

фекта по выходу  $x_j^b$  ЛТЭЗ, имеющему признак  $\eta = 1$ , оказывают внутренние узлы, связанные с максимальным числом других внутренних узлов, входящих в  $M$  – волну.);

г) критерий учитывающий удобство оператора при последовательном зондировании ИС, установленных на поверхности ЛТЭЗ. (при этом наиболее удобным с точки зрения психологии оператора является горизонтальное сканирование ИС в направлении слева-направо и сверху-вниз);

д) при автоматическом перемещении зонда – критерий, учитывающий минимальность пути перемещения, охватывающего все ИС, включенные в список  $\langle H_{ij} \rangle$ .

Список критериев очередности опроса может быть продлён или сокращён в зависимости от условий производства и стоящихся задач при диагностике ЛТЭЗ.

После установления списка критериев очередности опроса их сводят в матрицу критериев опроса вида

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1k} \\ v_{12} & v_{22} & \dots & v_{2k} \\ \dots & v_{ij} & \dots & \dots \\ v_{l1} & v_{l2} & \dots & v_{lk} \end{pmatrix},$$

где  $i = 1, 2, \dots, l$  – номер внутреннего узла в списке  $\langle H_{ij} \rangle$ ;  $j = 1, 2, \dots, k$  – номер учитываемого критерия очередности опроса.

Параметры матрицы  $V$ , имеющие качественные выражения приводятся к такому виду, чтобы большему численному значению критерия соответствовал приоритет в очередности зондирования той или иной ИС. Критерии, не удовлетворяющие этому условию, пересчитываются по формуле

$$\omega_{ij} = \frac{1}{v_{ij}}. \tag{9}$$

В результате получается матрица приведённых параметров  $W = //\omega_j//$ . Затем производится нормирование параметров матрицы

$$h_{ij} = \frac{\omega_{max j} - \omega_{ij}}{\omega_{max j}}, \tag{10}$$

где  $\omega_{max j}$  – максимальное значение  $j$  – го критерия очередности опроса.

В результате получают матрицу нормированных критериев очередности опроса  $H = //h_{ij}//$ .

УДК 681 325 65

Шуть В.Н., Муравьёв Г.Л.

## ОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

В [1] разработана процедура оптимального зондового поиска неисправностей в логических структурах. Данная процедура реализована в алгоритме автоматизированного поиска неисправностей.

Блок – схема алгоритма приведена на рис. 1. Поиск неисправностей логических ТЭЗ осуществляется следующим образом. К испытательной установке стыкуется ЛТЭЗ. В память ЭВМ предварительно вводятся исходные данные о структуре схемы контролируемого ЛТЭЗ в виде матриц А, В, С, D, Е, G и массивов К, L.

Для обобщённого анализа узлов, входящих в список  $\langle H_{ij} \rangle$  на предмет установления очередности зондирования ИС  $y_i$  из множества  $F_M$  вводится оценочная функция

$$R_i = \sum_{j=1}^k h_{ij} \beta_j, \tag{11}$$

где  $\beta_j$  – весовой коэффициент  $j$  – го критерия оценки.

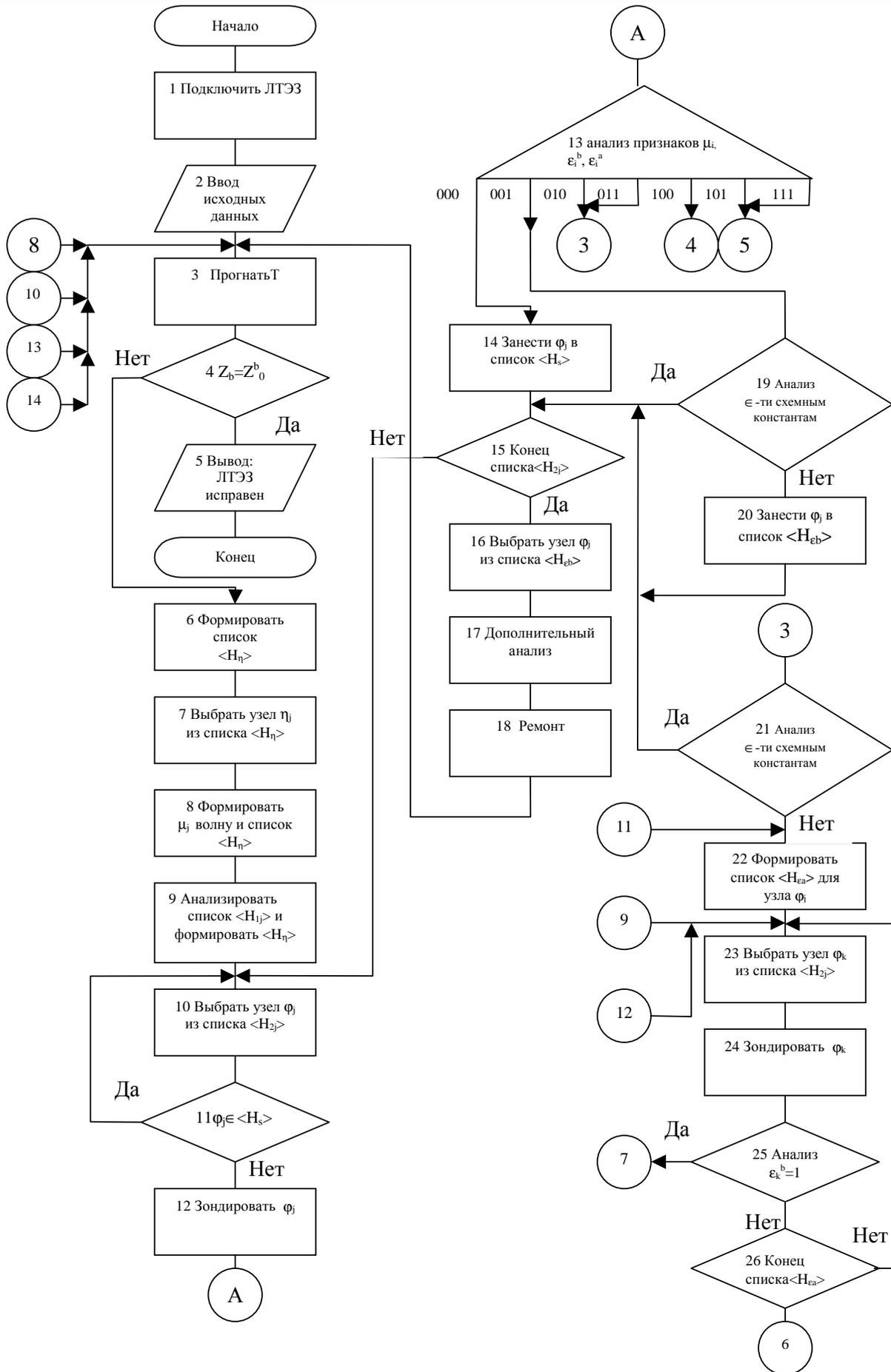
При этом на коэффициенты важности накладывается следующее ограничение

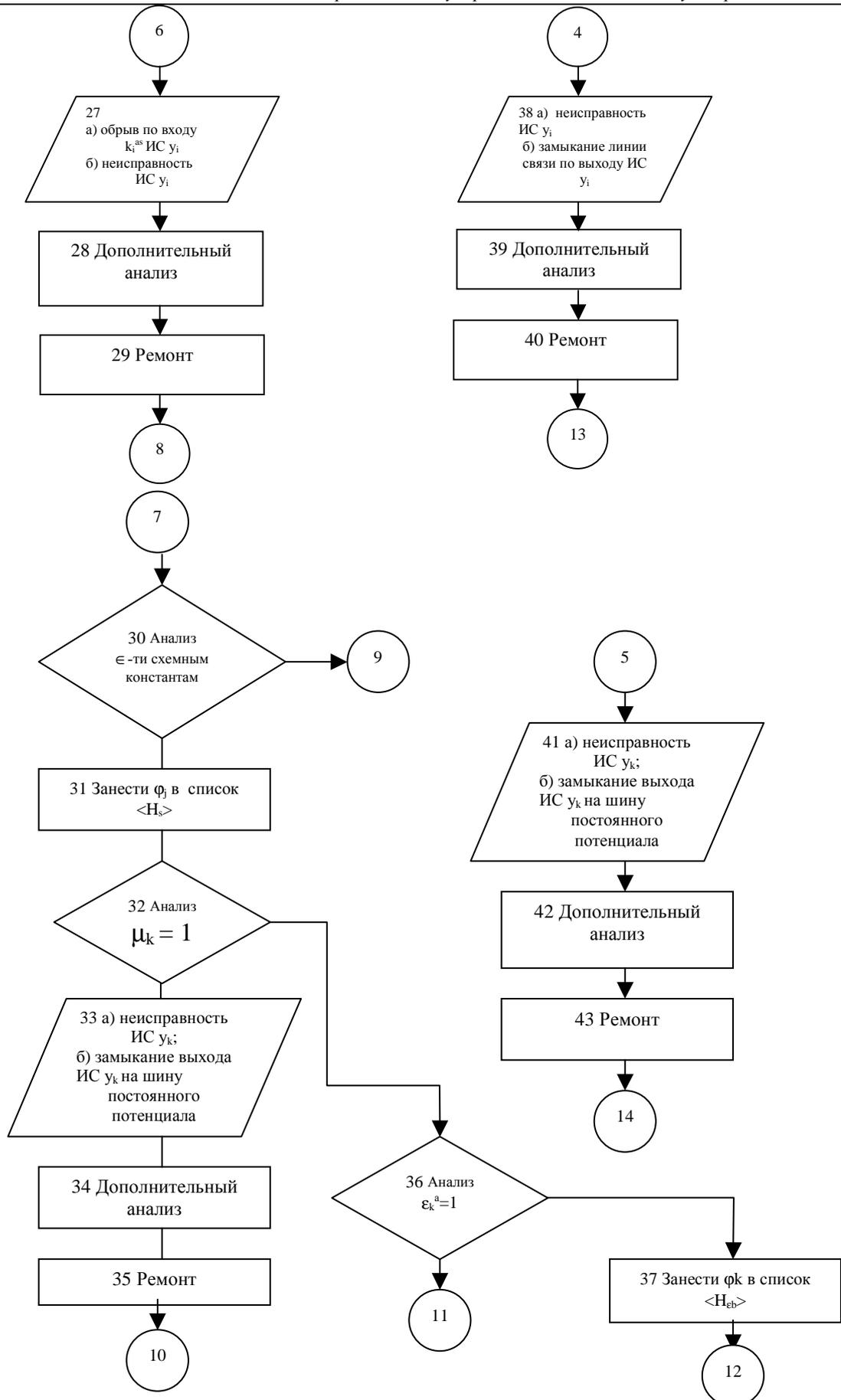
$$\sum_{j=1}^k \beta_j = 1. \tag{12}$$

Первоочередным приоритетом в очередности опроса микросхем пользуются ИС с максимальным значением оценочной функции  $R_i$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соколов Ю.А. Анализ технических средств зондового поиска неисправностей в дискретных устройствах. “Вопросы радиоэлектроники”, серия ЭВТ, 1987г, вып. 11.
2. Аллен Д.Р. Логический тестер для наладки цифровых интегрально-схемных плат. “Электроника”, №23, 1973г.
3. Патент 4192451 (США). Digital diagnostic system employing sygnature analysis. S. Swerling, S. Smith, T. Wiesmann.
4. Соколов Ю.А. К вопросу зондового поиска неисправностей типа “перемычка” в логических платах - “Вопросы радиоэлектроники”, серия ЭВТ, 1979г, вып. 11.
5. Соколов Ю.А., Червоненко В.Н., Курносина Н.Г., Установка зондового поиска неисправностей логических плат. - “Вопросы радиоэлектроники”, серия ЭВТ, 1982г, вып. 12.
6. Гордон Г., Надиг Э. Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатеричных ключевых кодов – “Электроника”, 1977г, №5.
7. Nadig H.J. Testing a microprocessor product using a sygnature analysis. – STS, LSI and Board, 1978.
8. Ярмолик В.Н., Кобяк И.П., Шуть В.Н., Многоканальный сигнатурный анализатор. Авт. свид. №1193678 – “Бюллетень изобр.”, №43, 1983г.
9. Карибский В.В., Пархоменко П.П. и др. Основы технической диагностики, М, “Энергия”, 1976г.
10. Шуть В.Н. Логический компаратор для контроля цифровых схем. Авт. свид. №1048430 – “Бюллетень изобр.”, №38, 1983г.





тельность  $z_j^b$  которых не совпадает с эталонными последовательностями  $z_{j0}^b$  для этих узлов. Далее блоком 7 выбирается один из внешних узлов  $\psi_j$  с признаком  $\eta_j = 1$  из списка  $\langle H_\eta \rangle$ . Блоком 8 по матрице внешних связей  $B$  и матрице внутренних связей  $C$  формируется  $Mj$  – волна и список  $\langle H_{1j} \rangle$  микросхем, связанных прямо или опосредованно с  $\eta_j$  – узлом и подлежащих зондированию. Затем, в соответствии с выбранными объективными критериями очередности опроса, с использованием матриц  $B, C, D, E, G$  и массивов  $K, L$  блоком 9 производится анализ списка  $\langle H_{1j} \rangle$  и формируется список очередности опроса микросхем  $\langle H_{2j} \rangle$ . Блоком 10 выбирается по порядку микросхема  $y_i$  узла  $\varphi_i$  из списка  $\langle H_{2j} \rangle$ . В свою очередь, блоком 11 производится анализ, не занесена ли ИС  $y_i$  – узла  $\varphi_i$  в список  $\langle H_s \rangle$  проверенных и исправных микросхем. В случае если  $y_i$  находится в списке  $\langle H_s \rangle$  выбирается следующий по порядку узел  $\varphi_{i+1}$  из списка  $\langle H_{2j} \rangle$ . Затем производится зондирование выбранной ИС  $y_i$  логическим компаратором (блок 12). Полученные признаки  $\mu_i, \varepsilon_i^a, \varepsilon_i^b$  анализируются блоком 13. В случае отсутствия всех признаков, т. е.  $\mu_i = \varepsilon_i^a = \varepsilon_i^b = 0$ , зондированный узел заносится в список  $\langle H_s \rangle$  (блок 14) и проводится анализ на окончание списка  $\langle H_{2j} \rangle$  (блок 15). Если список  $\langle H_{2j} \rangle$  не окончен, то выбирается новый по порядку узел из  $\langle H_{2j} \rangle$ . Если список  $\langle H_{2j} \rangle$  окончен, то выбирается один из внутренних узлов из списка  $\langle H_\Phi \rangle$  “подозрительных” узлов, имеющих признак  $\varepsilon_i^b = 1$  и признаки  $\mu_i = \varepsilon_i^a = 0$  (блок 16). Эта процедура предусмотрена для вероятных случаев, когда зондирование всех микросхем из списка  $\langle H_{2j} \rangle$  не дало выявления неисправностей, характеризующихся признаками  $\mu_i = 1$  или  $\varepsilon_i^a = 1$ . В этом случае проводится дополнительный анализ (блок 17) микросхем, занесённых в список  $\langle H_\Phi \rangle$ , выявление неисправностей, ремонт (блок 18) и возврат к блоку 3 алгоритма.

В случае комбинации признаков  $\mu_i = \varepsilon_i^a = 0, \varepsilon_i^b = 1$  проводится анализ принадлежности константной ОЛН, выявленной на выходе  $k_i^{bw}$  ИС  $y_i$  по матрице схемных констант  $E$  (блок 19). Если установлено, что константа на выходе  $k_i^{bw}$  является схемной, то происходит переход к блоку 15, в противном случае узел  $\varphi_i$  заносится в список  $\langle H_\Phi \rangle$  и также происходит переход к блоку 15.

При комбинации полученных признаков  $\mu_i = 0, \varepsilon_i^a = 1, \varepsilon_i^b = 1 \vee 0$  блоком 21 проводится анализ принадлежности константной ОЛН, выявляемой на входе  $k_i^{as}$  матрице схемных констант  $E$ . Если установлено, что константа на входе  $k_i^{as}$  является схемной, то происходит переход к блоку 15. Если же выявленная по входу  $k_i^{as}$  константа не является схемной, то блоком 22 формируется список  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  узлов ЛТЭЗ, имеющих связи по выходам со входами зондируемой ИС  $y_i$ . Формирование списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  проводится на основании матрицы  $C$ . затем блоками 23 и 24 производится выбор и зондирование узла  $\varphi_k$  из списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$ . Блоком 25 проводится анализ узла  $\varphi_k$  на наличие признака  $\varepsilon_k^b = 1$ . Если получа-

ется, что  $\varepsilon_k^b = 0$ , то проводится анализ на окончание списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  для ИС  $y_i$  (блок 26), и в случае, если список не окончен, то выбирается новый узел  $\varphi_{k+1}$  из списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$ . Если список  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  окончен и все узлы списка дали признаки  $\varepsilon_k^b = 0$ , то устройство выдаёт сообщение о том, что предполагаемыми неисправностями ЛТЭЗ являются либо обрыв одной из связей по входам  $k_i^{as}, s \in I, m$  ИС  $y_i$ , либо внутренняя константная ОЛН по входу ИС  $y_i$  (блок 27). Блоком 28 проводится дополнительный анализ для дифференцирования предполагаемых неисправностей (прозваниваются связи по входам ИС  $y_i$ ), блоком 29 – ремонт, и ветвь алгоритма возвращается к блоку 3.

Если же блок 25 дал признак  $\varepsilon_k^b = 1$ , то вновь, как и в блоке 19, проводится анализ принадлежности выявленной константной ОЛН схемными константами (блок 30). При положительном результате анализа производится переход к блоку 23 и выбор нового узла из списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  для  $y_i$ . При отрицательном результате анализа узел  $\varphi_i$  (микросхема  $y_i$ ), выбранный блоком 10, заносится в список зондированных исправных  $\langle H_s \rangle$  узлов (блоком 31). Затем проводится анализ узла  $\varphi_k$ , выбранного блоком 23 на наличие признака  $\mu_k = 1$  (блок 32). При получении  $\mu_k = 1$  устройством вывода выдаётся сообщение, что предполагаемыми неисправностями ЛТЭЗ являются либо неисправность ИС  $y_k$  узла  $\varphi_k$ , либо замыкание выхода ИС  $y_k$  на шину постоянного потенциала (+5В или общ) (блок 33). Проводится дополнительный анализ (блок 34), при котором выход ИС  $y_k$ , на котором установлена константная неисправность, прозванивается на наличие связи с шинами постоянного потенциала ЛТЭЗ. Неисправность дифференцируется и после ремонта (блок 35) ветвь алгоритма возвращается к блоку 3. При получении в блоке 32  $\mu_k = 0$  проводится анализ узла  $\varphi_k$  на наличие признака  $\varepsilon_k^a = 1$  (блок 36). Если получают  $\varepsilon_k^a = 0$ , то узел  $\varphi_k$ , выбранный блоком 23, заносится в список  $\langle H_\Phi \rangle$  (блок 37) и выбирается новый узел из списка  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  для ИС  $y_i$ . Если же получен признак  $\varepsilon_k^a = 1$  для узла  $\varphi_k$ , то формируется новый список  $\langle H_{\text{эл}} \rangle$  для узла  $\varphi_k$  т. е. список узлов, имеющих связи по своим выходам со входами узла  $\varphi_k$ .

При получении в блоке 13 комбинации признаков  $\mu_i = 1, \varepsilon_i^a = 0, \varepsilon_i^b = 1$  устройство вывода выдаёт сообщение о том, что предполагаемыми неисправностями ЛТЭЗ являются либо неисправность узла  $\varphi_i$ , либо замыкание линий связи по одному из выходов  $y_i$  на другую сигнальную линию связи (блок 38). После дополнительного анализа (блок 39) с целью дифференцирования неисправностей и ремонта (блок 40) происходит возврат этой ветви алгоритма к блоку 3.

При комбинации признаков  $\mu_i = 1, \varepsilon_i^b = 1, \varepsilon_i^a = 0 \vee 1$  устройство вывода выдаёт сообщение о том, что предполагаемыми неисправностями ЛТЭЗ, являются либо неисправность  $y_i$ , либо замыкание выхода  $k_i^{bw}$ , для которого  $\varepsilon_i^{bw} = 1$ , микросхемы  $y_i$  на шину постоянного потенциала (+5В или общ.) (блок 41). При дополнительном анализе (блок 42) проверяется

наличие связи выхода  $k_i^{bw}$  с шинами постоянного потенциала и дифференцируется предполагаемая неисправность. После ремонта (блок 43) происходит возврат этой ветви алгоритма к блоку 3.

### ВЫВОДЫ

Рассмотренный в настоящей работе метод поиска неисправностей ЛТЭЗ с использованием многоконтактного логического зонда-компаратора предполагает автоматизированное обнаружение и диагностику широкого класса как одиночных так и кратных неисправностей логических ТЭЗ. Метод ЗПНЛК может применяться как при производстве ЛТЭЗ, так и в условиях эксплуатации средств вычислительной техники.

Простота подготовки исходной информации, её небольшой объём и удобство машинной обработки позволяют создать гибкую испытательную автоматизированную систему

диагностики ЛТЭЗ на базе мини-ЭВМ с минимальным объёмом используемой постоянной и оперативной памяти.

Простота работы с многоконтактным логическим зондом-компаратором, не требующая знания функциональной схемы проверяемого ЛТЭЗ, позволяет существенно снизить квалификационные требования к производственному персоналу.

Алгоритм автоматизированной диагностики ЛТЭЗ по методу ЗПНЛК, разработанный в настоящей работе, учитывает критерии оптимальной стратегии поиска неисправностей с минимальными затратами времени.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуть В.Н., Головкин В.А., Муравьев Г.Л. Оптимизация поиска неисправностей в логических типовых элементах замены с использованием многоконтактного зонда компаратора. (в настоящем сборнике).