tanulmányok 59/1977

MTA Számitástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

MEMBRÁNOS DISZKRÉT ELEMRENDSZEREK FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁSA

Irta:

SZÉP ENDRE

Kandidátusi disszertáció

Tanulmányok 59/1977.

A kiadásért felel:

DR VÁMOS TIBOR

ISBN 963 311 034 3

778475 MTA KESZ Sokszorosító. F.v.: Szabó Gyula

A munka a

VARSOI MÜSZAKI EGYETEM IPARI AUTOMATIKA INTÉZETÉBEN

és a

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMA SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATO INTÉZETÉBEN

készült lengyel levelező aspirantura keretében, a *"dr inż"* cimnek az LNK-ban (a müsz.tud.kand. cimnek az MNK-ban) való elnyerése céljából.

Tudományos vezető:
Prof. dr Henryk Josif Leśkiewicz

Varsó, 1975.

A disszertáció mellékletei az MTA könyvtárában tekinthetők meg.

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE 10

1. ELŐSZÓ 15

2. BEVEZETÉS 18
   2.1 A vizsgált membrános logikai elemtipusok körülhatárolása, azok elvi felépitése 18
   2.2 A membrános logikai elemek és elemrendszerek vizsgálati szempontjainak körülhatárolása 25

3. A DISSZERTÁCIÓ TÉMÁJÁVAL KAPCSOLATOS IRODALOM ÁTTEKINTÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE 29

4. A FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁS 33
   4.1 A Φ halmaz megadásának lehetőségei 36
   4.2 A fajlagos logikai kapacitás definiálása 40
   4.3 Példa a fajlagos logikai kapacitás számitására .. 42

5. A FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁS KÖZELITŐ ÉRTÉKE 46
   5.1 A fajlagos logikai kapacitás közelitő értékének definiálása 46
   5.2 Példa a fajlagos logikai kapacitás közelitő értékének számitására 49
   5.3 A fajlagos logikai kapacitások pontos és közelitő értékeinek azonos változási tendenciáit i=1,2,3 változós esetekre bemutató nagyszámu elemrendszerek kisérleti vizsgálata 50
      5.3.1 A fajlagos logikai kapacitások számitása .. 50
      5.3.2 Eredmények értékelése 61
   5.4 A fajlagos logikai kapacitás pontos és közelitő értékei viszonyának minőségi vizsgálata matematikai módszerekkel 63
      5.4.1 Matematikai analizis 63
      5.4.2 Eredmények értékelése 69

6. AZONOS REFERENCIÁK A FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁSOK SZÁMITÁSÁNÁL 73

7. NÉHÁNY MEGJEGYZÉS A FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁS TULAJDONSÁGAIVAL KAPCSOLATBAN 75

8. A FAJLAGOS LOGIKAI KAPACITÁS GYAKORLATI ALKALMAZÁSA.... 78

8.1 Elemrendszerek módszeres analizise a technikai paraméterek kitüntetett tartományában 78

8.2 Az analizis eredményeinek értékelése, következtetések levonása. A relativ fajlagos logikai kapacitás 89

8.3 A gyakorlatban alkalmazott elemrendszerek összehasonlitása és értékelése 93

8.4 Az analizis eredményeinek értékelése, következtetések levonása 103

9. A MUNKA TOVÁBBI IRÁNYAI 108

IRODALOM 110

Jelen dolgozat az 7.7.P sz. intézeti téma keretében került kidolgozásra

Э н д р е   С Е П

инженер-механик
инженер-специалист по управлению процессами

СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ

СИСТЕМ МЕМБРАННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Работа на соискание звания "dr inż." в ПНР
(звания канд. техн. наук в ВНР)
Выполнена в
Институте Промышленной Автоматики
Варшавского Политехнического Института
и в
Исследовательском Институте
Вычислительной Техники и Автоматизации
Венгерской Академии Наук
в рамках заочной польской аспирантуры

Научный руководитель
Проф. др Генрик Иосиф ЛЕШКЕВИЧ

Варшава, 1975 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ 4

I. ПРЕДИСЛОВИЕ 8

2. ВСТУПЛЕНИЕ II

2.I Определение исследованных типов мембранных логических элементов, их принципиальное устройство . . . II

2.2 Определение точек зрения исследования мембранных логических элементов и систем элементов I8

3. ОБЗОР И ОЦЕНКА ЛИТЕРАТУРЫ, ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ 22

4. СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ 26

4.I Возможность задания множества Φ 29

4.2 Определение специфической логической ёмкости . . . 33

4.3 Пример вычисления специфической логической ёмкости 35

5. ПРИБЛИЖЁННОЕ ЗНАЧЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ 39

5.I Определение приближённого значения специфической логической ёмкости 39

5.2 Пример вычисления приближённого значения специфической логической ёмкости 42

5.3 Экспериментальное исследование большого числа систем элементов для демонстрации одинаковых тенденций изменения точного и приближённого значений специфической логической ёмкости для случаев i =I,2,3 . . . 43

5.3.I Вычисления специфических логических ёмкостей 43

5.3.2 Оценка результатов 54

5.4 Качественное исследование отношения между точным и приближённым значениями специфической логической ёмкости с помощью математических методов 56

5.4.I Математический анализ 56

5.4.2 Оценка результатов 62

6. ТОЖДЕСТВЕННЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ 66

7. НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ В СВЯЗИ СО СВОЙСТВАМИ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ 68

8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ 7I

8.I Методический анализ систем элементов в выделенной области технических параметров 7I

8.2 Оценка результатов анализа, проведение выводов. Относительная специфическая логическая ёмкость . . 82

8.3 Сравнение и оценка систем элементов, применяемых в практике 86

8.4 Оценка результатов анализа, выводы 96

9. ДАЛЬНЕЙШИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ . . . . IOI

ЛИТЕРАТУРА IO3

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

e – число логических элементов, необходимых для реализации любой из f_{ie} функций

f_{ie} – число функций i переменных, реализуемых с помощью e элементов

f_{ik} – число функций i переменных, реализуемых одними элементами типа k, содержащими m_k мембран

$f/e/$ – функция плотности вероятности

i – число независимых логических переменных

i_{max} – максимальное число переменных логических функций, реализованных элементами

k_g – частота события Φ_g, т.е. число появлений логических функций типа φ_g, наблюдённое при реализации большого числа логических систем

m – число мембран элементов

m_j – число мембран элементов типа j исследуемой системы элементов, содержащих наименьшее число мембран

m_k – число мембран элементов типа k исследуемой системы элементов

m_n – число мембран элементов типа n исследуемой системы элементов, содержащих наибольшее число мембран

m' – число экспериментов, число реализованных логических функций

n – параметр биномиального распределения, число экспериментов

p_0 – постоянное давление, определяющее логический уровень 0

p_1 – постоянное давление, определяющее логический уровень I

p_g – вероятность события ϕ_g

p_i – вероятность появления любой логической функции i переменных

p, q – параметры биномиального распределения, вероятности

x – независимая логическая переменная, входной дискретный сигнал

y – логическая функция от переменных x, выходной дискретный сигнал

$a, b, \ldots r, s, \ldots z$ – число элементарных событий, содержащихся в событиях $\phi_1, \phi_2, \ldots \phi_g, \phi_h, \ldots \phi_v$

F_i^{*} – число всех логических функций i переменных, находящихся в множестве ϕ_i^{*}

F_i – число всех логических функций i переменных, находящихся в множестве ϕ_i

M – минимальное количество мембран, необходимое для реализации множества ϕ логических функций

M_i – минимальное число мембран, необходимое для реализации множества ϕ_i логических функций

N – общее число элементарных событий, содержащееся в пространстве событий ϕ

$P/\phi_g/$ – вероятность события ϕ_g

R_{φ_i} – относительная специфическая логическая ёмкость (исчисляемая с помощью приближённого значения специфической логической ёмкости)

S – специфическая логическая ёмкость

s_i – специфическая логическая ёмкость, справедлива до числа переменных i

s_{φ_i} – приближённое значение специфической логической ёмкости, справедливой до числа переменных i

s_{ϕ_i} – точное значение специфической логической ёмкости, справедливой до числа переменных i, которое значение равно s_i

$s_{\varphi_i Alp}$ – приближённое значение пассивной специфической логической ёмкости наилучшего варианта AI

ε – функция ошибки

ξ – случайная величина

φ – логическая функция от переменных x

φ_g – один из типов логических функций

φ_{ig} – один из типов логических функций i переменных

ϕ – множество логических функций, множество множеств равных друг другу логических функций типа ϕ_g

ϕ_g – множество равных друг другу логических функций типа φ_g, событие

ϕ_i^* – множество всех логических функций i переменных

ϕ_i^{**} – множество функций тождественной 0, тождественной I и повторений сигнала, в системе функций i переменных

ϕ_i – множество всех логических функций i переменных, исключая логические функции, находящиеся в множестве ϕ_i^{**}

ϕ_{ig}^* – одноэлементное множество, содержащее логическую функцию i переменных типа φ_{ig}, находящуюся в множестве ϕ_i^*

ϕ_{ig} – одноэлементное множество, содержащее логическую функцию i переменных типа φ_{ig}, находящуюся в множестве Φ_i

Индексы

a – обозначает функции, относящиеся к активному режиму

p – обозначает функции, относящиеся к пассивному режиму

pa – обозначает функции, относящиеся к полуактивному режиму

pp – обозначает функции, относящиеся к полупассивному режиму

$1, \ldots i$ – отличают друг от друга независимые логические переменные, также обозначают величины, относящиеся к функциям i переменных

$1, \ldots g, h, \ldots v$
$1, \ldots g, h, \ldots F_i^m$
$1, \ldots g, h, \ldots F_i$ – обозначают различные типы логических функций, также величины, относящиеся к этим типам логических функций

$1, \ldots a,$
$1, \ldots b,$
$\vdots$
$1, \ldots r,$
$1, \ldots s,$
$\vdots$
$1, \ldots z$ – обозначают элементы множества равных друг другу логических функций

$j, \ldots k, \ldots n$ – обозначают логические элементы, числа мембран которых $m_j, \ldots m_k, \ldots m_n$, также величины, относящиеся к этим элементам

$1, \ldots e, \ldots e_{max}$ – обозначают величины, относящиеся к числу логических элементов, необходимых для реализации любой из $f_{i1}, \ldots f_{ie}, \ldots f_{ie_{max}}$ логических функций

U, V, UV – обозначают величины, относящиеся к системам элементов, содержащим элементы типа U, V, U и V.

I. П Р Е Д И С Л О В И Е

Развитие пневматической техники управления за последние I5 лет может быть охарактеризовано как победное распространение дискретных (логических) элементов и систем. Под влиянием более растущих потребностей промышленности для исследования в области пневматических логических элементов и для производства были сосредоточены большие силы во всём мире.

Распространение пневматических логических элементов обосновано их выгодными эксплуатационными свойствами, давно известными и открытыми в аналоговой пневматической технике. Их распространению способствует также возможность дешёвого массового производства.

Разработанные элементы могут быть с подвижными частями и без подвижных частей.

Мы не хотим здесь пускаться в рассуждения о будущем струйной техники, но хотим отметить, что судя по научной литературе, по опыту конференций, научных поездок и т. д. развитие струйной техники не является гладкими. Это проявляется и в том противоречии, что проведённой в этой области большой исследовательской работе не соответствует пропорционально применение полученных результатов в промышленности. Несколько лет назад элементы, не содержащие подвижных частей, казались очень перспективными, но факты свидетельствуют, что в первую очередь по причинам, диктуемым системной техникой, преимущество и сегодня отдаётся обычно элементам с подвижными частями.

На примере известных элементов с подвижными частями можно видеть, что между диапазоном сигнала и конструкцией элементов имеется зависимость целесообразности. В то время, как элементы низкого и среднего давления (/0-0,I ати/ и /0-I,4 ати/) являются обычно мембранными, в элементах высокого давления /0-10 ати/ переключения выполняются шариками или золотниками.

Практика показывает также, что для обработки сравнительно большого количества информации целесообразно использовать мембранные элементы, работающие на среднем давлении. Не случайно, что за прошедшие полтора десятилетия мембранные системы стремительно развивались и сейчас могут считаться традиционными. Почти в каждой промышленно развитой стране, так и в большинстве социалистических стран, были разработаны свои мембранные системы. Право на существование систем мембранных логических элементов подтверждается системами МЕРАЛОГ в ПНР, УСЭППА и ПЭРА в СССР, ДРЕЛОБА в ГДР, ПНЕУЛОГ в ЧССР и ТРИМЕЛОГ в ВНР. Можно продолжать примеры со всех концов мира. Развитие систем не завершилось и до сих пор, и не завершится до тех пор, пока в промышленности требуется их применение.

Этими фактами руководствовались мы, направляя наше внимание на мембранные системы элементов, соответственно чему в дальнейшем будет идти речь только о них. Но это не означает, что выводы, сделанные по ходу работы, и полученные результаты не могут быть обобщены, в случае надобности, на шариковые или на золотниковые элементы.

Ввиду вышесказанного, своевременными является сравнение и оценка дискретных мембранных элементов и систем элементов как с точки зрения дальнейшего исследования, так и с точки зрения их использования.

В рамках настоящей диссертации разработан такой критерий оценки, который характеризует ожидаемое число мембран логических систем, реализованных на отдельных мембранных системах элементов. Следует отметить, что мы занимаемся только той частью систем элементов, которая предназначена для обработки логической информации, и не занимаемся периферийными элементами. Поэтому в дальнейшем под названием система элементов мы всегда будем подразумевать некоторый определённый выбор логических элементов.

Работа была выполнена в рамках заочной аспирантуры частично в Институте Промышленной Автоматики Варшавского Политехнического Института, частично в Институте Вычислительной Техники и Автоматизации Венгерской Академии Наук. Выражаю благодарность тем польским и венгерским государственным органам, которые предоставили мне такую возможность.

И здесь мне хотелось бы выразить мою глубокую благодарность господину профессору доктору Генрику Иосифу Лешкевичу - директору Института Промышленной Автоматики Варшавского Политехнического Института, научному руководителю моей аспирантуры - за ту многостороннюю и неоценимую помощь, которую я получил по ходу моей работы.

Большую благодарность заслуживает кандидат технических наук Ласло Гельм, который в качестве моего непосредственного начальника всегда с готовностью обеспечивал условия для выполнения той части работы, которая проводилась в нашем институте, и помогал полезными советами. Активную помощь оказали также: сотрудница Предприятия Планирования Газонефтяной Промышленности Мария Ужоки, электроинженер - в кропотливой работе по программированию, а также научные сотрудники нашего института Дьордь Мусели, математик, Габор Шаш, электроинженер - в обсуждении отдельных подробностей, и Валентина Галло, физик - в редактировании русского текста.

Здесь мне хочется вспомнить и о моих польских коллегах и друзьях, которые во время моих частых поездок в Польшу бескорыстно спешили мне на помощь в решении повседневных забот и обогатили меня сверх непосредственной цели моей аспирантуры незабываемыми воспоминаниями дружбы.

2. В С Т У П Л Е Н И Е

2.I Определение исследованных типов мембранных логических элементов, их принципиальное устройство

Известно много типов мембранных логических элементов. В рамках этой работы мы занимались только системами, построенными из наиболее часто встречающихся типов мембранных элементов. Эти типы элементов мы отметили прерывистой линией в классификации пневматических логических элементов по В.И. Левину /55/ (рис. I).

В устройстве и принципе действия наиболее часто используемых типов мембранных логических элементов имеется много общих характерных черт. Такой логический элемент есть ничто иное, как управляемый некоторым мембранным узлом двухпозиционный, двухходовой клапан (пневматическая пара контактов), который в зависимости от равнодействующей сил, действующих на мембранный узел, т.е. логических состояний входных сигналов $x_I, x_2, \dots x_{i-2}, x_{i-I}, x_i$ - связывает выход "у" или с x_{i-I} или с x_i (рис. 2а). Тогда в пассивном режиме (р) элемент реализует логическую функцию i переменных

$$y=\varphi_{ip}(x_I, x_2, \dots x_{i-2}, x_{i-I}, x_i) \tag{I}$$

Имеется возможность использования элемента для реализации логческой функции меньшего числа переменных, пологая независимые переменные равными 0 или I, или равными друг другу.

Если вместо переменной x_{i-I} или x_i включаем постоянное давление p_0, определяющее логический уровень 0 (рис. 2б) или давление p_I, определяющее логический уровень I (рис. 2в), то элемент работает в полупассивном (pp) или в полуактивном (pa) режиме.

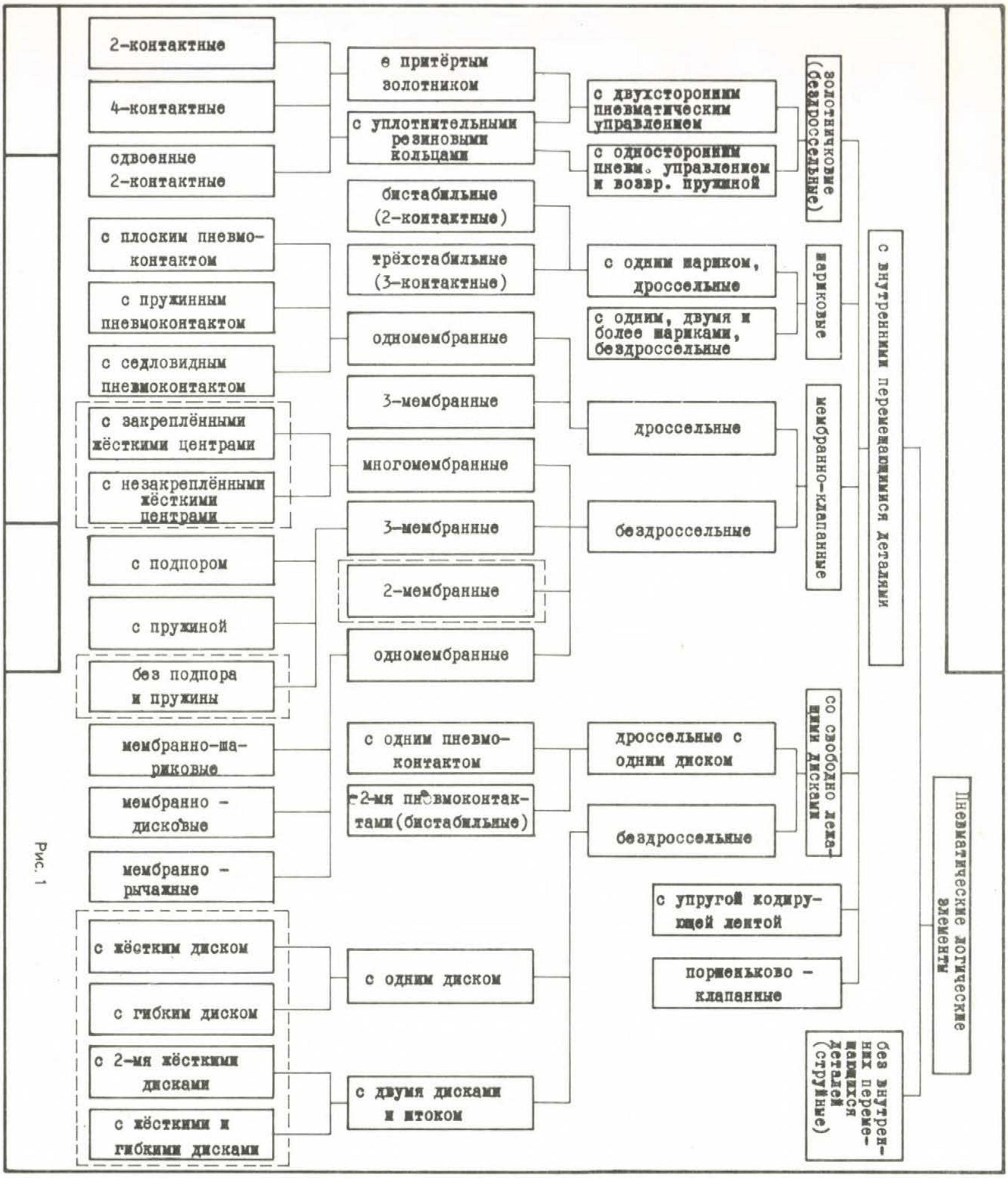
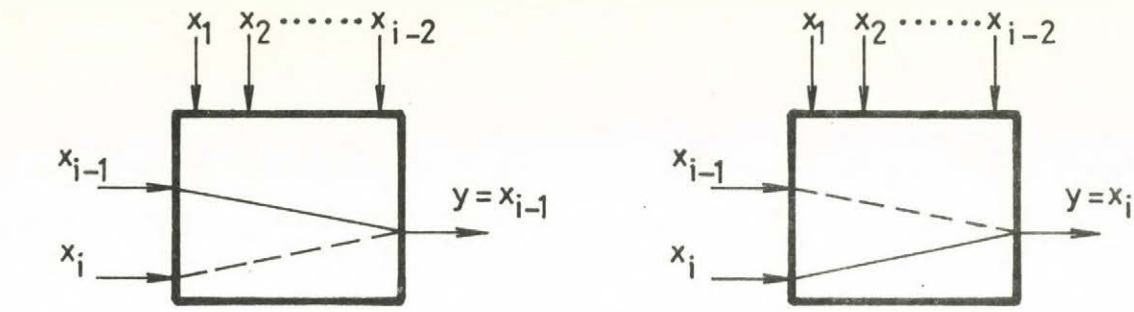
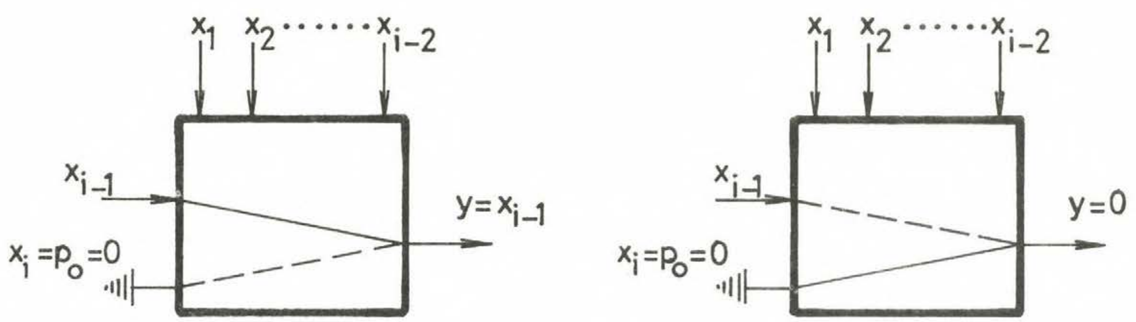

2-контактные
4-контактные
сдвоенные 2-контактные
с плоским пневмоконтактом
с пружинным пневмоконтактом
с седловидным пневмоконтактом
с закреплёнными жёсткими центрами
с незакреплёнными жёсткими центрами
с подпором
с пружиной
без подпора и пружины
мембранно-шариковые
мембранно - дисковые
мембранно - рычажные
с жёстким диском
с гибким диском
с 2-мя жёсткими дисками
с жёсткими и гибкими дисками
с притёртым золотником
с уплотнительными резиновыми кольцами
бистабильные (2-контактные)
трёхстабильные (3-контактные)
одномембранные
3-мембранные
многомембранные
3-мембранные
2-мембранные
одномембранные
с одним пневмоконтактом
с 2-мя пневмоконтактами (бистабильные)
с одним диском
с двумя дисками и штоком
с двухсторонним пневматическим управлением
с односторонним пневм. управлением и возвр. пружиной
с одним шариком, дроссельные
с одним, двумя и более шариками, бездроссельные
дроссельные
бездроссельные
дроссельные с одним диском
бездроссельные
с упругой кодирующей лентой
поршеньково - клапанные
золотничковые (бездроссельные)
шариковые
мембранно-клапанные
со свободно лежащими дисками
с внутренними перемещающимися деталями
без внутренних перемещающихся деталей (струйные)
Пневматические логические элементы

Рис. 1



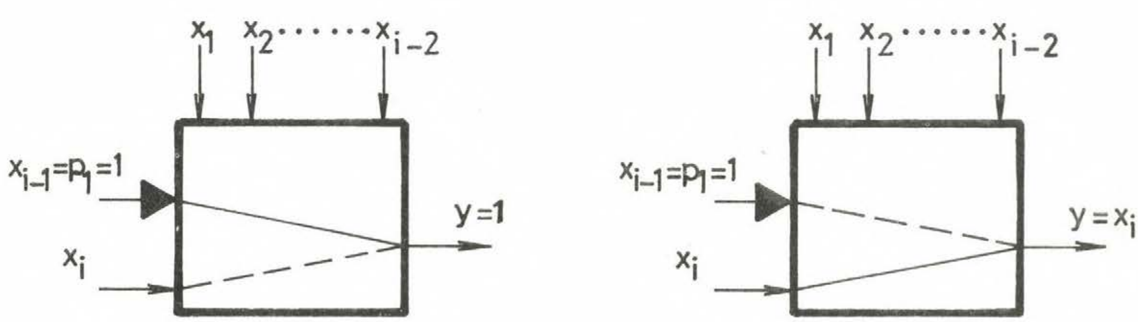
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
x_{i-1}
x_i
$y = x_{i-1}$
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
x_{i-1}
x_i
$y = x_i$

а)



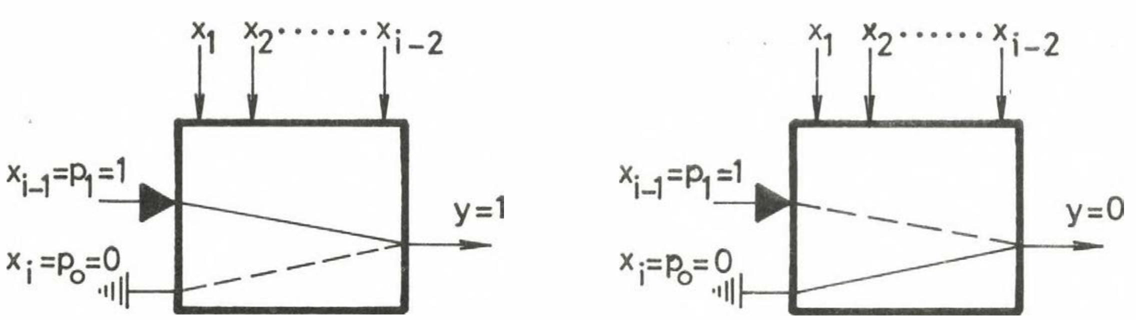
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
x_{i-1}
$x_i = p_o = 0$
$y = x_{i-1}$
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
x_{i-1}
$x_i = p_o = 0$
$y = 0$

б)



x_1 x_2 ...... x_{i-2}
$x_{i-1} = p_1 = 1$
x_i
$y = 1$
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
$x_{i-1} = p_1 = 1$
x_i
$y = x_i$

в)



x_1 x_2 ...... x_{i-2}
$x_{i-1} = p_1 = 1$
$x_i = p_o = 0$
$y = 1$
x_1 x_2 ...... x_{i-2}
$x_{i-1} = p_1 = 1$
$x_i = p_o = 0$
$y = 0$

г)

Рис. 2

В одном случае элемент реализует логическую функцию i-I переменных

$$y=\varphi_{(i-I)pp}(x_I, x_2, \dots x_{i-2}, x_{i-I}) \quad (2)$$

а в другом

$$y=\varphi_{(i-I)pa}(x_I, x_2, \dots x_{i-2}, x_i) \quad (3)$$

Если одну из переменных x_{i-I} и x_i заместим логическим уровнем $p_0=0$, а другую $p_I=I$ (рис. 2г), тогда элемент в активном (а) режиме реализует логическую функцию i-2 переменных

$$y=\varphi_{(i-2)a}(x_I, x_2, \dots x_{i-2}) \quad (4)$$

Очевидно, два возможных состояния двухходового клапана однозначно определяет два состояния элементов, работающих с двоичными сигналами.

Согласно вышесказанному общие случаи взаимного расположения мембранного узла и двухпозиционного двухходового клапана показаны на рис. 3 и 4.

Согласно принципу устройства элементов, сопла могут смотреть друг на друга (рис. 3) или же друг от друга (рис. 4). Управляющие мембраны могут распологаться как между соплами, так и вне их. Для открытия и закрытия сопел обычно используются жёсткие центры мембран, находящихся около сопел. Механическая связь между штоками, передающими возникающие на мембранах силы, способна передавать растяжение и сжатие (рис. 5а), или только сжатие (рис. 5б), или только растяжение (рис. 5в). (Эти механические связи на рис. 3 и 4 одинаково обозначены кружками.) Для того, чтобы двухпозиционный клапан работал как двухходовой клапан (для образования выходного сигнала), следует соединить согласно одному из нарисованных вариантов по одной, разделённой друг от друга мембраной

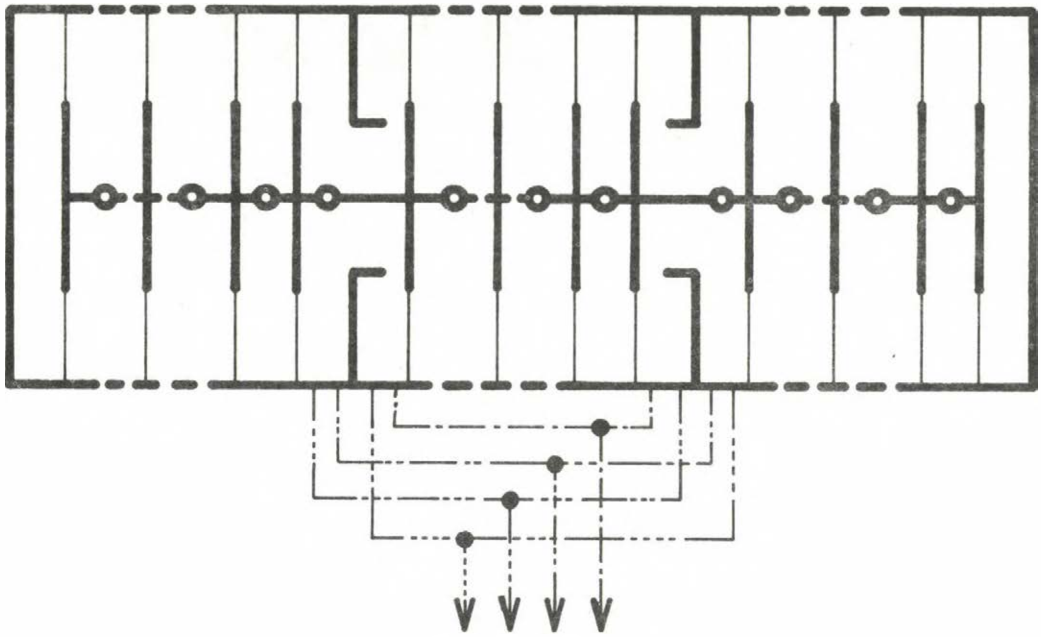


Рис. 3

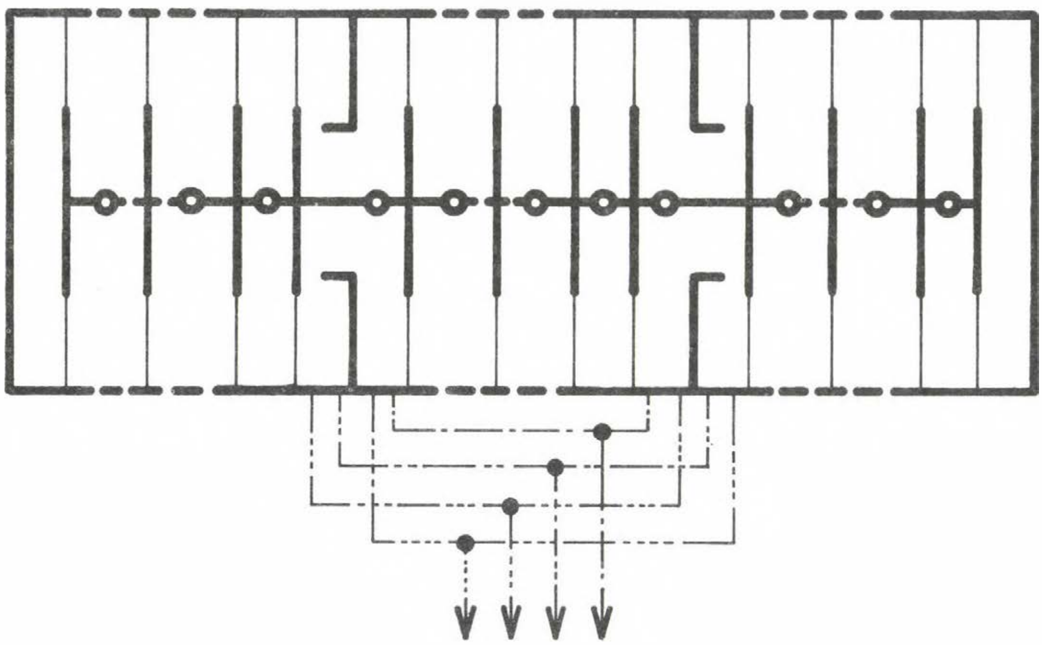
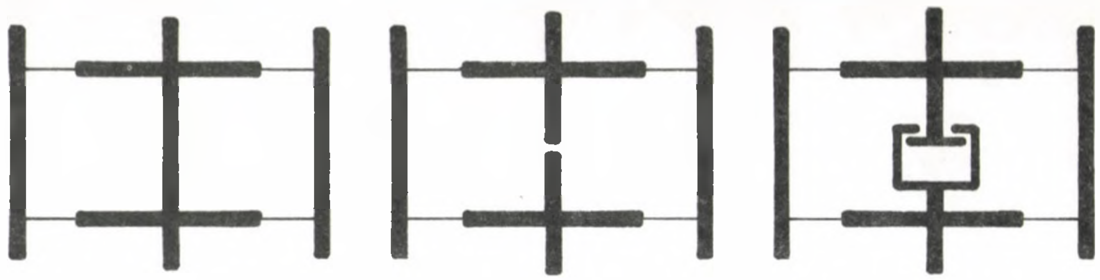
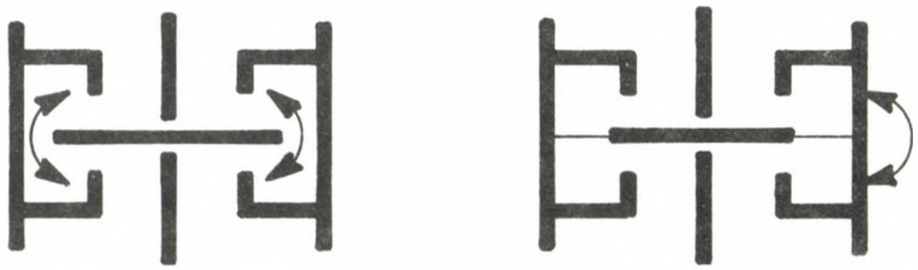


Рис. 4



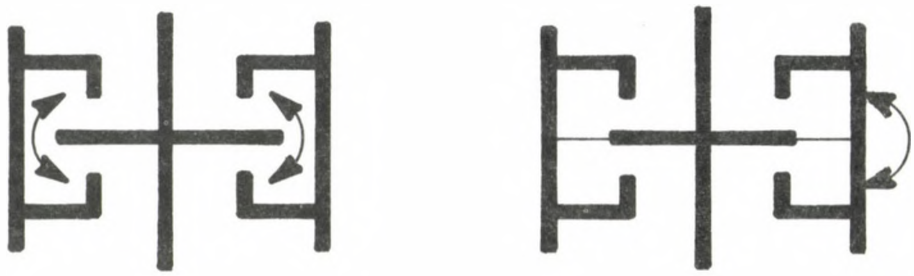
а) б) в)

Рис. 5



а) б)

Рис. 6



а) б)

Рис. 7

камере при соплах. Остальные камеры могут применяться для введения входных сигналов x_I, x_2, ... x_{i-I}, x_i. Существенные различия между элементами, действующими согласно показанной здесь схеме, и логические функции, реализуемые элементами, зависят от следующих факторов:

I/ От взаимного расположения мембран и управляемых ими сопел;

2/ от числа мембран;

3/ от механической связи штоков, передающих силы, возникающие на мембранах;

4/ от способа образования выходного сигнала, т.е. от способа соединения разделённых друг от друга мембраной камер при соплах;

5/ от соотношения эффективной площади мембран и сопел.

Можно было бы длинно анализировать, какая связь имеется между вышеперечисленными факторами и логическими функциями, реализуемыми элементами. Здесь мы подчеркнём только две существенные зависимости.

Одна из них касается механической связи между передающими силы штоками. Связь, применимая только для передачи усилия сжатия (рис. 5б), осуществляет между сигналами, введёнными в соседние камеры, зависимость логического ИЛИ, а связь, передающая только растяжение (рис. 5в), осуществляет зависимость логического И. (В случае связи, применимой только для передачи сжатия, жёсткий центр мембран не всегда прикрепляется к мембранам.) Связь, применимая для передачи как усилия сжатия, так и усилия растяжения (рис. 5а), имеет смысл, естественно, только в случае различных эффективных площадей.

Согласно другой зависимости, максимальное число переменных функций, реализуемых элементами, находится в тесной зависимости от числа камер, пригодных для введения входного сигнала, а число камер зависит от числа мембран.

Поскольку при определении исследованных типов элементов мы отметили на рис. I и несколько типов так называемых элементов со свободными мембранами, мы сделаем некоторые замечания по поводу понятия мембраны. Эти замечания касаются в первую очередь мембран, используемых для закрывания сопел.

Для закрывания сопел может применятся простая свободная мембрана (мембрана, не закреплённая вдоль периметра, или свободно двигающийся диск), которая может быть изготовлена из гибкого или жесткого материала (рис. 6а). В качестве органа, закрывающего сопло, может действовать жёстко связанный со штоком диск (рис. 7а). Можно видеть, что с помощью мембран, показанных на рис. 3 и рис. 4, можно осуществить такие схемы (рис. 6б и 7б), которые равносильны схемам, показанным на рис. 6а и рис. 7а, с точки зрения их логических функций. Их равнозначную роль можно понять и таким образом, что решения согласно рис. 6а и рис.7а означают, что внутри элемента заведомо имеется короткое замыкание, то в схемах рис. 6б и рис. 7б нужно отдельно позаботиться о соединении камер, находящихся по сторонам мембраны.

Обобщая понятие мембраны согласно вышесказанному, мы далее схемы рис. 6а и 7а будем называть мембранами.

2.2 Определение точек зрения исследования мембранных логических элементов и систем элементов

Не известно точно, что при разработке различных систем элементов, какие требования были рассмотрены и какие из них были приняты во внимание. Анализ возможных технических и экономических точек зрения было бы слишком длинно, поэтому мы не рассматриваем их здесь. Системы элементов и, соответственно, построенные из них логические системы могут являться оптимальными с различных точек зрения. При этом не обязательно, что возможные или желаемые оптимумы могут быть реализованы одновременно. Техническое творение всегда является результатом компромиссов. Тот факт, что при разработке известных систем элементов были приняты во внимание самые различные точки зрения, проявляется в различном выборе типов элементов системы элементов. В разработках наверняка большую роль сыграла и инженерская интуиция.

Стремление к простоте является очень существенным моментом в современной технике. А простота находится в тесной зависимости от числа деталей, числа составных элементов. Простота систем, построенных из мембранных элементов, определяется в первую очередь числом мембран, двухпозиционных клапанов и передающих силы штоков, играющих активную роль в обработке информации. Из сказанного в главе 2.I очевидно, что число двухпозиционных клапанов в элементе фиксировано, а число штоков и количество остальных деталей (а также масса некоторых из них) приблизительно пропорционально числу мембран. Т.е. можно утверждать, что простота мембранных элементов и построенных из них систем может быть охарактеризована, прежде всего числом мембран. Наш критерий оценки мы основываем на этом утверждении. (Этим мы, естественно, не хотим утверждать, что, например, число элементов, равное числу пневматических пар контактов, не может характеризовать простоту системы.) Поразмыслим только, как много важных свойств систем связано с числом мембран. Таковы например: статические и динамические свойства, геометрические размеры, надёжность, различные экономические эффекты и т.д.

Итак, целью является то, чтобы реализовать логические системы при как можно меньшем числе мембран.

Если задана конкретная задача управления, решить которую надо с помощью мембранной системы элементов, тогда число используемых мембран зависит от:

а/ выбора алгоритма управления;

б/ выбора элементов системы элементов, реализующей выбранный алгоритм управления.

Поскольку нашей целью является исследование систем элементов, то далее мы занимаемся числом мембран только в аспекте пункта б/.

Очевидно, что достижение минимального числа мембран возможно только тогда, что выбор элементов систем элементов, используемых для реализации системы, настолько велик, что для реализации каждой логической функции алгоритма имеется специальный тип элементов. В практике, однако, никогда не существует такой широкий выбор элементов.

В практике выбор может опираться на один или несколько выбранных по каким-либо соображениям типов элементов. При таких системах элементов в общем случае недостижимо минимальное число мембран, взятое в абсолютном смысле. Можно говорить только об относительном минимуме числа мембран, или же о том, что при использовании некоторой системы элементов можно реализовать данные системы использованием меньшего числа мембран, чем при использовании некоторой другой. Таким образом, не безразлично, каким выбором элементов располагает система элементов.

В заключение сделаем ещё одно замечание.

С помощью пневматических логических элементов обычно реализуют или комбинационные схемы, или асинхронные автоматы. Поскольку асинхронные автоматы являются комбинационными схемами с обратной связью, то они могут быть осуществлены использованием элементов, реализующих различные булевые функции. Элементы обычно представляют простые комбинационные основные схемы. Иногда, благодаря внутренним обратным связям, простые элементы могут реализовать и основные запоминающие элементы. Ради удобства сравнения, в рамках этой работы не принимаются во внимание функции, описывающие запоминающий элемент. Вследствие этого мы должны учитывать, что для систем элементов, содержащих такие элементы, оценка является довольно заниженной.

3. ОБЗОР И ОЦЕНКА ЛИТЕРАТУРЫ, ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Интересные для нас публикации свидетельствуют, что всё больше и больше внимания обращается со стороны специалистов, работающих в этой области, на сравнение пневматических логических элементов и систем элементов, на разработку критерия их оценки.

Объём проработанной литературы невелик, что связано с тем, что число публикаций, непосредственно связанных с темой диссертации также невелико. В обзоре литературы, помимо моих личных исследований, большую помощь оказало исследование литературы, выполненное по поручению нашего института сотрудниками Государственной Технической Библиотки и Документационного Центра Венгрии.

В последние годы появилось много публикаций, в которых наиболее часто используемые системы классифицируются на основе различных технических и экономических характеристик (принципиальное устройство, диапазон давления, статистические и динамические характеристики, объём элемента, надёжность, цена и т.д.), обычно в форме таблиц. Такие публикации имеются как в области систем с подвижными частями, так и в области систем без подвижных частей и систем-гибридов /2, 7, I4, 2I, 28, 42, 55/.

Перечисление и суммирование технических данных не означает, естественно, оценки, но тем не менее даёт возможность сравнения для критического читателя. Из перечисленных публикаций следует особо отметить две публикации.

Так, в /I4/ уже преодолевается перечисление данных без критики и проводится сравнение и классификация наиболее известных типов элементов с подвижными частями по их времени переключения, объёму и расходу воздуха. В /55/ даётся очень подробный сравнительный анализ для элементов с подвижными частями. Но не смотря на это ни в одной публикации не предлагаются объективные критерии оценки.

В публикациях /I2, I9, 2I/ профессор Фасол К.Г. и его сотрудники вводят понятие логической ёмкости. Согласно ему логическая ёмкость - это совокупность реализуемых элементом логических функций от максимально возможного числа переменных до одной переменной. Эта логическая ёмкость, естественно, характерна для обстоятельств реализации различных логических систем, но в данной форме не пригодна для простых сопоставлений. Именно поэтому был разработан метод и для численных сопоставлений, в котором за основу сопоставления берётся, сколькими элементами может быть реализовано десять основных функций двух переменных ($x_I x_2$, $\overline{x_I x_2}$, $x_I + x_2$, $\overline{x_I + x_2}$, $\bar{x}_I x_2$, $\bar{x}_I + x_2$, $x_I x_2 + \bar{x}_I \bar{x}_2$, $x_I \bar{x}_2 + \bar{x}_I x_2$, x, $\bar{x}$).

Это множество исследуемых функций ограничивалось множеством, образованным из функций двух переменных, что означает необоснованное сужение области исследования. Кроме того в этом методе исследования не было учтено различие между функциями, поскольку все функции брались с одинаковым весом. Можно спорить и с тем подходом, что первостепенное значение придаётся числу элементов. Хотя сложность реализованной системы зависит и от числа элементов, но это не является наиболее характерным. Принципиально говоря, и очень сложная система может быть реализована с помощью одного—единственного, но конечно очень сложного специального элемента.

Когда в Исследовательском Институте Автоматизации Венгерской Академии Наук мы занимались разработкой системы ТРИМЕЛОГ, то по моей инициативе Шаш Г. занимался сопоставлением трёхмембранных элементов системы ТРИМЕЛОГ и двухмембранных элементов системы ДРЕЛОБА /30/. Основой сравнения служило число элементов, необходимое для осуществления всех логических функций трёх переменных. Из логических функций, реализуемых исследуемыми элементами, были взяты во внимание функции максимального числа переменных, реализуемые в полупассивном режиме, и получаемые из них функции меньшего числа переменных. Вычисления, принимая во внимание их большой объём были сделаны на ЭВМ МИНСК-22.

Мы уже высказали наше мнение о числе элементов. Другим недостатком работы является то, что множество исследуемых функций было ограничено множеством функций трёх переменных. Кроме того автор работы отправлялся от функций, реализуемых в полупассивном режиме, оставляя вне рассмотрения получаемые из других режимов функции, которые также могут быть использованы в практике. Бесспорной заслугой работы является то, что принятием во внимание всех функций трёх переменных были, собственно говоря, взвешены функции различного типа.

Опять же в вышеупомянутом институте продолжались работы по выработке комплексного критерия оценки элементов струйной техники /6/. В рамках этой работы был разработан критерий сравнения, названный критерием "хорошести", в котором учитывалось число выходов элементов, расход, время переключения. Хотя эта работа и не относится к области элементов с подвижными частями, мы отмечаем её как попытку поиска критериев сравнения.

Признавая необходимость поиска критериев оценки, я и сам занимался этой темой ещё до начала моей работы над диссертацией /38/. В связи с моей предыдущей работой я и сейчас как её положительную сторону оцениваю своевременную и независимую постановку проблемы, выбор числа мембран за основу сравнения, и разработку некоторых условий сравнения. Недостатком надо считать то, что конкретно сформулированные критерии оценки, с точки зрения сегодняшних знаний, довольно грубо отражали действительность. На объединённом семинаре по пневматической автоматике, устроенном Институтом Проблем Управления АН СССР и Исследовательским Институтом Автоматизации ВАН и проводившимся в Москве, я выступил с докладом на данную тему. В ходе обсуждения моего выступления была поддержана актуальность проблемы и были высказаны полезные советы для дальнейшей работы.

В Институте Проблем Управления АН СССР профессор Таль А.А. и его сотрудники занимались сравнением систем УСЭППА, ТРИМЕЛОГ, ДРЕЛОБА, ПЭРА, СМРТ /51/. В качестве основы сравнения была выбрана реализация произвольно выбранной, небольшой системы (один разряд двоичного сумматора) и было исследовано в случае каждой системы элементов, что сколько мембран, сколько пневматических контактов необходимо для реализации и какую площадь занимают элементы на монтажной плате. Одним из недостатков этого метода является малость системы, выбранной для сравнения, так что на основе результатов невозможно сделать общие выводы. Авторы даже указывают на это. Публикация была предназначена, в первую очередь, для сравнения системы СМРТ с другими системами. Но такое сопоставление не может привести к однозначному результату, поскольку СМРТ является струйно-мембранной (гибридной) системой, а другие чисто мембранными. Правильной является учитывание числа мембран, но важность размера элементов при сравнении не однозначна. При хорошей конструкции элемент большего размера может быть лучшим, например, с точки зрения расхода воздуха.

Для упомянутых публикаций характерно отсутствие общих выводов, приемлемых условий сравнения и методического анализа.

4. СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ

По находящимся в главе 2.2 соображениям достижение минимального числа мембран является желаемым оптимумом. Таким образом необходимо, чтобы с точки зрения этого оптимума мы могли выбрать ту или иную систему элементов хотя бы на основе качественных показателей. Соответственно этому, с целью общих качественных рассуждений и выводов, сравнения уже известных систем элементов, их оценки и исследования возможностей выгодных переработок (расширение или сужение выбора элементов), а также с целью разработки новых, рациональных систем элементов будет сформулирована в рамках настоящей работы так называемая специфическая логическая ёмкость, для обозначения которой будет использоваться буква S.

Исследования с помощью специфической логической ёмкости имеют смысл, естественно, только в случае функционально полных систем логических элементов. Функционально полная система элементов означает, что с помощью логических функций, реализуемых элементами систем элементов, может быть составлена любая логическая функция.

Соответственно поставленной задаче, ищем такую функцию

$$S = S(\phi, M) \qquad (5)$$

в которой

S - искомая функция, логическая ёмкость, относящаяся к числу мембран, так называемая специфическая логическая ёмкость, значение которой характерно для системы элементов с точки зрения синтеза системы, минимизированного по числу мембран,

ϕ - такое множество логических функций, реализация которого любой системой элементов характерна для реализации многих встречающихся в практике логических функций с помощью той же самой системы элементов,

M - минимальное количество мембран, необходимое для реализации множества ϕ логических функций.

Пусть

$$\phi = \{\varphi_{11}, \varphi_{12}, \dots \varphi_{1a}, \varphi_{21}, \varphi_{22}, \dots \varphi_{2b}, \dots \varphi_{g1}, \varphi_{g2}, \dots \varphi_{gr}, \varphi_{h1}, \varphi_{h2}, \dots \varphi_{hs}, \dots \varphi_{v1}, \varphi_{v2}, \dots \varphi_{vz}\} \tag{6}$$

является множеством, где, например, элементы $\varphi_{g1}, \varphi_{g2}, \dots \varphi_{gr}$ обозначают равные друг другу (одного типа) логические функции, число которых r, и

$$\phi_1 = \{\varphi_{11}, \varphi_{12}, \dots \varphi_{1a}\}, \quad \phi_2 = \{\varphi_{21}, \varphi_{22}, \dots \varphi_{2b}\}, \dots\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots \phi_g = \{\varphi_{g1}, \varphi_{g2}, \dots \varphi_{gr}\}, \quad \phi_h = \{\varphi_{h1}, \varphi_{h2}, \dots \varphi_{hs}\}, \dots\dots$$

$$\dots\dots \phi_v = \{\varphi_{v1}, \varphi_{v2}, \dots \varphi_{vz}\} \tag{7}$$

является полной группой событий, т.е.

$$\phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_g + \phi_h + \dots + \phi_v = \Phi \qquad (8)$$

$$\phi_g \phi_h = \phi \quad , \quad \text{если} \quad g \neq h \qquad (9)$$

Если

$$P(\phi_1) = \frac{a}{N} = p_1 \ , \ P(\phi_2) = \frac{b}{N} = p_2 \ , \ \dots$$

$$\dots \ P(\phi_g) = \frac{r}{N} = p_g \ , \ P(\phi_h) = \frac{s}{N} = p_h \ , \ \dots$$

$$\dots \ P(\phi_v) = \frac{z}{N} = p_v \qquad (10)$$

где: $a, b, \dots r, s, \dots z$ – число элементарных событий, содержащихся в событиях $\phi_1, \phi_2, \dots \dots \phi_g, \phi_h, \dots \phi_v$,

$a+b+ \dots +r+s+\dots+z=N$ – общее число элементарных событий, содержащееся в пространстве событий Φ,

множество Φ удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, если большое число экспериментов, выполненное по ходу большого числа реализаций встречающихся в практике логических систем, доказывает, что относительные частоты

$$\frac{k_1}{m'} , \frac{k_2}{m'} , \dots \frac{k_g}{m'} , \frac{k_h}{m'} , \dots \frac{k_v}{m'}$$

сходятся, соответственно, к значениям

$$p_1 , p_2 , \dots p_g , p_h , \dots p_v$$

т.е.

$$\lim_{m' \to \infty} \frac{k_1}{m'} = p_1 , \lim_{m' \to \infty} \frac{k_2}{m'} = p_2 , \dots \lim_{m' \to \infty} \frac{k_g}{m'} = p_g ,$$

$$\lim_{m' \to \infty} \frac{k_h}{m'} = p_h , \dots \lim_{m' \to \infty} \frac{k_v}{m'} = p_v \qquad (11)$$

где:

$k_1, k_2, \ldots k_g, k_h, \ldots k_v$ – частота событий $\phi_1, \phi_2, \ldots \phi_g, \phi_h, \ldots \phi_v$ т.е. число появлений логических функций типов $\varphi_1, \varphi_2, \ldots \varphi_g, \varphi_h, \ldots \varphi_v$, наблюдённое при реализации большого числа логических систем,

m' – число экспериментов, число реализованных логических функций.

4.I Возможность задания множества Φ

Существует несколько способов задания множества Φ :

I/ Тривиальной кажется возможность выбрать на основании каких-либо соображений из большого числа уже реализованных логических систем некоторые представительные системы, и множество всех имеющихся в них логических функций примем за искомое множество Φ .

При таком способе определения Φ, возникают две противоречивые проблемы. Чем меньше логических функций содержится в совокупности представительных систем, тем менее удовлетворяет множество Φ требованию (II). Но чем больше число выбранных представительных систем и, соответственно, число логических функций, тем более громоздкой является реализация множества Φ .

2/ Одним из вариантов выбора множества Φ согласно пункту I/ является такой вариант, когда для уже реализованных в практике логических систем определим, какого типа логические функции встречаются в них и с какой частостью. Таким образом мы, собственно говоря, определяем относительные частости $k_1/m', k_2/m', \ldots k_g/m', k_h/m', \ldots k_v/m'$, т.е. приближённые значения вероятностей $P(\phi_1), P(\phi_2), \ldots P(\phi_g), P(\phi_h), \ldots P(\phi_v)$, знание которых позволяет составить множество Φ, удовлетворяющее условию (II).

Противоречивость этого метода аналогична предыдущему случаю. Если m' мало, то легко проводить анализ, но значения $P(\Phi_1)$, $P(\Phi_2)$, ... $P(\Phi_g)$, $P(\Phi_h)$, ... $P(\Phi_v)$ будут оценены с большой ошибкой. Если m' велико, то вероятности будут оценены точно, но анализ выполняется трудно.

3/ Хотя для составления множества Φ может быть применён любой из способов, предложенных в пунктах I/ и 2/, всё же целесообразным является опираться на некоторые другие соображения, принимая во внимание предпосылки темы.

Обопрёмся на гипотезу, согласно которой в практике логические функции одинакового числа переменных встречаются с равной вероятностью. Простейшим множеством логических функций, применяемым в функции S, справедливым на системы i переменных, и определяемым согласно гипотезе о равномерном распределении вероятностей, а также удовлетворяющим условию (II) является следующее:

$$\Phi_i^* = \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \dots \varphi_{ig}, \varphi_{ih}, \dots \varphi_{iF_i^*}\} \qquad (I2)$$

где

$$F_i^* = 2^{2^i} \qquad (I3)$$

- число всех логических функций i переменных.

Среди элементов множества любая функция i переменных фигурирует один и только один раз.

Пусть далее

$\Phi_{i1}^* = \{\varphi_{i1}\}$, $\Phi_{i2}^* = \{\varphi_{i2}\}$, ... $\Phi_{ig}^* = \{\varphi_{ig}\}$,

$$\Phi^*_{ih} = \{\varphi_{ih}\}, \;\ldots\ldots\ldots\; \Phi^*_{iF^*_i} = \{\varphi_{iF^*_i}\} \qquad (I4)$$

являются одноэлементными подмножествами, образующими полную группу событий, и согласно нашей гипотезе является справедливым

$$P(\Phi^*_{i1}) = P(\Phi^*_{i2}) = \ldots\ldots\ldots = P(\Phi^*_{ig}) =$$

$$= P(\Phi^*_{ih}) = \ldots\ldots\ldots = P(\Phi^*_{iF^*_i}) = \frac{1}{F^*_i} \qquad (I5)$$

Согласно нашей модели, при реализации различных логических функций берутся образцы с возвратом из этого статистического множества, т.е. для относительных частот является справедливым

$$\lim_{m'\to\infty}\frac{k_{i1}}{m'} = \lim_{m'\to\infty}\frac{k_{i2}}{m'} = \ldots\ldots\ldots \lim_{m'\to\infty}\frac{k_{ig}}{m'} =$$

$$= \lim_{m'\to\infty}\frac{k_{ih}}{m'} = \ldots\ldots\ldots \lim_{m'\to\infty}\frac{k_{iF^*_i}}{m'} = \frac{1}{F^*_i} \qquad (I6)$$

Хотя согласно зависимости (I5) распределение вероятностей является равномерным, в действительности, в случае $i \geq 2$, с точки зрения исследуемых систем элементов это не так. Например, при $i = 2$, существует всего $2^{2^2} = I6$ логических функций. Запишем элементы множества Φ^*_2 в следующей группировке

$$0,\ I,\ \boxed{x_I,\ x_2},\ \boxed{\bar{x}_I,\ \bar{x}_2},\ x_Ix_2,\ \boxed{x_I\bar{x}_2,\ \bar{x}_Ix_2},\ \bar{x}_I\bar{x}_2,\ x_I+x_2,$$

$$\boxed{x_I+\bar{x}_2,\ \bar{x}_I+x_2},\ \bar{x}_I+\bar{x}_2,\ x_Ix_2+\bar{x}_I\bar{x}_2,\ x_I\bar{x}_2+\bar{x}_Ix_2$$

Хотя каждая из обозначенных функций представляет отдельный элемент множества, с точки зрения реализации функций они являются тождественными функциями. Для некоторой системы элементов безразлично, идет ли речь о реализации функций $x_I\overline{x}_2$ или $\overline{x}_Ix_2$ (запреты). С точки зрения реализации функции вероятность появления запрета в два раза больше, чем, например, вероятность появления функции ИЛИ. Это означает, собственно говоря, взвешивание функций по их типу.

В рамках этой работы для формулирования специфической логической ёмкости (S), соответственно нашей гипотезе, будут использоваться множества типа Φ_i^* , преобразованные согласно следующим соображениям:

В множестве Φ_i^* среди прочих функций имеются следующие:

функция, тождественная 0 - один раз

функция, тождественная I - один раз

функция повторения сигнала - i раз.

Обозначим множество этих функций через Φ_i^{**} . Число элементов этого множество равно 2 + i .

Если исследовать этот вопрос строго с точки зрения реализаций логических алгоритмов, то можно установить, что для реализации этих логических функций не требуется отдельный элемент. В дальнейшем мы будем поддерживаться этого взгляда. (Иной проблемой является наличие в логических системах таких элементов, которые реализуют функцию повторения сигнала. Эти элементы обычно всегда попадают в систему в связи с проблемами уровня или формы сигнала /регенерация сигнала, усиление по давлению, усиление по мощности/ и в действительности выполняют не логическую обработку сигнала.)

В свете вышесказанного сузим пространство событий Φ_i^* , вычитая из него входящее в него множество функций Φ_i^{**} , предполагая и в дальнейшем сохранение нашей гипотезы, что полученные таким образом функции встречаются с равными вероятностями. Новое множество Φ_i будет, таким образом, следующим:

$$\Phi_i = \Phi_i^{*}\overline{\Phi_i^{**}} = \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \dots \varphi_{ig}, \varphi_{ih}, \dots \varphi_{iF_i}\} \quad (17)$$

где, если

$$\Phi_{i1}=\{\varphi_{i1}\}, \Phi_{i2}=\{\varphi_{i2}\}, \dots \Phi_{ig}=\{\varphi_{ig}\}, \Phi_{ih}=\{\varphi_{ih}\}, \dots \Phi_{iF_i}=\{\varphi_{iF_i}\} \quad (18)$$

тогда

$$P(\Phi_{i1})=P(\Phi_{i2})=\dots=P(\Phi_{ig})=P(\Phi_{ih})=\dots=P(\Phi_{iF_i}) = \frac{1}{F_i} \quad (19)$$

$$F_i = 2^{2^i}-(2+i) \quad (20)$$

– число элементов множества Φ_i .

4.2 Определение специфической логической ёмкости

Вернёмся теперь к наиболее общей форме специфической логической ёмкости согласно зависимости (5). Очевидно, согласно постановке задачи, мы ищем какую нибудь меру значения отношения Φ и M. Мы можем выразить это с помощью следующей функции:

$$S = \frac{S'(\Phi)}{M} \quad (21)$$

Согласно этому определению, та система элементов является более благоприятной, специфическая логическая ёмкость которой больше.

В данном случае множество Φ могут быть заданы в виде последовательности множеств ϕ_i :

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_i = \sum_{i=0}^{i} \phi_i \qquad (22)$$

Если в функцию (2I) подставить (22), то получится такая функция S , которая справедлива до числа переменных i . Пусть эта специфическая логическая ёмкость обозначается через S_i , где

$$S_i = \frac{S'_i\left(\sum_{i=0}^{i}\phi_i\right)}{M_i} \qquad (23)$$

Если принять во внимание, что множество ϕ_0 , согласно нашему воззрению является пустым, т.е.

$$\phi_0 = 0 \qquad (24)$$

и для множеств ϕ_i по смыслу справедливо

$$\phi_0 \subset \phi_1 \subset \phi_2 \subset \dots\dots \subset \phi_i \qquad (25)$$

то можно записать, что

$$\sum_{i=0}^{i} \phi_i = \sum_{i=1}^{i} \phi_i = \phi_i \qquad (26)$$

Так

$$S_i = \frac{S'_i(\phi_i)}{M_i} \qquad (27)$$

Чтобы значение S_i было конкретно вычислимым, функция $S'_i(\phi_i)$ должна быть конкретизирована. На основе произвольного, но, как будет видно, целесообразного выбора пусть будет

$$S'_i(\phi_i) = F_i = 2^{2^i} - (2 + i) \qquad (28)$$

где: F_i - число элементов множества Φ_i .

Специфическая логическая ёмкость, таким образом, может быть вычислена на основе зависимости

$$S_i = S_{\Phi_i} = \frac{F_i}{M_i} \tag{29}$$

где:

F_i - число элементов множества функций Φ_i согласно (I7),

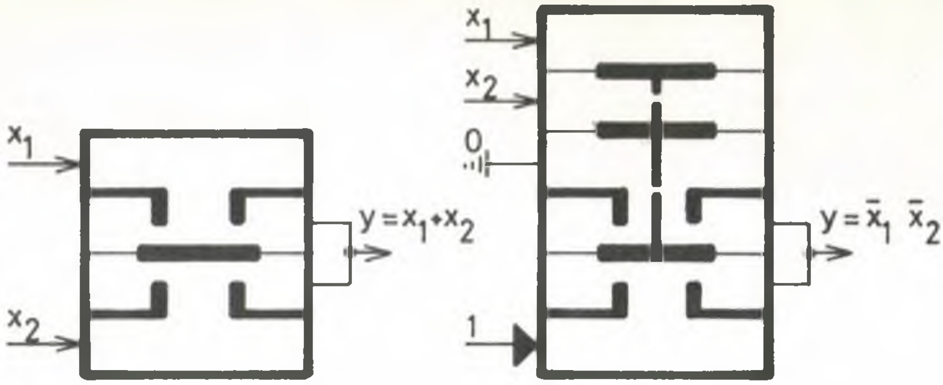
M_i - минимальное число мембран, необходимое для реализации множества Φ_i логических функций с помощью системы элементов.

Индекс Φ_i означает, что специфическая логическая ёмкость S_i была определена на основе реализации полного множества функций Φ_i . Это обозначение необходимо для отличения специфической логической ёмкости от излагаемого далее метода её приблизительного вычисления.

Согласно формулированию функции $S_i'(\Phi_i)$ согласно (28) специфическая логическая ёмкость показывает формально, сколько логических функций i переменных могут быть реализованы с помощью одной мембраны. Если системно-технические свойства некоторой системы элементов мы хотим анализировать в полном спектре числа переменных I, 2, ... i , то следует определить логические ёмкости $S\Phi_1$, $S\Phi_2$, ... $S\Phi_i$.

4.3 Пример вычисления специфической логической ёмкости

Положим, что исследуемая логическая система состоит из пассивного элемента ИЛИ с двумя входами и из активного элемента НЕИЛИ с двумя входами (рис. 8).



1. 2.

Рис. 8

Вычислим значения S_{ϕ_1} и S_{ϕ_2} . Сначала определим логические функции одного и двух переменных, реализуемых отдельными типами элементов (таблица I).

Таблица I.

Номер типа элемента	Число мембран	Реализованные логические функции		
	(m_k)	Число переменных (i)	Тип (φ_i)	Число (f_{ik})
I.	I	I		0
		2	x_I+x_2	I
2.	3	I	$\bar{x}$	I
		2	$\bar{x}_I$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_I\bar{x}_2$	3

Согласно зависимости (28)

$$F_1 = 2^{2^1} - (2 + 1) = 1 \quad ,$$

поэтому при $i = I$ во множестве Φ_1 имеется только одна функция. Это функция отрицания ($\bar{x}$), которая реализуется с помощью одного элемента типа 2, т.е.

$$M_I = 3 .$$

Согласно зависимости (29)

$$S_{\Phi_1} = \frac{F_1}{M_1} = \frac{1}{3}$$

Поскольку

$$F_2 = 2^{2^2} - (2+2) = I2,$$

то при $i = 2$ во множестве Φ_2 имеется I2 функций, которые должны быть реализованы с помощью элементов типа I и типа 2, при минимальном числе мембран:

Функции множества Φ_2	Число мембран, необходимое для реализации функций
$\bar{x}_I$	3
$\bar{x}_2$	3
$\bar{x}_I\bar{x}_2$	3
$\bar{x}_I x_2$	6
$x_I\bar{x}_2$	6
$x_I x_2$	9
$\bar{x}_I + \bar{x}_2$	7
$\bar{x}_I + x_2$	4
$x_I + \bar{x}_2$	4
$x_I + x_2$	I
$x_I x_2 + \bar{x}_I\ \bar{x}_2$	I3

Функции множества Φ_2	Число мембран, необходимое для реализации функций
$\bar{x}_I x_2 + x_I \bar{x}_2$	I3
$F_2 = I2$	$M_2 = 72$

Итак:

$$S_{\Phi_2} = \frac{F_2}{M_2} = \frac{12}{72} = \frac{1}{6}$$

5. ПРИБЛИЖЁННОЕ ЗНАЧЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ

5.I Определение приближённого значения специфической логической ёмкости

Число логических функций (F_i) стремительно растёт с увеличением числа переменных. При $i = 9$, $F_i = 2^{512}$. Это число больше, чем общее число всех протонов и электронов во вселенной, которое равно приблизительно $3/2 \cdot 2^{256} \cdot 136$ /I4/. С возрастанием i возрастает и число элементов, необходимое для реализации большинства логических функций. Поэтому вычисление специфической логической ёмкости, согласно интерпретации, изложенной в предыдущей главе, в общем случае уже при $i > 2$ невозможно без применения вычислительной машины, и даже при вычислении на машине может получиться, что время вычисления нереально большое.

Изложенное определение примем в качестве "точного" значения специфической логической ёмкости. Но из-за трудностей применения его в практике, необходимо вычислить приближённое значение, которое для качественных оценок ещё достаточно точно, но определение которого требует значительно более короткого расчёта. Формулировку этого приближённого значения мы сделаем на основе следующих соображений.

Предположим, что некоторая логическая система элементов может реализовать одним-единственным элементом одну и только одну функцию φ_{ig} из множества функций ϕ_i. Если эта система элементов используется для построения логических систем, и для вероятности появления логических функций и в дальнейшем полагаем выполнение гипотезы, принятой в предыдущей главе, тогда вероятность того, что некоторая реализованная в практике функция i переменных реализована с помощью одного логического элемента равна

$$p = \frac{1}{F_i} = p_i \tag{30}$$

Если эта система элементов такова, что может реализовать любую логическую функцию из множества функций Φ_i одним элементом, тогда эта вероятность равна

$$p = F_i p_i = F_i \frac{1}{F_i} = 1 \tag{31}$$

Если же эта система элементов такова, что способна реализовать одним элементом f_i функций из множества функций Φ_i (где $f_i \leq F_i$), тогда вероятность того, что реализуемая в практике функция i переменных может быть реализована одним логическим элементом равна

$$p = f_i p_i = f_i \frac{1}{F_i} \leq 1 \tag{32}$$

Но для нас интересна специфическая логическая ёмкость, отнесённая к числу мембран, т.е. то фиктивное число, которое показывает, с какой вероятностью может быть реализована с помощью одной мембраны произвольная функция i переменных. Если число мембран логического элемента равно m, то специфическая вероятность реализации (отнесённая к числу мембран) равна

$$p_s = \frac{p}{m} = \frac{f_i}{m} p_i = \frac{f_i \cdot 1}{m \cdot F_i} \tag{33}$$

Если исследуемая система элементов основана не на один тип элементов, и для элементов различного типа число мембран различно, то зависимость (33) может быть обобщена на основе следующих соображений.

Предположим, логическая система построена на типах элементов, обозначаемых $j, \ldots k, \ldots n$, числа мембран которых, соответственно, $m_j, \ldots m_k, \ldots m_n$, и число отличающихся друг от друга логических функций i переменных, реализованных отдельными типами элементов равно $f_{ij}, \ldots f_{ik}, \ldots f_{in}$. В этом случае специфическая вероятность реализации равна

$$p_s = \frac{f_{ij}}{m_j} p_i + \ldots\ldots + \frac{f_{ik}}{m_k} p_i + \ldots\ldots + \frac{f_{in}}{m_n} p_i =$$

$$= \frac{f_{ij}}{m_j} \frac{1}{F_i} + \ldots\ldots + \frac{f_{ik}}{m_k} \frac{1}{F_i} + \ldots\ldots + \frac{f_{in}}{m_n} \frac{1}{F_i} =$$

$$= p_i \sum_{k=j}^{n} \frac{f_{ik}}{m_k} = \frac{1}{F_i} \sum_{k=j}^{n} \frac{f_{ik}}{m_k} \tag{34}$$

Как видно будет далее, практика показывает, что специфические вероятности реализации, и, соответственно, их пропорции и тенденции изменений являются приближениями, достаточно точными с точки зрения качественных соображений, для точных значений специфической логической ёмкости (${}^S\phi_i$) и, соответственно, их пропорций и тенденций изменений; поэтому назовём их приближёнными значениями специфической логической ёмкости и будем обозначать через ${}^S\varphi_i$. Итак

$${}^S\varphi_i = p_i \sum_{k=j}^{n} \frac{f_{ik}}{m_k} = \frac{1}{F_i} \sum_{k=j}^{n} \frac{f_{ik}}{m_k} \tag{35}$$

где:

$p_i = \frac{1}{F_i} = \frac{1}{2^{2^i} - (2 + i)}$ – вероятность появления любой логической функции i переменных,

m_j – число мембран типа элементов исследуемой системы элементов, содержащего наименьшее число мембран,

m_n – число мембран типа элементов исследуемой системы элементов, содержащего наибольшее число мембран,

f_{ik} – число функций i переменных, реализуемых типами элементов, содержащими m_k мембран. (Если одна и та же функция i переменных реализуется несколькими типами элементов, то учитываем её только для типа элементов, который реализует её с наименьшим числом мембран.)

Индекс φ_i показывает, что приближённое значение специфической логической ёмкости определено на основе специально выбранных функций φ_i из множества функций ϕ_i . Это позволяет нам сделать вывод, что для вычисления S_{φ_i} требуется значительно меньше работы, чем для определения значения S_{ϕ_i} . Несмотря на это и здесь тоже желательно или необходимо применение ЦВМ.

5.2 Пример вычисления приближённого значения специфической логической ёмкости

Возьмем систему элементов (рис. 8), фигурирующую в примере на вычисление точного значения специфической логической ёмкости (глава 4.3) и определим значения S_{φ_1} и S_{φ_2} .

Логические функции, реализуемые типами элементов I и 2, и их число мы уже собрали в таблице I ранее.

Величины, необходимые для вычисления зависимости (35):

при $i = 1$: $p_1=1$, $j=1$, $n=2$, $m_1=1$, $m_2=3$, $f_{11}=0$, $f_{12}=1$

при $i = 2$: $p_2=\frac{1}{12}$, $j=1$, $n=2$, $m_1=1$, $m_2=3$, $f_{21}=1$, $f_{22}=3$

Таким образом:

$$S_{\varphi_1} = 1\left(\frac{0}{1} + \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{3}$$

$$S_{\varphi_2} = \frac{1}{12}\left(\frac{1}{1} + \frac{3}{3}\right) = \frac{1}{6}$$

В данном примере точное и приближённое значение специфической логической ёмкости совпадают, что, конечно, не обязательно.

5.3 Экспериментальное исследование большого числа систем элементов для демонстрации одинаковых тенденций изменения точного и приближённого значений специфической логической ёмкости для случаев $i = I, 2, 3$

5.3.I Вычисления специфических логических ёмкостей

Из случаев главы 8.I (см. приложение I), занимающейся систематическим исследованием логических систем, содержащих один тип элементов, выберем такие типы элементов, с помощью которых можно рационально реализовать функции I и 2 переменных. Для нашего исследования будем считать каждый элемент системой элементов, стоящей из одного типа элементов. Для того, чтобы увеличить число исследуемых систем, составим из этих типов элементов многоэлементные системы и внутри систем элементов будем менять в пределах целесообразности и режим отдельных элементов.

Для наших исследований высчитаем для полученных таким образом систем элементов точное и приближённое значение специфической логической ёмкости для случая I и 2 переменных. Результаты вычислений собраны в таблице 2. (Номера элементов систем элементов, фигурирующих в таблице совпадают с номерами тех же самых элементов, фигурирующих в приложении I. В таблицах 2 и 3 f_{ik} обозначает число функций i переменных, реализуемых типами элементов, содержащими $m_k = k$ мембран.)

Т а б л и ц а 2

Номер элементов системы элементов	Режим системы	Число мембран	Логические функции с максимальным числом переменных реализуемые элементами	Число реализуемых логических функ.						Число мембран, употребляемых для реализации функций															Специфическая логическая ёмкость			
				f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}	x	x_1	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_1x_2$	$x_1\bar{x}_2$	x_1x_2	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$	$\bar{x}_1+x_2$	$x_1+\bar{x}_2$	x_1+x_2	$\bar{x}_1x_2+x_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_1\bar{x}_2+x_1x_2$	M_1	M_2	$S_{\phi 1}$	$S_{\phi 2}$	$S_{\varphi 1}$	$S_{\varphi 2}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29
A1	pp pa	2	$\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+x_2$, x_1+x_2	--	1	--	--	8	--	2	2	2	4	2	2	2	4	2	2	2	6	6	2	36	0,5	0,33	0,5	0,33
A4, B11	pp pa	3	$\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+x_2$, x_1+x_2	--	--	1	--	--	8	3	3	3	6	3	3	3	6	3	3	3	9	9	3	54	0,33	0,22	0,33	0,22
B1	p	1	x_1+x_2	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	---	---	---	0,08
B2	p	2	$\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+x_2$, x_1+x_2	--	1	--	--	8	--	2	2	2	4	2	2	2	4	2	2	2	6	6	2	36	0,5	0,33	0,5	0,33
B3	p	2	x_1x_2, $\bar{x}_1+x_2$, x_1+x_2	--	1	--	--	7	--	2	2	2	4	2	2	4	4	2	2	2	6	6	2	38	0,5	0,32	0,5	0,29
B4	pp pa	2	x_1x_2, x_1+x_2	--	--	--	--	2	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--	--	2	--	--	--	--	---	---	---	0,08
A1	a	2	$\bar{x}_1+x_2$	--	1	--	--	4	--	2	2	2	6	4	4	6	4	2	2	4	10	8	2	54	0,5	0,22	0,5	0,17
A4, B11	a	3	$\bar{x}_1x_4$, $\bar{x}_1+x_4$	--	--	1	--	--	6	3	3	3	6	3	3	6	6	3	3	6	9	9	3	60	0,33	0,2	0,33	0,17
B2	a	2	$\bar{x}_1$	--	1	--	--	2	--	2	2	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	0,5	---	0,5	0,08
B3	a	2	$\bar{x}_1$	--	1	--	--	2	--	2	2	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	0,5	---	0,5	0,08
B5	a	3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2	--	--	1	--	--	4	3	3	3	3	6	6	9	9	6	6	3	15	15	3	84	0,33	0,14	0,33	0,11
B6	a	3	x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	4	3	3	3	9	6	6	3	3	6	6	9	15	15	3	84	0,33	0,14	0,33	0,11
B7	a	3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	3	3	3	3	3	6	6	9	12	9	9	6	15	15	3	96	0,33	0,12	0,33	0,08
B8	a	3	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	3	3	3	3	12	9	9	6	3	6	6	9	15	15	3	96	0,33	0,12	0,33	0,08

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B9	a	3	x_1+x_2	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	--	--	--	--	---	---	---	0,03
B10	a	3	x_1x_2	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	3	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	0,03
B12	a	3	$\bar{x}_1$	--	--	1	--	--	2	3	3	3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	--	0,33	---	0,33	0,06
B14	a	3	$\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	4	3	3	3	6	3	3	6	9	6	6	9	12	15	3	81	0,33	0,15	0,33	0,11
B15	a	3	$x_1\bar{x}_4$	--	--	1	--	--	4	3	3	3	6	3	3	6	9	6	6	9	12	15	3	81	0,33	0,15	0,33	0,11
B16	a	3	$x_1\bar{x}_4$	--	--	1	--	--	4	3	3	3	6	3	3	6	9	6	6	9	12	15	3	81	0,33	0,15	0,33	0,11
A1 B1	pp p	2 1	$\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$ x_1+x_2	--	1	--	1	7	--	2	2	2	3	2	2	2	4	2	2	1	5	5	2	32	0,5	0,38	0,5	0,38
A4,B11 B1	pp p	3 1	$\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$ x_1+x_2	--	--	1	1	--	7	3	3	3	4	3	3	3	6	3	3	1	7	7	3	46	0,33	0,26	0,33	0,28
B1 B2	p pp pa	1 2	x_1+x_2 $\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	1	--	1	7	--	2	2	2	3	2	2	2	4	2	2	1	5	5	2	32	0,5	0,38	0,5	0,38
B1 B3	p pp pa	1 2	x_1+x_2 $\bar{x}_1x_2$, $\bar{x}_1+x_2$	--	1	--	1	6	--	2	2	2	3	2	2	4	4	2	2	1	6	5	2	35	0,5	0,34	0,5	0,33
B3 B4	pp pa	2 2	$\bar{x}_1x_2$, $\bar{x}_1+x_2$ x_1x_2, x_1+x_2	--	1	--	--	8	--	2	2	2	4	2	2	2	4	2	2	2	6	6	2	36	0,5	0,33	0,5	0,33
A1 B1	a p	2 1	$\bar{x}_1+x_2$ x_1+x_2	--	1	--	1	4	--	2	2	2	3	4	4	6	4	2	2	1	9	8	2	47	0,5	0,26	0,5	0,25
A1 A4,B11	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1x_2$	--	1	--	--	4	2	2	2	2	5	3	3	5	4	2	2	4	8	7	2	47	0,5	0,26	0,5	0,22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
A1 B5	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2	--	1	--	--	4	2	2	2	2	3	4	4	6	4	2	2	3	9	8	2	49	0,5	0,24	0,5	0,22
A1 B6	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	1	--	--	4	2	2	2	2	6	4	4	3	3	2	2	4	7	7	2	46	0,5	0,26	0,5	0,22
A1 B7	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	1	--	--	4	1	2	2	2	3	4	4	6	4	2	2	4	9	8	2	50	0,5	0,24	0,5	0,20
A1 B8	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	1	--	--	4	1	2	2	2	6	4	4	5	3	2	2	4	9	7	2	50	0,5	0,24	0,5	0,20
A1 B9	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ x_1+x_2	--	1	--	--	4	1	2	2	2	5	4	4	6	4	2	2	3	10	8	2	52	0,5	0,23	0,5	0,20
A1 B10	a	2 3	$\bar{x}_1+x_2$ x_1x_2	--	1	--	--	4	1	2	2	2	6	4	4	3	4	2	2	4	7	8	2	48	0,5	0,25	0,5	0,20
A1 B14, B15 B16	a	2	$\bar{x}_1+x_2$ $x_1\bar{x}_4$	--	1	--	--	4	2	2	2	2	5	3	3	5	4	2	2	4	8	7	2	47	0,5	0,25	0,5	0,22
B1 B2, B3	p a	1	x_1+x_2 $\bar{x}_1$	--	1	--	1	2	--	2	2	2	3	5	5	7	5	3	3	11	11	11	2	58	0,5	0,21	0,5	0,17
B1 A4, B11	p a	1 3	x_1+x_2 $x_1\bar{x}_4$, $x_1+\bar{x}_4$	--	--	1	1	--	6	3	3	3	4	3	3	6	6	3	3	1	9	7	3	51	0,33	0,24	0,33	0,25
B1 B5	p a	1 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	--	1	1	--	3	3	3	3	3	6	6	9	7	4	4	11	13	13	3	72	0,33	0,17	0,33	0,17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B1 B6	p a	1 3	x_1+x_2 $x_1x_2,\ \bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	1	--	4	3	3	3	4	6	6	3	3	4	4	1	7	7	3	51	0,33	0,23	0,33	0,20
B1 B7	p a	1 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	--	1	1	--	3	3	3	3	3	6	6	9	7	4	4	1	13	13	3	72	0,33	0,17	0,33	0,17
B1 B8	p a	1 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	1	--	3	3	3	3	4	7	7	6	3	4	4	1	7	10	3	59	0,33	0,20	0,33	0,17
B1 B12	p a	1 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1$	--	--	1	1	--	2	3	3	3	4	7	7	10	7	4	4	1	15	15	3	80	0,33	0,15	0,33	0,14
B1 B14,B15 B16	p a	1 3	x_1+x_2 $x_1\bar{x}_4$	--	--	1	1	--	4	3	3	3	4	3	3	6	7	4	4	1	10	7	3	55	0,33	0,22	0,33	0,20
B2,B3 A4,B11	a	2 3	$\bar{x}_1$ $\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$	--	1	--	--	2	4	2	2	2	5	3	3	5	5	3	3	5	9	9	2	54	0,5	0,22	0,5	0,20
B2,B3 B5	a	2 3	$\bar{x}_1$ $\bar{x}_1\bar{x}_2,\ x_1+x_2$	--	1	--	--	2	2	2	2	2	3	5	5	7	7	5	5	3	13	13	2	70	0,5	0,17	0,5	0,14
B2,B3 B6	a	2 3	$\bar{x}_1$ $x_1x_2,\ \bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	1	--	--	2	2	2	2	2	7	5	5	3	3	5	5	7	13	13	2	70	0,5	0,17	0,5	0,14
B2,B3 B7	a	2 3	$\bar{x}_1$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	1	--	--	2	1	2	2	2	3	5	5	7	9	7	7	5	13	13	2	78	0,5	0,15	0,5	0,11
B2,B3 B8	a	2 3	$\bar{x}_1$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	1	--	--	2	1	2	2	2	9	7	7	5	3	5	5	7	13	13	2	78	0,5	0,15	0,5	0,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B2,B3 B9	a	2 3	$\bar{x}_1$ x_1+x_2	--	1	--	--	2	1	2	2	2	5	7	7	9	7	5	5	3	17	17	2	86	0,5	0,14	0,5	0,11
B2,B3 B10	a	2 3	$\bar{x}_1$ x_1x_2	--	1	--	--	2	1	2	2	2	7	5	5	3	5	7	7	9	17	17	2	86	0,5	0,14	0,5	0,11
B2,B3 B14,B15 B16	a	2 3	$\bar{x}_1$ $\bar{x}_1x_4$	--	1	--	--	2	2	2	2	2	5	3	3	5	7	5	5	7	11	13	2	68	0,5	0,18	0,5	0,14
A4,B11 B5	a	3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ $\bar{x}_1\bar{x}_2,\ x_1+x_2$	--	--	1	--	--	8	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	9	9	3	54	0,33	0,22	0,33	0,22
A4,B11 B6	a	3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ $x_1x_2,\ \bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	8	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	6	9	9	3	54	0,33	0,22	0,33	0,22
A4,B11 B7	a	3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	7	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	6	9	9	3	57	0,33	0,21	0,33	0,20
A4,B11 B8	a	3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	7	3	3	3	6	3	3	6	3	3	3	6	9	9	3	57	0,33	0,21	0,33	0,20
A4,B11 B9	a	3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ x_1+x_2	--	--	1	--	--	7	3	3	3	6	3	3	6	6	3	3	3	9	9	3	57	0,33	0,21	0,33	0,20
A4,B11 B10		3 3	$\bar{x}_1x_4,\ \bar{x}_1+x_4$ x_1x_2	--	--	1	--	--	7	3	3	3	6	3	3	3	6	3	3	6	9	9	3	57	0,33	0,21	0,33	0,20
B5 B6	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2,\ x_1+x_2$ $x_1x_2,\ \bar{x}_1+\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	6	3	3	3	3	6	6	3	3	6	6	3	9	9	3	60	0,33	0,20	0,33	0,17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B5 B8	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2 $\bar{\bar{x}}_1+\bar{\bar{x}}_2$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	3	6	6	6	3	6	6	3	9	12	3	66	0,33	0,18	0,33	0,14
B5 B10	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2 x_1x_2	--	--	1	--	--	5	3	3	3	3	6	6	3	6	6	6	3	9	9	3	63	0,33	0,19	0,33	0,14
B5 B14,B15 B16	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2 $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	6	3	3	3	3	3	3	6	9	6	6	3	9	9	3	63	0,33	0,19	0,33	0,17
B6 B7	a	3 3	x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	3	6	6	3	3	6	6	6	12	9	3	66	0,33	0,18	0,33	0,14
B6 B9	a	3 3	x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$ x_1+x_2	--	--	1	--	--	5	3	3	3	6	6	6	3	3	6	6	3	9	9	3	63	0,33	0,19	0,33	0,14
B6 B14,B15 B16	a	3 3	x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$ $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	6	3	3	3	6	3	3	3	3	6	6	9	12	12	3	69	0,33	0,17	0,33	0,17
B7 B8	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$ $\bar{\bar{x}}_1+\bar{\bar{x}}_2$	--	--	1	--	--	4	3	3	3	3	6	6	6	3	6	6	6	12	12	3	72	0,33	0,17	0,33	0,11
B7 B9	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$ x_1+x_2	--	--	1	--	--	4	3	3	3	3	6	6	9	9	6	6	3	15	15	3	84	0,33	0,14	0,33	0,11
B7 B10	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$ x_1x_2	--	--	1	--	--	4	3	3	3	3	6	6	3	6	9	9	6	12	9	3	75	0,33	0,16	0,33	0,11
B7 B14,B15 B16	a	3 3	$\bar{x}_1\bar{x}_2$ $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	3	3	3	6	9	6	6	6	9	12	3	69	0,33	0,17	0,33	0,14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B8 B9	a	3 3	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$ x_1+x_2	--	--	1	--	--	4	3	3	3	6	9	9	6	3	6	6	3	9	12	3	75	0,33	0,16	0,33	0,11
B8 B10	a	3 3	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$ x_1x_2	--	--	1	--	--	4	3	3	3	9	6	6	3	3	6	6	9	15	15	3	84	0,33	0,14	0,33	0,11
B8 B14,B15 B16	a	3 3	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$ $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	6	3	3	6	3	6	6	9	12	12	3	72	0,33	0,17	0,33	0,14
B9 B12	a	3 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1$	--	--	1	--	--	3	3	3	3	6	9	9	12	9	6	6	3	21	21	3	108	0,33	0,11	0,33	0,08
B9 B14,B15 B16	a	3 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	6	3	3	6	9	6	6	3	12	12	3	72	0,33	0,17	0,33	0,14
B10 B12	a	3 3	x_1x_2 $\bar{x}_1$	--	--	1	--	--	3	3	3	3	9	6	6	3	6	9	9	12	21	21	3	108	0,33	0,11	0,33	0,08
B10 B14,B15 B16	a	3 3	x_1x_2 $\bar{x}_1x_4$	--	--	1	--	--	5	3	3	3	6	3	3	3	6	6	6	9	12	15	3	75	0,33	0,16	0,33	0,14
A1	pp	2	$/x_1+\bar{x}_2/x_3$	--	1	--	--	7	--	2	2	2	4	2	2	2	4	2	2	4	6	6	2	38	0,5	0,32	0,5	0,29
B11	pp	3	$/x_1+\bar{x}_2/x_3$ $x_1\bar{\bar{x}}_2x_3$	--	--	1	--	--	7	3	3	3	6	3	3	3	6	3	3	6	9	9	3	57	0,33	0,21	0,33	0,20
B4 B3 B1	pp a p	2 2 1	x_1x_2 $\bar{x}_1$ x_1+x_2	--	1	--	1	3	--	2	2	2	3	4	4	2	4	3	3	1	6	7	2	41	0,5	0,29	0,5	0,21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
B4 B3	pp pa a	2 2	x_1x_2, x_1+x_2 $\bar{x}_1$	—	1	—	—	4	—	2	2	2	4	4	4	2	4	4	4	2	8	8	2	48	0,5	0,25	0,5	0,17
B1 B2 B5 B6	p pp pa a a	1 2 3 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1x_2$, x_1x_2, $x_1+\bar{x}_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	—	1	—	1	7	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	1	5	5	2	31	0,5	0,39	0,5	0,43
A1 A4,B11 B5 B6	a	2 3 3 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1x_4$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$, x_1+x_2 x_1x_2, $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	—	1	—	—	4	6	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	7	7	2	40	0,5	0,3	0,5	0,33

Хотя в пассивном, полуактивном и полупассивном режиме число переменных функций, реализованных отдельными типами элементов, больше, чем 2, здесь, ради простоты для вычисления точного значения специфической логической ёмкости используются только функции I и 2 переменных. Этим мы не сделали фальшивой реальность, поскольку принципиальное устройство любого такого типа элементов может быть реализовано такой конструкцией, которая даёт возможность использования максимально двух переменных.

Среди элементов, фигурирующих в таблице, встречаются такие (напр., элемент BI), которые сами по себе не образуют функционально полной системы логических элементов . Хотя для этих элементов формально может быть определено приближённое значение специфической логической ёмкости, точное значение не существует. Естественно, как видно и из таблицы, вместе с другими типами элементов может применяться как элемент функционально полной системы элементов.

Аналогичное исследование для систем с тремя переменными мы смогли выполнить на основе уже гораздо меньшего числа примеров, поскольку объемная работа по вычислению $^{S}\phi_3$ содержит значительные трудности. Для исследования мы выбрали последние шесть систем элементов таблицы 2. Среди них системы с номерами AI и A4, BII строятся, собственно говоря, на работающих в полупассивном режиме универсальных логических элементах систем ДРЕЛОБА и ТРИМЕЛОГ. Эти системы фигурируют среди исследуемых систем, так как в публикации /30/ сообщаются точные результаты, полученные с помощью ЦВМ, о реализации всех логических функций 3 переменных на этих системах элементов, так что определение значения $^{S}\phi_3$ требует минимальной работы.

Не приводя подробностей вычисления точного и приближённого значений специфической логической ёмкости, мы приводим в таблице 3 результаты, полученные для выбранных систем с тремя переменными.

Таблица 3

Номер элементов системы элементов	Режим системы	Число мембран	Логические функции с максимальным числом переменных реализуемые элементами	Реализуемые логические функции с числом переменных i = 3	Число реализуемых лог. функ. f_{31}	f_{32}	f_{33}	Число мембран M_3	Специфическая логическая ёмкость $S_{\phi 3}$	$S_{\varphi 3}$
A4, B11	pp	3	$/x_1+\bar{x}_2/x_3$ $x_1\bar{x}_2x_3$	$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; x_1\bar{x}_2, \bar{x}_1x_2, x_1\bar{x}_3, \bar{x}_1x_3, x_2\bar{x}_3, \bar{x}_2x_3; x_1x_2$ $x_1x_3, x_2x_3; x_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+x_2, x_1+\bar{x}_3, \bar{x}_1+x_3, x_2+\bar{x}_3,$ $\bar{x}_2+x_3; /x_1+\bar{x}_2/x_3, /x_1+\bar{x}_3/x_2, /x_2+\bar{x}_1/x_3,$ $/x_2+\bar{x}_3/x_1, /x_3+\bar{x}_1/x_2, /x_3+\bar{x}_2/x_1; x_1\bar{x}_2x_3, x_1\bar{x}_3x_2, x_2\bar{x}_1x_3$	—	—	27	2214	0,113	0,036
A1	pp	2	$/x_1+\bar{x}_2/x_3$	$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; x_1\bar{x}_2, \bar{x}_1x_2, x_1\bar{x}_3, \bar{x}_1x_3, x_2\bar{x}_3, \bar{x}_2x_3; x_1x_2$ $x_1x_3, x_2x_3; x_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+x_2, x_1+\bar{x}_3, \bar{x}_1+x_3, x_2+\bar{x}_3,$ $\bar{x}_2+x_3; /x_1+\bar{x}_2/x_3, /x_1+\bar{x}_3/x_2, /x_2+\bar{x}_1/x_3,$ $/x_2+\bar{x}_3/x_1, /x_3+\bar{x}_1/x_2, /x_3+\bar{x}_2/x_1$	—	24	—	1502	0,167	0,048
B4 B3 B1	pp a p	2 2 1	x_1x_2 $\bar{x}_1$ x_1+x_2	x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ $x_1+x_2, x_1+x_3, x_2+x_3$	3	6	—	1892	0,133	0,024
B4 B3	pp pa a	2 2	x_1x_2, x_1+x_2 $\bar{x}_1$	$x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3; x_1+x_2, x_1+x_3, x_2+x_3$ $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$	—	9	—	2334	0,108	0,018
B1 B2 B5 B6	p pp pa a a	1 2 3 3	x_1+x_2 $\bar{x}_1x_2, x_1x_2,$ $\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2$	$x_1+x_2, x_1+x_3, x_2+x_3$ $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; \bar{x}_1x_2, x_1\bar{x}_2, \bar{x}_1x_3, x_1\bar{x}_3, \bar{x}_2x_3, x_2\bar{x}_3; x_1x_2,$ $x_1x_3, x_2x_3; \bar{x}_1+x_2, x_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+x_3, x_1+\bar{x}_3, \bar{x}_2+x_3,$ $\bar{x}_1\bar{x}_2, \bar{x}_1\bar{x}_3, \bar{x}_2\bar{x}_3$ $x_2+\bar{x}_3$ $\bar{x}_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+\bar{x}_3, \bar{x}_2+\bar{x}_3$	3	18	6	1394	0,180	0,056
A1 A4, B11 B5 B6	a	2 3 3 3	$\bar{x}_1+x_2$ $\bar{x}_1x_2$ $\bar{x}_1\bar{x}_2, x_1+x_2$ $x_1x_2, \bar{x}_1+\bar{x}_2$	$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3;$ $\bar{x}_1+x_2, x_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+x_3, x_1+\bar{x}_3, \bar{x}_2+x_3, x_2+\bar{x}_3$ $\bar{x}_1x_2, x_1\bar{x}_2, \bar{x}_1x_3, x_1\bar{x}_3, \bar{x}_2x_3, x_2\bar{x}_3$ $\bar{x}_1\bar{x}_2, \bar{x}_1\bar{x}_3, \bar{x}_2\bar{x}_3; x_1+x_2, x_1+x_3, x_2+x_3$ $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3; \bar{x}_1+\bar{x}_2, \bar{x}_1+\bar{x}_3, \bar{x}_2+\bar{x}_3$	—	9	18	1969	0,127	0,042

5.3.2 Оценка результатов

Изобразим приближённые значения специфической логической ёмкости в функции точных значений для исследованных случаев I, 2 и 3 переменных.

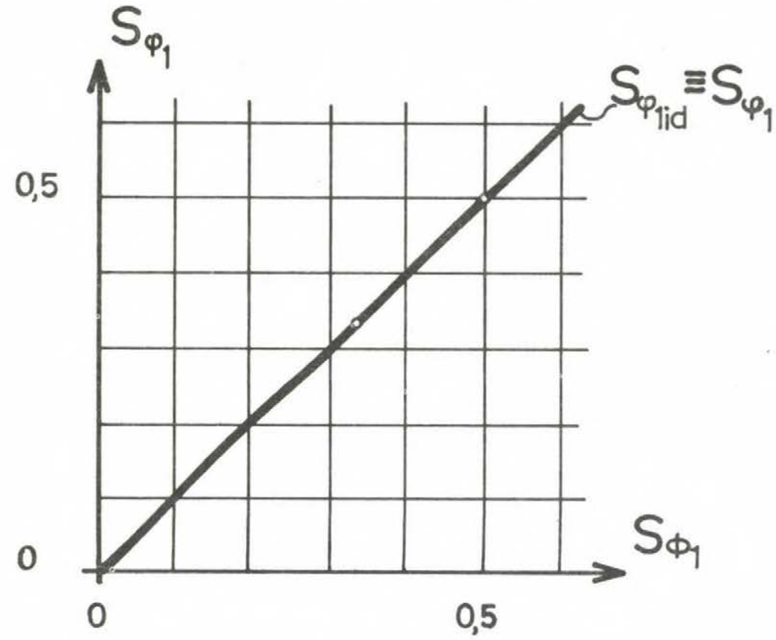
Поскольку в идеальном случае $S_{\varphi_i} = S_{\phi_i}$, точки должны располагаться на прямой, проходящей через начало координат и имеющий наклон 45^0.

В случае $i = I$ это на самом деле так. Это означает, что не только тенденции изменения приближённого и точного значения специфической логической ёмкости совпадают, но и значения их численно совпадают (рис. 9).

При $i = 2$ (рис. IO) в области, интересной для исследования и практики, точки уже рассеиваются. При применении метода наименьших квадратов приближение $y = a_o x^{a_1}$ довольно хорошо соответствует идеальной кривой. Соответственно этому, тенденции изменения, естественно, также совпадают.

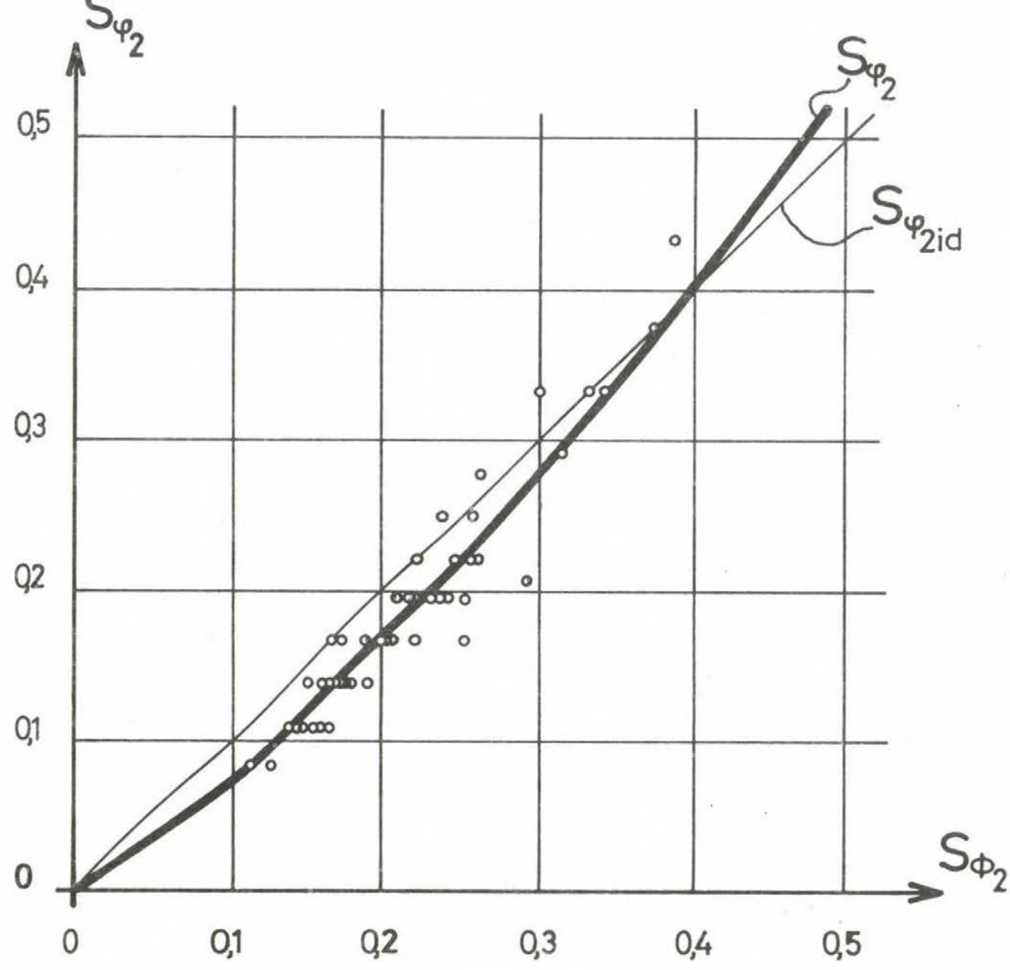
Применяя такое же приближение и для случая $i = 3$ (рис. II), получим, что желаемая тенденция изменения однозначно распознаваема, но идеальная и действительная кривые отклоняются друг от друга.

Чем больше отклонение между идеальной и действительной кривой, и, главное, чем больше дисперсия, тем менее успешно может быть использовано приближённое значение специфической логической ёмкости для количественных расчётов, но соответствующая тенденция, тем не менее, даёт возможность правильных количественных выводов.



S_{φ_1}
$S_{\varphi_{1id}} \equiv S_{\varphi_1}$
0,5
0
S_{Φ_1}
0
0,5

Рис. 9



S_{φ_2}
S_{φ_2}
$S_{\varphi_{2id}}$
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
S_{Φ_2}
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5

Рис. I0

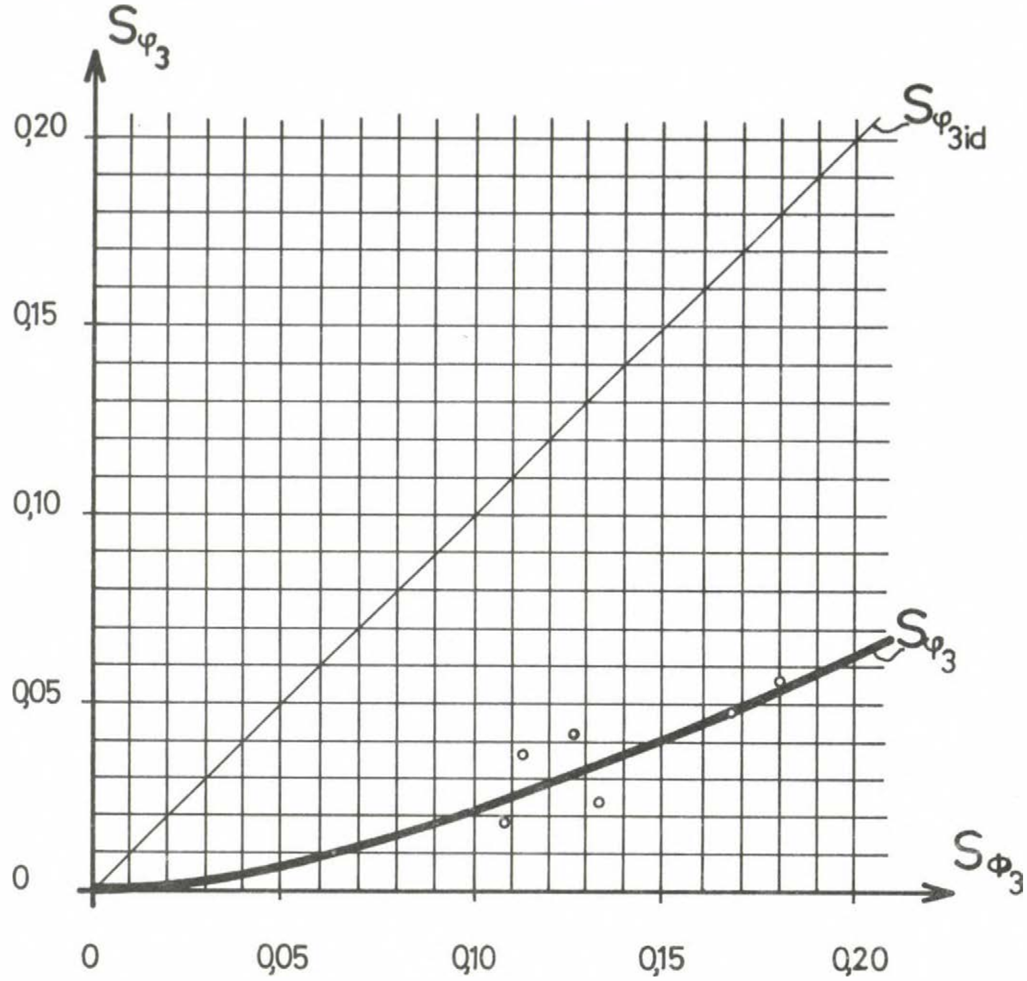


Рис. II

5.4 Качественное исследование отношения между точным и приближённым значениями специфической логической ёмкости с помощью математических методов

5.4.I Математический анализ

Возьмём такую систему элементов, которая основана на одном типе элементов, и пусть число мембран типа элемента будет m . Если с помощью этой системы элементов реализуем все функции множества Φ_i , то получим, что F_i функций можно реализовать следующим образом:

любую из функций	f_{i1}	$e=I$	элементом, т.е.	Im	мембраной
- " -	f_{i2}	$e=2$	- " -	$2m$	- " -
	$\vdots$				
- " -	f_{ie}	$e=e$	- " -	em	- " -
	$\vdots$				
- " -	$f_{ie_{max}}$	$e=e_{max}$	- " -	$e_{max}m$	- " -

Естественно выполняется

$$F_i = \sum_{e=1}^{e_{max}} f_{ie} \tag{36}$$

Поскольку множество Φ_i является результатом гипотетического равномерного распределения, то на основе соответствующих ему распределений числа элементов и числа мембран, для случайной величины ξ могут быть определены плотности вероятности

$$f(e) = P(\xi=e) , \qquad e = 1,\ 2,\ \ldots\ e,\ \ldots\ e_{max} \tag{37}$$

и функция распределения

$$F(e) = \sum_{e=1}^{e} P(\xi=e) \tag{38}$$

В этом случае

$$f(e) = F(e) - F(e-1) = \frac{f_{ie}}{F_i} \tag{39}$$

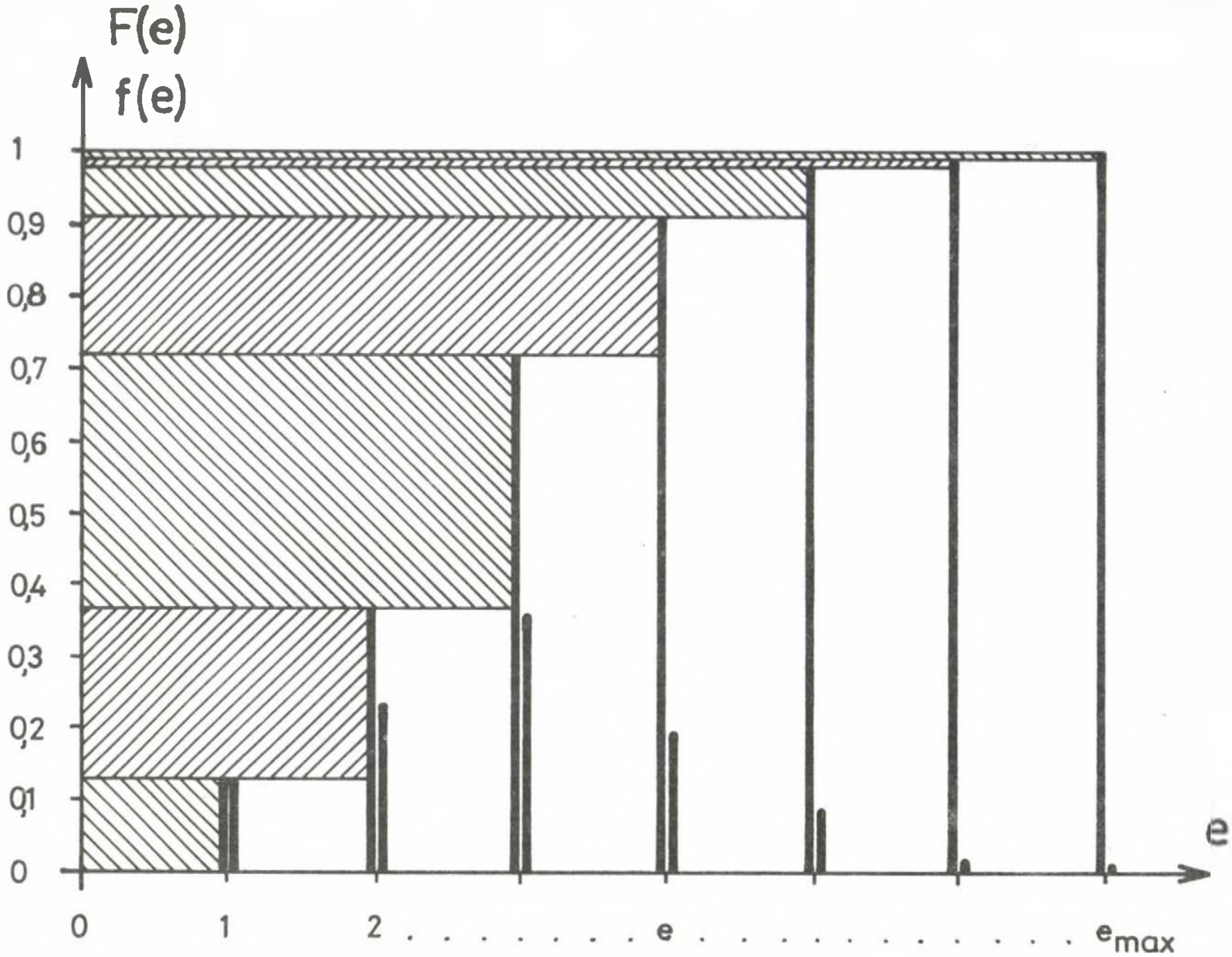


Рис. I2

$$F(e) = \sum_{e=1}^{e} \frac{f_{ie}}{F_i} \qquad (40)$$

На рис. I2 изображено одно из таких возможных распределений.

С помощью вышеприведённых функций может быть определено число мембран M_i , необходимое для реализации всех функций множества Φ_i

$$M_i = mF_i \sum_{e=1}^{e_{max}} e\ f(e) \tag{41}$$

Обратим внимание на то, что значение M_i пропорционально площади при функции распределения. Если предположить, что распределение формально совпадает с биномиальным (практика показывает, что распределение во многих случаях может считаться биномиальным) и произвести преобразования

$$k = e - 1$$

$$n = e_{max} - 1 \tag{42}$$

тогда значение M_i может быть записано следующим образом:

$$M_i = mF_i\binom{n}{0}1p^0q^n + mF_i\binom{n}{1}2p^1q^{n-1} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\ldots\ldots + mF_i\binom{n}{k}(k+1)p^kq^{n-k} + \ldots\ldots + mF_i\binom{n}{n}(n+1)p^nq^0$$

т.е.

$$M_i = mF_i \sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}(k+1)p^kq^{n-k} \tag{43}$$

где

$$p + q = 1 \tag{44}$$

Можно записать, что

$$\sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}(k+1)p^k q^{n-k} = \sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}kp^k q^{n-k} + \sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}p^k q^{n-k} \quad . \tag{45}$$

Поскольку согласно зависимости (44)

$$\sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}p^k q^{n-k} = (p + q)^n = 1 \tag{46}$$

и известно, что

$$\sum_{k=0}^{n}\binom{n}{k}kp^k q^{n-k} = np = n(1 - q) \tag{47}$$

что в случае биномиального распределения ничто иное, как ожидаемое значение случайной величины ξ , то используя эти выражения, получим

$$M_i = mF_i\left[1 + n(1 - q)\right] \tag{48}$$

а точное значение специфической логической ёмкости

$$S_{\phi_i} = \frac{F_i}{M_i} = \frac{1}{m\left[1 + n(1 - q)\right]} \tag{49}$$

При данной системе элементов приближённое значение специфической логической ёмкости может быть вычислено на основе зависимости (39) при значении плотности вероятности, взятым при e = I, следующим образом:

$$S_{\varphi_i} = \frac{1}{m} f(e=1)$$

(50)

Поскольку, согласно нашему предположению, распределение формально является биномиальным, то можно записать

$$S_{\varphi_i} = \frac{1}{m}\binom{n}{0} p^0 q^n = \frac{1}{m} q^n$$

(5I)

В идеальном случае $S_{\varphi_i} = S_{\Phi_i}$ т.е.

$$q^n = \frac{1}{1 + n(1 - q)}$$

(52)

Исследуем это равенство. Как известно биномиальное распределение содержит два параметра, n и q . Значит нужно проследить, как удовлетворяется уравнение (52) в зависимости от величин n и q . С этой целью исследуем функцию ошибки

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(n, q)$$

(53)

конкретный вид которой -

$$\mathcal{E} = \frac{S_{\varphi_i}}{S_{\Phi_i}} = (n + 1)q^n - nq^{n+1}$$

(54)

в области

$$n = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (55)$$

$$0 \leqq q \leqq 1 \qquad (56)$$

Сразу же можно установить, что

$$\varepsilon(0,\ q) = 1 \tag{57}$$

$$\varepsilon(n,\ 1) = 1 \tag{58}$$

и на промежутке $0 \leq q < 1$

$$\lim_{n \to \infty} \varepsilon(n,\ q) = 0 \tag{59}$$

Функцию $\varepsilon(n,\ q)$ мы представили с помощью малой ЦВМ НОВА I200 при значениях $n = 0,\ I,\ 2,\ 5,\ I0,\ 50,\ I00,\ I000$ (рис. I3). (На рисунках $n \equiv B$).

5.4.2 Оценка результатов

Согласно зависимости (52) идеальным был бы результат $\varepsilon(n,\ q) = \mathrm{const.} = 1$. Но можно видеть, что это справедливо только в специальных случаях (57) и (58) и при возрастании n, т.е. e_{max}, а также при уменьшении q, т.е. с увеличением ожидаемого значения $n(1-q)$, или числа элементов и мембран, используемых для реализации большинства логических функций i переменных, значение $\varepsilon(n,\ q)$ уменьшается. Но для наших целей является вполне подходящим, если $\varepsilon(n,\ q) < 1$ и значение её меняется в пределах, определяемых ошибкой, ещё допустимой при качественных рассуждениях. Практика показывает, что эти требования обычно удовлетворяются, если значения n не очень велики.

Поскольку с увеличением i растёт и значение n, то приближённое значение специфической логической ёмкости может использоваться только при малых значениях i.

Наши рассуждения, полученные аналитическим путём, справедливы, естественно, только в случае биномиального распределения. Бино-

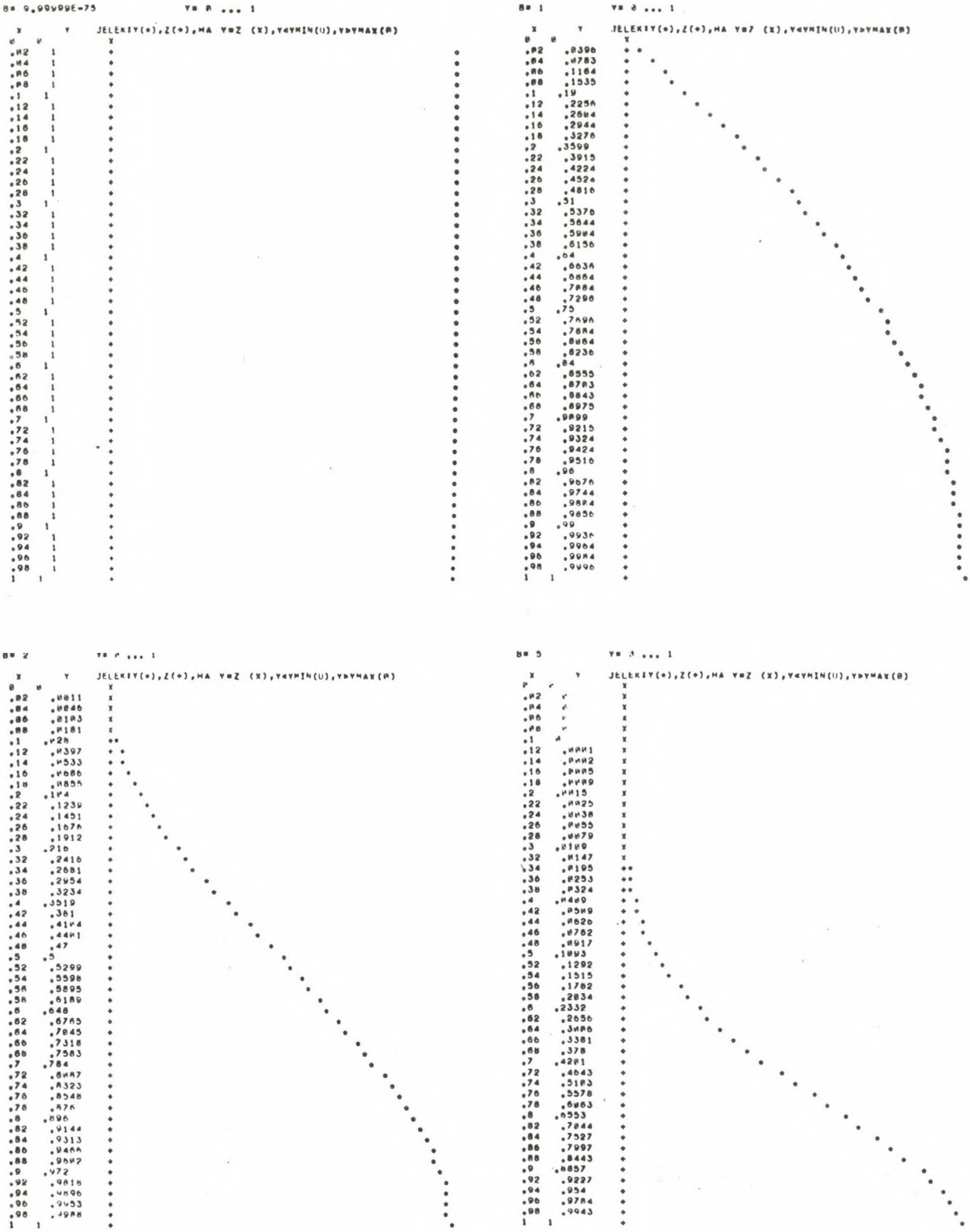

B= 9,99999E-75
Y= 0 ... 1
X Y JELEKIY(+),Z(+),HA Y=Z (X),Y<YMIN(U),Y>YMAX(0)
B= 1
Y= 0 ... 1
X Y JELEKIY(+),Z(+),HA Y=Z (X),Y<YMIN(U),Y>YMAX(0)
B= 2
Y= 0 ... 1
X Y JELEKIY(+),Z(+),HA Y=Z (X),Y<YMIN(U),Y>YMAX(0)
B= 5
Y= 0 ... 1
X Y JELEKIY(+),Z(+),HA Y=Z (X),Y<YMIN(U),Y>YMAX(0)

Рис. I3

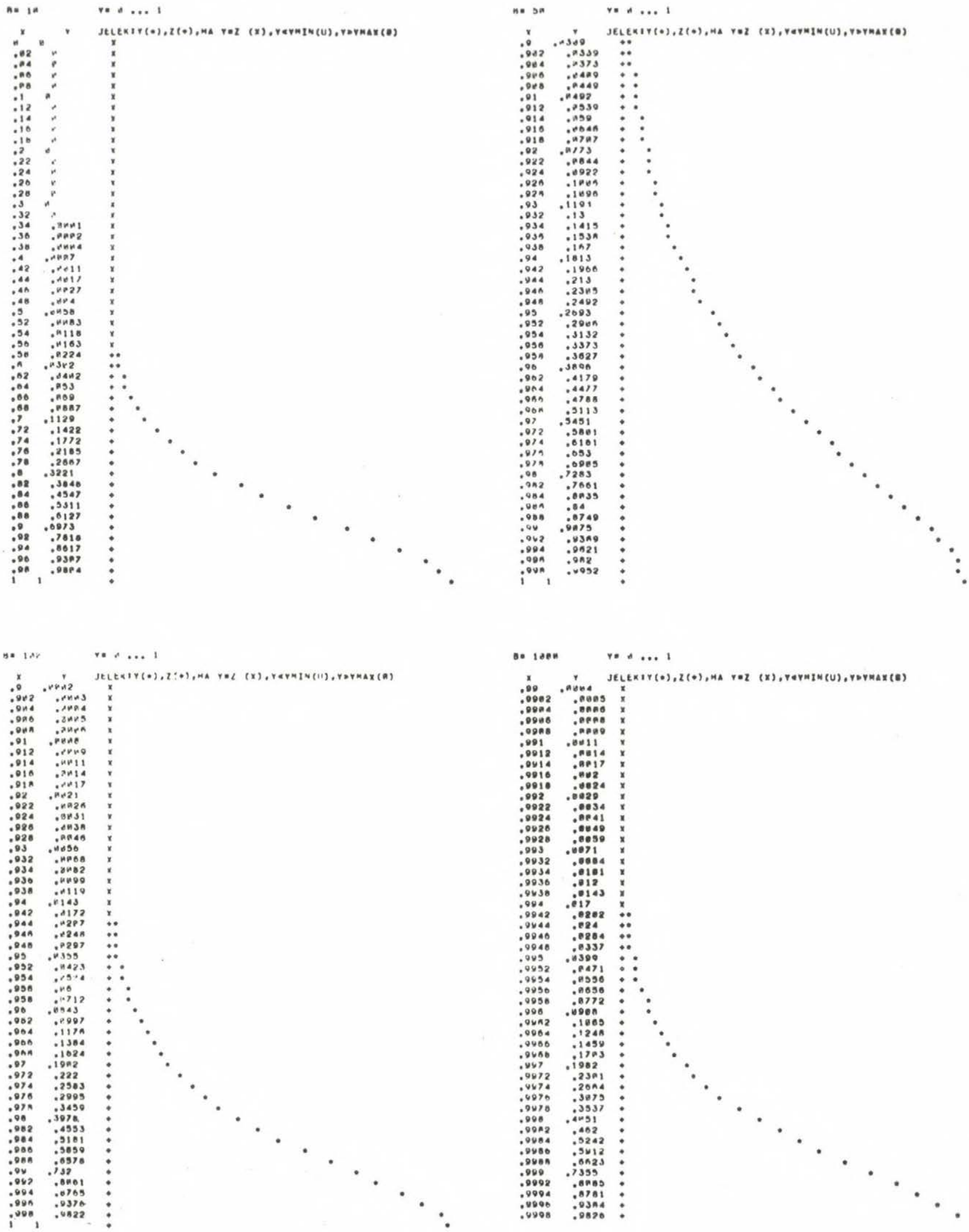


Рис. I3

миальное распределение оправдывается, например, для систем элементов, построенных на типах элементов с одинаковым числом мембран. Но можно представить и существуют системы, построенные на типах элементов с различным числом мембран, поэтому значения плотности вероятности по числу мембран при определённых значениях числа мембран и не существуют.

Практическое исследование, выполненное в главе 5.3 , показало, что при числе переменных $i = 1, 2, 3$ значения S_{φ_i} могут быть использованы для качественных рассуждений. Следует отметить, что для практического использования интересны, в первую очередь, именно эти функции малого числа переменных и обстоятельства их реализации. Из-за громадного числа вычислений, необходимых для конкретного исследования, у нас никаких данных нет и не может быть относительно того, что при числе переменных $i = 4$ могут ли ещё использоваться значения S_{φ_i} . Несмотря на это обстоятельство, в рамках настоящей работы исследования, выполняемые с помощью приближённого значения специфической логической ёмкости, выполнены максимально до числа переменных $i = 4$.

6. ТОЖДЕСТВЕННЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ

Мы уже определили ранее, с точки зрения устройства элементов, ту группу элементов и систем элементов, которую мы рассматриваем в рамках данной работы. Оговорено было уже и то, что при определении специфической логической ёмкости элементы какой конструкции мы считаем мембранами.

С точки зрения тождественности условий важно также и то, что в каком режиме работают или могут работать элементы исследуемых систем элементов.

Соответственно этому, если при определении специфической логической ёмкости учитывались только те логические функции, которые реализуются в активном режиме работы элементов, тогда мы говорим об активной специфической логической ёмкости ($S_{\phi_i a}$, $S_{\varphi_i a}$).

В самом общем случае используются и логические функции, реализуемые элементами систем элементов в пассивном режиме. В этом случае мы говорим о пассивной специфической логической ёмкости ($S_{\phi_i p}$, $S_{\varphi_i p}$) .

Легко видеть, что если для одной и той же системы элементов интерпретируем (вычислим) специфические логические ёмкости, относящиеся к разным режимам, то

$$S_{\phi_i a} \leqq S_{\phi_i p}$$
$$S_{\varphi_i a} \leqq S_{\varphi_i p} \qquad (60)$$

Между этими двумя крайними значениями можно было бы интерпретировать логические ёмкости, относящиеся к разным другим режимам (полуактивный, полупассивный). Поскольку в дальнейших исследованиях мы используем только активную и пассивную логические ёмкости, то здесь не рассматриваются остальные.

7. НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ В СВЯЗИ СО СВОЙСТВАМИ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ

В главе о тождественности условий исследования уже было упомянуто, что пассивная специфическая логическая ёмкость больше, чем активная, или равна ей. (См. зависимость 60.) Ранее говорилось также и о том, что для систем элементов, являющихся функционально не полными системами элементов, не существует точное значение специфической логической ёмкости, хотя приближённое значение может быть формально определено.

Желательно было бы исследовать также, каково наибольшее достижимое значение специфической логической ёмкости.

Легко видеть, что значение, равное I, практически не достижимо ни при каком значении числа переменных. Так, если значение специфической логической ёмкости равно I, то это означает, что любая логическая функция i переменных может быть реализована с помощью одной мембраны. Такая система элементов в действительности не существует. Но для каждого i существует, как в пассивном, так и в активном режиме, максимальное значение для точного и приближённого значений специфической логической ёмкости, реализуемое и в практике. Естественно, что как точное и приближённое значения специфической логической ёмкости не обязательно совпадают, так и максимальные значения не обязательно одинаковы.

Максимальное значение в случае $i = I$ можно определить немедленно:

$$S_{\Phi_1 p\ max} = S_{\Phi_1 a\ max} = S_{\varphi_1 p\ max} = S_{\varphi_1 a\ max} = 0{,}5 \qquad (6I)$$

При $i = 2$ уже необходим осмотрительный анализ, но вычисления ещё могут быть выполнены без особых трудностей. Для таких систем элементов, элементы которых построены на мембранах с одинаковой эффективной площадью, максимальные значения следующие:

$$S_{\Phi_2 p\ max} = 0{,}400$$

$$S_{\Phi_2 a\ max} = 0{,}343$$

$$S_{\varphi_2 p\ max} = 0{,}467$$

$$S_{\varphi_2 a\ max} = 0{,}371 \qquad (62)$$

При $i > 2$ требуется проделать настолько объёмные вычисления, что это выходит за пределы этой работы. Проведение этих вычислений не оправдывается также и потому, что они не имеют большого практического значения, поскольку уже при $i = 2$ системы элементов, реализующие максимальную специфическую логическую ёмкость, строятся на шести типах элементов. Зная существующие мембранные системы элементов, можно сказать, что уже шесть типов элементов означает слишком большой и непринятый выбор элементов.

В заключении мы должны ещё высказаться о результирующей специфической логической ёмкости, получаемой при объединении двух элементов в системе.

Пусть U и V являются логическими элементами, а приближённые значения их специфических логических ёмкостей - это $S_{\varphi_i U}$ и $S_{\varphi_i V}$. Спрашивается, какова будет специфическая логическая ёмкость $S_{\varphi_i UV}$ системы элементов UV, полученной путём объединения элементов U и V в систему.

Если Φ_{iU} является множеством функций i переменных, реализуемых элементом U, а Φ_{iV} является множеством функций i

переменных, реализуемых элементом V, и $\Phi_{1U}\Phi_{1V} = 0$, тогда $S_{\varphi_1 UV} = S_{\varphi_1 U} + S_{\varphi_1 V}$. Результирующая специфическая логическая ёмкость в этом случае является максимальной. Далее, очевидно, что

если $S_{\varphi_1 U} > S_{\varphi_1 V}$, тогда $S_{\varphi_1 U} \leq S_{\varphi_1 UV}$

если $S_{\varphi_1 V} > S_{\varphi_1 U}$, тогда $S_{\varphi_1 V} \leq S_{\varphi_1 UV}$

Т.е. можно сделать вывод, что

$$\begin{aligned} &\text{если } S_{\varphi_1 U} > S_{\varphi_1 V}, \quad \text{тогда } S_{\varphi_1 U} \leq S_{\varphi_1 UV} \leq S_{\varphi_1 U} + S_{\varphi_1 V} \\ &\text{если } S_{\varphi_1 V} > S_{\varphi_1 U}, \quad \text{тогда } S_{\varphi_1 V} \leq S_{\varphi_1 UV} \leq S_{\varphi_1 U} + S_{\varphi_1 V} \end{aligned} \tag{63}$$

8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ

В рамках этой работы мы продемонстрируем две возможности применения в практике специфической логической ёмкости.

Одна из них - это возможность методического анализа систем мембранных элементов в области технических параметров, выбранной на основании оценок разумности, не зависимо от того, что реализованы ли уже в практике исследуемые системы элементов, или нет. Такой анализ даёт возможность выбора оптимальных реализаций.

Другая из них - это возможность сравнения и оценки уже существующих и применяющихся в практике систем элементов при помощи специфической логической ёмкости.

В наших исследованиях мы пользуемся приближённым значением специфической логической ёмкости.

8.I Методический анализ систем элементов в выделенной области технических параметров

Определение области исследования является не простой задачей и в определённой степени зависит от произвольных решений. Ввиду того, что - как нам известно - такое методическое исследование ещё не проводилось, анализом должны охватываться наипростейшие случаи.

Следует подумать и о том, чтобы исследования проводились в тех областях, куда попадают уже реализованные частичные решения.

При определении областей не следует забывать также и о том, конечным является не только объём диссертации, но имеющаяся в нашем распоряжении вычислительная мощность и машинное время также ограничены.

Ввиду вышесказанного предметом нашего методического анализа будут являться системы элементов, построенные на одном типе элементов. Эти системы элементов, кстати, имеют неоценимые преимущества с точки зрения производства, ухода, ремонта, запасных частей, унификации и стандартизации.

Для дальнейшего определения области исследования рассмотрим по порядку те уже рассмотренные факторы, которые приводят к существенным различиям между логическими элементами.

I/ Произведём исследование всех возможных взаимных расположений пневматических пар контактов и управляющих ими мембран.

2/ Исследуем те системы элементов, у которых максимальное число мембран - 4.

Это огарничение, связанное с числом мембран, мы наложили, во-первых, потому, что пятимембранные элементы в пассивном режиме могут реализовать и логические функции семи переменных, что до ирреальных размеров увеличило бы объём вычислительной работы.

А во-вторых, хотя и существуют в практике элементы, содержащие более четырёх мембран, но они обычно используются для реализации каких-нибудь специальных функций (напр., ИЛИ). Обычно наиболее частовстречающимися являются двух- и трехмембранные элементы.

Как известно увеличение числа мембран ограничивается также проблемами, связанными с технологией производства и характеристикой элементов.

3/ При исследовании примем во внимание все возможные варианты связей штоков, передающих возникающие на мембранах силы (пепередача усилий растяжения и сжатия, передача усилия сжатия и передача усилия растяжения) с тем ограничением, что жёсткие центры мембран прикрепляются к мембранам и при такой механической связи, которая применима только для передачи усилия сжатия . С точки зрения реализации логических функций это ограничение, обычно не означает отклонения.

4/ Примем во внимание все возможные случаи образования выходного сигнала, т.е. каждое имеющее смысл соединение камер при пневматических контактах.

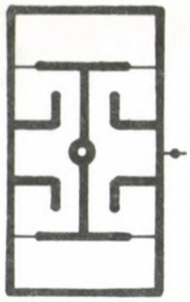
5/ На отношение эффективных площадей мембран и сопел также необходимо наложить ограничение.

Мы распространим наши исследования только на те элементы, которые содержат мембраны с одинаковыми эффективными площадями и сопла также с одинаковыми эффективными площадями. (Естественно, эффективная площадь мембран больше, чем эффективная площадь сопел.)

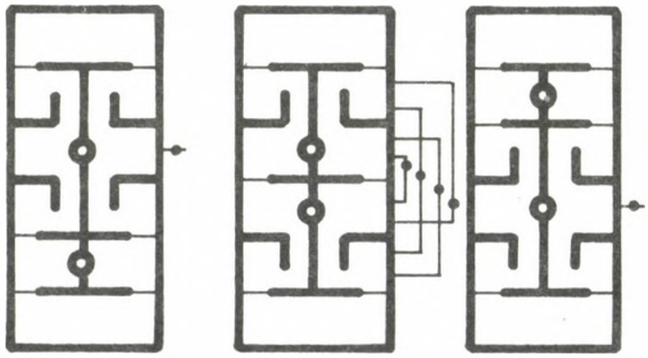
Ограничения и здесь также обусловливаются стремлением удержания разумного уровня объёма вычислительной работы. К тому же элементы, построенные на мембранах с одинаковой эффективной площадью, и в практике являются более распространенными. Очевидно, что это обстоятельство вызвано также причинами, происходящими из технологии производства и системной техники. (Среди известных систем элементов только система УСЭППА, которая уже может считаться классической, содержит тип элементов, построенный на мембранах с неодинаковой эффективной площадью.)

Варианты, определённые согласно вышесказанному, показаны на рис. I4 и рис. I5. В дальнейшем, варианты, показанные на рис. I4 будем называть вариантами типа А, а на рис. I5 - вариантами типа В.

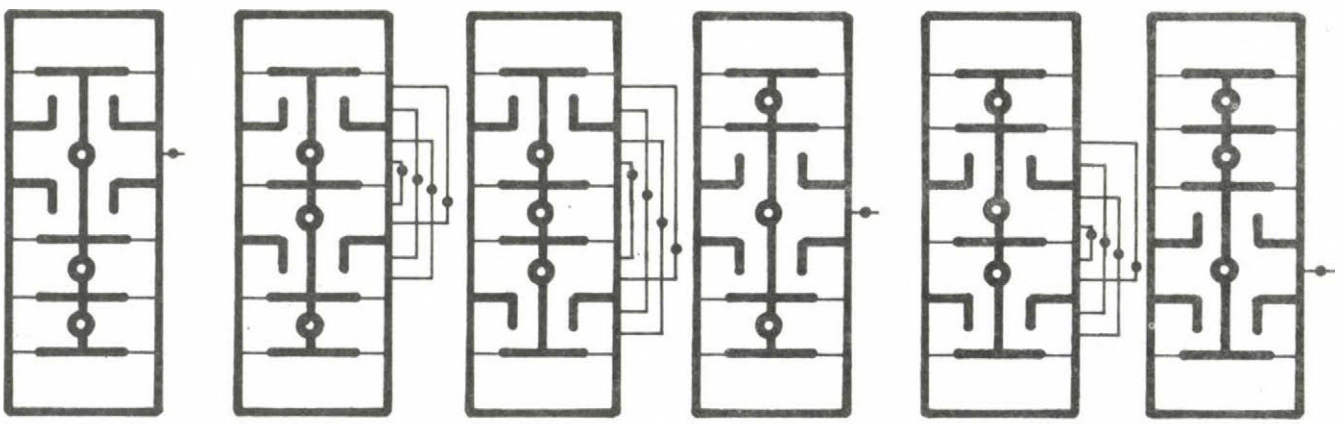
(Находящиеся на рисунке обозначения указывают, что варианты приложения I от которых общих вариантов исходят.)



A1



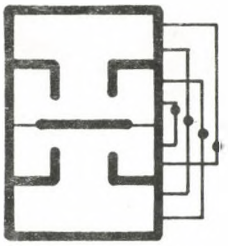
A/2,3/ A4 A/2,3/



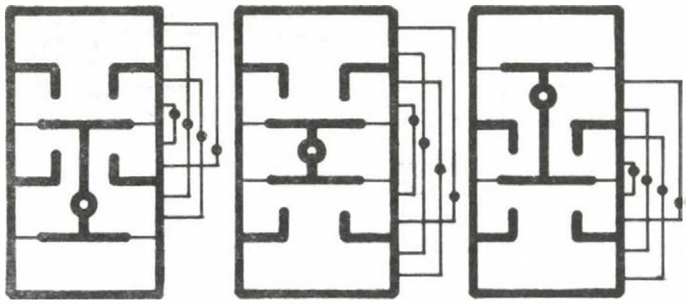
A/5,6, 7,8/ A/9,10/ A/11,12,13/ A/9,10/ A/5,6, 7,8/

Рис. I4

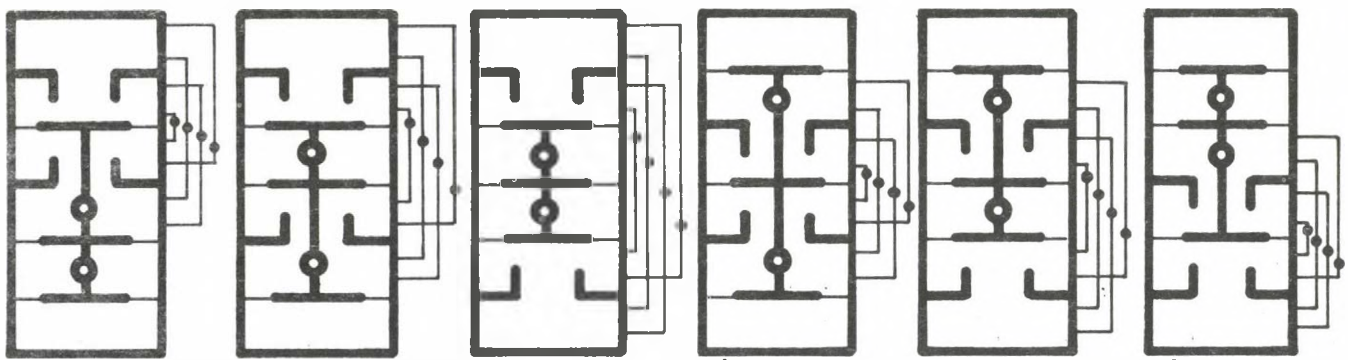
(Находящиеся на рисунке обозначения указывают, что варианты приложения I от которых общих вариантов исходят.)



B1



B/2,3,4/ B/2,3,4/



B/5,6,7, 8,9,10/ B/11,12, 13,14, 15,16/ B/5,6,7, 8,9,10/

Рис. I5

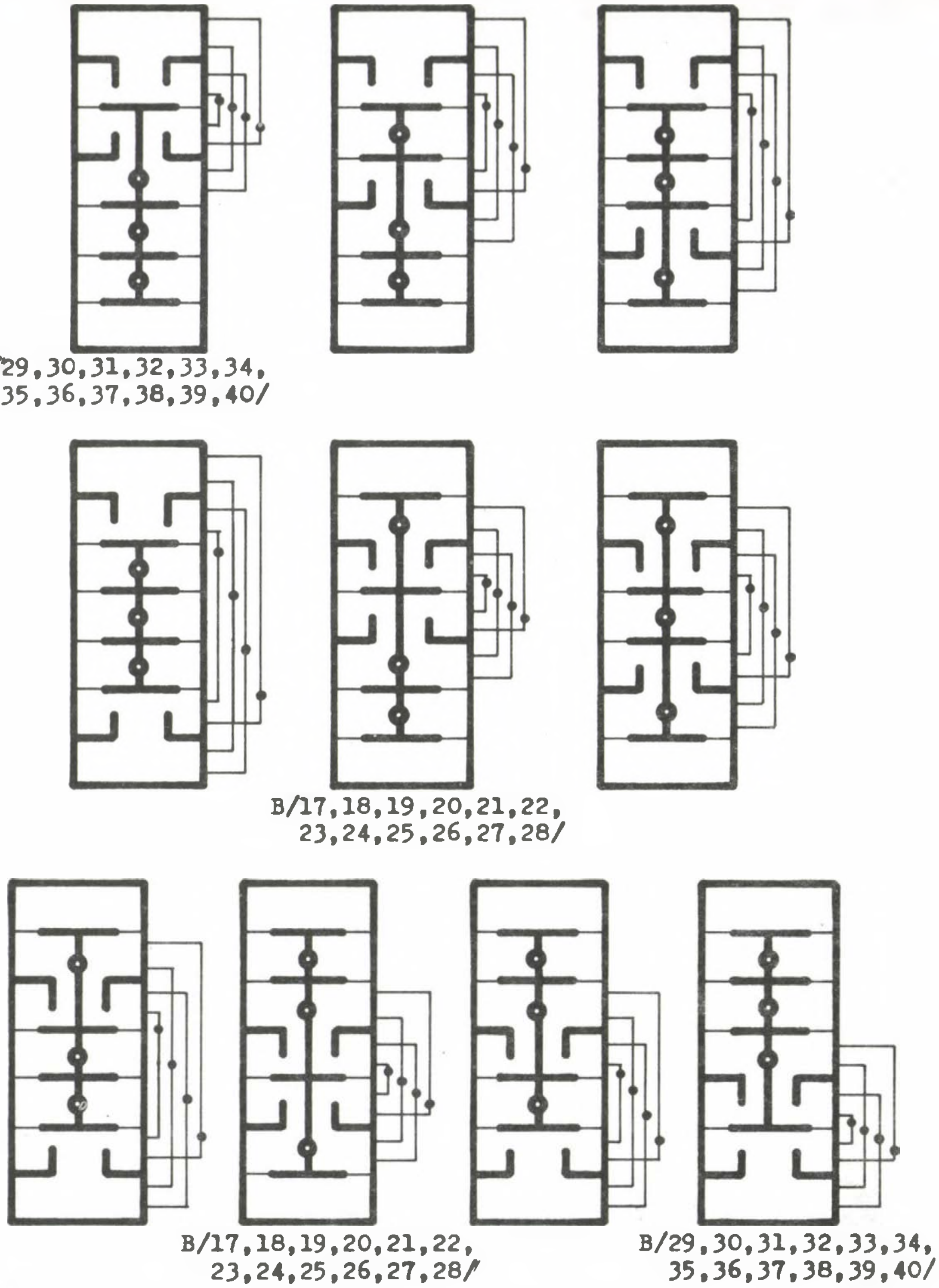

В/29,30,31,32,33,34,
35,36,37,38,39,40/
В/17,18,19,20,21,22,
23,24,25,26,27,28/
В/17,18,19,20,21,22,
23,24,25,26,27,28/
В/29,30,31,32,33,34,
35,36,37,38,39,40/

Рис. I5

Всего существует I798 вариантов, но это количество может быть сокращено, если исследуем только варианты, имеющие смысл в практике.

Если поразмыслить о том, что

а/ отношения симметрии приводят к множеству тождественных случаев,

б/ имеется только такая механическая связь между мембранами, работающими в качестве элементов, закрывающих сопла, расположенные между ними, которая одинаково применима для передачи усиления сжатия и усиления растяжения,

в/ благодаря одинаковости эффективных площадей мембран не имеет смысла помещать между соплами более одной мембраны,

г/ из-за одинаковости эффективной площади мембран, к тому же бесполезной является механическая связь, одинаково применимая для передачи усилия растяжения и усилия сжатия,

д/ некоторые случаи образуют последовательный контур, и эти случаи мы уже во вступлении исключили из круга наших исследований,

то число вариантов сократится до 82. Если несчитать отдельно варианты различающиеся только способом образования выходного сигнала, то число вариантов равно 53.

Хотя наши исследования мы проводим на системах элементов, построенных на одном типе элементов, имеется возможность, как мы увидим далее, получить и более общие выводы. Соответственно этому, результаты, полученные в рамках этого исследования, составляют основу оценки известных систем элементов, проводимой в последующей главе. Данные, полученные из этого же анализа, дают возможность определения оптимальной или близкой к оптимальной системы, построенной на двух типах элементов.

Итак нашей задачей является анализ системно-технических свойств полученных таким образом 53 вариантов с помощью специфической логической ёмкости. Для этого определим для каждого варианта пассивную и активную специфические логические ёмкости.

Для начала следует определить логические функции максимального числа переменных, реализуемые элементами в пассивном режиме. Для этого мы используем пособия для проведения вычислений, находящиеся в приложении I. На каждом отдельном листе изображён исследуемый вариант и форма, таблица Карно и таблица включений реализуемых им в пассивном режиме логических функций. Обозначено также и число мембран. Для вычисления активной логической ёмкости, естественно, необходимы и логические функции максимального числа переменных, реализуемые в активном режиме, вычислить которые можно без особого труда. (Мы не приводим здесь подробности вычислений.)

Отправляясь от начальных данных, определённых в приложении I мы провели анализ с помощью вычислительной машины. Результаты, полученные с помощью вычислительной машины приведены в приложении II.

Процесс вычисления мы разобъём на две части с точки зрения программирования и выполнения программы.

В части, называемой ПНЕУНАЛ, определяется, что отправляясь из логических функций максимального числа переменных i_{max} , реализованных в пассивном и активном режиме, какие ещё отличные друг от друга типы логических функций с числом переменных, меньшим i_{max} , реализуемы. Эта редукция выполняется приравниванием независимых переменных логических функций 0, I и друг другу, вплоть до числа переменных $i = I$.

Логические функции максимального числа переменных задаются в вычислительную машину считыванием снизу вверх столбца таблицы включений, т.е. порядковым номером логической функции, выраженном в двоичной системе. Соответственно этому, в такой же форме получим и функции, полученные путём редукции числа переменных. Вычисления выполняются сначала для пассивного, потом для активного режима. А для каждого режима вычисляются сначала элементы типа А, а потом элементы типа В.

Во второй части, называемой ВАРИЯ, определяется сначала, что типы функций, реализованные отдельными элементами, полученные как частичный результат выполнения ПНЕУНАЛ-а, сколько раз встречаются во множестве ϕ_i ; другими словами, сколько логических функций i переменных (в программе обозначенных буквой F_i) реализуется элементом. Это исследование мы произвели до числа переменных $i_{max} = 4$. Получив эти данные, вычисляем специфические логические ёмкости S_1, S_2, S_3, S_4 . В заключение, для облегчения оценки, элементы упорядочиваются по убыванию значения специфической логической ёмкости. Исследование для пассивного и активного режима как для элементов типа А, так и для элементов типа В, производится отдельно и в части ВАРИЯ.

Программа написана на языке ФОРТРАН. Вычисления производились ЦВМ CDC 3300 Исследовательского Института Вычислительной Техники и Автоматизации ВАН. Подтвердилось разумность ограничения исследуемых систем элементов с точки зрения машинного времени, так что полученное на вычисления машинное время было использовано экономно. Совместное время выполнения программ ПНЕУНАЛ и ВАРИЯ для всех вариантов составило примерно 35 минут.

Подробное обсуждение алгоритма программы не является целью настоящей диссертации. Вычислительная машина и в данном случае служила только вспомогательным орудием для проведения численных расчётов, и без помощи машины невозможно было бы произвести все эти по-существу простые, но очень объёмные вычисления. Поэтому мы приводим здесь только упрощённые блоксхемы программ ПНЕУНАЛ и ВАРИЯ (рис. I6 и рис. I7).

Блок-схема программы ПНЕУАНАЛ

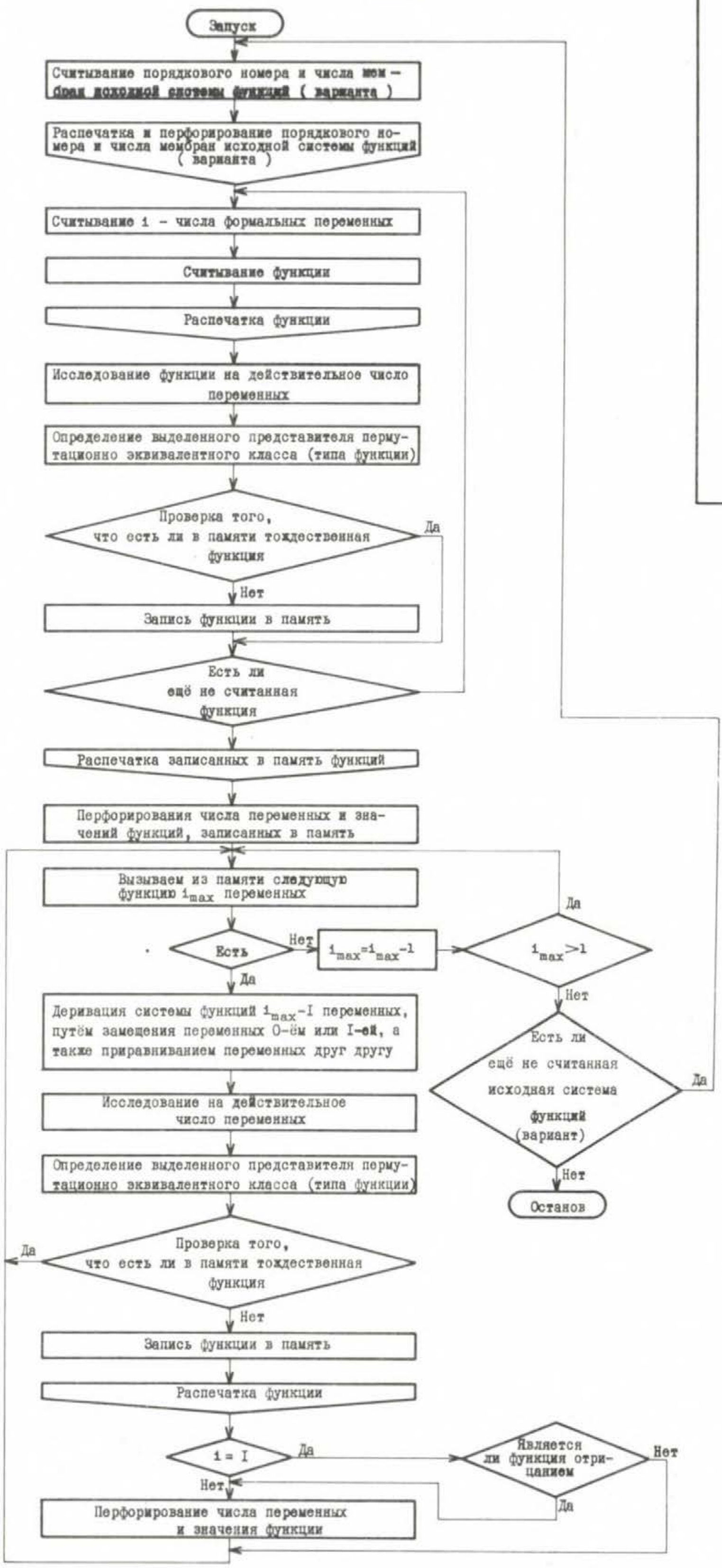


Рис.16

80

Блок-схема программы ВАРИА

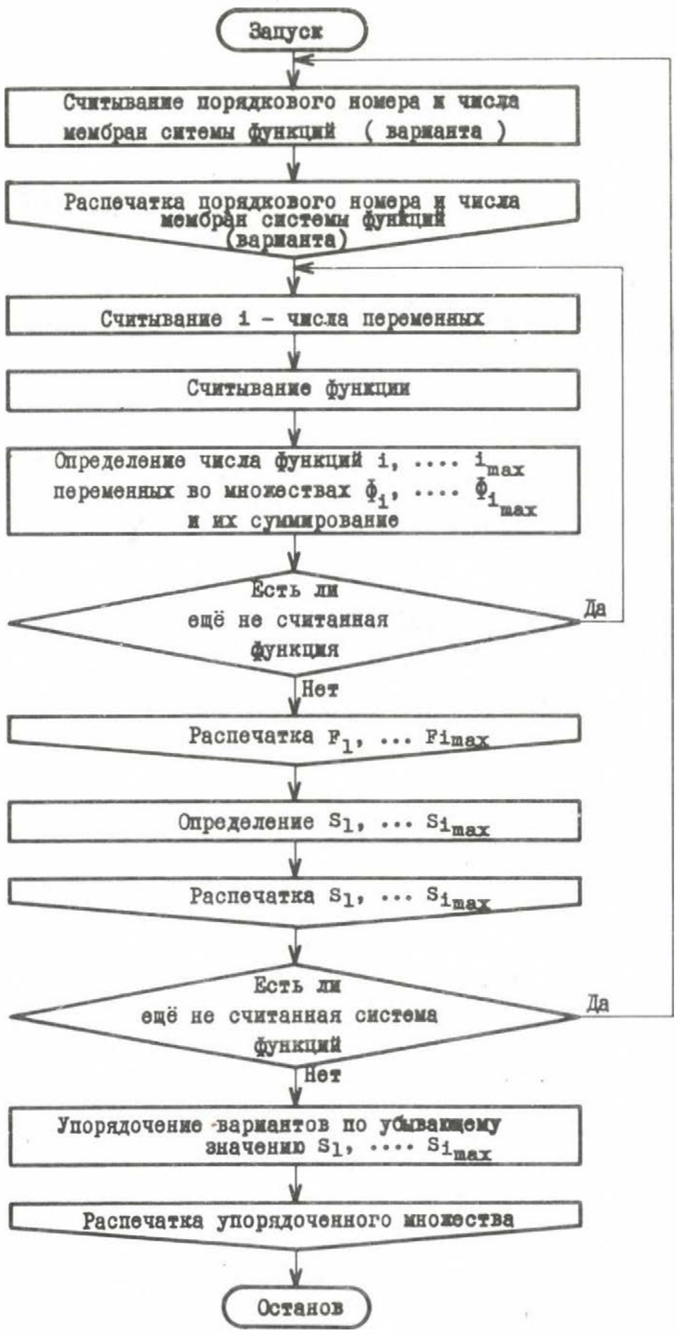


Рис. 17

81

8.2 Оценка результатов анализа, проведение выводов. Относительная специфическая логическая ёмкость

Результаты анализа, приведённые в приложении II можно оценить с различных точек зрения, поэтому здесь имеется возможность сделать только некоторые выводы.

Упорядочение отдельных типов элементов по убыванию значения специфической логической ёмкости является для нас самым важным. Из результатов непосредственно можно определить, что до различных чисел переменных какие типы элементов наиболее подходящие в активном и в пассивном режиме.

Объединяя результаты, полученные для элементов типа A и элементов типа B, получаем, что самыми выгодными вариантами для пассивного режима являются: при числе переменных $i = 1, 2, 3$ – AI, а при $i = 4$ – AI3; для активного режима самыми выгодными являются: при $i = 1$ – AI, при $i = 2, 3$ – AI3, при $i = 4$ – A7 и A8.

Для сравнения изобразим пассивные и активные специфические логические ёмкости для вариантов AI, AI3, A7, A8 при числе переменных $i = 1, 2, 3, 4$ (рис. I8). Поскольку значение специфической логической ёмкости стремительно уменьшается с увеличением числа переменных, то специфическую логическую ёмкость целесообразно изображать в логарифмическом масштабе. Для более лёгкой обозреваемости точки, принадлежащие одному и тому же варианту, соединены линией одного и того же вида.

Из рисунка наглядно можно видеть, что в пассивном режиме, при значениях $i = 1, 2, 3$, выше всего располагается кривая AI. При $i = 3$ кривая AI3 уже приближается к кривой AI, а при $i = 4$ уже пролегает гораздо выше её. При $i = 1$ кривая варианта AI при активном режиме также пролегает выше всех других кривых и при $i = 2$ показывает значение, едва худшие, чем

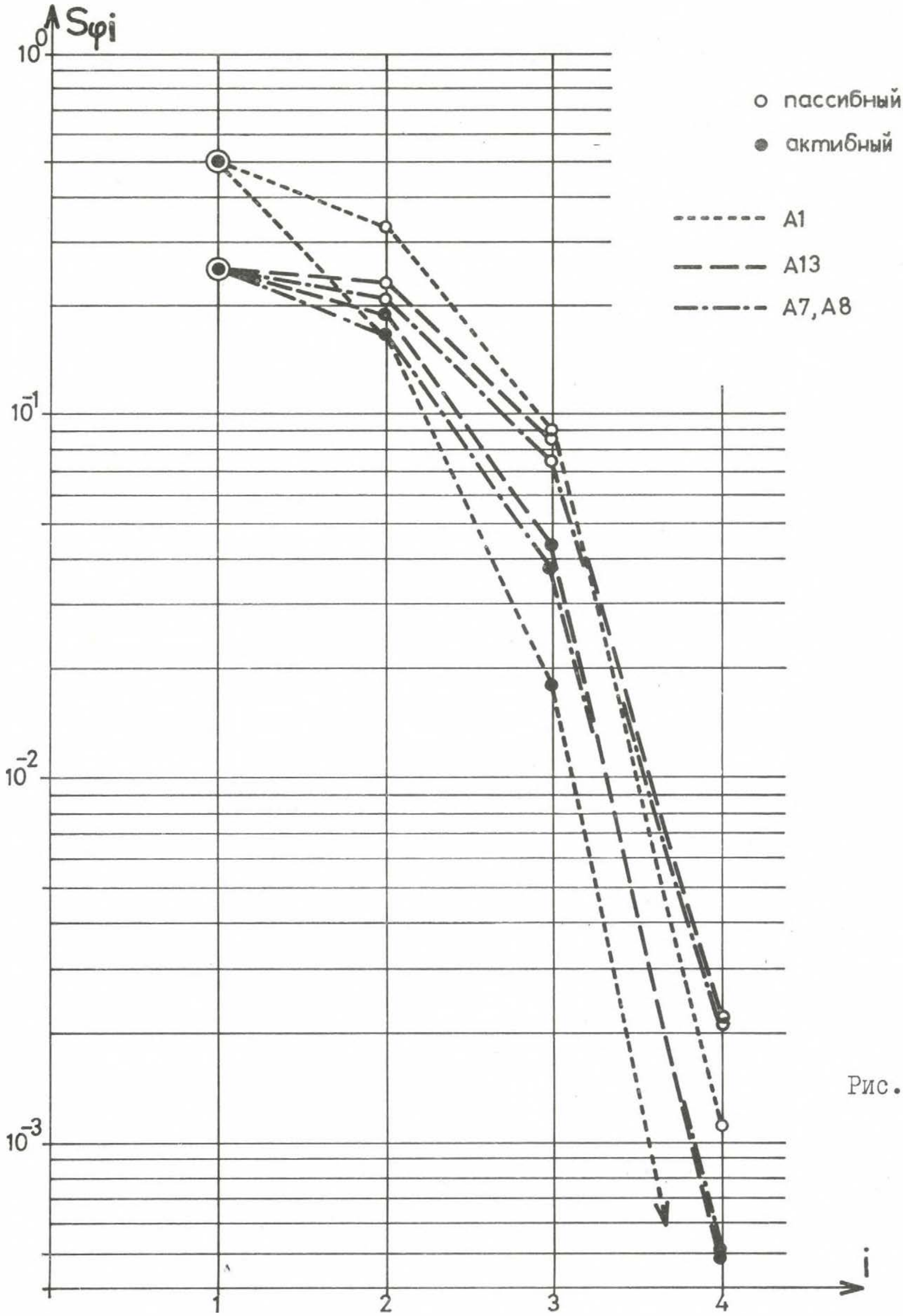


Рис. I8

кривая варианта AI3.

Если принять во внимание, что для практики интересными являются прежде всего реализации с малым числом переменных, из систем элементов, построенных на одном типе элементов, наилучшей с точки зрения специфической логической ёмкости является, несомненно, вариант AI (рис. 22). Если рассматривать совместно пассивную и активную специфическую логическую ёмкости, то придём к тому же результату. Отметим, что вариант AI существует в действительности и представлен основным элементом известной системы ДРЕЛОБА, разработанной в ГДР.

Если бы было поставлено целью создание такой построенной только на одном типе элементов системы элементов, элементы которой могут работать только в активном режиме, то по нашей оценке выбор должен быть сделан в пользу варианта AI3 (рис. 23б).

Приведённые рассуждения можно проследить ещё более наглядно, если вместо абсолютных значений специфических логических ёмкостей изобразим их отношения. Собственно говоря, в наших рассуждениях этим значениям придаётся важность. За единицу целесообразно принять пассивную специфическую логическую ёмкость наилучшего варианта AI ($S_{\varphi_i Alp}$). Полученное значение отношения будем называть <u>относительной специфической логической ёмкостью</u> и будем обозначать через R_{φ_i} . Итак, по нашему определению

$$R_{\varphi_i} = \frac{S_{\varphi_i}}{S_{\varphi_i Alp}} \qquad (64)$$

Относительная специфическая логическая ёмкость наилучших вариантов показана на рис. I9.

Если поставить целью создание оптимальной системы элементов, построенной на двух типах элементов из исследованных 53 типов элементов, то следовало бы аналогичным образом исследовать чис-

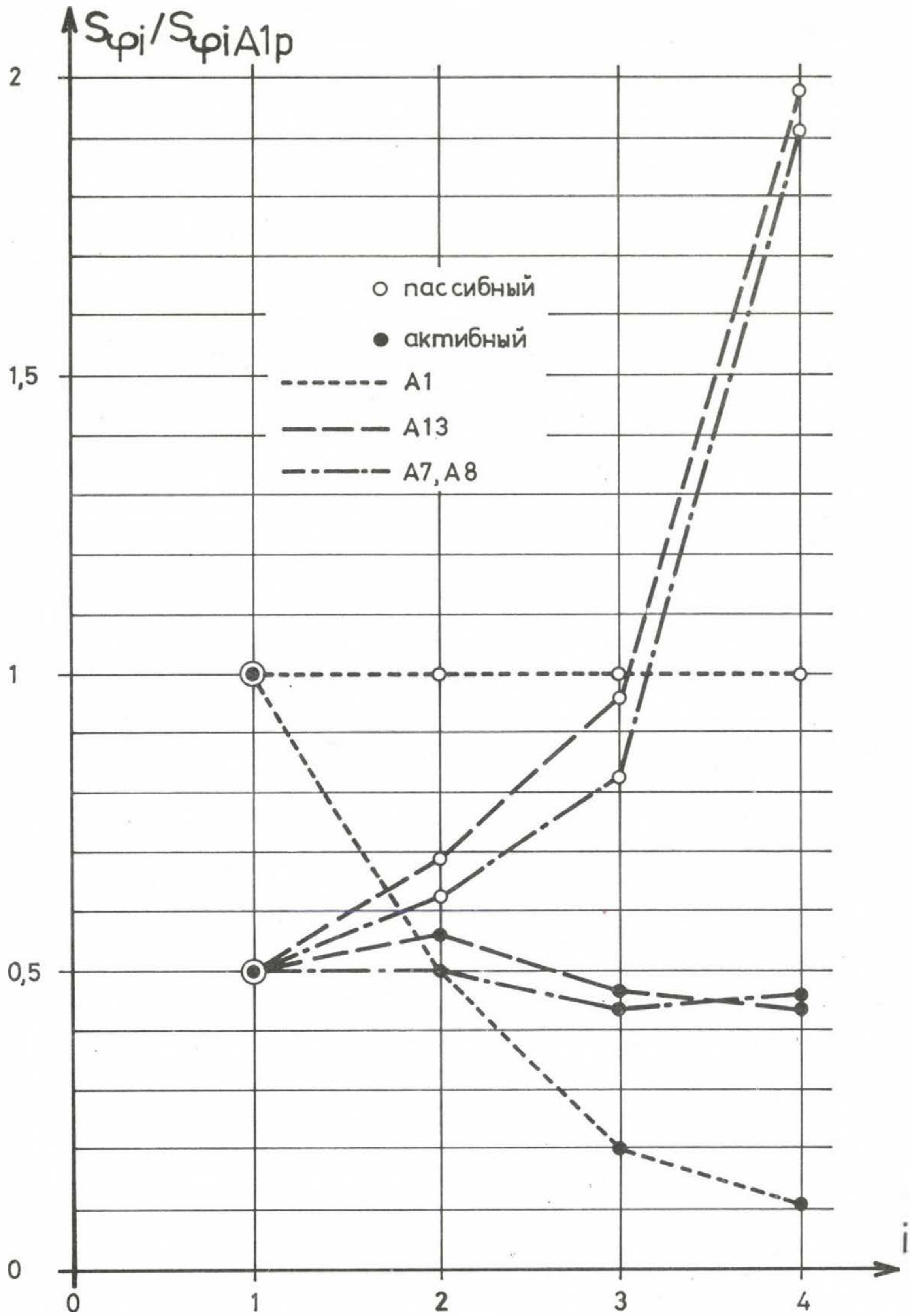


Рис. I9

ло случаев, равное $\binom{53}{2}$, поскольку, согласно зависимости (63), специфическая логическая ёмкость системы элементов, образованной из двух элементов, может быть оценена из известных специфических логических ёмкостей отдельных элементов только внутри некоторых пределов. Несмотря на это, и без отдельного исследования вероятно, что система элементов, образованная из вариантов AI и AI3 (рис. 23) является оптимальным, или во всяком случае близким к оптимальному решением. Абсолютная и относительная специфическая логическая ёмкости для вариантов AI и AI3 и для образованной из них системы AI, AI3 показаны в таблице 4 и на рис. 20 и рис. 2I.

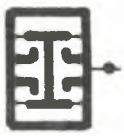
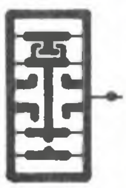
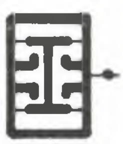
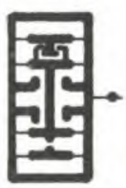
Интересно проследить, что наилучшие варианты все без исключения принадлежат к типу A и их принципиальное устройство основано на принципиальном устройстве варианта AI.

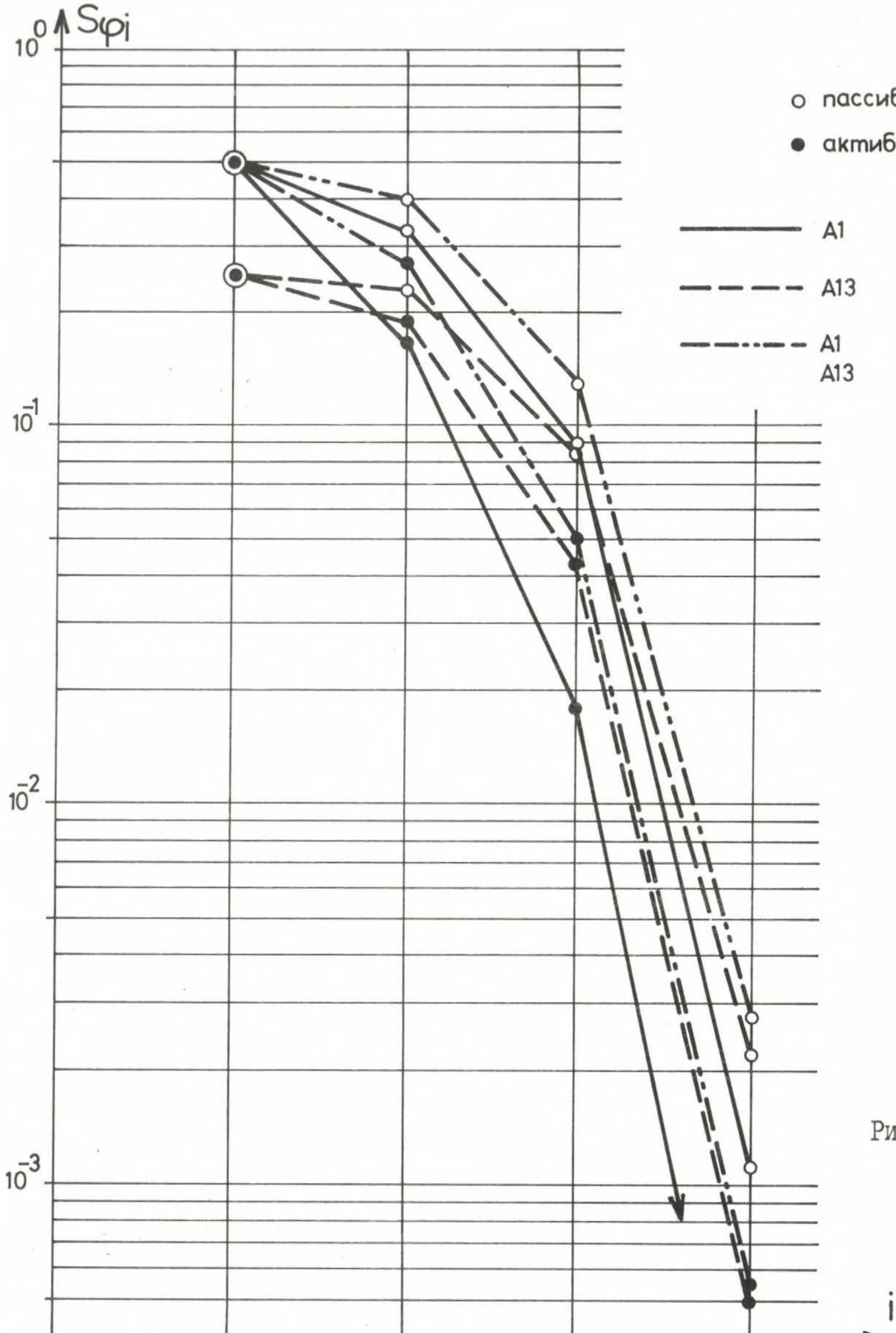
8.3 Сравнение и оценка систем элементов, применяемых в практике

Результаты анализа с помощью ЦВМ систем элементов, построенных на одном типе элементов, дают возможность для исследования систем элементов, применяемых в практике. Как будет видно далее, исследуемые системы элементов построены на таких типах элементов, для которых их собственные специфические логические ёмкости уже известны из предыдущей главы. Кроме этого мы будем случайно иметь дело и с такими системами элементов, для которых специфические логические ёмкости могут быть определены после сравнительно небольших вычислений, если известны логические функции, реализуемые отдельными типами элементов и вычисляемые из них специфические логические ёмкости отдельных элементов (мы не будем подробно приводить здесь эти вычисления).

Для нас важно, в первую очередь, сравнение систем элементов, применяемых в социалистических странах. Среди них самыми известными и, вместе с тем, попадающими в область наших исследований

Т а б л и ц а 4

Номер элементов системы элементов	Название системы (страна)	Принципиальная схема элементов системы	Специфическая логическая ёмкость							
			$S_{\varphi 1p}$	$S_{\varphi 2p}$	$S_{\varphi 3p}$	$S_{\varphi 4p}$	$S_{\varphi 1a}$	$S_{\varphi 2a}$	$S_{\varphi 3a}$	$S_{\varphi 4a}$
			Относительная специфическая логическая ёмкость							
			$R_{\varphi 1p}$	$R_{\varphi 2p}$	$R_{\varphi 3p}$	$R_{\varphi 4p}$	$R_{\varphi 1a}$	$R_{\varphi 2a}$	$R_{\varphi 3a}$	$R_{\varphi 4a}$
A1			0,5	0,333	0,0896	0,00113	0,5	0,167	0,0179	0,000122
			1	1	1	1	1	0,502	0,20	0,108
A13			0,25	0,229	0,0857	0,00223	0,25	0,188	0,0418	0,000496
			0,5	0,688	0,956	1,980	0,5	0,563	0,467	0,438
A1 A13			0,5	0,396	0,130	0,00279	0,5	0,271	0,0508	0,000557
			1	1,190	1,450	2,470	1	0,815	0,567	0,493



$S_{\varphi i}$
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
о пассибный
● актибный
A1
A13
A1
A13
1
2
3
4
i

Рис. 20

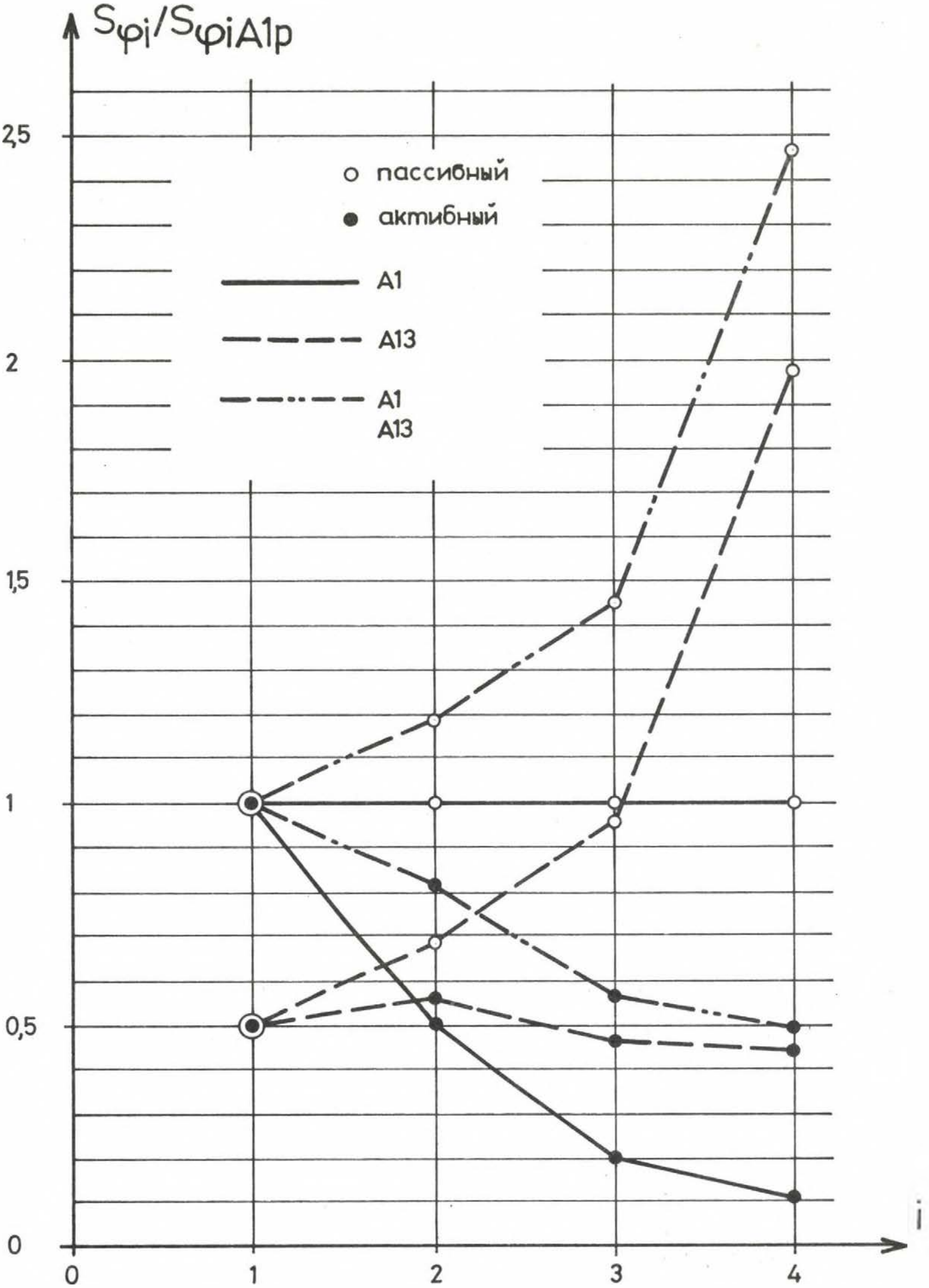

$S_{\varphi i}/S_{\varphi iA1p}$
2,5
2
1,5
1
0,5
0
пассивный
активный
A1
A13
A1
A13
i
0
1
2
3
4

Рис. 2I

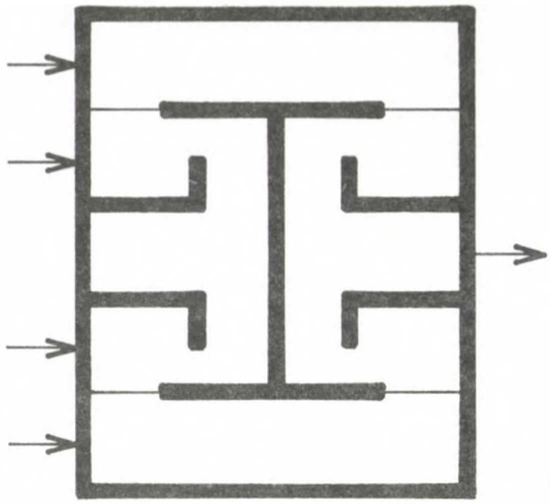
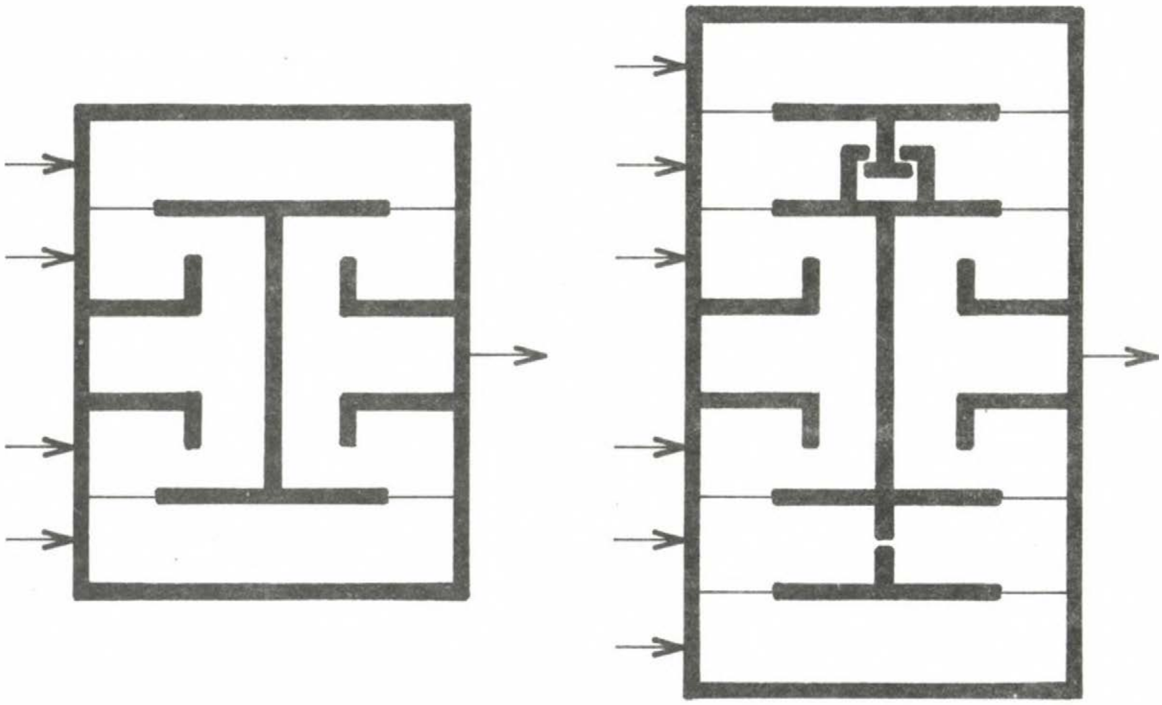


Рис. 22



а) б)

Рис. 23

являются следующие:

МЕРАЛОГ (Польская Народная Республика)
ДРЕЛОБА (Германская Демократическая Республика)
ТРИМЕЛОГ (Венгерская Народная Республика)

В дальнейшем мы будем заниматься этими системами.

Прежде, чем привести оценку численных результатов и диаграмм, относящихся к системам, следует сделать несколько замечаний.

Выбор элементов, действительный в данный момент для отдельных систем, не в каждом случае можно определить точно. Поэтому для каждой системы мы взяли в качестве основы тот выбор элементов, который служил основой первых промышленных применений системы. Это замечание относится, в первую очередь, к системе ДРЕЛОБА, для которой традиционный выбор элементов был представлен двухмембранным универсальным элементом (AI) и пассивным элементом ИЛИ с двумя входами (BI). Из публикаций известно, что эта система элементов с тех пор уже была пополнена многомембранными элементами.

Выбор элементов системы ТРИМЕЛОГ, действительный и по настоящий момент, состоит из трёхмембранного универсального элемента (A4, BII) и пассивного элемента ИЛИ с двумя входами (BI).

Система МЕРАЛОГ состоит, в смысле нашего ранее объяснённого понятия мембраны, из двух-, трёх-, четырёх- и пятимембранных элементов, из которых в активном режиме элементы типа A реализуют функцию типа ИЛИ, а элементы типа B реализуют функцию НЕИЛИ. Здесь и в элементах типа A жёсткие центры мембран не закреплены к мембранам. Поэтому между мембранами, действующими в качестве элементов, закрывающих сопла, расположенные между ними, и в пассивном режиме разрешена механическая связь, применяемая только для передачи усилия сжатия. Такие варианты отсутствуют в приложении I. Поскольку эти случаи можно получить из вариантов AI, A2 и A5, то обозначим их как AI^{*}, $A2^{*}$ и $A5^{*}$. Сохранив обозначения, применённые в вариантах AI, A2, A5, приведём функции максимального числа переменных, реализуемые в пассивном режиме элементами AI^{*}, $A2^{*}$, $A5^{*}$:

$$y = x_3(x_I + x_2)$$

$$y = x_4(x_I + x_2 + x_3)$$

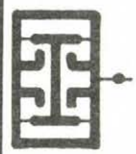
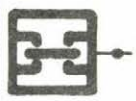
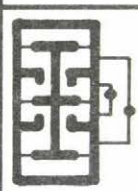
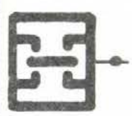
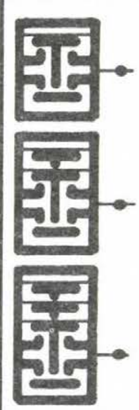
$$y = x_5(x_I + x_2 + x_3 + x_4)$$

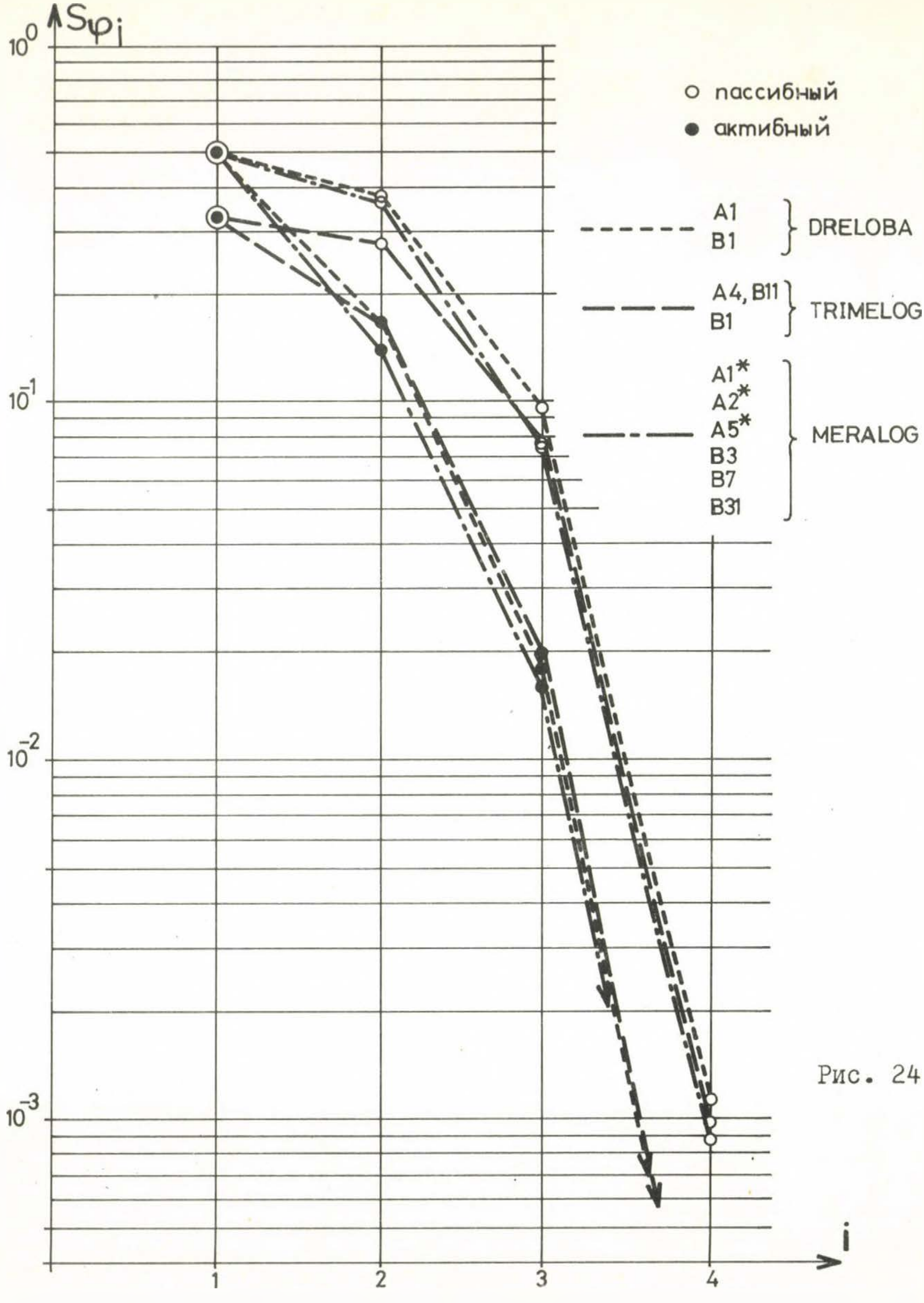
Поскольку в наших возможностях было провести исследование систем, построенных на одном типе элементов, только до числа мембран, равного 4, максимально, то мы не можем учитывать в наших исследованиях пятимембранные элементы системы МЕРАЛОГ. Система МЕРАЛОГ рассматривается здесь состоящей из типов элементов AI^{*}, $A2^{*}$, $A5^{*}$, B3, B7 и B3I.

Пассивный элемент ИЛИ с двумя входами систем ДРЕЛОБА и ТРИМЕЛОГ в самом деле является элементом со свободной мембраной, но в свете общей интерпретации понятия мембраны, он, как в смысле логической функции, так и в смысле специфической логической ёмкости, может рассматриваться как элемент типа BI. Поскольку элемент BI способен работать только в пассивном режиме, то активная специфическая логическая ёмкость систем ДРЕЛОБА и ТРИМЕЛОГ совпадает с активными логическими ёмкостями элементов AI и, соответственно, A4, BII.

Численные результаты исследования систем МЕРАЛОГ, ДРЕЛОБА и ТРИМЕЛОГ собраны в таблице 5. Специфические логические ёмкости показаны на рис. 24, а относительные специфические логические ёмкости показаны на рис. 25.

Т а б л и ц а 5

Номер элементов системы элементов	Название системы (страна)	Принципиальная схема элементов системы	Специфическая логическая ёмкость							
			$S_{\varphi 1p}$	$S_{\varphi 2p}$	$S_{\varphi 3p}$	$S_{\varphi 4p}$	$S_{\varphi 1a}$	$S_{\varphi 2a}$	$S_{\varphi 3a}$	$S_{\varphi 4a}$
			Относительная специфическая логическая ёмкость							
			$R_{\varphi 1p}$	$R_{\varphi 2p}$	$R_{\varphi 3p}$	$R_{\varphi 4p}$	$R_{\varphi 1a}$	$R_{\varphi 2a}$	$R_{\varphi 3a}$	$R_{\varphi 4a}$
A1	ДРЕЛОБА (ГДР)		0,5	0,375	0,0958	0,001174	0,5	0,167	0,0179	0,000122
B1			1	1,125	1,070	1,040	1	0,502	0,200	0,108
A4,B11	ТРИМЕЛОГ (ВНР)		0,333	0,278	0,0760	0,000997	0,333	0,167	0,0199	0,000142
B1			0,666	0,835	0,850	0,882	0,666	0,502	0,222	0,126
A1* A2* A5*	МЕРАЛОГ (ПНР)		0,5	0,361	0,0741	0,000886	0,5	0,139	0,0160	0,000124
B3 B7 B31			1	1,090	0,830	0,784	1	0,417	0,179	0,110



$S_{\varphi i}$
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
о пассивный
● активный
A1
B1
DRELOBA
A4, B11
B1
TRIMELOG
A1*
A2*
A5*
B3
B7
B31
MERALOG
1
2
3
4
i

Рис. 24

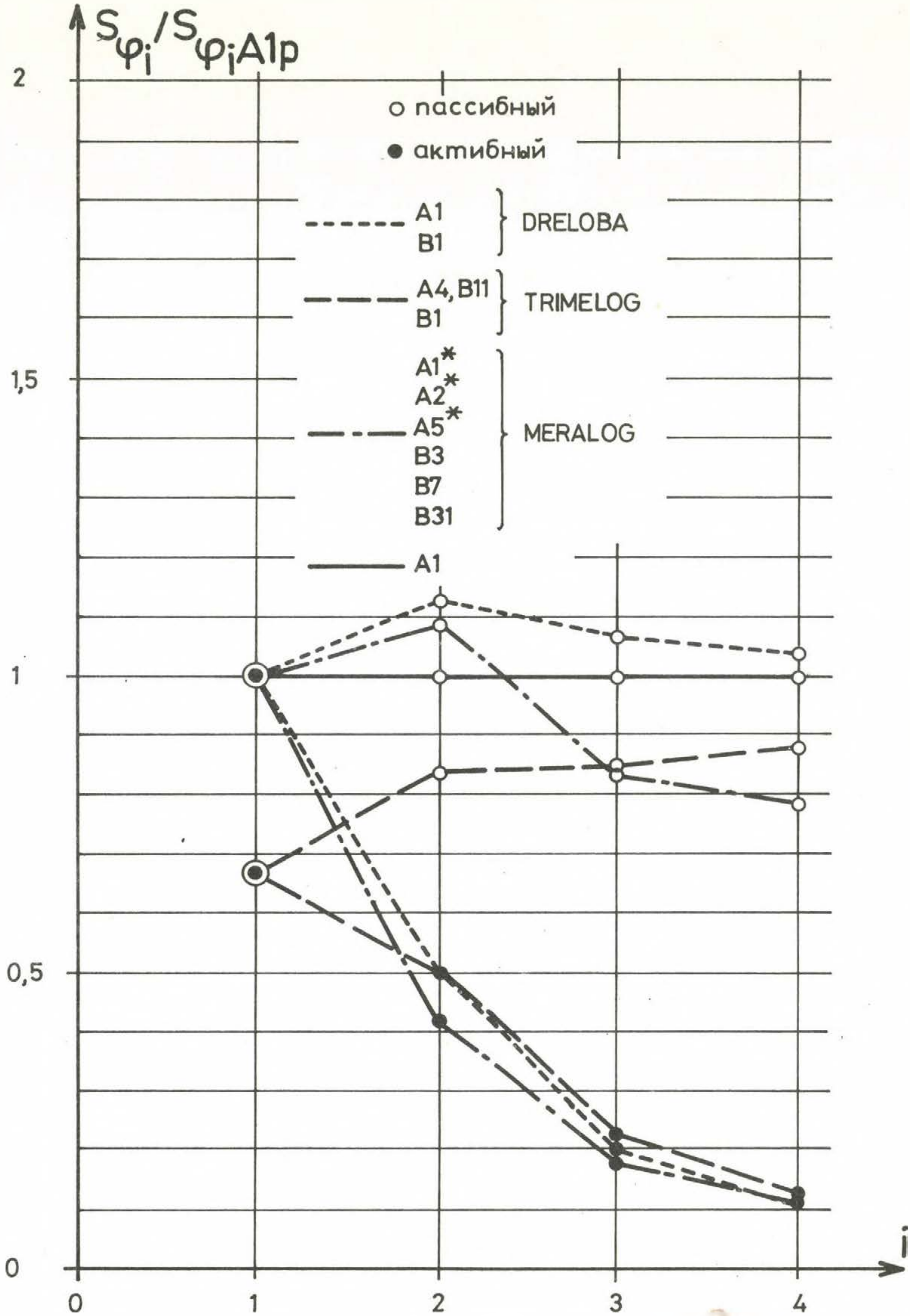

$S_{\varphi_i}/S_{\varphi_i A1p}$
2
1,5
1
0,5
0
о пассибный
● актибный
A1
B1
DRELOBA
A4, B11
B1
TRIMELOG
A1*
A2*
A5*
B3
B7
B31
MERALOG
A1
0
1
2
3
4
i

Рис. 25

8.4 Оценка результатов анализа, выводы

Можно определить, что при $i = 1$, кривые систем МЕРАЛОГ и ДРЕЛОБА имеют общую точку. Поскольку в отношении пассивных специфических логических ёмкостей при значениях $i = 2, 3, 4$ более выгодной является система ДРЕЛОБА, а в отношении активной специфической логической ёмкости не имеется значительных отличий, то можно сказать, что для общих системно-технических целей более выгодной является система ДРЕЛОБА.

Поскольку при малых значениях i пассивная специфическая логическая ёмкость системы МЕРАЛОГ значительно лучше, чем у системы ТРИМЕЛОГ, а при $i = 3$ ёмкости примерно одинаковы, а также поскольку активная специфическая логическая ёмкость системы МЕРАЛОГ при $i = 1$ значительно лучше, чем у системы ТРИМЕЛОГ, а при значениях $i = 2, 3, 4$ кривые не отличаются сколько-нибудь значительно, то можно сказать, что применение системы МЕРАЛОГ является более выгодным, чем применение системы ТРИМЕЛОГ.

Из рисунков также можно видеть, что если целью является осуществление системы элементов, работающей только в активном режиме, то в области $i = 1, 2, 3, 4$ системы МЕРАЛОГ и ДРЕЛОБА обладают примерно одинаковыми свойствами, а при $i = 2,3, 4$ системы МЕРАЛОГ, ДРЕЛОБА и ТРИМЕЛОГ показывают одинаковые свойства.

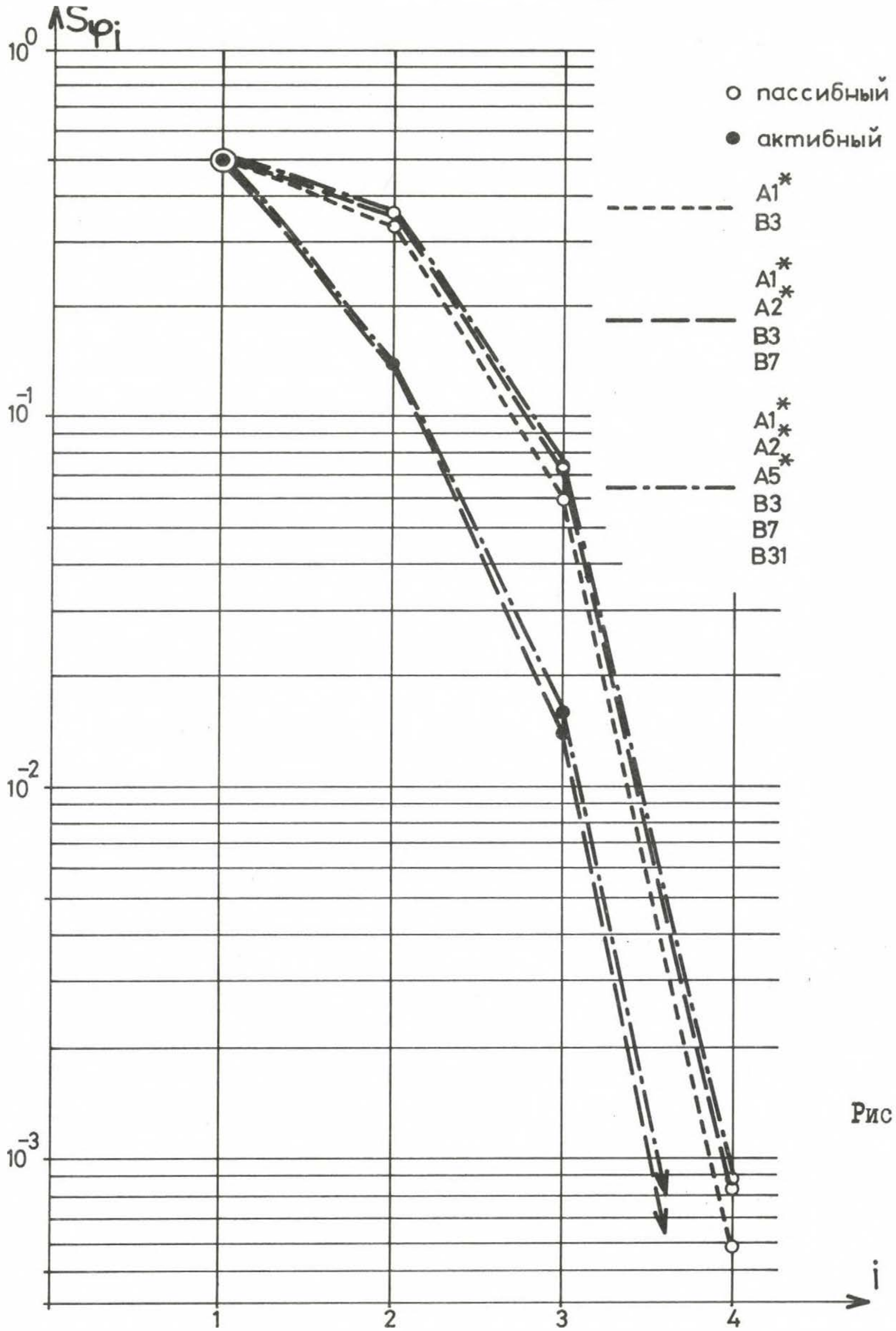
Естественно, никогда не следует забывать, что промышленная реализация некоторой системы элементов определяется не только специфической логической ёмкостью, а в этом играют роль ещё очень многие технические и экономические факторы. Например, если думаем о том, что с точки зрения активных специфических логических ёмкостей системы МЕРАЛОГ и ДРЕЛОБА примерно одного ранга, то следует подумать и о том, что в то время, как ДРЕЛОБА состоит из двух типов элементов, система МЕРАЛОГ - из шести типов элементов. Но в противоположность этому недостатку, элементы системы МЕРАЛОГ имеют одинаковый тип по своей конструкции, не прикреплённые к мембранам жёсткие центры мембран решают в самом начале многие технические проблемы.

В связи с системой МЕРАЛОГ мы можем сделать далее интересные замечания. С этой целью исследуем, как ведёт себя специфическая логическая ёмкость системы, если использовать только двухмембранные элементы (AI^{*}, B3), если использовать только двух- и трёхмембранные элементы (AI^{*}, $A2^{*}$, B3, B7), и, наконец, если используем полный выбор элементов (AI^{*}, $A2^{*}$, $A5^{*}$, B3, B7, B3I). Результаты этого исследования показаны в таблице 6 и на рис. 26 и рис. 27. (Выбор элементов AI^{*}, B3 в активном режиме не реализует функционально польной системы элементов, поэтому бессмысленно говорить об активной специфической лог. ёмкости.)

Как видно из результатов исследования, если кроме двухмембранных элементов использовать и трёхмембранные, улучшение является очень значительным. Если выбор элементов и далее расширяется и пополняется и четырёхмембранными элементами, то при значениях $i = I, 2$ вообще не наблюдается улучшения, а при значениях $i = 3, 4$ не очень значительно. Т.е. стоит подумать о том, что надо ли сохранить в выборе элементов системы МЕРАЛОГ типы элементов с числом мембран, большим трёх.

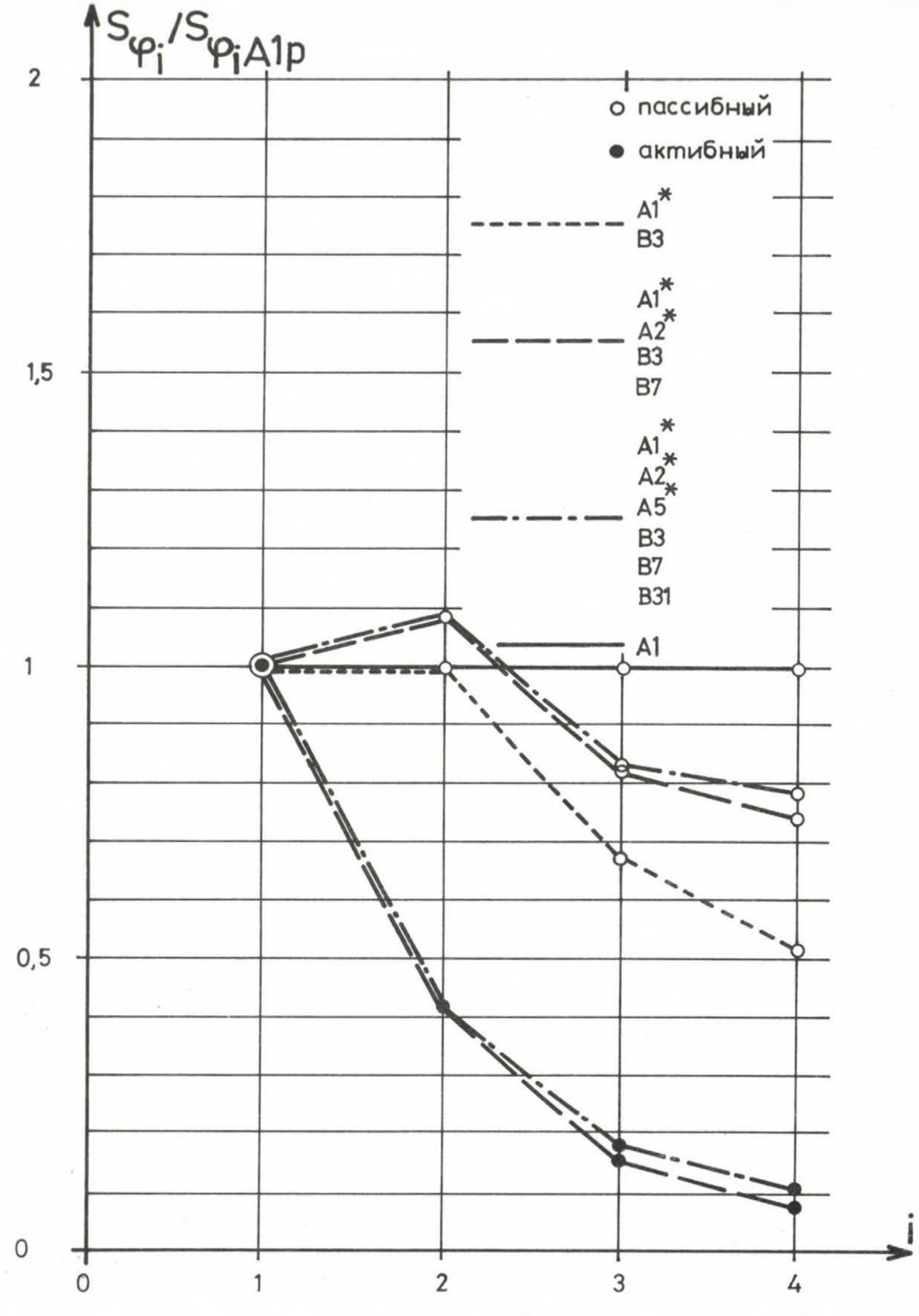
Таблица 6

Номер элементов системы элементов	Название системы (страна)	Принципиальная схема элементов системы	Специфическая логическая ёмкость							
			$S_{\varphi 1p}$	$S_{\varphi 2p}$	$S_{\varphi 3p}$	$S_{\varphi 4p}$	$S_{\varphi 1a}$	$S_{\varphi 2a}$	$S_{\varphi 3a}$	$S_{\varphi 4a}$
			Относительная специфическая логическая ёмкость							
			$R_{\varphi 1p}$	$R_{\varphi 2p}$	$R_{\varphi 3p}$	$R_{\varphi 4p}$	$R_{\varphi 1a}$	$R_{\varphi 2a}$	$R_{\varphi 3a}$	$R_{\varphi 4a}$
A1*	МЕРАЛОГ (ПНР)		0,5	0,333	0,0600	0,000580				
B3			1	1	0,670	0,514				
A1*, A2*		 	0,5	0,361	0,0731	0,000835	0,5	0,139	0,014[illegible]	0,000091
B3, B7		 	1	1,090	0,818	0,740	1	0,417	0,156	0,081
A1*, A2*, A5*		  	0,5	0,361	0,0741	0,000886	0,5	0,139	0,0160	0,000124
B3, B7, B31		  	1	1,090	0,830	0,784	1	0,417	0,179	0,110



S_{φ_i}
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
о пассивный
● активный
A1*
B3
A1*
A2*
B3
B7
A1*
A2*
A5*
B3
B7
B31
1
2
3
4
i

Рис. 26



$S_{\varphi_i}/S_{\varphi_i A1p}$
2
1,5
1
0,5
0
о пассибный
● актибный
A1*
B3
A1*
A2*
B3
B7
A1*
A2*
A5*
B3
B7
B31
A1
0
1
2
3
4
i

Рис. 27

9. ДАЛЬНЕЙШИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ

Наш подробный анализ желательно было бы продолжить и для мембран и сопел с различной эффективной площадью, а также для систем элементов, построенных на нескольких типах элементов.

Следовало бы подумать о том, что реализуемые некоторыми элементами функции, описывающие последовательный контур, каким образом могли бы быть учтены в вычислении специфической логической ёмкости. Так, например, мы могли бы получить и более хорошие, более отражающие действительность оценки для системы ТРИМЕЛОГ.

Возможно, что подобные исследования стоило бы провести не только в области мембранных элементов, но также и в областях шариковых и золотниковых элементов. В этом случае, далее обобщая понятие мембраны, можно было бы ввести понятие "элемента, разделяющего камеры и являющегося при этом силовым элементом", которое объединяет в себе понятия мембраны, шарика и золотника.

При обладании достаточной вычислительной мощности интересно было бы провести исследование не только с приближённым (S_{φ_i}), но и с точным значением специфической логической ёмкости (S_{ϕ_i}), и полученные результаты сравнить.

Следовало бы подвергнуть тщательному анализу гипотезу, используемую при формулировании понятия специфической логической ёмкости, согласно которой "в практике логические функции одинакового числа переменных встречаются с равной вероятностью", следовало бы исследовать, насколько хорошо отражает эта гипотеза действительность.

Очевидно, с точки зрения понятия специфической логической ёмкости та система является оптимальной, которая каждую логическую функцию реализует с помощью специального типа элемента с минимальным числом мембран. Осуществление систем элементов с таким большим выбором элементов практически невозможно. Но возможно, что при знании факторов, приводящих к значительным различиям между логическими элементами, можно было бы разработать такую унифицированную систему конструкционных элементов (мембран, штоков, сопел и т.д.), что из неё можно было бы всегда смонтировать элемент, реализующий конкретную логическую функцию при минимальном числе мембран.

Разработанное в рамках настоящей диссертации понятие специфической логической ёмкости является одним из показателей, используемых для оценки и сравнения систем элементов. Вероятно, можно разработать такой комплексный показатель, который одновременно учитывает несколько технических и экономических показателей. Например, кроме поддержания минимальным числа мембран, интересно было бы одновременно держать минимальным и число элементов.

Принимая во внимание стремительный ход развития науки и техники в наше время, стремительное устарение знаний, трудно сказать, что будет ли продолжена тема этой работы. Совершенно иные проблемы вынуждают подчас перемену темы и предыдущая иногда закрывается самым жестоким образом. Исследователь всегда должен считаться с такой перспективой.

ЛИТЕРАТУРА

1. A g e l e t, J. Elementos lógicos modulares para automatización neumática. Regulación y mando automatico. Abril 1972, 31-32 p.
2. A n d r e i e v, N. Moving part air logic - Who, what, where. Control engineering. Jun 1973, 31-34 p.
3. B a h r, J. Das Folienelement, ein neues flüssigkeitslogisches Schaltelement. Elektron. Rechenanl. 7/1965/, H.2, 69-78 p.
4. B a r k o w, A. Neue Fluidiks aus Ungarn. Pneumatik Digest. H.2, April 1971, 69 p.
5. B e r e n d s z, T. K., J u d i c k i j, Sz. A., H e l m, L., S z é p, E. Pneumatikus impulzusvezérlésü tároló egység. Szabadalmi leirás 161388, 3 p.
6. B o r o s, A., H e l m, L. Fluid elemek komplex /statikus és dinamikus/ vizsgálatáról. Mérés és automatika. 1970. 10, 353-357 p.
7. B o u l d e n, L. Moving-part pneumatic logic. Machine design. March 4, 1971, 78-84 p.
8. Č a p l a, M., B r y c h t a, O., T l u č k o, J., K i l i k, O. Pneumatický bistabilný prvok s pohyblivou častou na realizáciu následných logických funkcii. Patentový spis 123387, 3 p.
9. C l a s s n i t z, A. Baukastensystem für logische Schaltungen der Pneumatik. Rtp. 1966, H.2, 48-50 p.
10. D r a ž a n, P. Pneumatické logické prvky. Měření a regulace. 4/1964, 6-12 p.
11. E d d i n g t o n, A. S. Fundamental theory. Cambridge, 1946, At the University Press, 292 p.
12. F a s o l, K. H., G r a t z, J., H ü b l, W., V i n g r o n, P. Statische pneumatische Logiksysteme. Ruhr-Universität, Bochum, 1970.

13. F a s o l, K. H., H ü b l, W.,V i n g r o n, P. Kriterien für den algebraischen Vergleich von statischen pneumatischen Logik-systemen. MSR, 14, /1971/, H.5, 197-199 p.

14. H a h n, Ch. Vergleichende Untersuchungen der Schaltzeiten und des Luftdurchflusses pneumatischer Logikelemente mit bewegen Teilen. MSR, 14, /1971/, H.5, 89-92 p.

15. H e l m, L., S z é p, E. A TRIMELOG rendszer univerzális pneumatikus logikai alapeleme. Mérés és automatika. XV, 1967, 10, 411-416 p.

16. H e l m, L., S z é p, E. Univerzális logikai elem, különös tekintettel pneumatikus müködtetésre. Szabadalmi leirás 156622, 2 p.

17. H e l m, L. A pneumatikus automatika elemek korszerü fejlődési irányai. Mérés és automatika. XVI, 1968, 10, 405-409 p.

18. H e l m, L. Pneumatikus és hidraulikus logikai elemek. /I-II/. Mérés és automatika. 1965, 5, 133-139 p, 1965, 6, 181-185 p.

19. H ü b l, W., V i n g r o n, P. Statische Logikelemente: Kritisch beim Vergleich! Fluid. März, 1971, 34-36 p.

20. J a n o v i c s, S., T ó t h, M. A logikai tervezés módszerei. Budapest, 1973, Müszaki Könyvkiadó, 638 p.

21. J a n ů, J., C m u n d, M. Systém PNEULOG a jeho aplikace. Měřeni a regulace. 5/1968, 142-152 p.

22. J o r k, R. Zur Klassifizierung von Speicherschaltungen pneumatischer digitaler Elemente. MSR. 15, /1972/, H.6, 127-128 p.

23. K a c z a n o w s k i, S., O l s z e w s k i, M., W a ń s k i, Z. Płynowe elementy i układy logiczne. Warszawa, 1971, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 430 p.

24. K a z u t o T o g i n o, K u n i k o I n o u e. Universal fluid logic element. Control engineering. May 1965, 78-87 p.

25. L e ś k i e w i c z, H. J., J a c e w i c z, J., O l s z e w s k i, M. Pneumatic membrane logical elements. Fourth Congress of the International Federation of Automatic Control, Warszawa, 16-21 june 1969. Technical session 22, 61-77 p.

26. L e ś k i e w i c z, H. J., K a c z a n o w s k i, S. Fluid logic in Polish. Automated plants. Engineering materials and design. June 1969, 865-867 p.

27. L e ś k i e w i c z, H. J., Ż e l a z n y, M. Koncepcja systemu dyskretnych płynowych elementów automatyki MERALOG. Prace IV Krajowej Konferencji Automatyki, t. VI, AGH, Kraków 1967.

28. M a n s p e r g e r, J. R. Pneumatic, hybrid and fluidic control systems. Machinery and production engineering, 22 November 1972, 747-752 p.

29. P i q u e t, P. La logique pneumatique. Automatisme. Tome IX, N° 12, décembre 1964, 519-529 p.

30. S a s, G. TRIMELOG és DRELOBA pneumatikus logikai elemek számológépes összehasonlítása. MTA AKI Közlemények. 1969, 10. 84 p.

31. S a s, G. Statikus /kombinációs/ logikai kapcsolatok megvalósítása TRIMELOG pneumatikus elemekkel. Mérés és automatika. XX, 6, 209-219 p, XX, 7, 246-255 p.

32. S a s, G. Idő- vagy sorrendi /szekvenciális/ logikai kapcsolások TRIMELOG logikai elemekkel. Mérés és automatika. XX, 10, 373-380 p, XX, 11, 423-426 p.

33. S t i v i n, J., T a m c h y n a, J. Univerzálni pneumatický logický člen. Měřeni a regulace. 5-6/1967, 156-159 p.

34. S z e n a j c h, W. Pneumatyczne elementy strumieniowe. Mechanik. 6/67, 305-308 p.

35. S z é p, E., S a s, G. Die Untersuchung der Konstruktionsparameter des pneumatischen logischen Grundelementes "TRIMELOG" mit Hilfe analoger Rechenanlagen. 2. Konferenz Pneumatische Strahlelemente, Dresden 1968, Vortrag 6/2, 11 p.

36. S z é p, E. A TRIMELOG pneumatikus logikai épitőkocka rendszer. V. Országos Automatizálási Konferencia, Budapest, 1968. április 16-20, 15 p.

37. S z é p, E. Pneumatikus univerzális logikai elem. MTA AKI Közlemények. 1970, 1, 59 p.

38. S z é p, E. Pneumatikus membránus logikai elemek egy jellemző szám tükrében. Finommechanika. 1971, 3, 72-81 p.

39. T ö p f e r, H. Grundaufbau und Funktion des pneumatischen Steuerungssystems DRELOBA. Ölhidraulik und Pneumatik. 12/1968/, Nr. 5, 202-208 p.

40. T ö p f e r, H. Entwicklungsstand und -tendenzen von pneumatischen Logikelementen und peripheren Geräten. MSR. 11/1968/, H. 8, 315-320 p.

41. T ö p f e r, H., S c h r e p e l, D. Membranrelais für Steuerungs- und Regelungseinrichtungen. Patentschrift 49 565, 3 p.

42. T u r á n y i, Gy. A pneumatikus logikai elemek és rendszerek fejlődésének áttekintése. Mérés és automatika. XV, 1967, 2, 37-42 p.

43. U l l m a n n, H., H o r n, J. Elemente der pneumatischen Steuerungs- und Rechentechnik - Literaturübersicht. MSR. 8/1965/, H. 5, 173-179 p.

44. V o i t, W. F. Digital pneumatic logic using coded tapes. IBM Journal. September-november 1965, 418-421 p.

45. W i e s n e r, H. Pneumatische Logikelemente. Werkstattstechnik. 56. Jahrg., 1966, H. 2, 62-66 p.

46. Y e a p l e, F. D. Hydraulics, pneumatics, fluidics all find niche in fluid logic. Product engineering. May 19, 1969, 114-117 p.

47. Б е р е з о в е ц, Г. Т., Т а т а р к о, И. В. Пневматическая струйная и шариковая техника за рубежом. Автоматика и телемеханика. I963, 3, стр. 4I4-424.

48. Б е р е н д с, Т. К., Т а л ь, А. А. Пневматические релейные схемы. Автоматика и телемеханика. XX, I959, № II, стр.I483-I495.

49. Б е р е н д с, Т. К., Е ф р е м о в а, Т. К., Т а г а е в с к а я, А. А. Элементы и схемы пневмоавтоматики. Москва, I968, Изд. "Машиностроение", 3I0 стр.

50. Б е р е н д с, Т. К., Е ф р е м о в а, Т. К., Т а г а е в с к а я, А. А., Т а л ь, А. А., А т л а с, П. М., Ю д и ц к и й, С. А. Построение пневматических дискретных управляющих устройств на базе аппаратуры системы ЦИКЛ. Москва, I973, ИПУ АН СССР, I0I стр.

51. Берендс, Т. К., Ефремова, Т. К., Тагаевская, А. А., Таль, А. А. Развитие релейной ветви универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Автоматика и телемеханика. 1970, 4, стр. 176-181.

52. Берендс, Т. К., Ефремова, Т. К., Тагаевская, А. А., Таль, А. А. Элементный принцип в пневмоавтоматике. Приборостроение. № 11, 1963, стр. 3-8.

53. Герц, Е. В., Зенченко, В. П., Крейнин, Г. В. Синтез пневматических приводов. Москва, 1966, Изд. "Машиностроение", 211 стр.

54. Романовский, В. И. Основные задачи теории ошибок. Москва-Ленинград, 1947.

55. Левин, В. И. Современная пневматическая релейная техника и перспективы её применения в полиграфических машинах. Москва, 1969, ЦНИИТЭИлегпищемаш, 119 стр.

56. Флорин, Ж. Синтез логических устройств и его автоматизация. Москва, 1966, Изд. "Мир", 375 стр.

57. Юдицкий, С. А. Пневматические системы управления приводом машин-автоматов. Москва, 1968, Изд. "Энергия", 87 стр.

A TANULMÁNYOK sorozatban eddig megjelentek:

1/1973 Pásztor Katalin: Módszerek Boole-függvények minimális vagy nem redundáns, $\{\wedge, \vee, \neg\}$ vagy {NOR} vagy {NAND} bázisbeli, zárójeles, vagy zárójel nélküli formuláinak előállitására

2/1973 Вашкеви Иштван: Расчленение многосвязных промышленных процессов с помощью вычислительных машин

3/1973 Ádám György: A számitógépipar helyzete 1972 második felében

4/1973 Bányász Csilla: Identification in the Presence of Drift

5/1973* Gyürki J.-Laufer J.-Girnt M.-Somló J.: Optimalizáló adaptiv szerszámgépirányitási rendszerek

6/1973 Szelke E.-Tóth K.: Felhasználói Kézikönyv /USER MANUAL/ a Folytonos Rendszerek Szimulációjára készült ANDISIM programnyelvhez

7/1973 Legendi Tamás: A CHANGE nyelv/multiprocesszor

8/1973 Klafszky Emil: Geometriai programozás és néhány alkalmazása

9/1973 R. Narasimhan: Picture Processing Using Pax

10/1973 Dibuz Á.-Gáspár J.-Várszegi S.: MANU-WRAP hátlaphuzalozó, MSI- TESTER integrált áramköröket mérő, TESTOMAT-C logikai hálózatokat vizsgáló berendezések ismertetése

11/1973 Matolcsi Tamás: Az optimum-számitás egy uj módszeréről

12/1973 Makroprocesszorok, programozási nyelvek. Cikkgyüjtemény az NJSzT és SzTAKI közös kiadásában. Szerkesztette: Legendi Tamás

13/1973 Jedlovszky Pál: Uj módszer bonyolult rektifikáló oszlopok vegyészmérnöki számitására

14/1973 Bakó András: MTA kutatóintézeteinek bérszámfejtése számitógéppel

15/1973 Ádám György: Kelet-nyugati kapcsolatok a számitógépiparban

16/1973 Fidrich I.-Uzsoky M.: LIDI-72 listakezelő rendszer a Digitális Osztályon, 1972. évi változat

17/1974 Gyürki József: Adaptiv termelésprogramozó rendszer /APS/ termelőmühelyek irányitására

18/1974 Pikler Gyula: MINI-számitógépes interaktiv alkatrészprogramiró rendszer NC szerszámgépek automatikus programozásához

19/1974 Gertler J.-Sedlak J.: Software for process control

20/1974 Vámos T.-Vassy Z.: Industrial Pattern Recognition Experiment - A Syntax Aided Approach

21/1974 A KGST I. - 15-1.: "Diszkrét rendszerek automatikus vezérlése" c. témában 1973. februárban rendezett szeminárium előadásai

22/1974 Arató M.-Benczur A.-Krámli A.-Pergel J.: Stochastic Processes, Part I.

23/1974 Benkő S.-Renner G.: Erősen telitett mágneskörök számitógépes tervezési módszere

24/1974 Kovács György-Franta Lászlóné: Programcsomag elektronikus berendezések hátlaphuzalozásának tervezésére

25/1974 Járdán R. Kálmán: Háromfázisu tirisztoros inverterek állandósult tranziens jelenségei és belső impedanciája

26/1974 Gergely József: Numerikus módszrek sparse mátrixokra

27/1974 Somló János: Analitikus optimalizálás

28/1974 Vámos Tibor: Tárgyfelismerési kisérlet nyelvi módszerekkel

29/1974 Móricz Péter: Vegyészmérnöki számitási módszerek fázisegyensulyok és kémiai egyensulyok vizsgálatára

30/1974 Vassy Z. - Vámos T.: The Budapest Robot - Pragmatic Intelligence

31/1975 Nagy István: Frekvenciaosztásos középfrekvenciás inverterek elmélete

32/1975 Singer D., Borossay Gy., Koltai T.: Gázhálózatok optimális irányitása különös tekintettel a Fővárosi Gázmüvek hálózataira

33/1975 Vámos T.-Vassy Z.: Limited and Pragmatic Robot Intelligence

Mérő L.-Vassy Z.: A Simplified and Fastened Version of the Hueckel Operator for Finding Optimal Edges in Pictures

Галло В.: Программа для распознавания геометрических образов, основанная на лингвистическом методе описания и анализа геометрических структур

34/1975 László Nemes: Pattern Identification Method for Industrial Robots by Extracting the Main Features of Objects

35/1975 Garádi-Krámli-Ratkó-Ruda: Statisztikai és számitástechnikai módszerek alkalmazása kórházi morbiditás vizsgálatokban

36/1975 Renner Gábor: Elektromágneses tér számitása nagyhőmérsékletü anyagban

37/1975 Edgardo Felipe: Specification problems of a process control display

38/1975 Hajnal Andrásné: Nemlineáris egyenletrendszerek megoldási módszerei

39/1975 A.Abd El-Sattar: Control of Induction motor by three phase thyristor connections in the secondary circuit

40/1975 Gerhardt Géza: QDP Grafikus interaktiv szubrutinok a CDC 3300-GD'71 grafikus konfigurációra

41/1975 Arató M.-Benczur A.-Krámli A.-Pergel J.: Stochastic Processes, Part II.

42/1975 Arató Mátyás: Fejezetek a matematikai statisztikából számitógépes alkalmazásokkal

43/1975 Matavovszky Tibor - dr Pásztorné Varga Katalin: Programrendszer Boole-függvényrendszer együttes egyszerüsitésére vagy minimalizálására

44/1975 Bacsó Nándorné: Pneumatikus áramköri hazardok

45/1975 Varga András: Ellenpárhuzamos félvezetőpárokkal vezérelt aszinkronmotoros hajtások számitási módszerei

46/1976 Galántai Aurél: Egylépéses módszerek lokális hibabecslései

47/1976 Abaffy József: A feltétel nélküli függvényminimalizálás kvadratikus befejezésü módszerei

48/1976 Strehó Mária: Stiff tipusu közönséges differenciálegyenletek megoldásáról

49/1976 Gerencsér László: Nemlineáris programozási feladatok megoldása szekvenciális módszerekkel

50/1976 Robert Treer: A syntax macro definition language

51/1976 Bakó András: TIMER időredukciós programcsomag

52/1976 W.A. Potas: Computer Aided Design

53/1976 Farkas Ernő: MP Ø2 makroprocesszor általános ismertetése

54/1976 N.N. Puri: Multi Element Fault Isolation in Electronic Circuits

55/1976 Edgardo Felipe: The design of color, Raster-Scan graphical displays for process control applications

56/1976 Bán Ilona: Iterációs módszerek lineáris rendszerekre

57/1976 Kovács Mihály: Egységes kisszámitógépes gépgyártástechnológiai tervezőrendszer vázlatos rendszerterve különös tekintettel a monitor rendszerre

58/1976 dr Varga Gyula: Mátrixok általános inverze

A ×-gal jelölt kivételével a sorozat kötetei megrendelhetők az Intézet könyvtáránál /Budapest, XIII. Victor Hugo u. 18-22/