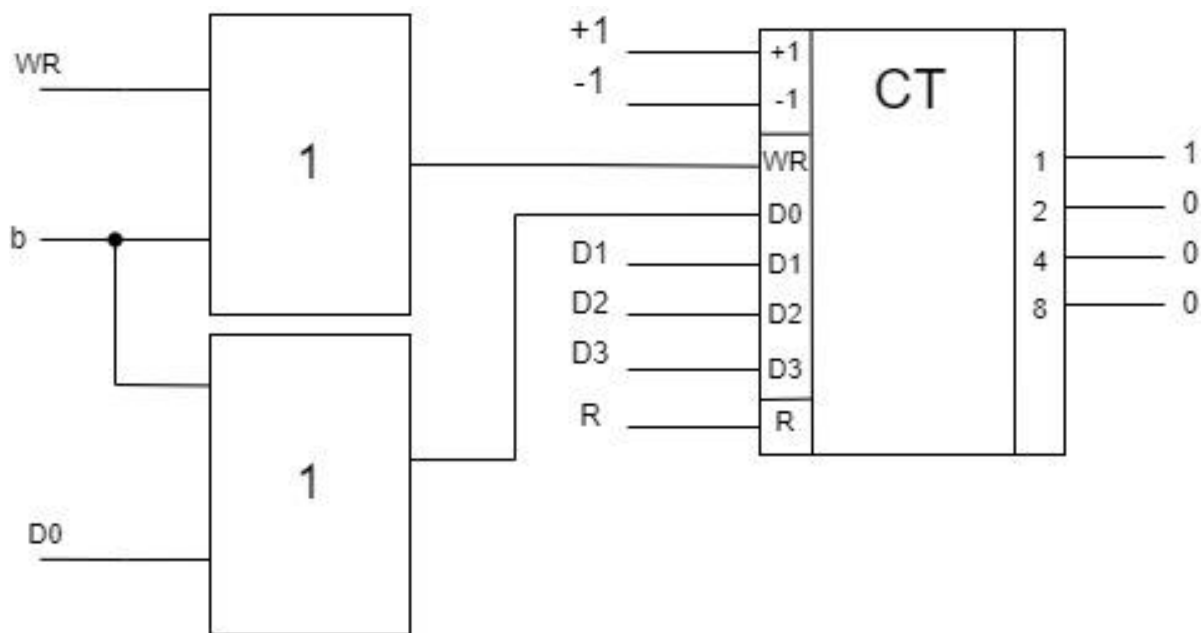


Рисунок 13 – Схема формирования начальной установки на счетчике

Функции D1, D2 и D3 зависят от сигнала $x5, x6$ во время подачи сигнала b они не будут поданы, следовательно, значение функций D1 и D2 будет равно 0. Это позволяет уменьшить аппаратные затраты начальной установки.

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен на рисунке 4, с использованием в качестве элемента памяти счётчика:

$$C = KC + ИНВ + НУ + ЭП + ДШ = 94 + 8 + 2 + 8 + 4 = 116$$

Общее сравнение цен по Квайну комбинационных схем, построенных с использованием различных элементов памяти представлено в таблице 23.

Таблица 23 – Сравнение цен по Квайну различных комбинационных схем

Комбинационная схема	Цена по Квайну
Автомат Мили на D-триггерах	117
Автомат Мили на RS-триггерах	131
Автомат Мили на сдвиговом регистре	117
Автомат Мура на 4 D-триггерах	161
Автомат Мура на 5 D-триггерах	167
Автомат Мили на счётчике без устранения пустого перехода	103
Автомат Мили на счётчике с устранением пустых переходов	116

Из таблицы 23 видно, что минимальный с точки зрения цены по Квайну комбинационной схемой является схема автомата Мили на счётчике без устранения пустого перехода. Однако наличие пустого перехода уменьшает быстродействие цикла деления в худшем случае на 28% по сравнению с другими вариантами. В связи с этим было принято решение выбрать для реализации автомат Мили на счётчике с устранением пустых переходов, цена по Квайну которого на 12% больше минимальной, но является наименьшей среди автоматов обеспечивающих оптимальное быстродействие.

Функциональная схема управляющего автомата

