**Цель работы :** Ознакомление с алгоритмами построения диагностических тестов.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Как известно, контроль работоспособности дает однозначный ответ только вопрос о работоспособности и неработоспособности (отказовом состоянии) объе контроля. В общем же случае, когда обслуживание (восстановление) объе осуществляется путем замены отдельных элементов, помимо установления самого фа отказа, необходимо определить еще место его появления. Таким образом, зад конкретизации характера отказа, называемая обычно задачей локализа неисправностей (техническая диагностика), является неотъемлемой составной част эксплуатационного контроля.

Предметом исследования в технической диагностике являются реалы технические системы. Однако поиск неисправностей возможен лишь для устрой обладающих следующими свойствами:

1) могут находиться, по крайней мере, в двух взаимоисключающих и различим состояниях, работоспособном и неработоспособном;

2) могут быть разделены на отдельные функциональные элементы, каждый которых одновременно находиться лишь в одном из указанных различных состояний.

Наиболее часто при поиске неисправностей объект представляют в в функциональной схемы.

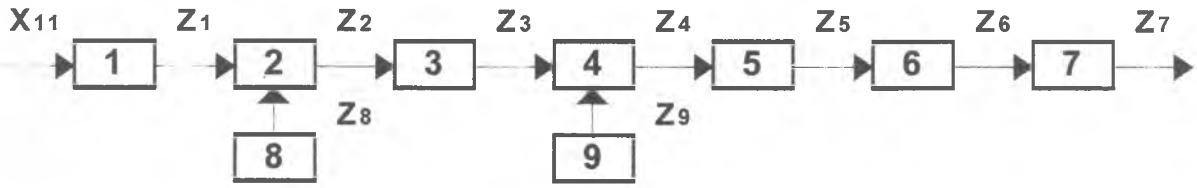



Рис.1 Структурная схема приемника связной радиостанции.

На схеме рис.1 $X_{ij}$ - внешние воздействия, где $i$ - номер функционального элемент - номер его входа. Выходы функционального элемента обозначены $Z_j$.

Кроме построения функциональной модели объекта контроля необходимо е определить множество его возможных состояний, то есть перечислить все возможн комбинации одновременно отказавших элементов, а также определить переч контролируемых параметров и указать значения допустимых входных сигнал прикладываемых к элементу. Известно, что общее число возможных состояний объе контроля при его разделении на $N$ функциональных элементов и двухальтернативн исходе для каждого составляет $2^n$-$1$. Однако определить такое сравнительно больш число состояний обычно трудно даже для современных АСК. Поэтому в инженерн практике предполагают, что в объекте контроля возможен отказ лишь одн функционального элемента, то есть ограничиваются учетом одиночных отказов. При эт допущении резко сокращается число возможных состояний объекта контроля и о очевидно, будет равно числу сочетаний из $N$ элементов по одному $C_N^1 = N$ , то есть чи первичных функциональных элементов модели объекта контроля. Определение различных состояний объекта контроля, а так же учет влияния отказа одн функционального элемента на все остальные осуществляется с помощью таблицы или матрицы неисправностей.

Таблица неисправностей представляет собой квадратную матрицу, в которой число строк равно числу функциональных элементов модели, а число столбцов - числу выходных параметров.

Она заполняется на основании логического анализа функциональной модели объекта контроля в предположении, что все выходные параметры функциональных элементов контролируются. Правила заполнения таблицы следующие.

Предполагают, что объект контроля находится в $Si$ - ом состоянии, то есть отказал $i$ - ый функциональный элемент. Этому обычно соответствует недопустимое значение выходного параметра $Zi$ модели (рис.2).

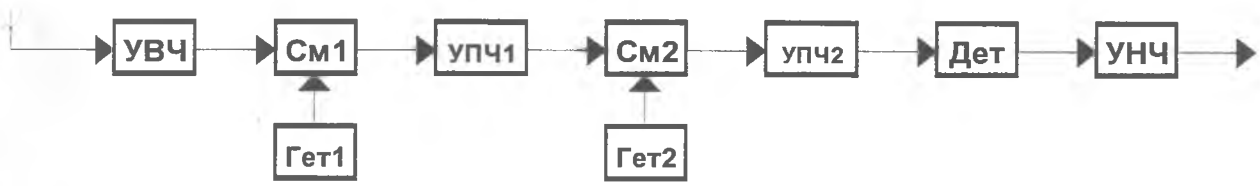



Рис.2 Функциональная модель приемника.

Она строится на следующих предположениях:

1. В каждом функциональном элементе модели известны номинальные (допустимые) значения входных и выходных сигналов, их функциональная зависимость, а также способ контроля.
2. Функциональный элемент модели объекта считается неисправным, если при номинальных входных сигналах на его выходе появляется сигнал, значение которых отличаются от номинальных ( допустимых ).
3. При выходе за пределы допустимых значений хотя бы одного из входных сигналов появляется выходной сигнал, отличающийся от номинального.
4. Внешние входные сигналы всегда принимают только номинальные значения.
5. Если выходной сигнал $K$-го функционального элемента является входным $i$-го функционального элемента, то номинальные значения этих сигналов совпадают.
6. Линии связи между функциональными элементами модели абсолютно надежны.
7. Любой первичный функциональный элемент модели может иметь только один выходной сигнал при произвольном конечном числе входных сигналов.
8. Линии связи между первичными функциональными элементами модели должны соответствовать линиям связи структурной или принципиальной электрической схемы объекта контроля.

На пересечении $S$ $i$-той строки и $Z$ $i$-того столбца записывается символ “ 0 “. Кроме того, если при этом $j$-тый функциональный элемент имеет также недопустимое значение выходного параметра, то на пересечении $S$ $i$-той строки и $Z$ $j$-того столбца тоже записывается символ “ 0 “. В противном случае записывается символ “ 1 “.

Для объекта контроля, функциональная модель которого изображена на рис. 2, такая матрица состояния представлена в табл.1.

**Таблица № 1**

| | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ | $Z_7$ | $Z_8$ | $Z_9$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $\pi_3$ | $\pi_4$ | $\pi_5$ | $\pi_6$ | $\pi_7$ | $\pi_8$ | $\pi_9$ |
| $S_0$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $S_1$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_2$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_3$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_4$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_5$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_6$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_7$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| $S_8$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| $S_9$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Функциональная модель и таблица неисправностей задают связи между множеством возможных состояний $S$ объекта контроля, множеством контролируемых параметров $Z$ и множеством результатов контроля этих параметров. Наличие такой информации об объекте контроля позволяет разрабатывать программы поиска и локализации неисправностей в нем.

В таблице 1 столбцы также можно рассматривать как множество проверок $\Pi=\{\pi_j\}$, $j=\overline{1,m}$ , предусматривающих контроль ответной реакции элементов на определенную совокупность допустимых воздействий.

Для решения задачи поиска неисправности в контролируемом объекте некоторым оптимальным образом, необходимо найти такой выбор проверок (тест), который позволил бы локализовать неисправность и был бы минимальным.

Рассмотрим два алгоритма, позволяющих сравнительно простыми средствами строить диагностические тесты, которые являются вполне удовлетворительными. Однако, в данном случае, вопрос о том, насколько построенный диагностический тест отличается от минимального, остается открытым.

## 1.1. Алгоритм Яблонского - Мак-Класки.

Предлагаемый алгоритм в общем случае приводит к построению некоторого достаточно простого диагностического теста, однако иногда может приводить и к минимальному варианту.

Пусть множество $E = \{e\kappa\}$, где $\kappa = \overline{0,2^m-1}$ есть множество всех двоичных наборов $e\kappa = \left(\delta_1^k, \delta_2^k, \ldots \delta_m^k\right)$, $\delta_j^k \in \{0,1\}$ и число элементов в наборе ек равно числу проверок в множестве $\Pi = \{\pi_j\}$, $j=\overline{1,m}$.

Для всех $e_K \in E$, $e_k$ определяется числом единиц в данном выборе, то есть

$$\| e_k \| = \sum_{j=1}^{m} \delta_j^k$$

Выборы $e_k$ и $e_z \in E$ будем называть сравнимыми ( обозначается $e_k \leq e_z$).
Например : 10100≤10110.

Пусть исходная информация задается в виде некоторой булевой матрицы $M$, которая строится следующим образом.

Предположим, что $(S_i,S_z)\in R$ , где $S_i=(a_{i1},...,a_{ij},...,a_{im})$ и $S_z=(a_{z1},...,a_{zj},...,a_{zm})$ - состояния диагностируемого объекта.

Построим двоичный набор $e_{iz}=(\delta_1^{i2},...,\delta_j^{i2},...,\delta_m^{i2})$ такой, что для всех $j=\overline{1,m}$ :

$$\begin{cases} 0 & a_{ij}=a_{zj} \\ 1 & a_{ij}\neq a_{zj} \end{cases};$$

Набор $e_{iz}$ определяет подмножество $\Pi_{iz}\subset\Pi$ проверок, на котором состояния $S_i$ и $S_z$ различны. Выполнив указанное построение для всех пар из множества $R$, получим некоторое множество $E_0$ двоичных наборов.

Располагая множеством $E_0$, построим матрицу $M$, в которой каждая строка представляет собой набор из $E_0$, причем число строк в матрице $M$ равно числу наборов в множестве $E_0$ и порядок строк безразличен.

Число столбцов в матрице $M$ равно числу проверок в множестве $\Pi$ и номер каждого столбца совпадает с номером проверки из $\Pi$. Так как все пары состояний из $M$ различны, то матрица $M$ не содержит строк, состоящих только из нулей. Построенную таким образом матрицу будем называть ***булевой .*** Пример булевой матрицы приведен в таблице №3 для матрицы состояний (таблица №2), соответствующей блок-схеме на рисунке 3.

**Таблица № 2**

| | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $\pi_3$ | $\pi_4$ | $\pi_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $S_1$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| $S_2$ | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $S_4$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $S_5$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

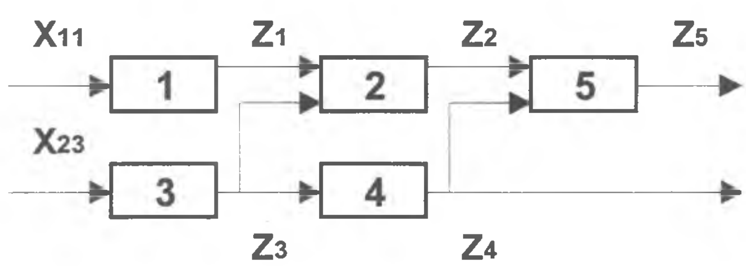



Рис. 3

**Таблица №3**

| | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $\pi_3$ | $\pi_4$ |
|---|---|---|---|---|
| $S_{12}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $S_{13}$ | 1 | 0 | 1 | 1 |
| $S_{14}$ | 1 | 1 | 0 | 1 |
| $S_{15}$ | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $S_{23}$ | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $S_{24}$ | 0 | 1 | 0 | 1 |
| $S_{25}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $S_{34}$ | 0 | 1 | 1 | 0 |
| $S_{35}$ | 0 | 1 | 1 | 1 |
| $S_{45}$ | 0 | 0 | 0 | 1 |

Из таблицы 2 видно, что проверка $\pi_5$ не несет никакой информации о состоянии диагностируемого объекта, и следовательно, она может быть исключена из рассмотрения.

Теперь для произвольной булевой матрицы введем следующее правило удаления столбцов :

*j*-ый столбец булевой матрицы можно удалить (вычеркнуть) в том и только в том случае, если матрица, полученная в результате удаления *j*-ого столбца содержит, по крайней мере, одну единицу в каждой строке. Булевая матрица, к которой нельзя применить правило удаления столбцов, называется ***неприводимой*** .

Пусть $M^*$ есть неприводимая матрица, полученная из булевой матрицы $M$ путем применения, возможно неоднократного, правила удаления столбцов, причем каждый столбец в $M^*$ имеет тот же номер, который он имел и в матрице $M$. Выпишем из множества $П$ проверки, номера которых совпадают с номерами столбцов в $M$, и обозначим полученное множество проверок через $T_м$ .

Справедливо следующее утверждение : подмножество $T_м \subseteq П$ есть элементарный диагностический тест. Очевидно, что, если неприводимая матрица $M^*$ содержит минимальное число столбцов, то элементарный тест $T_м$, построенный с помощью этой матрицы, является минимальным диагностическим тестом.

Обозначим через $\alpha_i = \left(\delta^i_1, \delta^i_2, \ldots, \delta^i_m\right)$ *i*-ую строку $(i=\overline{1,k})$ матрицы $M$, а через $\beta_j = \left(\delta^1_j, \delta^2_j, \ldots, \delta^m_j\right)$ ее *j*-ый столбец $(j=\overline{1,m})$.

Для упрощения матрицы $M$ введем следующие правила преобразования :

1. Правило поглощения строк.

Если в $M$ имеется такая пара строк $\alpha_i$ и $\alpha_z$ $(i,z=\overline{1,k})$, что $\alpha_i \leq \alpha_z$ ,
то строка $\alpha_z$ вычеркивается.

2. Правило поглощения столбцов.

Если в $M$ имеется такая пара столбцов $\beta_j$ и $(j,t=\overline{1,m})$, что $\alpha_i \leq \alpha_z$ ,
то столбец $\beta_t$ вычеркивается.

3. Критерий вхождения столбца во все неприводимые матрицы.

Если в $M$ имеется строка $\alpha_i$, которая содержит только одну единицу (то есть $\|\alpha\ i\| = 1$ ), стоящую на пересечении $i$-ой строки и $j$-ого столбца, то столбец $\beta_j$ входит во все неприводимые матрицы $M^*$. В этом случае $\beta_j$ отмечается как входящий во все $M^*$ и вычеркивается из $M$. Другими словами все столбцы, входящие в $M^*$, вычеркиваются из $M$ и рассматриваются как входящие в минимальный диагностический тест.

4. Если в $M$ есть столбец $\beta_i$, не содержащий единиц (то есть $\|\beta\ j\| = 0$ ), то этот столбец вычеркивается из $M$.

Применение правил преобразования к $M$ (в произвольном порядке) может привести к двум результатам.

1. В $M$ не осталось ни одного столбца. В этом случае минимальный диагностический тест образует подмножество проверок из П, имеющих те же номера, что и столбцы в $M^*$.

2. Из $M$ получена матрица $M_0$, которая не упрощается при дальнейшем применении правил преобразования. $M_0$ называется циклической.

Так как в любой диагностический тест $T$ входит подмножество проверок, номера которых совпадают с номерами столбцов матрицы $M_0$, то очевидно, что тест $T$ будет минимальным диагностическим тестом только в том случае, когда матрица $M_0$ будет содержать минимальное число столбцов. Поэтому задача построения минимального диагностического теста $T_0$ с помощью матрицы $M$ сводится к задаче построения теста $T_0$ с помощью циклической булевой матрицы $M_0$.

Для упрощения циклических матриц используется следующий метод. В $M_0$ отыскивается столбец, содержащий наибольшее число единиц, который отмечается как входящий в сокращенную матрицу. Если таких столбцов несколько или все столбцы из $M_0$ содержат одинаковое число единиц, то отмечается любой из этих столбцов. Из $M_0$ вычеркиваются все те строки, которые содержат единицу в отмеченном столбце.

Матрица, полученная в результате этого преобразования, упрощается таким образом, как и исходная матрица $M$, причем столбцы, к которым применяется правило 3, отмечаются как входящие в сокращенную матрицу. Если это упрощение снова приводит к циклической матрице, то процедура повторяется начиная с поиска соответствующего столбца.

Из исходной циклической матрицы $M_0$ вычеркнем все неотмеченные столбцы. Применяя (возможно неоднократно) к построенной таким образом сокращенной матрице правило удаления столбцов, получим неприводимую матрицу $M_0^*$.

Тест $T$, состоящий из подмножества проверок из $П$, номера которых совпадают с номерами столбцов из матриц $M^*$ и $M_0^*$, будет достаточно простым диагностическим тестом.

Пример.

Пусть задана булевая матрица (табл.4), номера столбцов в которой совпадают с номерами проверок из множества $П=\{\pi j\}\ \ j=\overline{1,10}$.

| | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $\pi_3$ | $\pi_4$ | $\pi_5$ | $\pi_6$ | $\pi_7$ | $\pi_8$ | $\pi_9$ | $\pi_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 2 | | | | | 1 | | | | 1 | |
| 3 | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 4 | | | 1 | | | | | | 1 | |
| 5 | | | | 1 | | | | 1 | | |
| 6 | | 1 | | | | | | | | |
| 7 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| 8 | | 1 | | | | 1 | | | | |
| 9 | 1 | | | | | | 1 | | | |
| 10 | 1 | | | | | 1 | | | | |

Процесс упрощения матрицы будет состоять из следующих этапов :

1. Восьмая строка поглощается шестой, в результате второй столбец отмечается как входящий во все неприводимые матрицы и удаляется из матрицы. Следовательно, проверка $\pi_2$ входит в минимальный диагностический тест.
2. Шестой столбец поглощается первым.
3. Девятая строка поглощается десятой ; при этом первый столбец отмечается как входящий во все неприводимые матрицы ($\pi_1$ входит в любой минимальный тест) и удаляется из матрицы.

В результате проведенных преобразований получим циклическую матрицу ( выделена черным ).

Поскольку все столбцы этой циклической матрицы содержат одинаковое число единиц, в качестве первого можно выбрать любой из них. Процесс дальнейшего упрощения будет состоять из следующих этапов :

1. Выбираем, например, пятый столбец, как входящий в сокращенную матрицу. Тогда первая и вторая строки окажутся вычеркнутыми.
2. Десятый столбец поглощается четвертым.
3. Девятый столбец поглощается третьим.
4. Пятая строка поглощается третьей.
5. Седьмая строка поглощается четвертой.

Отмеченными остаются столбцы 3,4 и 5-ый. Таким образом, искомым достаточно простым диагностическим тестом будет тест :

$$\boldsymbol{T}=\{\ \pi_1\ \pi_2\ \pi_3\ \pi_4\ \pi_5\ \}$$

## 1.2. Алгоритм Синдеева.

Исходный материал в данном алгоритме задается в виде матрицы состояний, причем рассматривается транспонированная матрица , у которой столбцы соответствуют всем возможным состояниям, а строки - всем возможным проверкам.

Предполагается, что все *"n"* состояний $S_i$ , составляющие полную группу событий, равновероятны :

$$\begin{pmatrix} S_1, S_2, \dots, S_n \\ P_1, P_2, \dots, P_n \end{pmatrix}$$

$$P_1 = P_2 = \dots = P_n = \frac{1}{n}$$

Тогда, с точки зрения теории информации, неопределенность, создаваемая такой конечной схемой, запишется в виде :

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \ell og_2 P_i = \ell og_2 n$$

Для определения состояния схемы необходимо выбрать в некотором смысле наилучшую последовательность *"m"* проверок.

Каждая проверка $\pi_к$ несет определенное количество информации о состоянии схемы

$$I(\pi_k) = H - H(\pi_k),$$

где $H(\pi_K)$ средняя условная энтропия состояния схемы при условиях выбора проверки $\pi_к$. Так как при проведении проверки имеются только два возможных исхода $\pi_к=0$ и $\pi_к=0$ с вероятностями и $P_k(\pi_k)$ $P_k(\overline{\pi_k})$, то

$$H(\pi_k) = P_k(\pi_k) H\pi_k + P_k(\overline{\pi_k}) H\overline{\pi_k}$$

где $H\pi_k$ и $H\overline{\pi}k$ - энтропия состояний схемы после проведения проверки $\pi_к$ ;

$$P_k(\pi_k) = \frac{\ell}{n};$$

$$P_k(\overline{\pi_k}) = \frac{n-\ell}{n};$$

где $\ell$ - число единиц в К-ой строке исходной матрицы состояний.

При этом :

$$H(\pi_k) = \frac{\ell}{n} \ell og_2 \ell + \frac{n-\ell}{n} \ell og_2 (n-\ell);$$

$$I(\pi_k) = \ell og_2 n - \left( \frac{\ell}{n} \ell og_2 \ell + \frac{n-\ell}{n} \ell og_2 (n-\ell) \right) =$$

$$= -\left( \frac{\ell}{n} \ell og_2 \frac{\ell}{n} + \frac{n-\ell}{n} \ell og_2 \frac{n-\ell}{n} \right)$$

Первой выбирается проверка $\pi_к$ , несущая максимальное количество информации (если таких проверок несколько, выбирается одна из них).

$$I(\pi_k) = H - H(\pi_k) = I\max$$

Второй выбирается проверка $\pi_k$, которая обладает наибольшей условной информацией $I\left(\pi_t/\pi_k\right)$ относительно состояния, характеризуемого энтропией $H(\pi_k)$

$$I\left(\pi_t/\pi_k\right) = H(\pi_k) - H\left(\pi_t/\pi_k\right);$$

где

$$I\left(\pi_t/\pi_k\right) = P\left(\pi_t/\pi_k\right)H\,\pi_t/\pi_k + P\left(\overline{\pi_k}/\pi_k\right)H\,\overline{\pi_t}/\pi_k +$$

$$+P\left(\pi_t/\overline{\pi_k}\right)H\,\pi_t/\overline{\pi_k} + P\left(\overline{\pi_k}/\overline{\pi_k}\right)H\,\overline{\pi_t}/\overline{\pi_k};$$

$$P\left(\pi_t/\pi_k\right) = \frac{\ell_1}{\ell-\ell_1}\cdot\frac{\ell-\ell_1}{n} = \frac{\ell_1}{n};$$

$$P\left(\overline{\pi_t}/\pi_k\right) = \frac{\ell-\ell_1}{n};$$

$$P\left(\overline{\pi_t}/\overline{\pi_k}\right) = \frac{n-\ell-\ell_2}{n};$$

$$P\left(\pi_t/\overline{\pi_k}\right) = \frac{\ell_2}{n};$$

$$H\,\pi_t/\pi_k = \ell og_2\ell_1;$$

$$H\,\overline{\pi_t}/\pi_k = \ell og_2(\ell-\ell_1);$$

$$H\,\pi_t/\overline{\pi_k} = \ell og_2\ell_2;$$

$$H\,\overline{\pi_t}/\overline{\pi_k} = \ell og_2(n-\ell-\ell_2),$$

где $\ell_1, \ell_2$ - число единиц в $t$-й строке соответственно для $\ell$ и $(n-\ell)$ нулей в k-ой строке.

Тогда

$$I\left(\pi_t / \pi_k\right) = \frac{\ell}{n}\ell og_2\ell + \frac{n-\ell}{n}\ell og_2(n-\ell) - \frac{\ell_1}{n}\ell og_2\ell_1 -$$

$$-\frac{\ell-\ell_1}{n}\ell og_2(\ell-\ell_1) - \frac{\ell_2}{n}\ell og_2\ell_2 - \frac{n-\ell-\ell_2}{n}\ell og_2(n-\ell-\ell_2) =$$

$$= -\left[\frac{\ell_1}{n}\ell og_2\frac{\ell_1}{\ell} + \frac{\ell-\ell_1}{n}\ell og_2\frac{\ell-\ell_1}{\ell} + \frac{\ell_2}{n}\ell og_2\frac{\ell_2}{n-\ell} + \right.$$

$$\left. + \frac{n-\ell-\ell_2}{n}\ell og_2\frac{n-\ell-\ell_2}{n-\ell}\right]$$

Выбор проверок продолжается до тех пор , пока энтропия $H\left(\pi_{ip} / \pi_{i1},\dots,\pi_{ip-1}\right)$ не станет равной нулю.

**Пример .**

В качестве примера рассмотрим функциональную модель (рис.3) и ее матрицу состояний (табл. 2).

Построим транспонированную матрицу состояний, то есть столбцы исходной матрицы будут строками, а строки - столбцами (табл.5).

**Таблица 5.**

| | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $\pi_1$ | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $\pi_2$ | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $\pi_3$ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| $\pi_4$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Как уже отмечалось раньше, контроль параметра $Z_5$ для поиска неисправностей не дает никакой информации, следовательно, его можно исключать из рассмотрения. Следует только заметить, что параметр $Z_5$ может быть выбран для контроля работоспособности, так как он охватывает все возможные состояния объекта контроля.

Вероятности различных состояний объекта контроля одинаковы. Тогда энтропия контроля будет равна

$$H = \ell og_2 5 = 2.32$$

Количество информации при контроле каждого параметра равно:

$$I(\pi_1) = H - \frac{4}{5}\log_2 4 - \frac{1}{5}\log_2 1 = 0.72$$
$$I(\pi_2) = H - \frac{2}{5}\log_2 2 - \frac{3}{5}\log_2 3 = 0.972$$
$$I(\pi_3) = H - \frac{4}{5}\log_2 4 - \frac{1}{5}\log_2 1 = 0.72$$
$$I(\pi_4) = H - \frac{2}{5}\log_2 2 - \frac{3}{5}\log_2 3 = 0.972$$

Выбираем проверку $\pi_2$, как дающую наибольшее количество информации.

Теперь вычислим количество информации , которое дают проверки $\pi_1$ , $\pi_3$ , $\pi_4$ при условии , что проверка $\pi_2$ уже проведена:

$$I\left(\pi_1/\pi_2\right) = -\left[\frac{2}{5}\log_2\frac{2}{2} + \frac{2-2}{5}\log_2\frac{2-2}{2} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{3} + \frac{1}{5}\log_2\frac{1}{3}\right] = 0.548$$
$$I\left(\pi_3/\pi_2\right) = -\left[\frac{2}{5}\log_2\frac{2}{2} + \frac{2-2}{5}\log_2\frac{2-2}{2} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{3} + \frac{1}{5}\log_2\frac{1}{3}\right] = 0.548$$
$$I\left(\pi_4/\pi_2\right) = -\left[\frac{1}{5}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{5}\log_2\frac{1}{2} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{3} + \frac{1}{5}\log_2\frac{1}{3}\right] = 0.948$$

Следовательно, в качестве второй проверки выбираем $\pi_4$.

Для оставшихся проверок определяется количество информации при условии что проведены проверки $\pi_2$ и $\pi_4$ :

$$I\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right) = H\left(\pi_4/\pi_2\right) - H\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right),$$

где

$$H\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right) = P\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right)H\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right) + P\left(\overline{\pi_1}/\pi_2,\pi_4\right)H\left(\overline{\pi_1}/\pi_2,\pi_4\right) +$$
$$P\left(\pi_1/\overline{\pi_2},\pi_4\right)H\left(\pi_1/\overline{\pi_2},\pi_4\right) + P\left(\overline{\pi_1}/\overline{\pi_2},\pi_4\right)H\left(\overline{\pi_1}/\overline{\pi_2},\pi_4\right) + P\left(\pi_1/\pi_2,\overline{\pi_4}\right)H\left(\pi_1/\pi_2,\overline{\pi_4}\right) +$$
$$P\left(\overline{\pi_1}/\pi_2,\overline{\pi_4}\right)H\left(\overline{\pi_1}/\pi_2,\overline{\pi_4}\right) + P\left(\pi_1/\overline{\pi_2},\overline{\pi_4}\right)H\left(\pi_1/\overline{\pi_2},\overline{\pi_4}\right) + P\left(\overline{\pi_1}/\overline{\pi_2},\overline{\pi_4}\right)H\left(\overline{\pi_1}/\overline{\pi_2},\overline{\pi_4}\right)$$

$$I\left(\pi_1/\pi_2,\pi_4\right) = 0.4$$

Аналогично для $I\left(\pi_3/\pi_2,\pi_4\right)$:

$$I\left(\pi_3/\pi_2,\pi_4\right) = 0.$$

Таким образом, для поиска неисправностей в объекте контроля, представленном функциональной моделью рис.3, выбирается достаточно простой диагностический тест

$$T=\{\pi_2,\ \pi_4,\pi_1\},$$

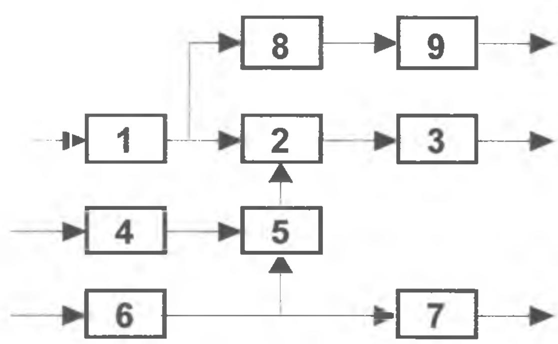
который в данном случае совпадает с минимальным диагностическим тестом для рассматриваемого объекта диагностики.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

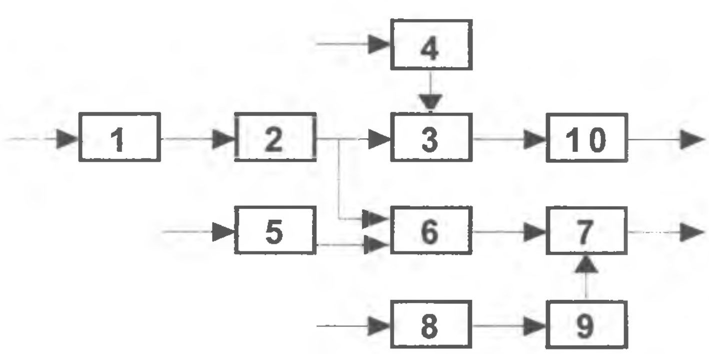
Построить диагностические тесты с помощью алгоритмов Сиднеева -Мак-Класки.

### *ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ*

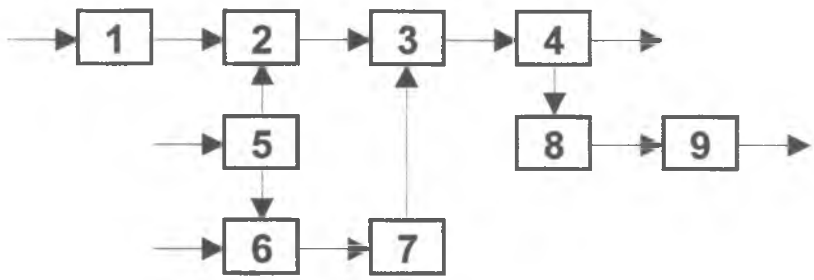
***I вариант***



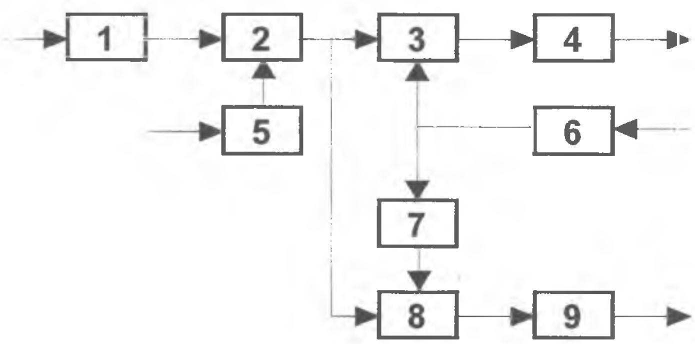

*II* ***вариант***



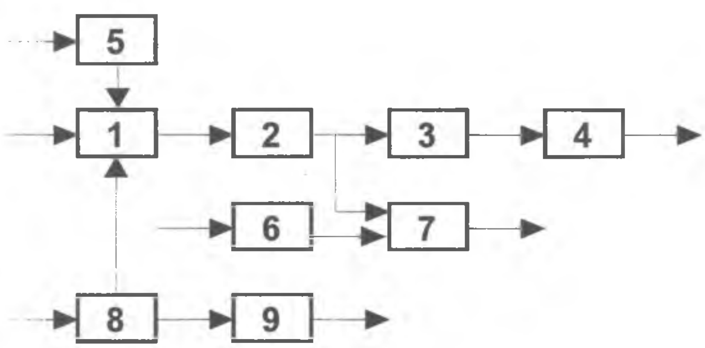
***III вариант***



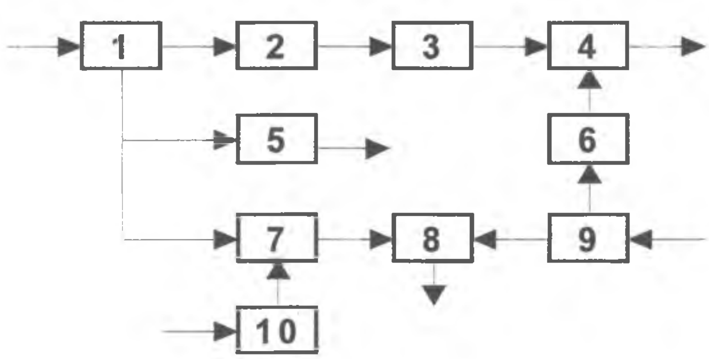

***IV вариант***



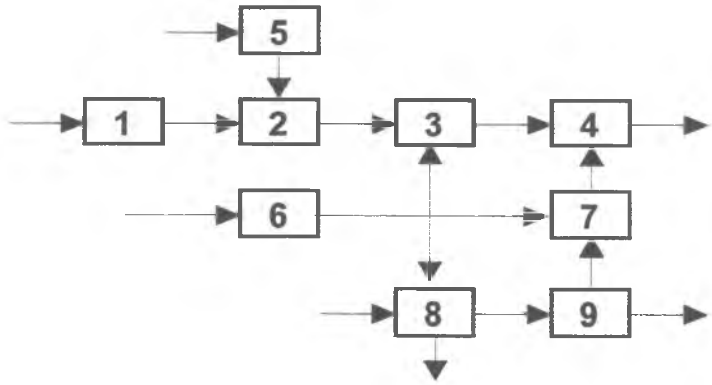

***V вариант***



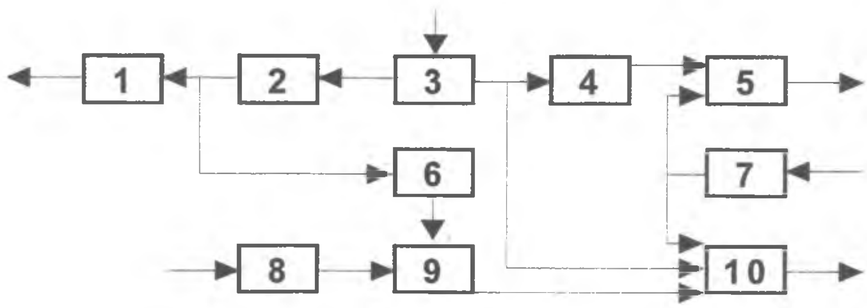

***VI вариант***



*VII вариант*




*VIII вариант*




## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких устройств можно решать задачу технической диагностики? Какой элемент объекта считается неисправным?
2. Сколько выходных сигналов может иметь первичный функциональный элемент?
3. Что задают функциональная модель и таблица неисправностей?
4. В чем состоит правило удаления столбцов в алгоритме Яблонского?
5. К каким результатам может привести применение правил преобразования матрицы М в алгоритме Яблонского?
6. Какая матрица рассматривается для алгоритва Сиднеева?
7. Какой выбирается вторая проверка при применении алгоритма Сиднеева?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрицкий В.Д. и др. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры. - М., "Сов. радио", 1977 г.
2. Введение в техническую диагностику. Под ред. К.Б. Карандеева. - М., "Энергия", 1968 г.
3. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика. - Киев, "Техника", 1971 г.