

Содержание

Введение.....	4
1 Постановка задачи	5
2 Описание используемого алгоритма деления.....	6
3 Доказательство отсутствия необходимости в нормализации мантиссы частного.....	8
4 Численные примеры	9
4.1 Пример без возникновения исключительных ситуаций.....	9
4.2 Операция деления с возникновением ПРС порядков	10
4.4 Операция деления с возникновением истинной ПМР.....	11
4.5 Операция деления с возникновением устранимой временной ПМР	12
4.6 Операция деления с возникновением неустранимой временной ПМР.....	13
5 Выбор функциональной схемы операционной части устройства и определение списка микроопераций и логических условий	15
5.1 Состав операционного автомата	15
5.2 Описание операционного автомата.....	16
5.3 Управляющие и осведомительные сигналы	18
6 Разработка содержательной граф-схемы алгоритма	20
7 Построение отмеченной граф-схемы алгоритма	24
8 Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор структурной схемы управляющего автомата	26
9 Кодирование внутренних состояний для модели Мили	27
9.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на D-триггерах ..	27
9.2 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на RS-триггерах	32
9.3 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике	44
10 Кодирование внутренних состояний для модели Мура	50

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	5.2 Описание операционного автомата.....	16
					5.3 Управляющие и осведомительные сигналы	18
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	6 Разработка содержательной граф-схемы алгоритма.....	20
					7 Построение отмеченной граф-схемы алгоритма	24
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	8 Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор структурной схемы управляющего автомата	26
					9 Кодирование внутренних состояний для модели Мили.....	27
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	9.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на D-триггерах..	27
					9.2 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на RS-триггерах	32
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	9.3 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике	44
					10 Кодирование внутренних состояний для модели Мура	50

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div>ТПЖА 09.03.01.066</div> <div>Синтез микропрограммного управляющего автомата</div> <div> <div>Лит.</div> <div>Лист</div> <div>Листов</div> <div> <div></div> <div>2</div> <div>67</div> </div> <div>Кафедра ЭВМ Группа ИВТ-21</div> </div>
Разраб.	Рзаев А. Э.				
Пров.	Исупов К. С.				

10.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мура на D-триггерах	50
11 Построение схемы управляющего микропрограммного автомата.....	57
Заключение	58
Перечень сокращений	59
Приложение А (справочное)	60
Приложение Б (обязательное).....	61
Приложение В (обязательное)	62
Приложение Г (обязательное).....	63
Приложение Д (обязательное)	64
Приложение Е (обязательное).....	66
Приложение Ж (обязательное)	67

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066	Лист
											3

Введение

С каждым годом объемы вычислений возрастают и их все сложнее обрабатывать вручную, поэтому ведутся работы по созданию и применению различных автоматизированных систем для обработки информации. Такие автоматы реализуются в виде самостоятельных устройств или в виде блоков, входящих в системы управления и системы обработки информации. При этом работа ведется с математическими моделями, предназначенными для приближенного отображения физических моделей.

Основной целью данного курсового проекта является получение навыков синтеза управляющего микропрограммного автомата (МПА) с жесткой логикой на основе разработки машинных алгоритмов одной из заданных арифметических операций. Основным требованием является минимизация аппаратных затрат как управляющего, так и операционного автомата при приемлемом быстродействии.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

1 Постановка задачи

Синтезировать микропрограммный автомат, управляющий выполнением деления чисел в двоичной системе счисления с плавающей запятой в прямом коде с порядками первым способом с восстановлением остатков с использованием дополнительного кода при вычитании мантисс, в основном логическом базисе.

Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата
					ТПЖА 09.03.01.066				
					5				

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

- | | | | | | | |
|------|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | ТПЖА 09.03.01.066 | Лист |
| | | | | | | 6 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | |

– Иначе восстановить остаток, прибавив к нему делитель, увеличить порядок частного на единицу, а мантиссу делимого сдвинуть вправо на один разряд (устраняется, если есть, временная ПМР), перейти к п. 6

7.2) Если остаток отрицательный:

– Если порядок частного на единицу меньше минимально возможного, то операцию деления прекратить и выдать в качестве ответа нуль

– Иначе в младший разряд мантиссы частного занести «0» и восстановить остаток, прибавив к нему делитель, перейти к п. 8

8) Выполнить сдвиги: частного на один разряд влево и остатка на один разряд влево

9) Выполнить цикл деления n раз по следующим правилам:

9.1) Найти разность мантисс делимого (остатка) и делителя

9.2) Проанализировать знак полученного остатка:

– Если остаток положителен, в частное занести «1»

– Если остаток отрицателен, в частное занести «0»

9.3) Восстановить отрицательный остаток, сложив его с делителем

9.4) Выполнить сдвиги частного и остатка на один разряд влево

10) Присвоить знак, определенный в п. 5 алгоритма

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										7

3 Доказательство отсутствия необходимости в нормализации мантиссы частного

В операциях над числами с плавающей запятой в прямом коде с порядками мантиссы могут принимать значения в полуинтервале $[0.5; 1)$ и ноль. Далее в качестве делимого и делителя будут использоваться их мантиссы. Если один из операндов равен нулю, то такие ситуации обрабатываются отдельно, иначе (значения операндов находятся в полуинтервале $[0.5; 1)$) необходимо рассмотреть случаи, когда делимое меньше делителя и делимое больше либо равно делителю.

Если делимое меньше делителя, то их частное будет меньше единицы, но не меньше 0.5, т. к. делитель не может превосходить делимое более, чем в два раза, иначе оно бы находилось в полуинтервале $[1; 2)$. Поэтому частное будет принимать значения в том же диапазоне, что и делимое и делитель.

Если делимое не меньше делителя, то их частное будет не меньше единицы, но меньше двух, т. к. делимое не может превосходить делимое более, чем в два раза, иначе оно бы находилось в полуинтервале $[1; 2)$. В таком случае, следуя алгоритму, необходимо уменьшить делимое в два раза (сдвиг на один разряд вправо). Но это также приведет к уменьшению частного в два раза. Следовательно, частное будет принимать значения из полуинтервала $[0.5; 1)$, т. е. такие же, что и делимое и делитель.

Из этого следует, что мантисса частного после выполнения основного цикла деления будет уже нормализована.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				Лист
				8

4 Численные примеры

4.1 Пример без возникновения исключительных ситуаций

Делимое: $52_{10} = 110100_2 = 0.1101000 * 2^6$

Делитель: $-56_{10} = -111000_2 = -0.1110000 * 2^6$

Знак частного: $0 \oplus 1 = 1$

Порядок частного:

$$\begin{array}{r} 00.110 \\ 11.010 \\ \hline 00.000 = 0 \end{array}$$

Деление мантисс операндов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Деление мантисс операндов

Частное	Делимое (остатки)	Пояснения
0.0000000	0.1101000	Вычитание
0.0000000	1.0010000	
0.0000000	1.1111000	1 остаток, ПРС нет
	0.1110000	Восстановление
	0.1101000	Сдвиги
0.0000001	1.1010000	Вычитание
	1.0010000	
	0.1100000	2 остаток, сдвиги
0.0000011	1.1000000	Вычитание
	1.0010000	
	0.1010000	3 остаток, сдвиги
0.0000111	1.0100000	Вычитание
	1.0010000	
	0.0110000	4 остаток, сдвиги
0.0001110	0.1100000	Вычитание
	1.0010000	
	1.1110000	5 остаток
	1.1110000	Восстановление
	0.1110000	
	0.1100000	Сдвиги
0.0011101	1.1000000	Вычитание
	1.0010000	
	0.1010000	6 остаток, сдвиги

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										9
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Продолжение таблицы 1

0.0111011	1.0100000 <u>1.0010000</u> 0.0110000	Вычитание 7 остаток, сдвиги
0.1110110		Результат

Полученный результат: $-0.1110110_2 * 2^0 = -0.1110110_2 = -0.921875$

Искомый результат: $\frac{52}{-56} = -0.928571$

Абсолютная погрешность: $|-0.921875 - (-0.928571)| = 0.006696$

Относительная погрешность: $\left| \frac{-0.921875 - (-0.928571)}{-0.928571} \right| * 100\% = 0.721\%$

4.2 Операция деления с возникновением ПРС порядков

Делимое: $64_{10} = 1000000_2 = 0.1000000 * 2^7$

Делитель: $0.078125_{10} = 0.000101_2 = 0.1010000 * 2^{-3}$

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного:

00.111
00.011
01.010 (возникло ПРС)

Прекращение операции деления с выдачей сигнала о ПРС.

4.3 Операция деления с возникновением истинной ПРС при денормализации делимого

Делимое: $15_{10} = 0001111_2 = 0.1111000 * 2^4$

Делитель: $0.078125_{10} = 0.000101_2 = 0.1010000 * 2^{-3}$

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				Лист
				10

Порядок частного:

$$\begin{array}{r} 00.100 \\ 00.011 \\ \hline 00.111 = 7_{10} \end{array}$$

Деление мантисс операндов представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Деление мантисс операндов

← Частное	Делимое (остатки)	Пояснения
0.0000000	0.1111000 <u>1.0110000</u> 0.0101000	Вычитание Результат положительный, сдвигаем делимое вправо и увеличиваем порядок результата на единицу.

Необходимо денормализовать мантиссу делимого и увеличить порядок результата на единицу.

Порядок результата:

$$\begin{array}{r} 00.111 \\ 00.001 \\ \hline 01.000 \text{ (возникло ПРС)} \end{array}$$

Прекращение операции деления с выдачей сигнала о ПРС.

4.4 Операция деления с возникновением истинной ПМР.

$$\text{Делимое: } 0.03125_{10} = 0.00001_2 = 0.1000000 * 2^{-4}$$

$$\text{Делитель: } 20_{10} = 010100_2 = 0.1010000 * 2^5$$

$$\text{Знак частного: } 0 \oplus 0 = 0$$

Порядок частного:

$$\begin{array}{r} 11.100 \\ 11.011 \\ \hline 10.111 \text{ (возникла истинная ПМР)} \end{array}$$

Полученный результат деления: 0.

Име. №	Подп. и дата	Име. №	Взам. инв.	Подп. и дата	Име. №	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066	Лист
												11

Искомый результат: $\frac{0.03125}{20} = 0.0015625$

Абсолютная погрешность: $|0 - 0.0015625| = 0.0015625$

4.5 Операция деления с возникновением устранимой временной ПМР

Делимое: $0.09375_{10} = 0.00011_2 = 0.1100000 \cdot 2^{-3}$

Делитель: $20_{10} = 010100_2 = 0.1010000 \cdot 2^5$

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного:

11.101
11.011
 11.000 = -8 (временная ПМР)

Деление мантисс операндов представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Деление мантисс операндов

← Частное	← Делимое (остатки)	Пояснения
0.0000000	0.1100000	Вычитание
0.0000000	<u>1.0110000</u> 0.0010000 <u>0.1010000</u> 0.1100000	Положительный первый остаток. Увеличить порядок частного на 1, восстановить и сдвинуть делимое вправо
0.000000 <u>0</u>	0.0110000 <u>1.0110000</u> 1.1100000 1.1100000 <u>0.1010000</u> 0.0110000	Вычитание 1 остаток Восстановление Сдвиги
0.000000 <u>01</u>	0.1100000 <u>1.0110000</u> 0.0010000	Вычитание 2 остаток, сдвиги
0.00000 <u>010</u>	0.0100000 <u>1.0110000</u> 1.1010000 1.1010000 <u>0.1010000</u> 0.0100000	Вычитание 3 остаток Восстановление Сдвиги

Ине. №	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				Лист
				12

Продолжение таблицы 3

0.000 <u>0100</u>	0.1000000 <u>1.0110000</u> 1.1110000 1.1110000 <u>0.1010000</u> 0.1000000	Вычитание 4 остаток Восстановление Сдвиги
0.000 <u>1001</u>	1.0000000 <u>1.0110000</u> 0.0110000	Вычитание 5 остаток, сдвиги
0.00 <u>10011</u>	0.1100000 <u>1.0110000</u> 0.0010000	Вычитание 6 остаток, сдвиги
0. <u>0100110</u>	0.0100000 <u>1.0110000</u> 1.1010000 1.1010000 <u>0.1010000</u> 0.0100000	Вычитание 7 остаток Восстановление Сдвиги
0. <u>1001100</u>		Результат

Полученный результат: $0.1001100_2 * 2^{-7} = 0.0046386$

Искомый результат: $\frac{0.09375}{20} = 0.0046875$

Абсолютная погрешность: $|0.0046386 - 0.0046875| = 4.89 * 10^{-5}$

Относительная погрешность: $\left| \frac{0.0046386 - 0.0046875}{0.0046875} \right| * 100\% = 1.043\%$

4.6 Операция деления с возникновением неустранимой временной

ПМР

Делимое: $0.078125_{10} = 0.000101_2 = 0.1010000 * 2^{-3}$

Делитель: $28_{10} = 011100_2 = 0.1110000 * 2^5$

Знак частного: $0 \oplus 0 = 0$

Порядок частного:

11.101
11.011
11.000 = -8 (временное ПМР)

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				13

При возникновении временной ПМР первое вычитание определяет будет ли продолжена операции деления с денормализацией делимого или прекращена с выдачей 0 в качестве результата деления. В таблице 4 представлено первое вычитание делителя из делимого.

Таблица 4 – Первое вычитание мантиссы делителя из мантиссы делимого

← Частное	← Делимое (остатки)	Пояснения
0.0000000	0.1010000	Вычитание
	<u>1.0010000</u>	
0.0000000	1.1100000	Первое вычитание делителя из делимого. Результат отрицательный, временная ПМР не была устранена

ПМР не было устранено. Полученный результат деления: 0.

Искомый результат: $\frac{0.078125}{28} = 0.0027902$

Абсолютная погрешность: $|0 - 0.0027902| = 0.0027902$

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066		Лист
							14

5 Выбор функциональной схемы операционной части устройства и определение списка микроопераций и логических условий

5.1 Состав операционного автомата

Операционный автомат (ОА) должен содержать следующие элементы:

- 24-разрядный сдвиговый регистр RG3 для хранения частного
- 23-разрядный несдвиговый регистр RG2 для хранения мантисс делимого и делителя
- 8-разрядный регистр RG4 для хранения порядка делимого и делителя
- 24-разрядный управляемый инвертор KC1 для инвертирования мантиссы делителя
- 7-разрядный управляемый инвертор KC2 для инвертирования порядков делимого и делителя
- 7-разрядный управляемый инвертор KC3 для инвертирования отрицательного порядка результата
- 7-входовой элемент «или-не» для проверки на временную ПМР
- 24-разрядный сумматор SM1 для вычитания делителя из остатка от делимого или для восстановления остатка
- 9-разрядный сумматор SM2 для вычитания порядка делителя из порядка делимого
- 8-разрядный реверсивный счетчик СТ1 для хранения порядка частного
- D-триггер Т1 для хранения знакового разряда делимого
- D-триггер Т2 для хранения знакового разряда делителя
- D-триггер Т3 для хранения единицы переноса результата вычитания порядков
- RS-триггер Т4 для хранения и выдачи сигнала ПРС

Име. №	Подп. и дата		Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата								

хранится порядок делимого, а потом порядок частного. Необходимость реверсивного счетчика обусловлена необходимостью добавления единицы к порядку результата при денормализации делимого и вычитании единицы при переводе из ДК.

Сумматор SM1 имеет 24 разряда на входах и выходе, а также вход CRP переноса. На плечо А сумматора поступает содержимое регистра RG1, на плечо В – содержимое выхода 24-разрядного управляемого инвертора KC1, на вход CRP – единица, если были инвертированы данные, поступающие из регистра RG2. С выхода S данные подаются на регистр RG1. Инвертированный старший разряд выхода S подается на триггер Т6 для дальнейшего анализа знака остатка.

Из триггера Т6 данные записываются в специальный разряд регистра RG3.

Сумматор SM2 имеет 9 разрядов на входе и выходе, а также вход переноса CRP. На плечо А в младшие разряды поступают данные с выхода 7-разрядного управляемого инвертора KC2, на плечо В в младшие разряды – данные из счетчика СТ1. На вход CRP и в 2 старших разряд плеча А подается единица, если были инвертированы данные, поступающие из регистра RG4, в старший разряд плеча А подается значение старшего разряда счетчика СТ1. С младших разрядов выхода S данные подаются на счетчик СТ1. Со старшего разряда выхода S снимается единица переноса, которая поступает на триггер Т3.

На выходную шину из счетчика СТ1 все разряды за исключением старшего поступают, проходя через управляемый инвертор KC3.

Сигналы ПРС и ДНН записываются в триггеры Т4 и Т5 соответственно.

Знак результата получается с помощью «сложения по модулю два» знаковых разрядов двух операндов (делителя и делимого), которые заносятся в триггеры Т1 и Т2.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата	<p>разрядного управляемого инвертора КС2, на плечо В в младшие разряды – данные из счетчика СТ1. На вход СРР и в 2 старших разряд плеча А подается единица, если были инвертированы данные, поступающие из регистра RG4, в старший разряд плеча А подается значение старшего разряда счетчика СТ1. С младших разрядов выхода S данные подаются на счетчик СТ1. Со старшего разряда выхода S снимается единица переноса, которая поступает на триггер Т3.</p> <p>На выходную шину из счетчика СТ1 все разряды за исключением старшего поступают, проходя через управляемый инвертор КС3.</p> <p>Сигналы ПРС и ДНН записываются в триггеры Т4 и Т5 соответственно.</p> <p>Знак результата получается с помощью «сложения по модулю два» знаковых разрядов двух операндов (делителя и делимого), которые заносятся в триггеры Т1 и Т2.</p>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										17

5.3 Управляющие и осведомительные сигналы

Для выполнения операции деления из управляющего автомата в операционный автомат необходимо подавать управляющие сигналы, реализующие следующие микрооперации:

y0 – сброс триггеров T3, T4, T5, T6, запись в триггер T1, обнуление регистра RG1, занесение единиц в регистр RG3

y1 – запись в триггер T2, в регистры RG2 и RG4

y2 – обнуление счетчика CT1

y3 – запись в регистр RG1

y4 – запись в счетчик CT1 и триггер T3

y5 – сигнал о необходимости вычитания содержимого регистра RG4

y6 - прибавление единицы к счетчику CT1

y7 – инверсия содержимого регистра RG2, подача единицы на вход CRP сумматора SM1

y8 – сдвиг влево регистров RG1 и RG3

y9 – запись в триггер T6

y10 – сдвиг вправо регистра RG1

y11 - вычитание единицы из счетчика CT1

y12 - выдача результата на шину

y13 – сброс триггеров T1 и T2, обнуление регистра RG3

y14 – переключить триггер T5 в единицу

y15 – переключить триггер T4 в единицу

Из операционного автомата в управляющий автомат необходимо передать осведомительные сигналы о состоянии устройства ОА, определяемые списком следующих логических условий:

X – проверка наличия операндов на входной шине

p0 – проверка делителя на ноль

p1 – определение следующей операции – вычитание делителя или

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										18

восстановление остатка

- p2 – проверка на ПРС
- p3 – проверка на истинную ПМР
- p4 – проверка на временную ПМР
- p5 – проверка знака порядка результата
- p6 – проверка на окончания цикла деления
- p7 – проверка делимого на ноль
- Z – проверка возможности выдачи результата на выходную шину

Таким образом, управляющий МПА должен вырабатывать 16 управляющих сигналов и посылать их в ОА в нужные такты машинного времени в соответствии с алгоритмом выполнения операции деления, ориентируясь на 10 осведомительных сигналов, поступающих из ОА. Схема операционного автомата представлена в приложении Б.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										19

6 Разработка содержательной граф-схемы алгоритма

В первом такте производится проверка наличия на входной шине делимого. При поступлении делимого его мантисса заносится в RG2, порядок – в RG4. Знак делимого заносится в триггеры T1 и T2. Также в данном такте происходит обнуление триггеров T3, T4, T5, T6, обнуление регистра RG1, счетчика CT1, занесение единиц в регистр RG3.

Во втором такте происходит запись делимого из RG2 в RG1 путем записи в RG1 данных с выхода S сумматора SM1, которые являются результатом сложения данных RG1 (обнуленного в первом такте), подающихся на плечо A сумматора SM1, с данными регистра RG2, подающихся на плечо B сумматора SM1. Данные из RG2 на плечо B сумматора SM1 поступают без инверсии. На вход переноса SM1 подается ноль. Порядок делимого из регистра RG4 записывается в счетчик CT1 путем записи в CT1 данных с выхода S сумматора SM2, которые являются результатом сложения данных RG4, подающихся в младшие разряды плеча A сумматора SM2, с данными счетчика CT1 (обнуленного в первом такте), подающимися в младшие разряды плеча B сумматора SM2. Данные из RG4 на плечо A сумматора SM2 подаются инвертированными или неинвертированными в зависимости от старшего разряда регистра RG4, на вход CRP и в 2 старших разряда плеча A подается значение старшего разряда регистра RG4, в старший разряд плеча B подается значение старшего разряда счетчика CT1. В триггер T3 записывается значение старшего разряда выхода S сумматора SM2.

В третьем такте производится проверка наличия на входной шине делителя. При поступлении делителя его мантисса заносится в регистр RG2, в триггер T2 заносится знаковый разряд делителя, а порядок – в регистр RG4.

В четвертом такте производится проверка делителя на равенство нулю. Если он равен нулю ($p_0 = 1$), то триггер T5 переключается в единицу,

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата	результатом сложения данных RG4, подающихся в младшие разряды плеча А сумматора SM2, с данными счетчика СТ1 (обнуленного в первом такте), подающимися в младшие разряды плеча В сумматора SM2. Данные из RG4 на плечо А сумматора SM2 подаются инвертированными или неинвертированными в зависимости от старшего разряда регистра RG4, на вход CRP и в 2 старших разряда плеча А подается значение старшего разряда регистра RG4, в старший разряд плеча В подается значение старшего разряда счетчика СТ1. В триггер Т3 записывается значение старшего разряда выхода S сумматора SM2.						
					В третьем такте производится проверка наличия на входной шине делителя. При поступлении делителя его мантисса заносится в регистр RG2, в триггер Т2 заносится знаковый разряд делителя, а порядок – в регистр RG4.						
					В четвертом такте производится проверка делителя на равенство нулю. Если он равен нулю ($p_0 = 1$), то триггер Т5 переключается в единицу,						
										Лист	
					ТПЖА 09.03.01.066					20	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							

символизируя ДНН, и операция деления прекращается. Если делитель не равен нулю ($p_0 = 0$), то производится проверка делимого на равенство нулю. Если оно равно нулю ($p_7 = 1$), то сбрасывается регистр RG3, счетчик CT1, триггеры T1, T2, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если делимое не равно нулю ($p_7 = 0$), то производится вычитание порядка делителя из порядка делимого, путем подачи в младшие разряды плеча A сумматора SM2 данных RG4, инвертированных или неинвертированных в зависимости от результата сложения по модулю 2 сигнала необходимости инвертирования порядка и старшего разряда регистра RG4; подачи в младшие разряды плеча B сумматора SM2 порядка делимого из счетчика CT1. На вход переноса CRP и в 2 старших разряда плеча A сумматора SM2 подается инвертированное значение старшего разряда регистра RG4, в старший разряд плеча B подается значение старшего разряда счетчика CT1. Результат вычитания порядков записывается в счетчик CT1 с младших разрядов выхода S сумматора SM2. В триггер T3 записывается значение старшего разряда выхода S сумматора SM2.

В пятом такте производится проверка на ПРС и ИстПМР. Если произошло ПРС ($p_2 = 1$), то триггер T4 переключается в 1, символизируя ПРС, и операция деления прекращается. Если возникла ИстПМР ($p_3 = 1$), то сбрасывается регистр RG3, счетчик CT1, триггеры T1, T2, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если ПМР не произошла, то выполняется вычитание делителя из делимого для определения знака первого вычитания и необходимости денормализации, для этого на плечо A сумматора SM1 подается содержимое регистра RG1 (делимое), на плечо B сумматора SM1 подается инвертированное значение регистра RG2 (делитель), на вход CRP сумматора SM1 подается сигнал инверсии содержимого регистра RG2, в старший разряд KC1 подается ноль. Результат вычитания делителя из делимого заносится в регистр RG1 с выхода S сумматора SM1.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	записывается значение старшего разряда выхода S сумматора SM2.				
					В пятом такте производится проверка на ПРС и ИстПМР. Если				
					произошло ПРС ($p_2 = 1$), то триггер Т4 переключается в 1, символизируя				
					ПРС, и операция деления прекращается. Если возникла ИстПМР ($p_3 = 1$), то				
					сбрасывается регистр RG3, счетчик СТ1, триггеры Т1, Т2, тем самым				
					формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если ПМР не				
					произошла, то выполняется вычитание делителя из делимого для				
					определения знака первого вычитания и необходимости денормализации, для				
					этого на плечо А сумматора SM1 подается содержимое регистра RG1				
					(делимое), на плечо В сумматора SM1 подается инвертированное значение				
					регистра RG2 (делитель), на вход CRP сумматора SM1 подается сигнал				
					инверсии содержимого регистра RG2, в старший разряд KC1 подается ноль.				
					Результат вычитания делителя из делимого заносится в регистр RG1 с				
					выхода S сумматора SM1.				

В следующем такте анализируется знак первого вычитания. Если знак первого вычитания положительный ($p1 = 0$), то выполняется восстановление остатка, увеличение результирующего порядка на единицу (увеличение значение счетчика СТ1 на 1), тем самым происходит устранение временной ПМР, если она возникала. Восстановление остатка осуществляется путем сложения содержимого регистра RG1, подающегося на плечо А сумматора SM1, и неинвертированного содержимого регистра RG2 (на вход CRP сумматора подается ноль), подающегося на плечо В. Результат записывается в регистр RG1 с выхода S сумматора SM1. Далее осуществляется проверка на возникновение ПРС. Если оно произошло ($p2 = 1$), то триггер Т4 переключается в 1 и операция деления прекращается, в противном случае ($p2 = 0$) происходит сдвиг вправо содержимого регистра RG1 с занесением в старший разряд нуля и переход к предыдущему такту. Если результат первого вычитания отрицательный ($p1 = 1$) и было выявлена временная ПМР ($p4 = 1$), то ВрПМР не устранилась, происходит сброс регистра RG3, счетчика СТ1, триггеров Т1, Т2, тем самым формируя на выходной шине 0, как результат деления. Если временная ПМР не возникла ($p4 = 0$), то происходит переход к следующему такту.

В седьмом такте выполняется восстановление первого остатка.

В восьмом такте выполняется сдвиг влево регистров RG1 и RG3 с занесением в младшие разряды нуля и содержимого триггера Т6, сброшенного в первом такте, соответственно.

Далее выполняется цикл деления до тех пор, пока условие выхода из него не обратиться в единицу ($p6 = 1$). Для этого на плечо А сумматора SM1 подается содержимое регистра RG1 (делимое), на плечо В сумматора SM1 подается инвертированное значение регистра RG2 (в старший разряд КС1 заносится 0), на вход CPR сумматора SM1 подается сигнал инверсии содержимого регистра RG2. Инвертированный знак результата с выхода S сумматора SM1 записывается в триггер Т6, результат вычитания

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				22

записывается в RG1.

Далее происходит анализ старшего разряда частного, если он равен 1 ($p1 = 1$), то выполняется восстановление остатка. Если остаток был положительным ($p1 = 1$), то происходит переход к следующему такту.

В следующем такте производится сдвиг влево регистров RG1 и RG3 с занесением в младшие разряды нуля и содержимого триггера T6, соответственно и переход к первому такту цикла деления.

После завершения цикла деления происходит проверка знака порядка. Если он отрицательный ($p5 = 1$), то производится уменьшение порядка результата на единицу (уменьшение значения счетчика СТ1 на 1), т.к. порядок в СТ1 хранится в ДК, а на шине порядок результата должен быть выдан в ПК.

Далее происходит проверка возможности выдачи результата на выходную шину. При разрешении выдачи результата на выходную шину подается знак результата с выхода элемента «сложение по модулю 2», на который подаются данные T1 и T2, также подается знак порядка из старшего разряда СТ1, инвертированный или неинвертированный (в зависимости от знака порядка) порядок результата с управляемого инвертора КС3, мантисса результата из 23 младших разрядов регистра RG3.

Содержательная граф-схема алгоритма представлена в приложении В.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										23

7 Построение отмеченной граф-схемы алгоритма

Для разметки граф-схемы алгоритма каждой совокупности микроопераций, находящихся в операторных вершинах содержательной граф-схемы, ставятся в соответствие управляющие сигналы $Y_0 \dots Y_{14}$. Эти управляющие сигналы являются выходными сигналами управляющего автомата и обеспечивают выполнение требуемых действий в соответствии со списком микроопераций операционного автомата. Совокупности микроопераций для каждой операторной вершины образуют микрокоманды, список которых представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Совокупность микроопераций и соответствующие им микрокоманды

Y_0	y_0, y_1, y_2
Y_1	y_3, y_4
Y_2	y_1
Y_3	y_4, y_5
Y_4	y_3, y_7
Y_5	y_3, y_6
Y_6	y_{10}
Y_7	y_3
Y_8	y_8
Y_9	y_3, y_7, y_9
Y_{10}	y_2, y_{13}
Y_{11}	y_{11}
Y_{12}	y_{12}
Y_{13}	y_{14}
Y_{14}	y_{15}

Каждой условной вершине содержательной граф-схемы алгоритма ставится в соответствие один из входных сигналов управляющего автомата $X_0 \dots X_9$, список которых представлен в таблице 6.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					24

Таблица 6 – Список входных сигналов для УА

X0	X
X1	p0
X2	p1
X3	p2
X4	p3
X5	p4
X6	p5
X7	p6
X8	p7
X9	Z

Далее в полном соответствии с содержательной ГСА строится отмеченная ГСА, условным вершинам которой приписывается один из входных сигналов УА, а операторным вершинам – одна из микрокоманд. Отмеченная граф-схема алгоритма представлена в приложении Г.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	<p>ТПЖА 09.03.01.066</p>					Лист
												25
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата								

8 Построение графов автоматов моделей Мили и Мура и выбор структурной схемы управляющего автомата

Граф автомата модели Мили имеет 13 вершин, соответствующих состояниям автомата $a_0 \dots a_{12}$. Дуги его отмечены входными сигналами $X_0 \dots X_9$, действующими на каждом переходе, и набором выходных сигналов $y_0 \dots y_{15}$, вырабатываемых управляющим автоматом на данном переходе. Граф автомата модели Мили представлен в приложении Д на рисунке Д.1. После построения графа в нем были обнаружены некоторые «пустые» переходы, которые снижали быстродействие МПА. Граф автомата модели Мили без данных «пустых» переходов изображен в приложении Д на рисунке Д.2.

Граф автомата Мура имеет 20 вершин, соответствующих состояниям автомата $b_0 \dots b_{19}$. Каждое состояние определяет наборы выходных сигналов $y_0 \dots y_{15}$ управляющего автомата, а дуги графа отмечены входными сигналами $X_0 \dots X_9$, действующими на данном переходе. Граф автомата модели Мура представлен в приложении Е.

В управляющем автомате в качестве элементов памяти (ЭП) могут быть использованы D-триггеры, RS-триггеры, счетчик и т.д.

При использовании D-триггеров в качестве ЭП при переходе из одного состояния в другое сигналы возбуждения должны быть поданы только на те триггеры, которые в коде состояния содержат единицу. Отсюда следует, что для получения комбинационной схемы меньшей сложности необходимо соблюдать основное требование: чем больше переходов в какое-либо состояние, тем меньше единиц должен содержать код этого состояния.

Для RS-триггеров лучше использовать соседнее кодирование, так как именно этот способ минимизирует число переключений ЭП.

При использовании счетчика в качестве элемента памяти необходимо придерживаться последовательного кодирования.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				26

9 Кодирование внутренних состояний для модели Мили

9.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на D-триггерах

Для кодирования 13 состояний ($a_0 \dots a_{12}$) графа автомата по модели Мили, минимально необходимо четыре элемента памяти.

С учетом особенностей работы D-триггера для кодирования состояний применяется эвристический метод. Он состоит в следующем:

- 1) Каждому состоянию a_i ставится в соответствие целое число N_i , равное числу переходов в данное состояние;
- 2) Числа N_i сортируются в порядке убывания;
- 3) Состоянию, соответствующему первому N_i после сортировки, то есть наибольшему из N_i , присваивается код, состоящий только из нулей;
- 4) Следующему состоянию в порядке убывания N_i присваивается незанятый код, содержащий наименьшее количество единиц. Данный пункт повторяется до тех пор, пока все состояния не будут закодированы.

Кодирование состояний для модели Мили на D-триггерах представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Коды состояний для модели Мили на D-триггерах

Исходное состояние	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
Состояния перехода	a_0 a_4 a_6 a_{12}	a_0	a_1 a_2	a_2	a_3	a_4 a_7	a_5	a_6	a_5	a_8 a_{10} a_{11}	a_9	a_{10}	a_3 a_4 a_5 a_9 a_{12}
Число переходов	4	1	2	1	1	2	1	3	1	3	1	1	5
Код состояния	0100	1101	0001	1110	0011	0010	0101	1001	0110	1000	1010	1100	0000

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата по модели Мили, результаты которой представлены в таблице 8, и

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						Лист	
										27	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066						

формируются логические выражения для функций возбуждения.

Таблица 8 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на D-триггерах

Исходное состояние	Код a_m	Состояние перехода a_s	Код a_s	Входной сигнал $X(a_m, a_s)$	Выходные сигналы $Y(a_m, a_s)$	Функции возбуждения D-триггеров
a0	0100	a0	0100	$\neg X0$	-	D2
		a1	1101	X0	y0,y1,y2	D3D2D0
a1	1101	a2	0001	1	y3,y4	D0
a2	0001	a2	0001	$\neg X0$	-	D0
		a3	1110	X0	y1	D3D2D1
a3	1110	a0	0100	X1	y14	D2
		a4	0011	$\neg X1 \neg X8$	y4,y5	D1D0
		a12	0000	$\neg X1 X8$	y2,y13	-
a4	0011	a0	0100	X3	y15	D2
		a5	0010	$\neg X3 \neg X4$	y3,y7	D1
		a12	0000	$\neg X3 X4$	y2,y13	-
a5	0010	a6	0101	$\neg X2$	y3,y6	D2D0
		a8	0110	X2 $\neg X5$	y3	D2D1
		a12	0000	X2X5	y2,y13	-
a6	0101	a0	0100	X3	y15	D2
		a7	1001	$\neg X3$	y10	D3D0
a7	1001	a5	0010	1	y3,y7	D1
a8	0110	a9	1000	1	y8	D3
a9	1000	a10	1010	$\neg X7$	y3,y7,y9	D3D1
		a12	0000	X7 $\neg X6$	-	-
		a12	0000	X7X6	y11	-
a10	1010	a9	1000	$\neg X2$	y8	D3
		a11	1100	X2	y3	D3D2
a11	1100	a9	1000	1	y8	D3
a12	0000	a0	0100	X9	y12	D2
		a12	0000	$\neg X9$	-	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения D-триггера получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$D0 = a0 X0 \vee a1 \vee a2 \neg X0 \vee a3 \neg X1 \neg X8 \vee a5 \neg X2 \vee a6 \neg X3$$

$$D1 = a2 X0 \vee a3 \neg X1 \neg X8 \vee a4 \neg X3 \neg X4 \vee a5 X2 \neg X5 \vee a7 \vee a9 \neg X7$$

$$D2 = a0 \vee a2 X0 \vee a3 X1 \vee a4 X3 \vee a5 \neg X2 \vee a5 X2 \neg X5 \vee a6 X3 \\ \vee a10 X2 \vee a12 X9$$

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Взам. инв.	Подп. и дата	Ине. №	Лист 28
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$\begin{aligned}
 e_6 &= a_4 \neg X_3 \neg X_4 & (3) \\
 e_7 &= a_5 \neg X_2 & (2) \\
 e_8 &= a_5 X_2 X_5 & (3) \\
 e_9 &= a_5 X_2 \neg X_5 & (3) \\
 e_{10} &= a_3 \neg X_1 X_8 & (3) \\
 e_{11} &= a_3 \neg X_1 \neg X_8 & (3) \\
 e_{12} &= a_6 X_3 & (2) \\
 e_{13} &= a_6 \neg X_3 & (2) \\
 e_{14} &= a_9 X_7 X_6 & (3) \\
 e_{15} &= a_9 X_7 \neg X_6 & (3) \\
 e_{16} &= a_9 \neg X_7 & (2) \\
 e_{17} &= a_{12} X_9 & (2) \\
 e_{18} &= a_{10} X_2 & (2) \\
 p_0 &= e_0 \vee e_1 & (2) \\
 p_1 &= e_5 \vee e_8 \vee e_{10} & (3) \\
 p_2 &= e_7 \vee e_9 \vee e_{18} & (3) \\
 p_3 &= a_8 \vee a_{11} & (2) \\
 p_4 &= e_6 \vee a_7 \vee e_{16} & (3) \\
 D_0 &= e_0 \vee e_7 \vee e_{11} \vee e_{13} \vee a_2 \neg X_0 \vee a_1 & (8) \\
 D_1 &= p_4 \vee e_1 \vee e_9 \vee e_{11} \vee a_0 & (5) \\
 D_2 &= p_0 \vee p_2 \vee e_3 \vee e_4 \vee e_{12} \vee e_{17} & (6) \\
 D_3 &= p_0 \vee p_3 \vee e_{13} \vee e_{16} \vee a_{10} & (5) \\
 y_0 &= e_0 & (0) \\
 y_1 &= p_0 & (0) \\
 y_2 &= p_1 \vee e_0 & (2) \\
 y_3 &= p_2 \vee p_4 \vee a_1 & (3) \\
 y_4 &= e_{11} \vee a_1 & (2) \\
 y_5 &= e_{11} & (0)
 \end{aligned}$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$p1 = e5 \vee e8 \vee e18$	(3)
					$p2 = e7 \vee e9 \vee e18$	(3)
					$p3 = a8 \vee a11$	(2)
					$p4 = e6 \vee a7 \vee e16$	(3)
					$D0 = e0 \vee e7 \vee e11 \vee e13 \vee a2 \neg X0 \vee a1$	(8)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$D1 = p4 \vee e1 \vee e9 \vee e11 \vee a0$	(5)
					$D2 = p0 \vee p2 \vee e3 \vee e4 \vee e12 \vee e17$	(6)
					$D3 = p0 \vee p3 \vee e13 \vee e16 \vee a10$	(5)
					$y0 = e0$	(0)
					$y1 = p0$	(0)
Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$y2 = p1 \vee e0$	(2)
					$y3 = p2 \vee p4 \vee a1$	(3)
					$y4 = e11 \vee a1$	(2)
					$y5 = e11$	(0)

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066	Лист
						30

$$y_6 = e_7 \quad (0)$$

$$y_7 = p_4 \quad (0)$$

$$y_8 = p_3 \vee a_{10} \neg X_2 \quad (4)$$

$$y_9 = e_{16} \quad (0)$$

$$y_{10} = e_{13} \quad (0)$$

$$y_{11} = e_{14} \quad (0)$$

$$y_{12} = e_{17} \quad (0)$$

$$y_{13} = p_1 \quad (0)$$

$$y_{14} = e_3 \quad (0)$$

$$y_{15} = e_{12} \vee e_4 \quad (2)$$

Инверторы: $\neg X_0, \neg X_1, \neg X_2, \neg X_3, \neg X_4, \neg X_5, \neg X_6, \neg X_7, \neg X_8$ (9)

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 D-триггеров:

$$\sum = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДС} = 96 + 9 + 16 + 0 + 4 = 125$$

Схема формирования начальной установки на D-триггерах представлена на рисунке 1.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										31

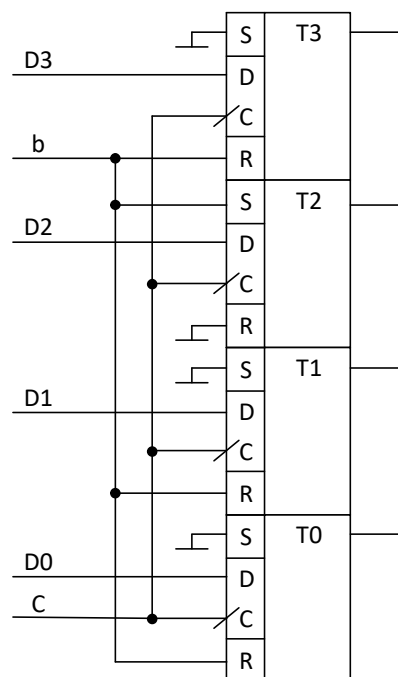


Рисунок 1 – Схема формирования начальной установки на D-триггерах

9.2 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на RS-триггерах

Для кодирования 13 состояний автомата Мили на RS-триггерах так же потребуется 4 триггера. При кодировании следует применить метод соседнего кодирования для минимизации числа переключений триггеров при переходе из одного состояния в другое. Данный граф не получится полностью закодировать по принципу соседнего кодирования, так как в нем присутствуют циклы с нечетным числом вершин. Следовательно, для минимизации числа переключений триггеров при переходе из одного состояния в другое необходимо применить эвристический метод кодирования. Данный метод минимизирует суммарное число переключений элементов памяти на всех переходах автомата. Уменьшение числа переключений триггеров приводит к уменьшению количества единиц соответствующих функций возбуждения, что однозначно приводит к упрощению комбинационной схемы автомата.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				32

Произведем кодирование состояний автомата эвристическим методом кодирования:

1) Строим матрицу $|M_0|$, состоящую из всех пар переходов, где переключение триггеров в данном переходе отлично от 0 (числа в матрице соответствуют номеру состояния). Для каждой пары в матрице указываем ее вес, то есть количество появления данной пары в графе:

$$M_0 =$$

0	1	(1)
1	2	(1)
2	3	(1)
3	0	(1)
3	4	(1)
3	12	(1)
4	0	(1)
4	5	(1)
4	12	(1)
5	6	(1)
5	8	(1)
5	12	(1)
6	0	(1)
6	7	(1)
7	5	(1)
8	9	(1)
9	10	(2)
9	12	(2)
10	11	(1)
11	9	(1)
12	0	(1)

2) Упорядочим строки матрицы $|M_0|$, для чего строим матрицу $|M|$ следующим образом. В первую строку матрицы помещаем пару с наибольшим весом. Из всех пар, имеющих общий компонент с парой, помещенной в матрицу $|M|$ выбирается пара с наибольшим весом и заносится в следующую строку матрицы (в случае равенства весов пар вычисляются суммы весов компонентов пар, то есть количество появления элемента в матрице $|M_0|$, на основании которых определяется следующая пара, которая будет занесена в таблицу), из всех пар, имеющих общий компонент с парами, помещенными в матрицу $|M|$ выбирается пара с наибольшим весом и

Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Взам. инв.	Подп. и дата	Инв. №	Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066		33

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

назначается состоянию γ .

$$M_1 = \begin{vmatrix} 9 & 10 \\ 5 & 12 \\ 12 & 0 \\ 3 & 0 \\ 3 & 12 \\ 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{vmatrix} \quad M_\gamma = \begin{vmatrix} 9 & 10 \\ 10 & 11 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 10 \\ B_\gamma &= \{9\} \\ C_\gamma^1 &= \{0010, 0100, 1000\} \\ D_\gamma^1 &= \{00100100, 1000\} \\ W_{0010} &= 3 \\ W_{0100} &= 3 \\ W_{1000} &= 3 \\ a10 &= 0010 \end{aligned}$$

4) Повторяем выполнение кодирования, пока не все состояния имеют соответствующий им код

$$M_2 = \begin{vmatrix} 5 & 12 \\ 12 & 0 \\ 3 & 0 \\ 3 & 12 \\ 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{vmatrix} \quad M_\gamma = \begin{vmatrix} 5 & 12 \\ 4 & 5 \\ 5 & 6 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 5 \\ B_\gamma &= \{12\} \\ C_\gamma^1 &= \{0011, 1001, 0101\} \\ D_\gamma^1 &= \{0011, 1001, 0101\} \\ W_{0011} &= 1 \\ W_{1001} &= 1 \\ W_{0101} &= 1 \\ a5 &= 0011 \end{aligned}$$

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$M_3 = \begin{array}{c|c} 12 & 0 \\ 3 & 0 \\ 3 & 12 \\ 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{array}$$

$$M_\gamma = \begin{array}{c|c} 12 & 0 \\ 3 & 0 \\ 4 & 0 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \end{array}$$

$\gamma = 0$
 $B_\gamma = \{12\}$
 $C_{12}^1 = \{1001,0101\}$
 $D_\gamma^1 = \{1001,0101\}$
 $W_{1001} = 1$
 $W_{0101} = 1$
 $a0 = 0101$

$$M_4 = \begin{array}{c|c} 3 & 0 \\ 3 & 12 \\ 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{array}$$

$$M_\gamma = \begin{array}{c|c} 3 & 0 \\ 3 & 12 \\ 3 & 4 \\ 2 & 3 \end{array}$$

$\gamma = 3$
 $B_\gamma = \{0,12\}$
 $C_0^1 = \{1101,0111,0100\}$
 $C_{12}^1 = \{1001\}$
 $D_\gamma^1 = \{1101,0111,1001,0100\}$
 $W_{1101} = 3$
 $W_{0111} = 3$
 $W_{1001} = 3$
 $W_{0100} = 3$
 $a3 = 0100$

Инв. №	Подп. и дата	Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

$$M_5 = \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{vmatrix} \quad M_\gamma = \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 4 & 5 \\ 4 & 12 \\ 3 & 4 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 4 \\ B_\gamma &= \{0,3,5,12\} \\ C_0^1 &= \{1101,0111\} \\ C_5^1 &= \{1011,0111\} \\ C_{12}^1 &= \{1001\} \\ C_3^1 &= \{1100,0110\} \\ D_\gamma^1 &= \{1101,1011,0110,1100,0111,1001\} \\ W_{1101} &= 8 \\ W_{1011} &= 10 \\ W_{0110} &= 8 \\ W_{1100} &= 10 \\ W_{0111} &= 6 \\ W_{1001} &= 8 \\ a4 &= 0111 \end{aligned}$$

$$M_6 = \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{vmatrix} \quad M_\gamma = \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 6 & 0 \\ 6 & 7 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 6 \\ B_\gamma &= \{0,5\} \\ C_5^1 &= \{1011\} \\ C_0^1 &= \{1101\} \\ D_\gamma^1 &= \{1011,1101\} \\ W_{1011} &= 4 \\ W_{1101} &= 4 \\ a6 &= 1011 \end{aligned}$$

$$M_7 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 5 & 8 \\ 7 & 5 \\ 2 & 3 \\ 8 & 9 \\ 11 & 9 \\ 6 & 7 \\ 1 & 2 \\ 10 & 11 \end{vmatrix} \quad M_\gamma = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 \\ B_\gamma &= \{0\} \\ C_0^1 &= \{1101\} \\ D_\gamma^1 &= \{1101\} \\ W_{1101} &= 1 \\ a1 &= 1101 \end{aligned}$$

Таблица 9 – Карта Карно для кодирования состояний

$k_3 k_2 \backslash k_1 k_0$	00	01	11	10
00	a9	a12	a5	a10
01	a3	a0	a4	a11
11	a2	a1		
10	a8	a7	a6	

Для определения эффективности кодирования применяется коэффициент k , который является отношением минимального количества переключений (если бы состояния были закодированы соседним кодированием) к общему количеству переключений триггеров, где состояния закодированы с помощью эвристического метода кодирования:

Эффективность кодирования: $k = 31/22 = 1.41$

Получившиеся коды состояний представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Коды состояний для модели Мили на RS-триггерах

Состояние	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12
Код	0101	1101	1100	0100	0111	0011	1011	1001	1000	0000	0010	0110	0001

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили, представленная в таблице 11, и по известному правилу формируются логические выражения для функций возбуждения.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					39

Таблица 11 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на RS-триггерах

Исходное состояние a_m	Код a_m	Состояние перехода a_s	Код a_s	Входной сигнал $X(a_m, a_s)$	Выходной сигнал $Y(a_m, a_s)$	Функции возбуждения RS-триггера
a0	0101	a0	0101	$\neg X0$	-	-
		a1	1101	X0	y0,y1,y2	S3
a1	1101	a2	1100	1	y3,y4	R0
a2	1100	a2	1100	$\neg X0$	-	-
		a3	0100	X0	y1	R3
a3	0100	a0	0101	X1	y14	S0
		a4	0111	$\neg X1 \neg X8$	y4,y5	S1S0
		a12	0001	$\neg X1 X8$	y2,y13	R2S0
a4	0111	a0	0101	X3	y15	R1
		a5	0011	$\neg X3 \neg X4$	y3,y7	R2
		a12	0001	$\neg X3 X4$	y2,y13	R2R1
a5	0011	a6	1011	$\neg X2$	y3,y6	S3
		a8	1000	X2 $\neg X5$	y3	S3R1R0
		a12	0001	X2X5	y2,y13	R1
a6	1011	a0	0101	X3	y15	S2R3R1
		a7	1001	$\neg X3$	y10	R1
a7	1001	a5	0011	1	y3,y7	S1R3
a8	1000	a9	0000	1	y8	R3
a9	0000	a10	0010	$\neg X7$	y3,y7,y9	S1
		a12	0001	X7 $\neg X6$	-	S0
		a12	0001	X7X6	y11	S0
a10	0010	a9	0000	$\neg X2$	y8	R1
		a11	0110	X2	y3	S2
a11	0110	a9	0000	1	y8	R2R1
a12	0001	a0	0101	X9	y12	S2
		a12	0001	$\neg X9$	-	-

Логические выражения для каждой функции возбуждения RS-триггера получают по таблице, как конъюнкции соответствующих исходных состояний a_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$R0 = a1 \vee a5 X2 \neg X5$$

$$R1 = a4 X3 \vee a4 \neg X3 X4 \vee a5 X2 \vee a6 \vee a10 \neg X2 \vee a11$$

$$R2 = a3 \neg X1 X8 \vee a4 \neg X3 \vee a11$$

$$R3 = a2 X0 \vee a6 X3 \vee a7 \vee a8$$

$$S0 = a3 \vee a9 X7$$

$$S1 = a3 \neg X1 \neg X8 \vee a7 \vee a9 \neg X7$$

$$S2 = a6 X3 \vee a10 X2 \vee a12 X9$$

$$S3 = a0 X0 \vee a5 \neg X2 \vee a5 X2 \neg X5$$

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066				
					Лист 40				

Аналогично составляются логические выражения для функций

ВЫХОДОВ:

$$y_0 = a_0 X_0$$

$$y_1 = a_0 X_0 \vee a_2 X_0$$

$$y_2 = a_0 X_0 \vee a_3 \neg X_1 X_8 \vee a_4 \neg X_3 X_4 \vee a_5 X_2 X_5$$

$$y_3 = a_1 \vee a_4 \neg X_3 \neg X_4 \vee a_5 \neg X_2 \vee a_5 X_2 \neg X_5 \vee a_7 \vee a_9 \neg X_7 \vee a_{10} X_2$$

$$y_4 = a_1 \vee a_3 \neg X_1 \neg X_8$$

$$y_5 = a_3 \neg X_1 \neg X_8$$

$$y_6 = a_5 \neg X_2$$

$$y_7 = a_4 \neg X_3 \neg X_4 \vee a_7 \vee a_9 \neg X_7$$

$$y_8 = a_8 \vee a_{10} \neg X_2 \vee a_{11}$$

$$y_9 = a_9 \neg X_7$$

$$y_{10} = a_6 \neg X_3$$

$$y_{11} = a_9 X_7 X_6$$

$$y_{12} = a_{12} X_9$$

$$y_{13} = a_3 \neg X_1 X_8 \vee a_4 \neg X_3 X_4 \vee a_5 X_2 X_5$$

$$y_{14} = a_3 X_1$$

$$y_{15} = a_4 X_3 \vee a_6 X_3$$

После выделения общих частей в логических выражениях и некоторого их упрощения получаем логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата:

$$e_0 = a_0 X_0 \quad (2)$$

$$e_1 = a_2 X_0 \quad (2)$$

$$e_2 = a_3 \neg X_1 \neg X_8 \quad (3)$$

$$e_3 = a_3 \neg X_1 X_8 \quad (3)$$

$$e_4 = a_4 X_3 \quad (2)$$

$$e_5 = a_4 \neg X_3 \neg X_4 \quad (3)$$

$$e_6 = a_4 \neg X_3 X_4 \quad (3)$$

$$e_7 = a_5 \neg X_2 \quad (2)$$

$$e_8 = a_5 X_2 \neg X_5 \quad (3)$$

$$e_9 = a_5 X_2 X_2 \quad (3)$$

Изн. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Изн. №	Подп. и дата	После выделения общих частей в логических выражениях и некоторого их упрощения получаем логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e0 = a0 X0 \tag{2}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e1 = a2 X0 \tag{2}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e2 = a3 \neg X1 \neg X8 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e3 = a3 \neg X1 X8 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e4 = a4 X3 \tag{2}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e5 = a4 \neg X3 \neg X4 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e6 = a4 \neg X3 X4 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e7 = a5 \neg X2 \tag{2}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					$e8 = a5 X2 \neg X5 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
$e9 = a5 X2 X2 \tag{3}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

$e_{10} = a_6 X_3$	(2)
$e_{11} = a_9 \neg X_7$	(2)
$e_{12} = a_{10} \neg X_2$	(2)
$e_{13} = a_{12} X_9$	(2)
$p_0 = e_3 \vee e_6 \vee e_9$	(3)
$p_1 = e_5 \vee e_{11} \vee a_7$	(3)
$p_2 = e_{12} \vee a_{11}$	(2)
$p_3 = e_8 \vee a_1$	(2)
$R_0 = p_3$	(0)
$R_1 = p_2 \vee e_4 \vee e_6 \vee a_5 X_2 \vee a_6$	(7)
$R_2 = e_3 \vee a_4 \neg X_3 \vee a_{11}$	(5)
$R_3 = e_1 \vee e_{10} \vee a_7 \vee a_8$	(4)
$S_0 = a_3 \vee a_9 X_7$	(4)
$S_1 = e_2 \vee e_{11} \vee a_7$	(3)
$S_2 = e_{10} \vee e_{12} \vee e_{13}$	(3)
$S_3 = e_0 \vee e_7 \vee e_8$	(3)
$y_0 = e_0$	(0)
$y_1 = e_0 \vee e_1$	(2)
$y_2 = p_0 \vee e_0$	(2)
$y_3 = p_1 \vee p_3 \vee e_7 \vee a_{10} X_2$	(6)
$y_4 = e_2 \vee a_1$	(2)
$y_5 = e_2$	(0)
$y_6 = e_7$	(0)
$y_7 = p_1$	(0)
$y_8 = p_2 \vee a_8$	(2)
$y_9 = e_{11}$	(0)
$y_{10} = a_6 \neg X_3$	(3)
$y_{11} = a_9 X_7 X_6$	(3)

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				42

$$y_{12} = e_{13} \quad (0)$$

$$y_{13} = p_0 \quad (0)$$

$$y_{14} = a_3 X_1 \quad (2)$$

$$y_{15} = e_4 \vee e_{10} \quad (2)$$

Инверторы: $\neg X_1, \neg X_2, \neg X_3, \neg X_4, \neg X_5, \neg X_7, \neg X_8$ (7)

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 4 RS-триггеров:

$$\sum = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДС} = 97 + 7 + 12 + 17 + 4 = 137$$

Схема формирования начальной установки на RS-триггерах представлена на рисунке 2.

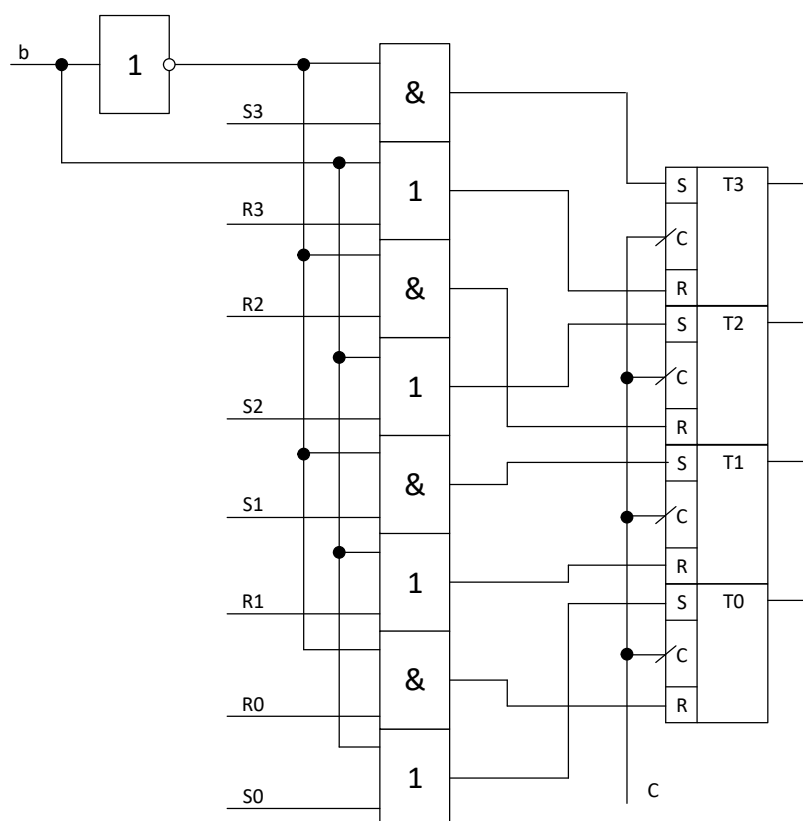
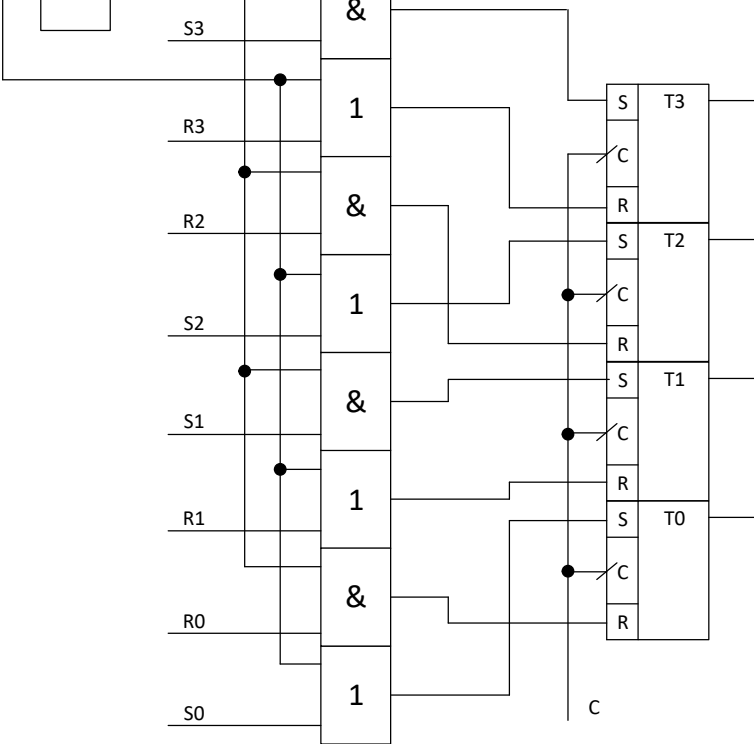


Рисунок 2 – Схема формирования начальной установки на RS-триггерах

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										43

9.3 Кодирование внутренних состояний для модели Мили на счетчике

При кодировании состояний на счетчике необходимо стараться закодировать состояния таким образом, чтобы код состояния, отличающегося от предыдущего порядковым номером на единицу, был больше на единицу, так как счетчик имеет входные управляющие сигналы «+1», «-1», «Reset». Если при кодировании возникает ситуация, когда происходит переход в состояние отличное от предыдущего состояния более чем на единицу, необходимо заносить нестандартное состояние сразу же на элементы памяти счетчика. Для кодирования 13 состояний автомата по модели Мили потребуется 4-х разрядный счетчик. Получившиеся коды состояний представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Коды состояний для модели Мили на счетчике

Состояние	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12
Код	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	0000

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата Мили на счетчике, результаты которой представлены в таблице 13, и по известному правилу формируются логические выражения для функций возбуждения.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					44

Таблица 13 – Прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мили на счетчике

Исходное состояние a_m	Код a_m	Состояние перехода a_s	Код a_s	Входной сигнал $X(a_m, a_s)$	Выходные сигналы $Y(a_m, a_s)$	Функции возбуждения
a0	0001	a0	0001	$\neg X0$	-	-
		a1	0010	X0	y0,y1,y2	+1
a1	0010	a2	0011	1	y3,y4	+1
a2	0011	a2	0011	$\neg X0$	-	-
		a3	0100	X0	y1	+1
a3	0100	a0	0001	X1	y14	D0, EWR
		a4	0101	$\neg X1 \neg X8$	y4,y5	+1
		a12	0000	$\neg X1 X8$	y2,y13	R
a4	0101	a0	0001	X3	y15	D0, EWR
		a5	0110	$\neg X3 \neg X4$	y3,y7	+1
		a12	0000	$\neg X3 X4$	y2,y13	R
a5	0110	a6	0111	$\neg X2$	y3,y6	+1
		a8	1001	X2 \neg X5	y3	D3D0, EWR
		a12	0000	X2 X5	y2,y13	R
a6	0111	a0	0001	X3	y15	D0, EWR
		a7	1000	$\neg X3$	y10	+1
a7	1000	a5	0110	1	y3,y7	D2D1, EWR
a8	1001	a9	1010	1	y8	+1
a9	1010	a10	1011	$\neg X7$	y3,y7,y9	+1
		a12	0000	X7 \neg X6	-	R
		a12	0000	X7 X6	y11	R
a10	1011	a9	1010	$\neg X2$	y8	-1
		a11	1100	X2	y3	+1
a11	1100	a9	1010	1	y8	D3D1, EWR
a12	0000	a0	0001	X9	y12	+1
		a12	0000	$\neg X9$	-	-

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

$$D0 = a3 X1 \vee a4 X3 \vee a5 X2 \neg X5 \vee a6 X3$$

$$D1 = a7 \vee a11$$

$$D2 = a7$$

$$D3 = a5 X2 \neg X5 \vee a11$$

$$+1 = a0 X0 \vee a1 \vee a2 X0 \vee a3 \neg X1 \neg X8 \vee a4 \neg X3 \neg X4 \vee a5 \neg X2 \vee a6 \neg X3 \vee a8 \vee a9 \neg X7 \vee a10 X2 \vee a12 X9$$

$$-1 = a10 \neg X2$$

$$R = a3 \neg X1 X8 \vee a4 \neg X3 X4 \vee a5 X2 X5 \vee a9 X7$$

Ине. №	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				Лист
				45

$$y3 = q0 \vee p6 \vee e9 \quad (3)$$

$$y4 = e3 \vee a1 \quad (2)$$

$$y5 = e3 \quad (0)$$

$$y6 = e8 \quad (0)$$

$$y7 = q0 \quad (0)$$

$$y8 = e15 \vee a8 \vee a11 \quad (3)$$

$$y9 = e13 \quad (0)$$

$$y10 = e12 \quad (0)$$

$$y11 = e14 X6 \quad (2)$$

$$y12 = e17 \quad (0)$$

$$y13 = p5 \quad (0)$$

$$y14 = e2 \quad (0)$$

$$y15 = e11 \vee e5 \quad (2)$$

$$\text{Инверторы: } \neg X1, \neg X2, \neg X3, \neg X4, \neg X5, \neg X7, \neg X8 \quad (7)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мили при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элемента памяти 4-х разрядного счетчика:

$$\sum = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДС} = 89 + 7 + 9 + 2 + 4 = 111$$

Схема формирования начальной установки на счетчике представлена на рисунке 3.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Цена комбинированной схемы по клавишу автомата по модели 11111				
					при использовании графа, построенного на основе ГСА, который				
					представлен в приложении Д, с использованием в качестве элемента памяти				
					4-х разрядного счетчика:				
$\sum = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{DC} = 89 + 7 + 9 + 2 + 4 = 111$									
Схема формирования начальной установки на счетчике представлена на рисунке 3.									

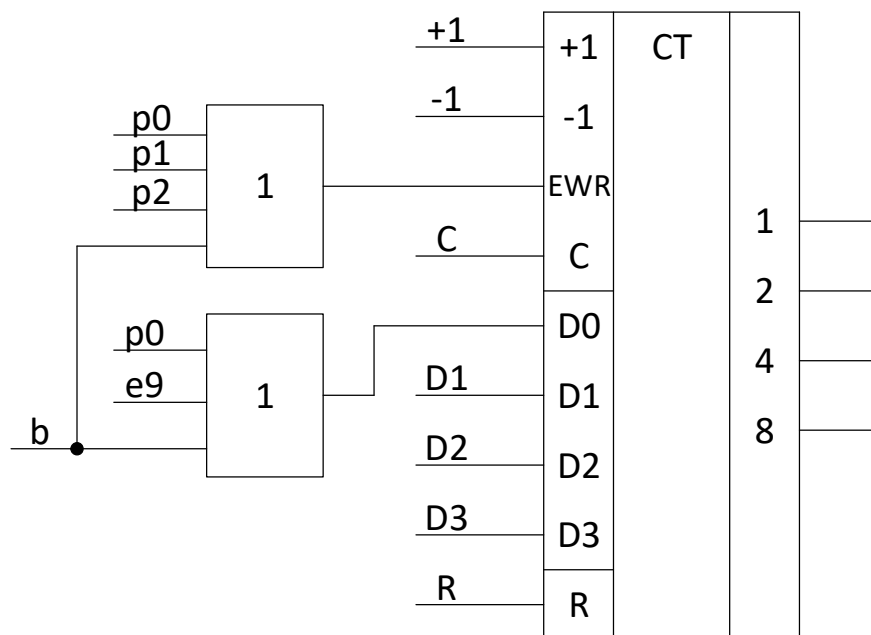


Рисунок 3 – Схема формирования начальной установки на счетчике

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТПЖА 09.03.01.066

Лист	49
------	----

10 Кодирование внутренних состояний для модели Мура

10.1 Кодирование внутренних состояний для модели Мура на D-триггерах

Для кодирования 20 состояний ($b_0...b_{19}$) графа автомата Мура, представленного в приложении Е, минимально необходимо пять элементов памяти.

С учетом особенностей работы D-триггера для кодирования состояний применяется эвристический метод. Он состоит в следующем:

- 1) Каждому состоянию b_i ставится в соответствие целое число N_i , равное числу переходов в данное состояние;
- 2) Числа N_i сортируются в порядке убывания;
- 3) Состоянию, соответствующему первому N_i после сортировки, то есть наибольшему из N_i , присваивается код, состоящий только из нулей;
- 4) Следующему состоянию в порядке убывания N_i присваивается незанятый код, содержащий наименьшее количество единиц. Данный пункт повторяется до тех пор, пока все состояния не будут закодированы.

Кодирование состояний для модели Мура на D-триггерах представлено в таблице 14.

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				Лист
				50

Таблица 14 – Коды состояний для модели Мура на D-триггерах

Исходное состояние	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10
Состояния перехода	b0, b16, b17, b18	b0	b1	b2, b3	b2, b3	b4	b5, b8	b6	b7	b6	b9
Число переходов	4	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1
Код состояния	00010	01010	00110	01000	10000	10100	10001	01100	11000	11100	11010
Исходное состояние	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17	b18	b19		
Состояния перехода	b10, b15	b4, b5, b6	b11	b10, b15	b11, b13	b10, b12, b14, b15, b19	b4	b5, b7	b10, b12, b14, b15, b19		
Число переходов	2	3	1	2	2	5	1	2	5		
Код состояния	01001	00100	11001	00101	00011	00000	10110	10010	00001		

Далее составляется прямая структурная таблица переходов и выходов автомата модели Мура на D-триггерах, результаты которой представлены в таблице 15 и формируются логические выражения для функций возбуждения.

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					51

Таблица 15 – Прямая структурная таблица переходов и выходов модели Мура на D-триггерах

Исходное состояние b_m	Код b_m	Выходной сигнал $Y(b_m)$	Состояние перехода b_s	Код b_s	Входной сигнал $X(b_m, b_s)$	Функции возбуждения D-триггера
b0	00010	-	b0 b1	00010 01010	$\neg X0$ X0	D1 D3D1
b1	01010	y0,y1,y2	b2	00110	1	D2D1
b2	00110	y3,y4	b3 b4	01000 10000	$\neg X0$ X0	D3 D4
b3	01000	-	b3 b4	01000 10000	$\neg X0$ X0	D3 D4
b4	10000	y1	b5 b12 b17	10100 00100 10110	$\neg X1\neg X8$ $\neg X1X8$ X1	D4D2 D2 D4D2D1
b5	10100	y4,y5	b6 b12 b18	10001 00100 10010	$\neg X3\neg X4$ $\neg X3X4$ X3	D4D0 D2 D4D1
b6	10001	y3,y7	b7 b9 b12	01100 11100 00100	$\neg X2$ X2-X5 X2X5	D3D2 D4D3D2 D2
b7	01100	y3,y6	b8 b18	11000 10010	$\neg X3$ X3	D4D3 D4D1
b8	11000	y10	b6	10001	1	D4D0
b9	11100	y3	b10	11010	1	D4D3D1
b10	11010	y8	b11 b14 b16 b19	01001 00101 00000 00001	$\neg X7$ X7X6 X7-X6X9 X7-X6-X9	D3D0 D2D0 - D0
b11	01001	y3,y7,y9	b13 b15	11001 00011	X2 $\neg X2$	D4D3D0 D1D0
b12	00100	y2,y13	b16 b19	00000 00001	X9 $\neg X9$	- D0
b13	11001	y3	b15	00011	1	D1D0
b14	00101	y11	b16 b19	00000 00001	X9 $\neg X9$	- D0
b15	00011	y8	b11 b14 b16 b19	01001 00101 00000 00001	$\neg X7$ X7X6 X7-X6X9 X7-X6-X9	D3D0 D2D0 - D0
b16	00000	y12	b0	00010	1	D1
b17	10110	y14	b0	00010	1	D1
b18	10010	y15	b0	00010	1	D1
b19	00001	-	b16 b19	00000 00001	X9 $\neg X9$	- D0

Ине. №	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТПЖА 09.03.01.066

Логические выражения для каждой функции возбуждения D-триггера получают по таблице как конъюнкции соответствующих исходных состояний b_m и входных сигналов, которые объединены знаками дизъюнкции для всех строк, содержащих данную функцию возбуждения:

$$D0 = b5 \neg X3 \neg X4 \vee b8 \vee b10 \neg X7 \vee b10 X7 \neg X6 \neg X9 \vee b10 X7 X6 \vee b11 \vee b12 \neg X9 \vee b13 \vee b14 \neg X9 \vee b15 X7 X6 \vee b15 X7 \neg X6 \neg X9 \vee b15 \neg X7 \vee b19 \neg X9$$

$$D1 = b0 \vee b1 \vee b4 X1 \vee b5 X3 \vee b7 X3 \vee b9 \vee b11 \neg X2 \vee b13 \vee b16 \vee b17 \vee b18$$

$$D2 = b1 \vee b4 \vee b5 \neg X3 X4 \vee b6 \vee b10 X7 X6 \vee b15 X7 X6$$

$$D3 = b0 X0 \vee b2 \neg X0 \vee b3 \neg X0 \vee b6 \neg X2 \vee b6 X2 \neg X5 \vee b7 \neg X3 \vee b9 \vee b10 \neg X7 \vee b11 X2 \vee b15 \neg X7$$

$$D4 = b2 X0 \vee b3 X0 \vee b4 X1 \vee b4 \neg X1 \neg X8 \vee b5 X3 \vee b5 \neg X3 \neg X4 \vee b6 X2 \neg X5 \vee b7 \vee b8 \vee b9 \vee b11 X2$$

Аналогично составляются логические выражения для функций Выходов:

$$y0 = b1$$

$$y1 = b1 \vee b4$$

$$y2 = b1 \vee b12$$

$$y3 = b2 \vee b6 \vee b7 \vee b9 \vee b11 \vee b13$$

$$y4 = b2 \vee b5$$

$$y5 = b5$$

$$y6 = b7$$

$$y7 = b6 \vee b11$$

$$y8 = b10 \vee b15$$

$$y9 = b11$$

$$y10 = b8$$

$$y11 = b14$$

$$y12 = b16$$

$$y13 = b12$$

$$y14 = b17$$

$$y15 = b18$$

После выделения общих частей в логических выражениях и

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										53

некоторого их упрощения получаем логические уравнения для построения функциональной схемы управляющего автомата:

$$e0 = b5 \neg X3 X4 \quad (3)$$

$$e1 = b5 X3 \quad (2)$$

$$e2 = b6 X2 \neg X5 \quad (3)$$

$$e3 = b10 \neg X7 \quad (2)$$

$$e4 = b10 X7 X6 \quad (3)$$

$$e5 = b11 X2 \quad (2)$$

$$e6 = b15 \neg X7 \quad (2)$$

$$e7 = b15 X7 X6 \quad (3)$$

$$e8 = X7 \neg X6 \neg X9 \quad (3)$$

$$e9 = b4 X1 \quad (2)$$

$$p0 = e4 \vee e7 \quad (2)$$

$$p1 = e3 \vee e6 \quad (2)$$

$$p2 = e2 \vee e5 \quad (2)$$

$$p3 = e1 \vee e9 \quad (2)$$

$$p4 = b1 \vee b4 \quad (2)$$

$$p5 = b11 \vee b13 \quad (2)$$

$$p6 = b7 \vee b9 \quad (2)$$

$$p7 = b10 \vee b15 \quad (2)$$

$$D0 = p0 \vee p1 \vee p5 \vee p7 \vee e8 \vee e0 \vee b8 \vee b12 \neg X9 \vee b14 \neg X9 \vee b19 \neg X9 \quad (17)$$

$$D1 = p3 \vee b0 \vee b1 \vee b7 X3 \vee b9 \vee b11 \neg X2 \vee b13 \vee b16 \vee b17 \vee b18 \quad (14)$$

$$D2 = p0 \vee p4 \vee b5 \neg X3 X4 \vee b6 \quad (7)$$

$$D3 = p1 \vee p2 \vee b0 X0 \vee b2 \neg X0 \vee b3 \neg X0 \vee b6 \neg X2 \vee b7 \neg X3 \vee b9 \quad (18)$$

$$D4 = p2 \vee p3 \vee p6 \vee e0 \vee b2 X0 \vee b3 X0 \vee b4 \neg X1 \neg X8 \vee b8 \quad (15)$$

Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$p2 = e2 \vee e3$	(2)
					$p3 = e1 \vee e9$	(2)
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$p4 = b1 \vee b4$	(2)
					$p5 = b11 \vee b13$	(2)
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$p6 = b7 \vee b9$	(2)
					$p7 = b10 \vee b15$	(2)
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$D0 = p0 \vee p1 \vee p5 \vee p7 \vee e8 \vee e0 \vee b8 \vee b12 \neg X9 \vee b14 \neg X9$	(17)
					$\vee b19 \neg X9$	
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$D1 = p3 \vee b0 \vee b1 \vee b7 \vee X3 \vee b9 \vee b11 \neg X2 \vee b13 \vee b16 \vee b17$	(14)
					$\vee b18$	
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$D2 = p0 \vee p4 \vee b5 \neg X3 \vee X4 \vee b6$	(7)
					$D3 = p1 \vee p2 \vee b0 \vee X0 \vee b2 \neg X0 \vee b3 \neg X0 \vee b6 \neg X2 \vee b7 \neg X3 \vee b9$	(18)
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата	$D4 = p2 \vee p3 \vee p6 \vee e0 \vee b2 \vee X0 \vee b3 \vee X0 \vee b4 \neg X1 \neg X8 \vee b8$	(15)
Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТПЖА 09.03.01.066	
					Лист	
					54	

Аналогично составляются логические выражения для функций

ВЫХОДОВ:

$$y_0 = b_1 \quad (0)$$

$$y_1 = p_4 \quad (0)$$

$$y_2 = b_1 \vee b_{12} \quad (2)$$

$$y_3 = p_5 \vee p_6 \vee b_2 \vee b_6 \quad (4)$$

$$y_4 = b_2 \vee b_5 \quad (2)$$

$$y_5 = b_5 \quad (0)$$

$$y_6 = b_7 \quad (0)$$

$$y_7 = b_6 \vee b_{11} \quad (2)$$

$$y_8 = p_7 \quad (0)$$

$$y_9 = b_{11} \quad (0)$$

$$y_{10} = b_8 \quad (0)$$

$$y_{11} = b_{14} \quad (0)$$

$$y_{12} = b_{16} \quad (0)$$

$$y_{13} = b_{12} \quad (0)$$

$$y_{14} = b_{17} \quad (0)$$

$$y_{15} = b_{18} \quad (0)$$

$$\text{Инверторы: } \neg X_0, \neg X_1, \neg X_2, \neg X_3, \neg X_4, \neg X_5, \neg X_6, \neg X_7, \neg X_8, \neg X_9 \quad (10)$$

Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мура при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 5 D-триггеров:

$$\sum = \text{КС} + \text{ИНВ} + \text{ЭП} + \text{НУ} + \text{ДС} = 122 + 10 + 20 + 0 + 5 = 157$$

Схема формирования начальной установки на D-триггерах представлена на рисунке 4.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	$y_{12} = b_{10}$	(0)		
					$y_{13} = b_{12}$	(0)		
					$y_{14} = b_{17}$	(0)		
					$y_{15} = b_{18}$	(0)		
				Инверторы: $\neg X_0, \neg X_1, \neg X_2, \neg X_3, \neg X_4, \neg X_5, \neg X_6, \neg X_7, \neg X_8, \neg X_9$		(10)		
				Цена комбинационной схемы по Квайну автомата по модели Мура при использовании графа, построенного на основе ГСА, который представлен в приложении Д, с использованием в качестве элементов памяти 5 D-триггеров:				
				$\sum = КС + ИНВ + ЭП + НУ + DC = 122 + 10 + 20 + 0 + 5 = 157$				
				Схема формирования начальной установки на D-триггерах представлена на рисунке 4.				
Инв. №	Подп. и дата					ТПЖА 09.03.01.066	Лист 55	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

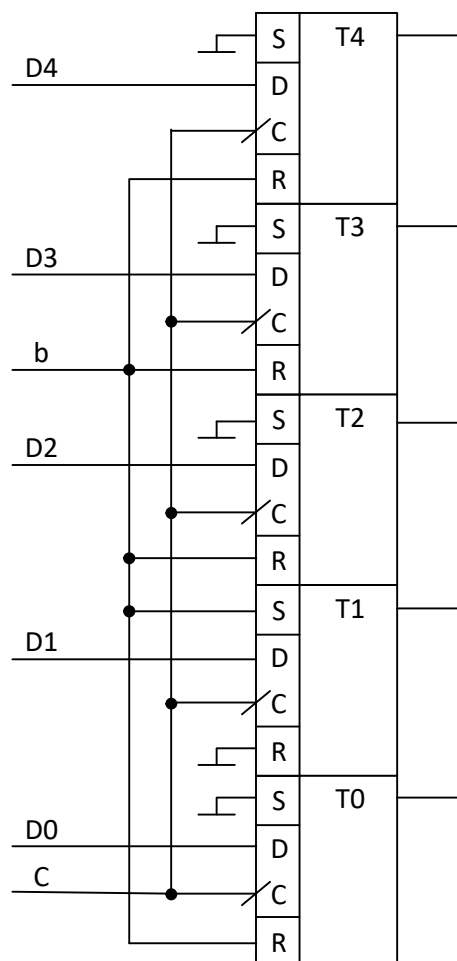


Рисунок 4 - Схема формирования начальной установки на D-триггерах

Цена по Квайну автомата модели Мура на D-триггерах получилась значительно больше, чем цена по Квайну автомата модели Мили на D-триггерах. Отсюда можно сделать вывод, что цена по Квайну автомата модели Мура на RS-триггерах не будет минимальной.

Инв. №	Подп. и дата		Инв. №	Подп. и дата	
Инв. №		Взам. инв.		Лист	
ТПЖА 09.03.01.066				56	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата

					ТПЖА 09.03.01.066	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

Заключение

В ходе курсового проекта был синтезирован автомат, выполняющий деление первым способом в двоичной системе счисления с плавающей запятой с порядками с использованием дополнительного кода при вычитании с восстановлением остатков в основном логическом базисе. Управляющий автомат был синтезирован по модели Мили с использованием 4-разрядного счетчика в качестве элемента памяти, так как цена по Квайну данного автомата получилась наименьшей и равной 111. Автомат, полученный в ходе выполнения курсового проекта, задан множеством внутренних состояний a0-a12, множеством входных сигналов X0-X9, множеством выходных сигналов y0-y15, функциями переходов и выходов, заданной в таблице 13, начальным состоянием a0.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ТПЖА 09.03.01.066					Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Перечень сокращений

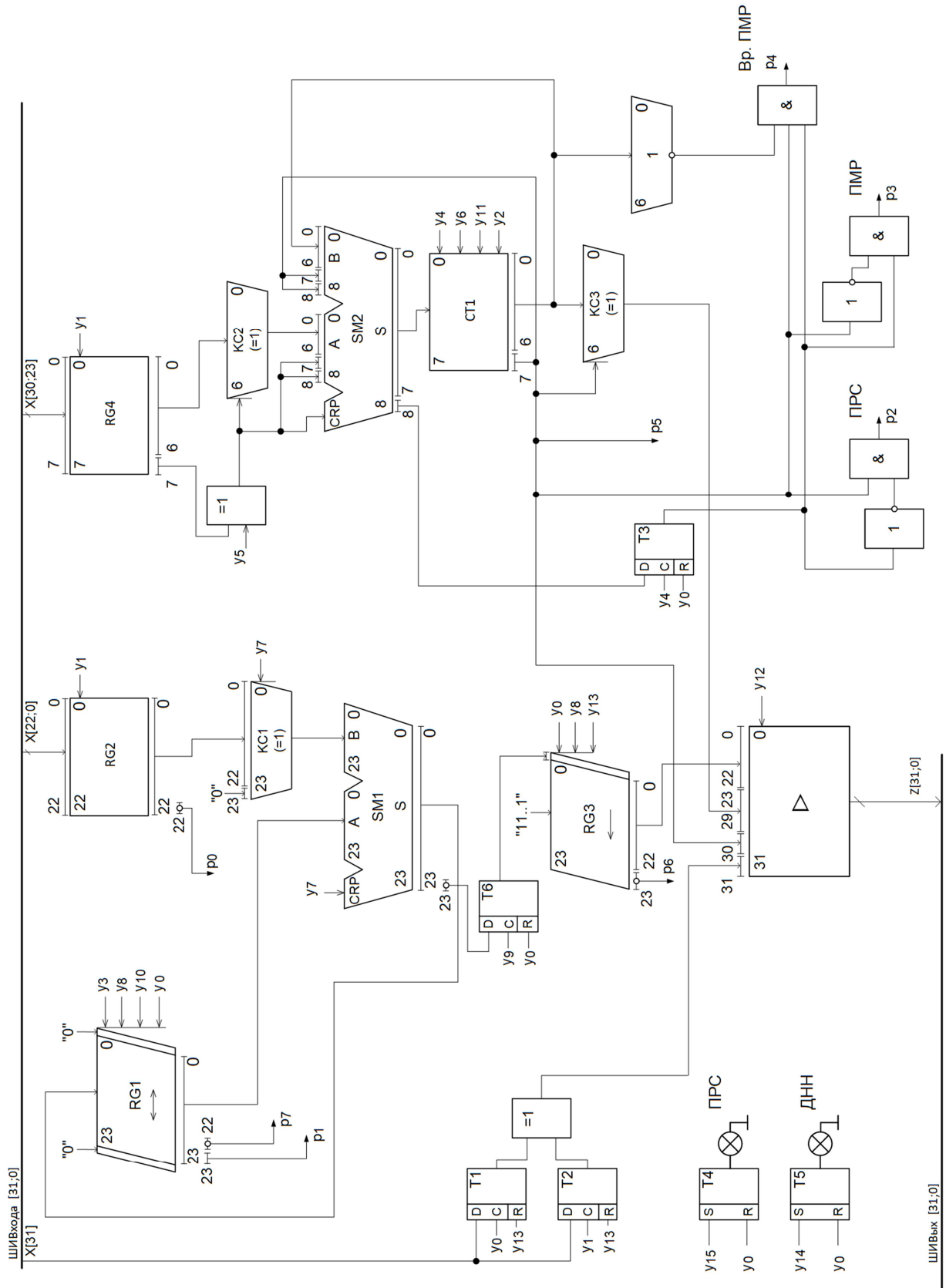
ДК – дополнительный код
 ПК – прямой код
 ГСА – граф-схема алгоритма
 УА – управляющий автомат
 ОА – операционный автомат
 МПА – микропрограммный автомат
 ЭП – элемент памяти
 ПРС – переполнение разрядной сетки
 ПМР – потеря младших разрядов
 ВрПМР – временная потеря младших разрядов
 ИстПМР – истинная потеря младших разрядов
 ДНН – деление на ноль

Име. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Име. №	Подп. и дата					
					ТПЖА 09.03.01.066				
					Лист 59				

Приложение Б

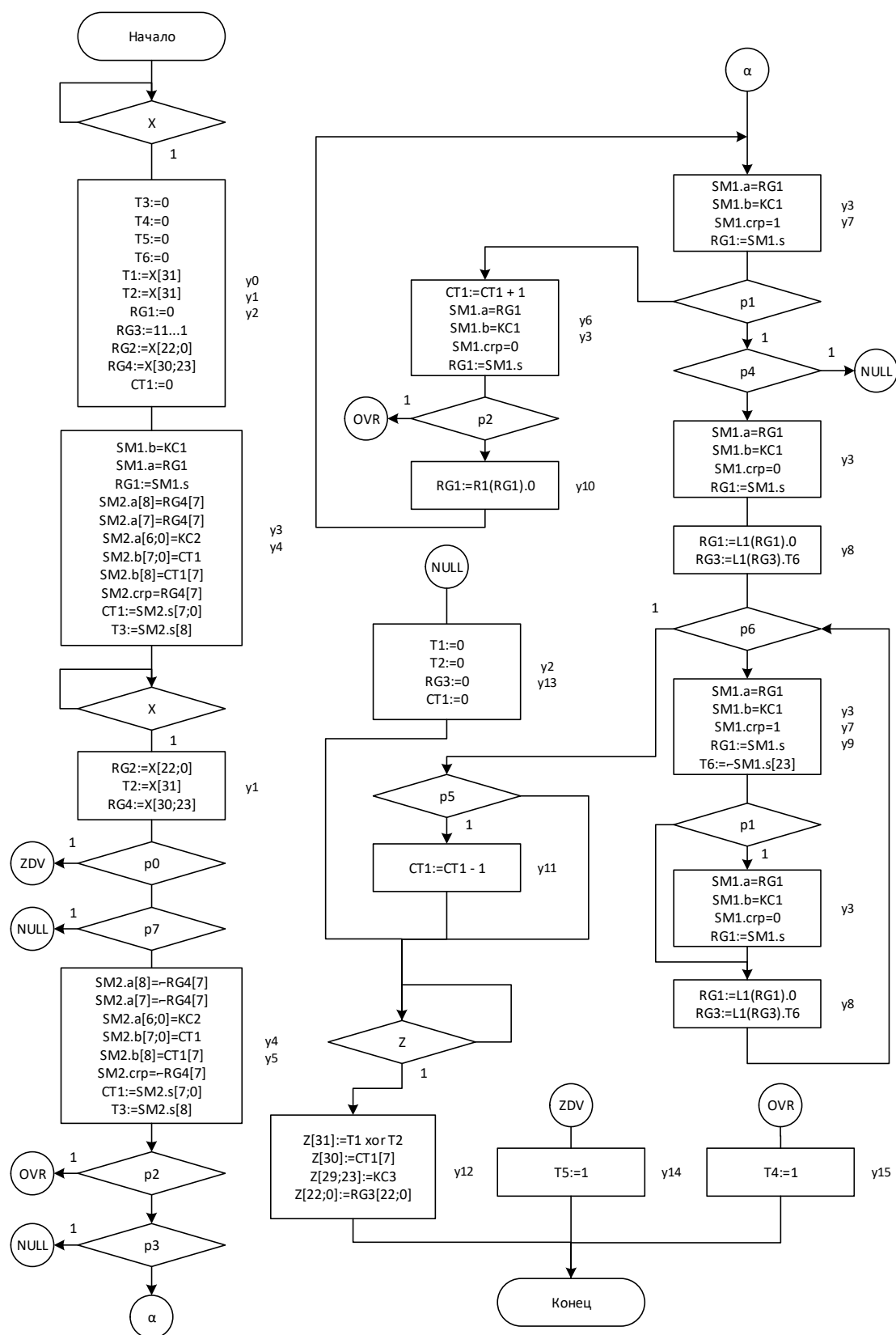
(обязательное)

Функциональная схема операционного автомата



(обязательное)

Содержательная граф-схема алгоритма



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТПЖА 09.03.01.066

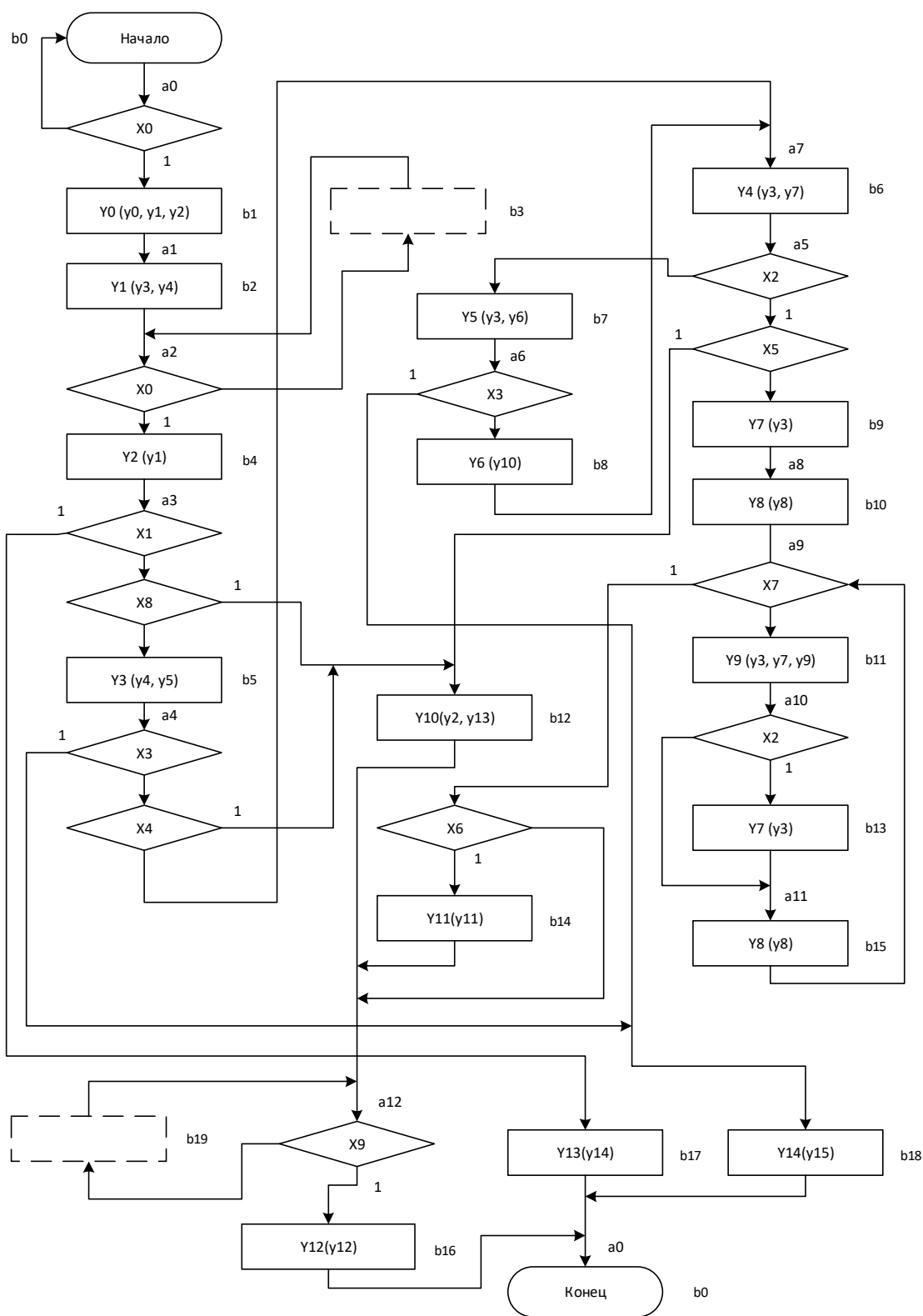
Лист

62

Приложение Г

(обязательное)

Отмеченная граф-схема алгоритма



Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 09.03.01.066					Лист
					63

Приложение Д

(обязательное)

Граф автомата модели Мили

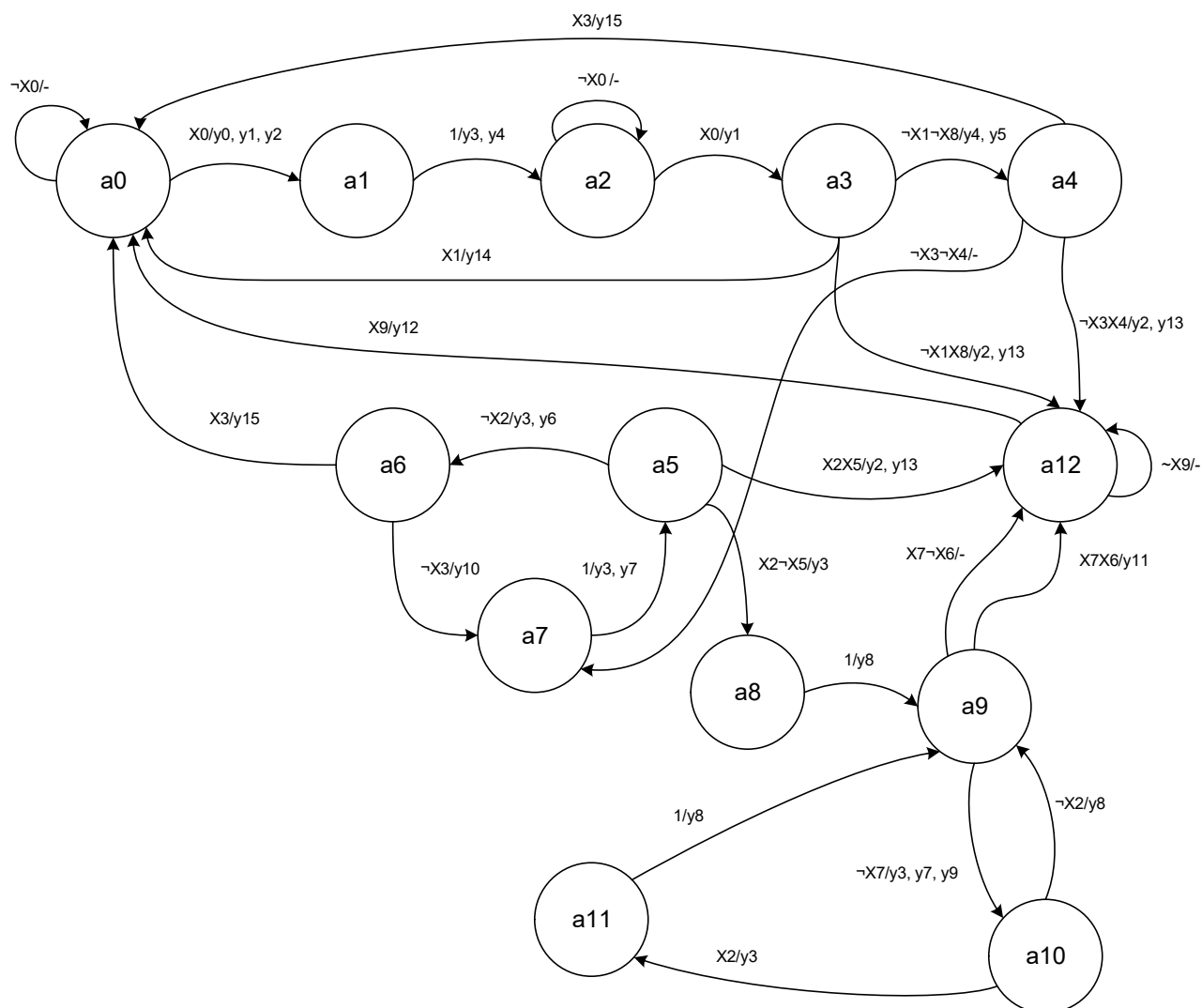


Рисунок Д.1 – Граф автомата модели Мили с «пустыми» переходами

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 09.03.01.066					Лист
					64

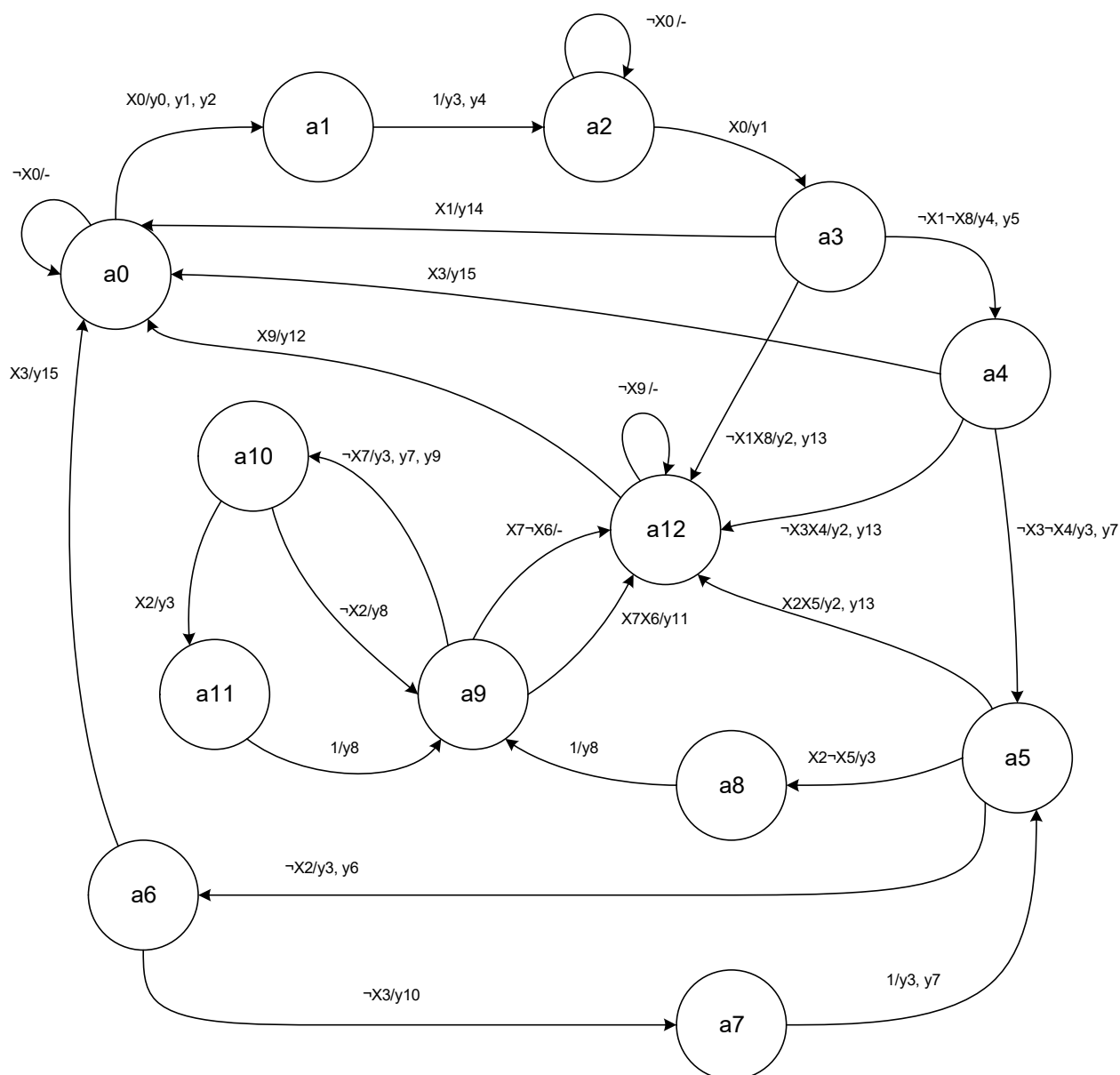


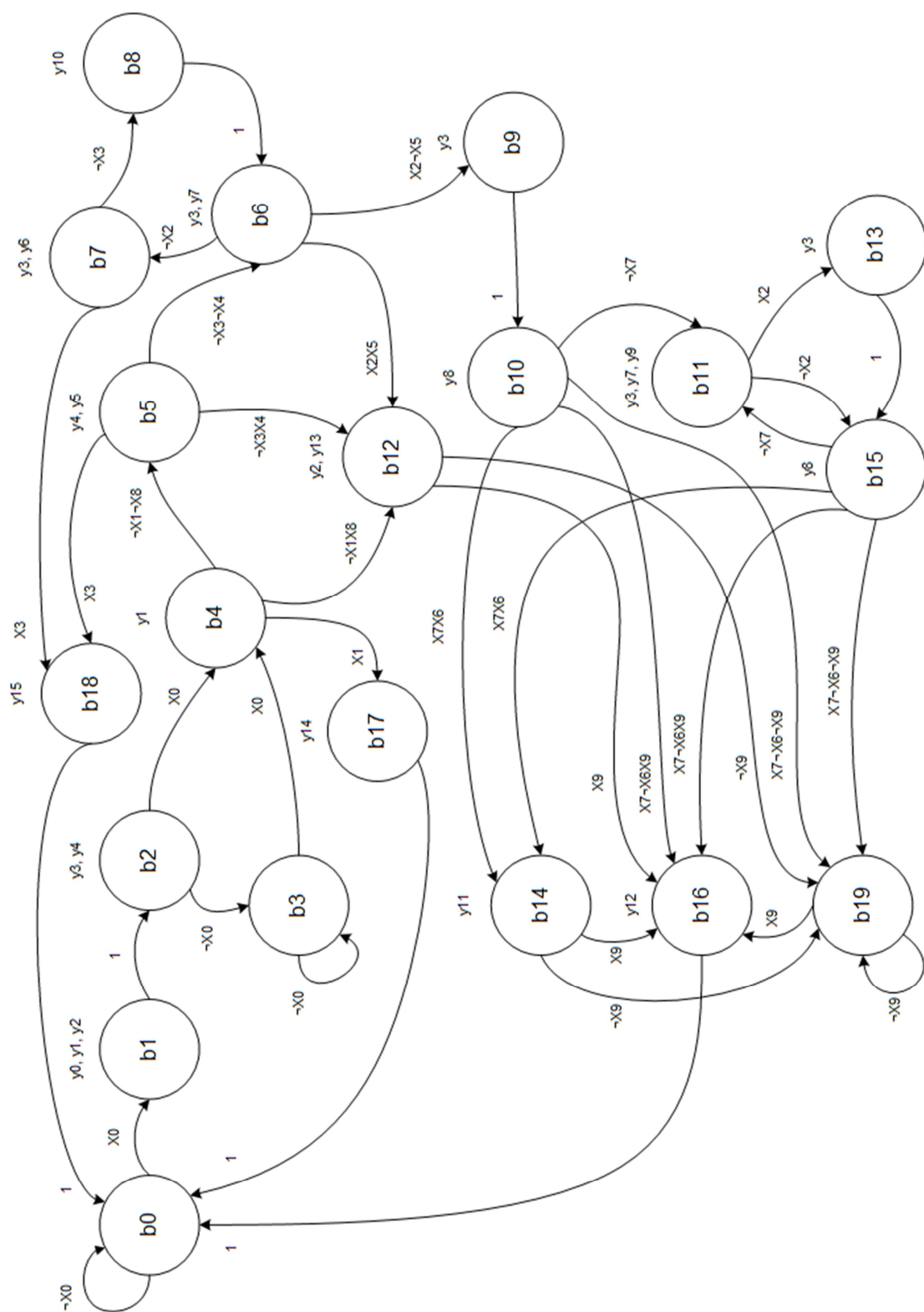
Рисунок Д.2 – Граф автомата модели Мили без некоторых «пустых» переходов

Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
ТПЖА 09.03.01.066					Лист
					65

Приложение Е

(обязательное)

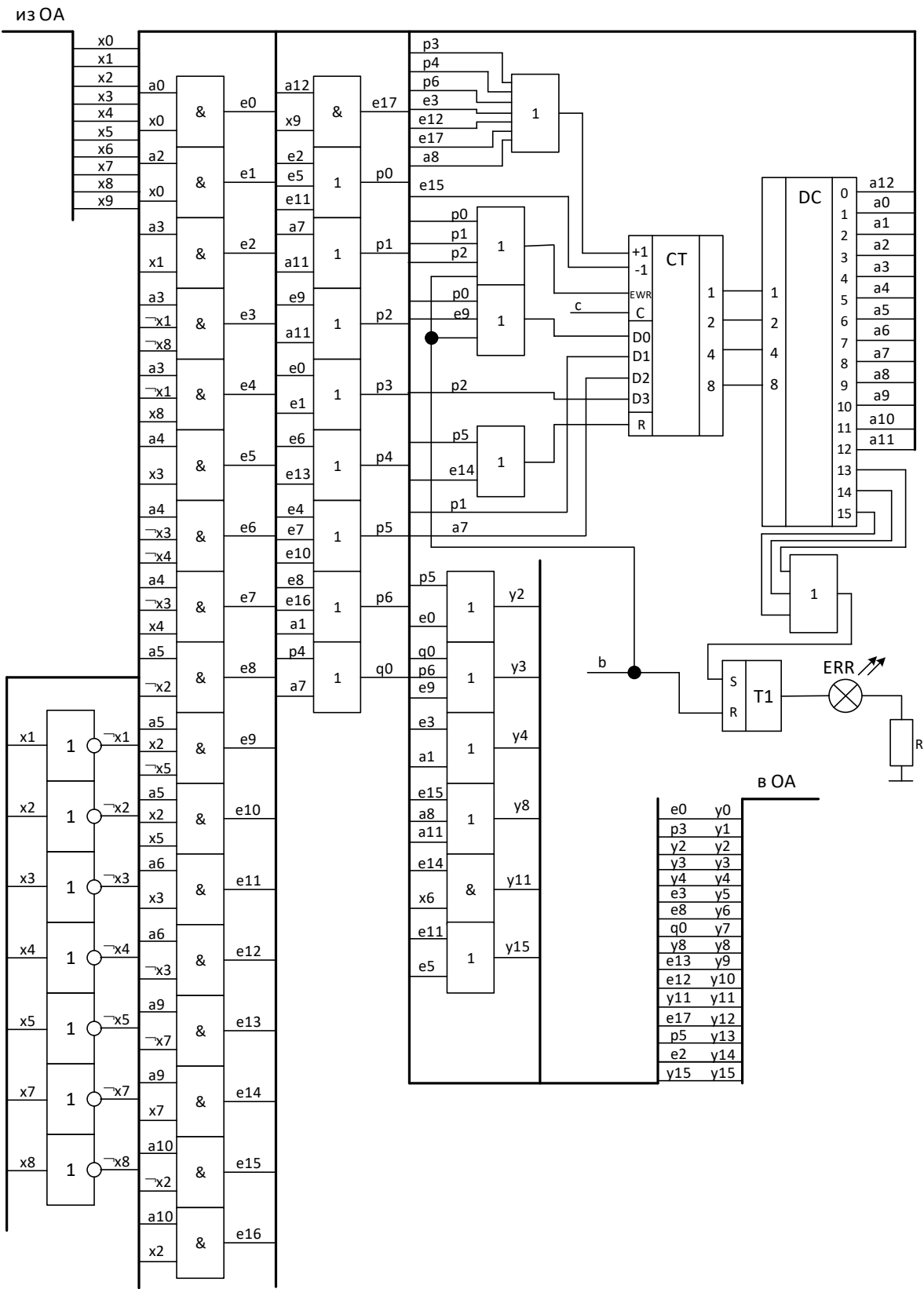
Граф автомата модели Мура



Ине. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ТПЖА 09.03.01.066				
				Лист
				66

Приложение Ж
(обязательное)

Функциональная схема управляющего автомата



Ине. №	Подп. и дата	Ине. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Дата			