

УДК 621.05

К.А. ПОЛУШКИН, аспирант НТУ «ХПИ»

### АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СХЕМ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТОВ

В рамках метода безраздельной декомпозиции уравнений для синтеза минимальных схем гидропневмоагрегатов предложен алгоритм, позволяющий сократить перебор вариантов при выборе схем разложения.

**Ключевые слова:** функция входов, безраздельная декомпозиция, остаточные функции, распределитель, минимизация функции, логический элемент.

**Введение.** В [1] показано, что методы безраздельной декомпозиции приводят к схемам, минимальным по числу элементов и модулей.

В настоящей статье в рамках метода безраздельной декомпозиции уравнений для синтеза минимальных схем гидропневмоагрегатов предложен алгоритм, который позволяет сократить перебор вариантов при выборе схем разложения.

**Основной материал.** Для синтеза выбраны следующие три схемы реализации функции (см. рис. 1) при использовании метода безраздельной декомпозиции [2]. Функция входов и остаточные функции для соответствующих схем приведены в табл.

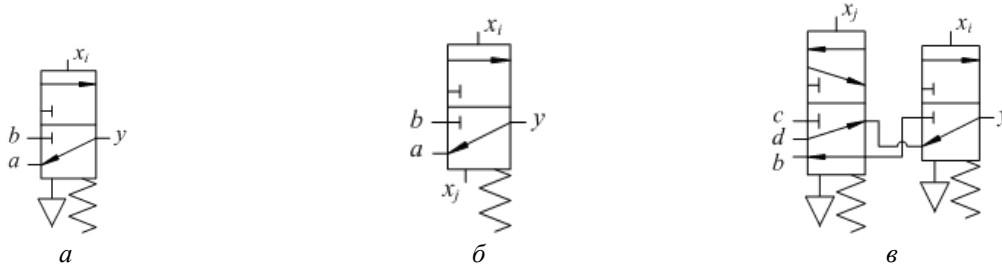


Рис. 1 – Схемы для безраздельной декомпозиции функции:

*a* – логический модуль для реализации схем при разложении функции по одной переменной;

*б* – логический модуль для реализации функции трех переменных;

*в* – логический модуль, включающий в себя два распределителя

Таблица

Функция входов и остаточные функции для схем разложения

Функция входов	Остаточные функции
$y = \bar{x}_i a + x_i b$ (см. рис. 1 <i>a</i> )	$a = f_0'(0); b = f_1'(1)$
$y = (\bar{x}_i + x_j) a + x_i \bar{x}_j b$ (см. рис. 1 <i>б</i> )	$b = f_2(1,0); a = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_j f_3(1,1) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1)$
$y = (\bar{x}_i \bar{x}_j + x_i x_j) d + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b$ (см. рис. 1 <i>в</i> )	$b = f_2(1,0); c = f_1(0,1); d = \bar{x}_i f_0(0,0) + x_i f_3(1,1)$

Рассматривается разложение логических функций по двум переменным

$$f = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) + x_i x_j f_3(1,1).$$

Пусть переменные разложения  $x_i$  и  $x_j$  выбраны и имеют прямые значения.

Исследования показали, что при количестве повторяющихся переменных  $n \geq 2$  часто рациональной является схема реализации при разложении функции по одной переменной, применяемая при  $n = 1$  (см. рис. 1*a*). Чтобы убедиться в этом, необходимо

© К.А. Полушкин, 2014

связать остаточные функции  $f_0(0,0), f_1(0,1), f_2(1,0), f_3(1,1)$  и  $f_0'(0), f_1'(1)$  между собой, для чего сопоставим функции входов:

$$\begin{cases} y = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) + x_i x_j f_3(1,1) \\ y = \bar{x}_i f_0'(0) + x_i f_1'(1) \end{cases}$$

$$\bar{x}_i (\bar{x}_j f_0(0,0) + x_j f_1(0,1)) + x_i (\bar{x}_j f_2(1,0) + x_j f_3(1,1)) = \bar{x}_i f_0'(0) + x_i f_1'(1);$$

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_j f_1(0,1) \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j f_3(1,1) \end{cases}$$

Будем сравнивать схемы без учета аппаратов, которые нужны для реализации функций  $f_0(0,0), f_1(0,1), f_2(1,0), f_3(1,1)$ , поскольку в каждой схеме их одинаковое количество. Следовательно, нет необходимости исследовать вход  $b$  для схем рис. 1б и рис. 1в, а также вход  $c$  для схемы рис. 1в. Обозначим суммарное число дополнительных элементов, требующихся для реализации схем рис. 1а–в, соответственно  $m_1, m_2, m_3$ .

Следует отметить, что схемы рис. 1а и рис. 1б первоначально уже содержат один трехлинейный распределитель, т.е.  $m_{10} = m_{20} = 1$ , а схема рис. 1в – два распределителя, один из которых трехлинейный, а другой пятилинейный ( $m_{30} = 2$ ). Рассмотрим различные соотношения между остаточными функциями  $f_0(0,0), f_1(0,1), f_2(1,0), f_3(1,1)$ .

1 Три остаточные функции равны между собой. Например,

$$f_0(0,0) = f_3(1,1) = f_1(0,1) = z.$$

Тогда

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j z + x_j z = z(\bar{x}_j + x_j) = z \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j z \end{cases}$$

$$a = \bar{x}_j z + x_j z + \bar{x}_i x_j z = z(\bar{x}_j + x_j + \bar{x}_i x_j) = z; \quad d = \bar{x}_i z + x_i z = z(\bar{x}_i + x_i) = z.$$

Для реализации  $f_1'(1)$  требуется дополнительный распределитель (см. рис. 2а), остальные функции в нем не нуждаются:  $m_1 = m_{10} + 1 = 2$ ;  $m_2 = m_{20} = 1$ ;  $m_3 = m_{30} = 2$ .

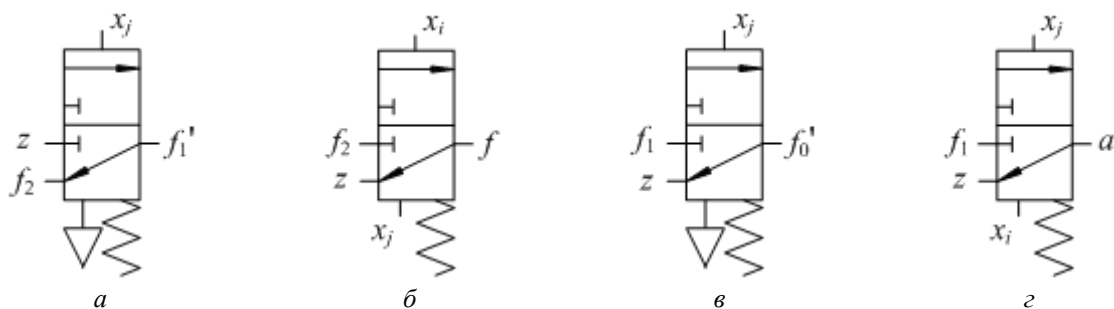


Рис. 2 – Схема реализации функций  $f_1'$  (а) и  $f$  (б) для пункта 1,  $f_0'$  (в) и  $a$  (г) для пункта 2.1

Значит, при безраздельной декомпозиции рациональной является схема рис. 1б.

Теперь обратимся к исходному выражению для разложения функции по двум переменным и проведем его минимизацию:

$$f = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) + x_i x_j f_3(1,1) = \bar{x}_i \bar{x}_j z + \bar{x}_i x_j z + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) + x_i x_j z = z(\bar{x}_i \bar{x}_j + \bar{x}_i x_j + x_i x_j) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) = z(\bar{x}_i + x_j) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0).$$

Методом отдельной декомпозиции функция реализуется с помощью одного распределителя (см. рис. 2б). Результат аналогичен тому, что был получен при разложении по схеме рис. 1б.

Легко убедиться, что при любых равных между собой трех остаточных функциях минимизация исходного выражения с дальнейшим использованием метода раздельной декомпозиции дает один и тот же оптимальный результат. При этом, в отличие от безраздельной декомпозиции, не нужно менять переменные разложения. Поэтому последний способ реализации функции будет в данном случае рациональным.

2 Функции  $f_0(0,0) = f_3(1,1) = z$ .

Остаточные функции принимают вид

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j z + x_j f_1(0,1) \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j z \end{cases}$$

$$a = \bar{x}_j z + x_j z + \bar{x}_i x_j f_1(0,1) = z(\bar{x}_j + x_j) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1); \quad d = \bar{x}_i z + x_j z = z(\bar{x}_i + x_j) = z.$$

В зависимости от значений  $z$  и  $f_1(0,1)$  существуют разные варианты реализации.

2.1 Предположим, функции  $z$  и  $f_1(0,1)$  – «заполненные». Каждая из функций  $f_1'(1)$ ,  $f_0'(0)$ ,  $a$  реализуется с помощью трехлинейного распределителя (см. рис. 2а,в,з); функция  $d$  дополнительных аппаратов для реализации не требует:  $m_1 = 3$ ;  $m_2 = 2$ ;  $m_3 = 2$ .

Схему рис. 1а отмечаем как содержащую наибольшее количество элементов. Оптимальной оказывается схема рис. 1в, ведь имеет меньшее число пневмолиний.

Очевидно, «незаполненность» остаточных функций конечный итог не изменит.

2.2 Функция  $f_1(0,1) = 0$ .

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j z \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j z \end{cases}; \quad a = z(\bar{x}_j + x_j).$$

$f_1'(1)$ ,  $f_0'(0)$ ,  $a$  реализуются с помощью распределителя каждая (рис. 2а, 3а,б).

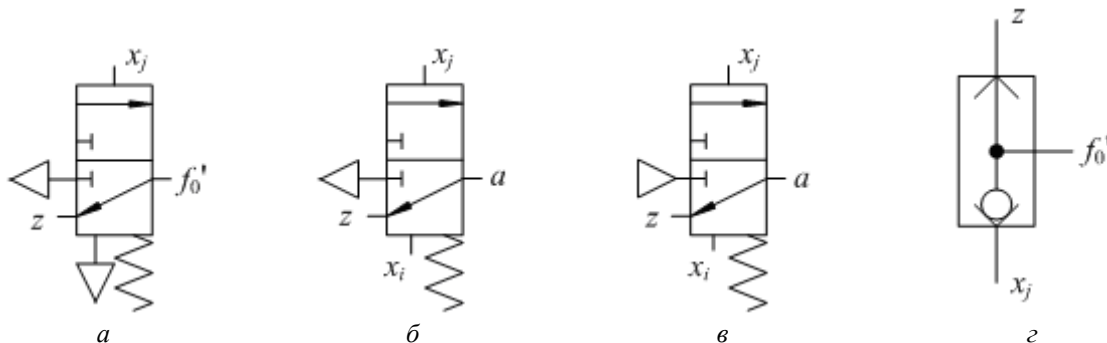


Рис. 3 – Схема реализации функций  $f_0'(a)$ ,  $a(б)$  для пункта 2.2,  $a(в)$  для пункта 2.3,  $f_0'(з)$  для пункта 2.3.1

Функция  $d$  не изменяется и новых аппаратов не требует:  $m_1 = 3$ ;  $m_2 = 2$ ;  $m_3 = 2$ .

На этот раз содержит наименьшее количество пневмолиний схема рис. 1б.

2.3 Функция  $f_1(0,1) = 1$ .

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j z + x_j = z + x_j \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j z \end{cases}; \quad a = z(\bar{x}_j + x_j) + \bar{x}_i x_j = z + \bar{x}_i x_j.$$

Каждая из функций  $f_1'(1)$  и  $a$  реализуется с помощью одного распределителя (см. рис. 2а, 3в). Для реализации  $f_0'(0)$  есть 2 варианта.

2.3.1 Функция  $z$  – «заполненная»,  $f_0'(0)$  реализуется клапаном ИЛИ (см. рис. 3з):  $m_1 = 3$ ;  $m_2 = 2$ ;  $m_3 = 2$ . Как и в предыдущем пункте, оптимальной будет схема рис. 1б.

2.3.2 Функция  $z$  – «незаполненная»,  $f_0'(0)$  не требует дополнительных элементов:  $m_1 = m_2 = m_3 = 2$ . Оптимальной является схема рис. 1а, имеющая меньше пневмолиний.

$$2.4 \text{ Функція } z = 0: \begin{cases} f_0'(0) = x_j f_1(0,1) \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) \end{cases}; a = \bar{x}_i x_j f_1(0,1); d = 0.$$

Для реализации функции  $a$  необходим трехлинейный распределитель (см. рис. 4а), а для  $f_1'(1)$  и  $f_0'(0)$  возможны варианты.

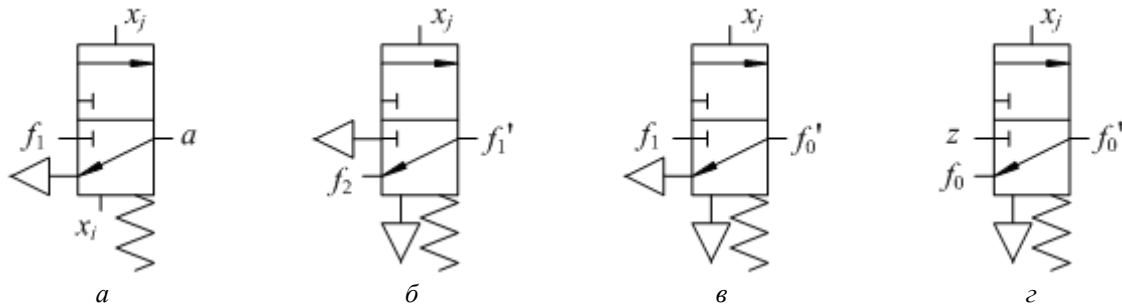


Рис. 4 – Схема реализации функций  $a$  (а) для пункта 2.4,  $f_1'$  (б) и  $f_0'$  (в) для пункта 2.4.1,  $f_0'$  (г) для пункта 3

2.4.1 Функции  $f_1(0,1)$  и  $f_2(1,0)$  – «заполненные».

Каждая из функций  $f_1'(1)$  и  $f_0'(0)$  реализуется с помощью распределителя (см. рис. 4б,в). В итоге  $m_1 = 3; m_2 = 2; m_3 = 2$ . Рассуждая так же, как в пункте 2.1, приходим к выводу, что рациональной является схема рис. 1в.

2.4.2 Хотя бы одна из функций  $f_1(0,1)$  и  $f_2(1,0)$  – «незаполненная».

Тогда схема рис. 1а будет требовать как минимум на 1 аппарат меньше ( $m_1 = 2$ ). Она оказывается оптимальной, ведь имеет наименьшее число пневмолиний.

2.5 Функция  $z = 1$ .

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j + x_j f_1(0,1) = \bar{x}_j + f_1(0,1) \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j = f_2(1,0) + x_j \end{cases}; a = \bar{x}_j + x_i + \bar{x}_i x_j f_1(0,1) = \bar{x}_j + x_i + f_1(0,1); d = 1.$$

Аналогично предыдущему пункту, если функции  $f_1(0,1)$  и  $f_2(1,0)$  – «заполненные», рациональной будет схема рис. 1в, в противном случае – схема рис. 1а.

3 Функции  $f_3(1,1) = f_1(0,1) = z$ .

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_j z \\ f_1'(1) = \bar{x}_j f_2(1,0) + x_j z \end{cases}$$

$$a = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_j z + \bar{x}_i x_j z = z(x_i + \bar{x}_i x_j) + \bar{x}_j f_0(0,0) = z(x_i + x_j) + \bar{x}_j f_0(0,0);$$

$$d = \bar{x}_i f_0(0,0) + x_j z.$$

$f_1'(1), f_0'(0), d$  реализуются с помощью распределителя каждая (рис. 2а, 4г, 5а).

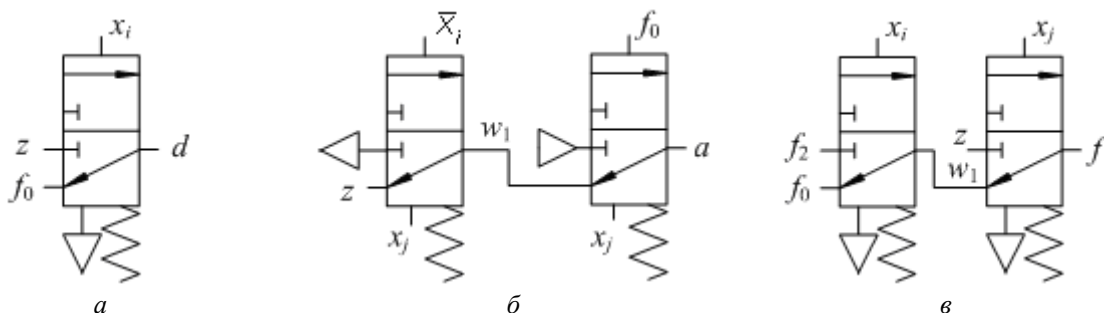


Рис. 5 – Схема реализации функций  $d$  (а),  $a$  (б) и  $f$  (в) для пункта 3

Функцию  $a$  реализуем методом отдельной декомпозиции:

$$w_1 = z(x_i + x_j); \quad a = w_1 + \bar{x}_j f_0(0,0).$$

Для реалізації додатково потрібні два трехлинейних розподільця (см. рис. 5б). Таким образом,  $m_1 = 1 + 2 = 3$ ;  $m_2 = 1 + 2 = 3$ ;  $m_3 = 2 + 1 = 3$ .

Вернемся к исходному выражению и проведем его минимизацию:

$$f = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + \bar{x}_i x_j z + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) + x_i x_j z = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + z x_j (\bar{x}_i + x_i) + x_i \bar{x}_j f_2(1,0) = z x_j + \bar{x}_j (\bar{x}_i f_0(0,0) + x_i f_2(1,0)).$$

Реализуем полученную функцию методом раздельной декомпозиции (рис. 5в):

$$w_1 = \bar{x}_i f_0(0,0) + x_i f_2(1,0); \quad f = x_j z + \bar{x}_j w_1.$$

В данном случае  $m = 2$ . Этот способ реализации функции и будет рациональным.

4 Функции  $f_0(0,0) = f_2(1,0) = z$ .

Данные функции симметричны тем, которые рассматривались в предыдущем случае. Значит, они не уменьшат количество аппаратов, получающихся в результате разложения, и вновь оптимальной оказывается минимизация исходной функции с последующим применением метода раздельной декомпозиции.

5 Функции  $f_2(1,0) = f_1(0,1) = 0$ .

$$\begin{cases} f_0'(0) = \bar{x}_j f_0(0,0) \\ f_1'(1) = x_j f_3(1,1) \end{cases}; \quad a = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_i f_3(1,1); \quad d = \bar{x}_i f_0(0,0) + x_i f_3(1,1).$$

5.1 Функции  $f_0(0,0)$  и  $f_3(1,1)$  – «заполненные».

В результате реализации (см. рис. 6а–д) получается, что при любой схеме задействовано 3 распределителя:  $m_1 = 1 + 2 = 3$ ;  $m_2 = 1 + 2 = 3$ ;  $m_3 = 2 + 1 = 3$ .

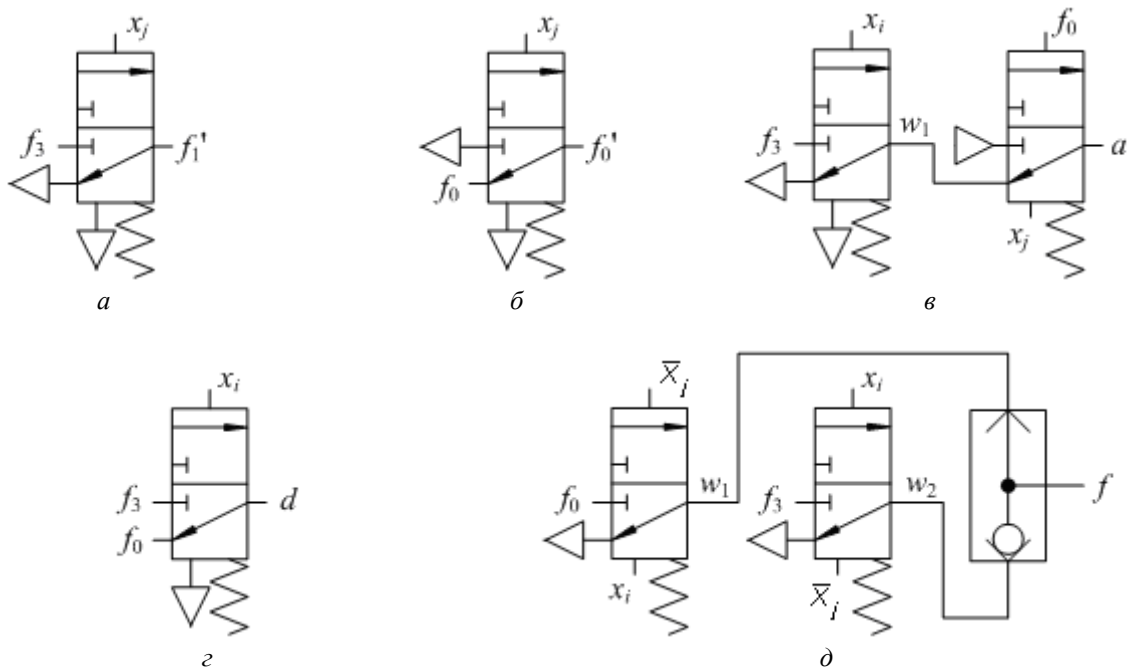


Рис. 6 – Схема реализации функций  $f_1'$  (а),  $f_0'$  (б),  $a$  (в),  $d$  (г) и  $f$  (д) для пункта 5.1

Рассмотрим исходное выражение, которое примет вид

$$f = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0) + x_i x_j f_3(1,1).$$

Применяем метод раздельной декомпозиции:

$$w_1 = \bar{x}_i \bar{x}_j f_0(0,0); \quad w_2 = x_i x_j f_3(1,1); \quad f = w_1 + w_2.$$

При такой реализации используется два распределителя и клапан ИЛИ (см. рис. 6д). Следовательно, это рациональный способ.

5.2 Хотя бы одна из функций  $f_0(0,0)$  и  $f_3(1,1)$  – «незаполненная».

Тогда схема рис. 1а будет требовать как минимум на 1 аппарат меньше ( $m_1 = 2$ ). Она является оптимальной, поскольку содержит наименьшее число элементов.

Полученные результаты отображены в виде алгоритма на рис. 7.

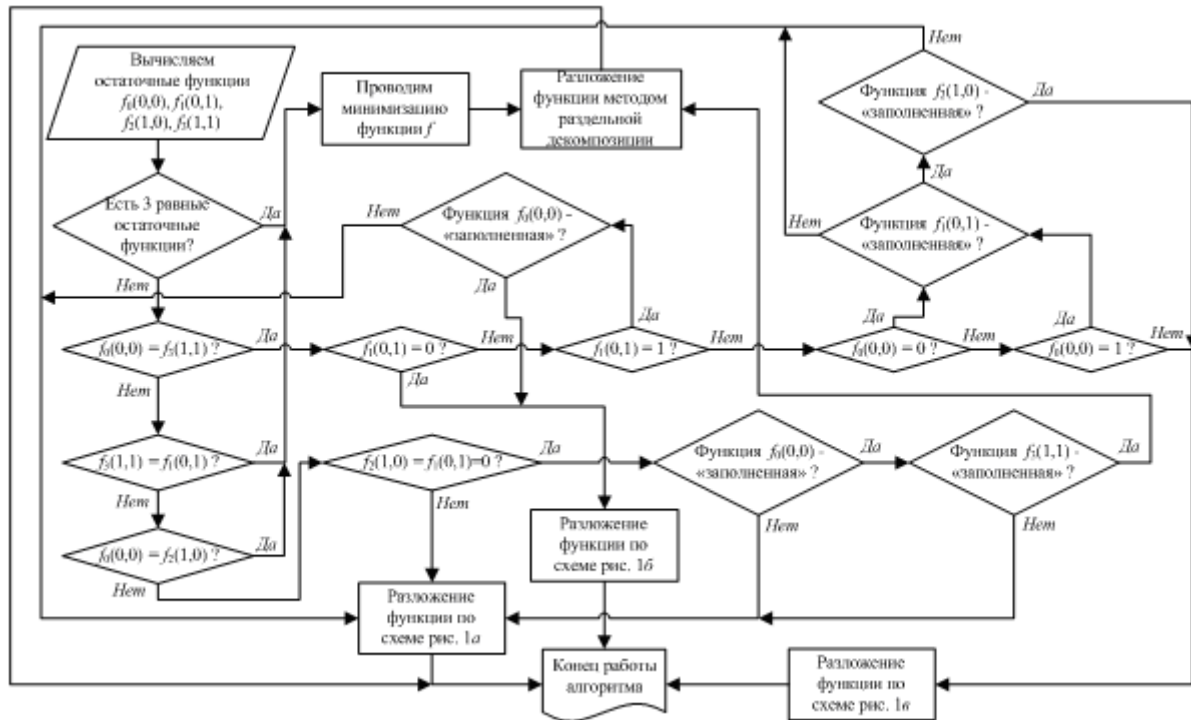


Рис. 7 – Алгоритм синтеза схем

**Список литературы:** 1. Cherkashenko, M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation [Text] / M. Cherkashenko // International Fluid Power Symposium in Aachen, Germany, 20–22 March, 2006. – Fundamentals. The report N1. – P. 147-154. 2. Cherkashenko, M. Universal devices for building pneumatic control circuits for industrial robots and automatic machines [Text] / M. Cherkashenko // Soviet engineering research (England). – 1985. – V5, N2. – P. 29–31.

Поступила в редколлегию 20.09.13

УДК 621.05

**Алгоритм синтеза схем гидропнеumoагрегатов** [Текст] / К.А. Полушкин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1(1044). – С. 164-169. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2078-774X.

У рамках методу безроздільної декомпозиції рівнянь для синтезу мінімальних схем гідропнеumoагрегатів запропонований алгоритм, що дозволяє скоротити перебір варіантів при виборі схем розкладання.

**Ключові слова:** функція входів, безроздільна декомпозиція, залишкові функції, розподільник, мінімізація функції, логічний елемент.

Within the bounds of method of undivided decomposition of equations for synthesis of minimum schemes of hydropneumoaggregates the algorithm that allows to shorten the enumeration of possibilities when choosing the schemes of decomposition is offered.

**Keywords:** entries function, undivided decomposition, remaining functions, distributor, function minimization, logical element.