

К. т. н. Л. И. ПАНОВ, А. А. МАТВЕЕНКО

Украина, г. Одесса, Гос. политехнический ун-т

Дата поступления в редакцию  
06.09 1999 г.

Оппонент д. т. н. А. И. КОРОБОВ

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ РЭС НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

*Морфологический многокритериальный анализ конструкторских и технологических параметров позволяет провести ранжирование девяти возможных вариантов конструкции функциональных узлов.*

Одним из наиболее перспективных путей конструирования и производства РЭС является применение технологии монтажа на поверхность (ТМП). По данным [1], в настоящее время в США 95 % всех производимых микросхем предназначены для монтажа на поверхность и лишь 5% — для монтажа в отверстия; конденсаторы и резисторы выполняются преимущественно в *chip*-исполнении, а электрические соединители, традиционно монтируемые в отверстия, переводятся на монтаж методом запрессовки. Учитывая, что Япония всегда опережала США в производстве компонентов, монтируемых на поверхность (КМП), можно сделать вывод, что к сегодняшнему дню применение КМП практически полностью вытесняет применение компонентов для монтажа в отверстия (КМО).

Тем не менее в мире, и особенно в странах СНГ, применение находят конструкции только с КМО, только с КМП и смешанные варианты. При наличии большого числа возможных вариантов для выбора оптимального варианта представляется целесообразным подход, при котором ранжирование вариантов проводится уже на ранних стадиях конструирования.

В [2] была получена ранжированная последовательность девяти вариантов конструкций (рис. 1) по некоторым отдельным параметрам — по габаритам, по конструктивно-технологической сложности, по устойчивости к технологическим воздействиям. Результаты этой оценки являются очень полезными и могут давать некоторые сведения о выборе конструкций. Но оценка по отдельно взятым параметрам является частной и позволяет найти локальный оптимум.

Как отмечается в [3], «можно констатировать отсутствие комплексного, критериального подхода к выбору конструкторско-технологических вариантов изделий РЭС, который основывался бы на использовании аналитических зависимостей показателей качества проектируемого изделия в целом и себестоимости его изготовления с характеристиками выби-

раемых компонентов и процессов сборки». В рамках этой проблемы целью настоящей работы являлась разработка алгоритма и программы выбора оптимальных конструкций функциональных узлов РЭС на основании морфологического многокритериального анализа конструкторско-технологических признаков разрабатываемых узлов.

### Выбор критериев

Как уже отмечалось, конструкции функциональных узлов (ФУ) РЭС могут иметь девять вариантов исполнения (см. рис. 1). Большое количество вариантов обусловлено возможностью сочетания объемного и поверхностного монтажа на двух сторонах печатной платы, а также целым рядом факторов. Все эти факторы предусмотреть и учесть практически невозможно. Однако можно определить основные:

- большая номенклатура покупных комплектующих изделий (ПКИ) и их стоимость (определяют возможность появления различных вариантов ФУ РЭС);
- различные назначение и условия эксплуатации аппаратуры (определяют требуемые характеристики РЭС, которые, в свою очередь, оказывают влияние на выбор конструкции);
- субъективные факторы — устоявшиеся на предприятии технологические процессы, доступ к элементной базе и т. п.

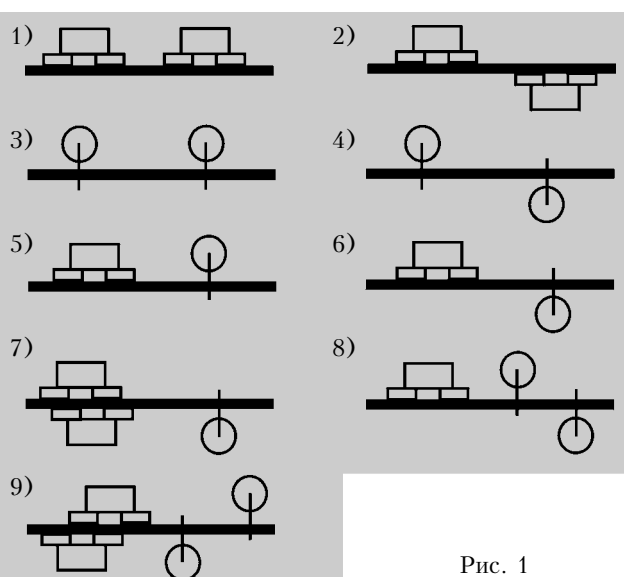


Рис. 1

Для суждения о степени соответствия каждого из вариантов конструкции своему назначению следует ввести понятие критерия качества, который предполагает процедуру выстраивания сравнимых вариантов в определенную последовательность в соответствии со степенью их относительного предпочтения. Количественные характеристики свойств вариантов конструкции, определяющих качество изделия, образуют совокупность показателей качества.

Задача выбора наилучшего варианта конструкции ФУ проста тогда и только тогда, когда один из вариантов превосходит все остальные по всем показателям. В практике радиоконструирования в большинстве случаев задача значительно сложнее: один вариант может превосходить другой по целому ряду показателей, уступая по другим показателям. Поэтому оптимальный вариант следует выбирать с помощью целевой функции, определяющей компромисс в степени достижения поставленной цели.

В качестве целевой функции наиболее целесообразно принять определение комплексного показателя качества конструкции ФУ РЭС.

Рассчитаем комплексный показатель качества конструкции\*.

Пусть некая конструкция ФУ характеризуется совокупностью показателей качества

$$Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m \rangle. \quad (1)$$

Для реализации этой конструкции предложено множество вариантов

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n\}. \quad (2)$$

Каждый вариант  $s_j \in S$  характеризуется конкретными значениями показателей качества

$$Y^i = \langle y_1^i, y_2^i, \dots, y_j^i, \dots, y_m^i \rangle. \quad (3)$$

Поскольку ТЗ на конструирование ФУ задает допустимые интервалы  $\Delta y_j$  для каждого показателя  $y_j \in Y$ ,  $j = \overline{1, m}$ , то всем допустимым вариантам соответствует область существования  $D_y = \{y_j^i\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Конфигурация области  $D_y$  определяет, к какому виду относится поставленная задача. Если область  $D_y = \emptyset$ , то задача не имеет решений, если область  $D_y$  соответствует точке, то решаемая задача конструкторского проектирования имеет единственное решение, иначе существует множество решений.

Обозначим  $S^0 \in S$  оптимальный вариант конструкции, которому соответствует вектор показателей качества

$$Y^0 = \langle y_1^0, y_2^0, \dots, y_j^0, \dots, y_m^0 \rangle, \quad (4)$$

наилучшим образом соответствующий целям проектирования. Естественно, что  $Y^0 \in D_y$ .

Для определенности можно предположить, что большему значению показателя  $y_j$ ,  $j = \overline{1, m}$  соответствует большее значение целевой функции  $F(i)$  и лучшее качество решения. Тогда в наиболее общей форме задача выбора оптимального варианта конструкции будет иметь вид

$$\exists S^i \in S [\forall S^k \in S [F(Y^i \in D_y) \geq F(Y^k \in D_y)]] \Rightarrow [(S^0 = S^i) \wedge (Y^0 = Y^i)]. \quad (5)$$

\* Использована методика, разработанная в Киевском политехническом институте (Ю. Ф. Зиньковский, В. П. Гондюл, В. И. Домнич, В. А. Поддубный).

С геометрической точки зрения ищется такая точка  $Y^0$  в области  $D_y$ , для которой

$$F(Y^0) = \max\{F(Y^i \in D_y)\}, i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Решение задачи можно получить, если на основе оценок  $y_j$  отдельных показателей можно получить общую оценку варианта  $S_i \in S$ ,  $i = \overline{1, m}$ , т. е. произвести агрегацию оценок. Этот способ основан на введении отношения эквивалентности между точками  $m$ -мерного пространства показателей качества (области  $D_y$ ) и действительными числами, линейно упорядоченными отношениями “<”, “>”. Таким образом, оценку качества вариантов конструкции можно получить введя однозначную функцию  $\phi(Y)$ , которая ставит каждому варианту  $S_i \in S$ ,  $i = \overline{1, m}$  вместо  $m$ -мерного вектора  $Y^i = \langle y_1^i, y_2^i, \dots, y_j^i, \dots, y_m^i \rangle$  скалярную оценку  $\phi^i$ , после чего задача выбора и упорядочивания решается простыми алгоритмами.

Значение комплексного показателя качества (значение целевой функции) для каждого варианта конструкции будем рассчитывать по следующей формуле:

$$\phi_A^i = \sum_{j=1}^m k_j^i y_j^i, \quad (7)$$

где  $m$  — число оцениваемых параметров;

$j = \overline{1, m}$  — номер варианта конструкции;

$k_j^i$  — весовой коэффициент;

$y_j^i$  —  $j$ -й расчетный параметр  $i$ -го варианта конструкции.

В данной формуле наилучшее значение показателя стремится к единице, а наихудшее — к нулю. В аналогичных пределах находятся значения частных показателей и их весовых коэффициентов.

Таким образом, для решения задачи выбора оптимального варианта конструкции ФУ следует:

1) выбрать совокупность показателей качества  $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m \rangle$ ;

2) выбрать методы расчета каждого показателя  $y_j \in Y$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;

3) пронормировать значения показателей качества, т. е. получить безразмерные оценки вида  $\{0 \leq y_j \leq 1\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;

4) определить коэффициенты важности каждого из показателей качества конструкции  $k_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;

5) рассчитать значение целевой функции  $\phi^i(Y)$  для каждого из вариантов  $S^i \in S$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;

6) выбрать в качестве оптимального вариант конструкции  $S^0 \in S$  с максимальным значением целевой функции  $\phi^0(Y) = \max\{\phi^i(Y)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

#### Систематизация исходных данных

Для решения задачи с помощью ПЭВМ прежде всего была проведена систематизация имеющихся исходных данных, которыми являются:

- варианты исполнения ПКИ;
- варианты конструкции ФУ РЭС;
- варианты условий эксплуатации РЭС.

Классификация ПКИ проводится по типу корпуса, в базу данных каждый вариант исполнения корпуса заносится под своим порядковым номером.

Классификация вариантов конструкции ФУ РЭС проведена присвоением каждому из девяти возмож-

ных вариантов своего порядкового номера  $j=\overline{1, 9}$  в соответствии с рис. 1.

Варианты условий эксплуатации РЭС [4, с. 55] классифицированы в зависимости от размещения и свойств объекта-носителя:

- 1) стационарная (объекты-носители — поверхность земли или помещения);
- 2) возимая на наземных транспортных средствах (объекты-носители — автомобильный, гусеничный и железнодорожный транспорт);
- 3) возимая на речных и морских судах (объекты-носители — внутренние помещения, палубы и мачты судов);
- 4) носимая и портативная (объекты-носители — человек или выючные животные, возможна работа вне помещений и на ходу);
- 5) самолетная и ракетно-космическая (объекты-носители — летательные аппараты).

#### Определение частных показателей

Для получения программы, дающей определенные рекомендации по выбору вариантов конструкции ФУ, необходимо получить информацию о характеристиках каждого варианта. Имея такие характеристики, а также зная важность каждого параметра в том или ином случае, мы сможем получить ранжированную последовательность вариантов конструкции для любого случая.

В настоящей работе определяются следующие показатели качества конструкции ФУ:

- 1) габаритные показатели: занимаемая площадь и объем для каждого варианта;
- 2) показатель массы: масса  $i$ -го варианта узла  $m_i$ ;
- 3) показатели удельного тепловыделения по площади и объему;
- 4) показатель устойчивости к электромагнитным наводкам;
- 5) показатель устойчивости к вибрационным и ударным нагрузкам;
- 6) показатель влагостойкости;
- 7) показатель технологической себестоимости;
- 8) показатель ремонтпригодности;
- 9) показатель надежности.

Показатели 1 — 3 и 7 определяются аналитически. Площадь, занимаемая элементами, их установочная высота, масса, рассеиваемая мощность, стоимость — это справочные данные. Показатели 4, 5, 6, 8, 9, в силу рассмотрения обобщенных вариантов конструкций, задаются для каждого варианта конструкции на основании экспертной оценки.

В ходе работы подробно рассмотрены основные параметры существующей элементной базы, а также определены все возможные варианты конструкций ФУ. Характеристики каждого варианта конструкции определяются прежде всего характеристиками их элементов — ПККИ. Исходя из этого утверждения и на основе проведенных исследований были получены некоторые аналитические выражения для определения ряда параметров каждого варианта конструкции. Следует еще раз подчеркнуть, что в работе проводился анализ вариантов в общем виде, поэтому выражения имеют вид, характеризующий любой вариант конструкции для любой схемы. При

этом подходе характеристики каждого частного случая (каждого исследуемого узла) определялись прежде всего его элементарным составом по схеме электрической принципиальной.

Рассмотрим более подробно эти зависимости.

Габаритные показатели:

— занимаемая площадь для каждого варианта, мм<sup>2</sup>:

$$S_i = K_{3S} \max\{S_{\Sigma 1i}, S_{\Sigma 2i}\}, \quad (8)$$

где  $K_{3S}$  — коэффициент заполнения площади, задаваемый пользователем;

$S_{\Sigma 1i}, S_{\Sigma 2i}$  — сумма площадей элементов, расположенных соответственно на первой и второй сторонах узла (если элементы расположены на одной стороне, то  $S_{\Sigma 2i} = 0$ );

— занимаемый объем для каждого варианта, мм<sup>3</sup>:

$$V_i = S_i (h_1 + h_2 + h_{\text{осн}}), \quad (9)$$

где  $S_i$  — площадь  $i$ -го узла;

$h_1, h_2$  — максимальная установочная высота элемента соответственно на первой и второй сторонах узла (если элементы расположены на одной стороне, то  $h_2 = 0$ );

$h_{\text{осн}}$  — толщина основания.

Показатель массы: масса  $i$ -го варианта узла  $m_i$ , г —

$$m_i = m_{\Sigma i} + m_{\text{осни}}, \quad (10)$$

где  $m_{\Sigma i} = \sum m_{\Sigma i}$  — сумма масс всех ПККИ, входящих в узел;

$m_{\text{осни}}$  — масса основания узла, равная произведению соответственно плотности материала ( $\rho_{\text{осни}}$ ), площади ( $S_{\text{осни}}$ ) и толщины основания ( $h_{\text{осни}}$ ).

Показатели удельного тепловыделения:

— по площади:

$$K_{TS} = P_{\Sigma i} / S_i, \quad (11)$$

где  $P_{\Sigma i} = \sum P_i$  — сумма значений мощности, рассеиваемой каждым элементом  $i$ -го узла;

— по объему:

$$K_{TV} = P_{\Sigma i} / V_i, \quad (12)$$

где  $P_{\Sigma i} = \sum P_i$  — сумма значений мощности, рассеиваемой каждым элементом  $i$ -го узла;

$V_i$  — объем  $i$ -го узла.

Показатель технологичности — технологическая себестоимость:

$$T_{Ci} = T_{Mi} + T_{\text{изги}}, \quad (13)$$

где  $T_{Mi}$  — стоимость материалов, равная сумме стоимости всех ПККИ, входящих в узел, ( $C_{\Sigma \text{эл}}$ ) и стоимости основания ( $C_{\text{осни}}$ );  $C_{\Sigma \text{эл}} = \sum C_{\text{эл}}$ ;

$$C_{\text{осни}} = C_{\text{мат}} S_i;$$

$C_{\text{мат}}$  — удельная стоимость материала основания узла;

$T_{\text{изги}}$  — трудоемкость изготовления узла,  $T_{\text{изги}} = 0,007 \cdot k$ ;

$k$  — число паек.

Показатель надежности — суммарная интенсивность отказов узла — определяется согласно [5, с. 173]:

$$\Lambda_{\text{РЭА}} = k_1 k_2 k_3 k_4 \left\{ \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_{1i} \alpha_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_{2i} \alpha_{2i} + \sum_{i=1}^{n_3} \lambda_{3i} \alpha_{3i} + \sum_{i=1}^{n_4} \lambda_{4i} \alpha_{4i} + \lambda_5 \left[ \sum_{i=1}^{n_1} m_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} m_{2i} + \sum_{i=1}^{n_3} m_{3i} + \sum_{i=1}^{n_4} m_{4i} \right] \right\}, \quad (14)$$

где  $k_1-k_4$  – поправочные коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации РЭС;

$\lambda_{1i}, \lambda_{2i}, \lambda_{3i}, \lambda_{4i}$  – интенсивность отказов в номинальном режиме  $i$ -го элемента схемы – соответственно резистора, конденсатора, полупроводникового прибора, прочих элементов схемы;

$\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}, \alpha_{4i}$  – поправочные коэффициенты, зависящие от коэффициента нагрузки и температуры, соответственно для элементов схемы;

$\lambda_5$  – интенсивность отказов соединения пайкой;

$m_{1i}, m_{2i}, m_{3i}, m_{4i}$  – количество выводов  $i$ -го элемента – соответственно резистора, конденсатора, полупроводникового прибора, прочих элементов схемы;

$n_1, n_2, n_3, n_4$  – соответственно количество в схеме элементов – резисторов, конденсаторов, полупроводниковых приборов, прочих (например – разъемов).

За исключением коэффициента  $k_4$ , который оценивается экспертно, все данные, необходимые для расчета интенсивности отказов, являются справочными.

Таким образом, мы смогли получить аналитические выражения некоторых важных параметров. Для нахождения остальных параметров, как уже отмечалось, было привлечено мнение экспертов. Мнение экспертов привлекалось также для оценки надежности.

**Определение весовых коэффициентов**

Итак, мы имеем целый набор параметров. Однако при тех или иных условиях каждый из рассмотренных параметров может играть более или менее важную роль. Ранжирование коэффициентов по важности для различных условий производилось при помощи весовых коэффициентов, определяемых на основании результатов экспертной оценки. При этом учитывалось условие

$$\sum_{i=1}^8 K_{ij} = 1, \tag{15}$$

где  $K_{ij}$  – весовые коэффициенты;

$i=1, 9$  – номер расчетного параметра;

$j=1, 5$  – номер варианта условий эксплуатации.

**Результаты экспертной оценки**

В табл. 1 представлены результаты оценки некоторых частных параметров, а в табл. 2 – результаты оценки веса каждого параметра для пяти вариантов условий эксплуатации. Полученные результаты были обработаны согласно методике, приведенной в [6, с. 26 – 31], что подтвердило их достоверность с вероятностью 0,95.

**Нормирование значений параметров**

Параметры, для которых были установлены аналитические зависимости, нормировались с таким расчетом, чтобы улучшение качества соответствовало увеличению значения показателя в пределах 0...1.

Аналогично проводилось нормирование результатов экспертной оценки весовых коэффициентов.

Значения параметров

Номер варианта конструкции	Показатели				
	устойчивости к наводкам	устойчивости к механическим воздействиям	устойчивости к климатическим воздействиям	ремонтпригодности	надежности
1	0,64	0,86	0,73	0,77	1,00
2	0,81	0,89	0,56	0,50	0,84
3	0,19	0,27	0,41	0,77	0,42
4	0,36	0,10	0,38	0,59	0,27
5	0,53	0,52	0,58	0,67	0,47
6	0,64	0,50	0,45	0,44	0,47
7	0,47	0,50	0,42	0,30	0,48
8	0,50	0,27	0,41	0,33	0,22
9	0,31	0,45	0,47	0,19	0,33

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов

Номер варианта условий эксплуатации	Показатели								
	габаритов	массы	удельного тепловыделения	устойчивости к электромагнитным наводкам	устойчивости к механическим воздействиям	устойчивости к климатическим воздействиям	технологической себестоимости	ремонтпригодности	надежности
1	0,07	0,07	0,10	0,10	0,05	0,04	0,23	0,15	0,19
2	0,12	0,09	0,07	0,08	0,12	0,11	0,13	0,12	0,16
3	0,08	0,09	0,07	0,08	0,10	0,16	0,11	0,14	0,17
4	0,16	0,17	0,04	0,04	0,07	0,12	0,16	0,10	0,14
5	0,16	0,16	0,10	0,10	0,12	0,07	0,06	0,07	0,16

Таблица 2

**Алгоритмическая реализация морфологического многокритериального анализа**

Для решения поставленной задачи на ПЭВМ была разработана программа на языке Турбо Паскаль.

Алгоритм программы, реализующей разработанную в настоящей работе методику, в виде блок-схемы представлен на рис. 2. Рассмотрим отдельные блоки алгоритма.

Блок А0. Начало работы.

Блок А1. Считывание справочной информации о соответствующем типе корпуса элемента (масса, габаритные размеры, рассеиваемая мощность, стоимость, коэффициент интенсивности отказов).

Блок А2. Сообщение о начале работы программы.

Блок Р1. Пользователю предлагается дополнить или изменить имеющуюся базу данных.

Блок А3. Ввод кода, под которым будет введена новая информация.

Блок Р2. Проверка, есть ли под введенным кодом данные на какой-либо элемент.

Блок А4. Сообщение пользователю о том, что введенный код свободен, т. е. информация под этим кодом отсутствует.

Блок Р3. Запрос о том, желает ли пользователь вводить данные под указанным кодом.

Блок А5. Ввод типа элемента и его названия.

Блок А6. Ввод параметров элемента.

Блок Р4. Выводится сообщение о том, что ввод параметров элемента закончен.

Блок А7. Запрос о том, будет ли еще вводиться информация.

Блок А8. Информация записывается в файл базы данных.

Блок А9. Выбирается первый вариант конструкции ФУ. Номер варианта  $W=1$ .

Блок А10. Счетчик числа элементов приравнивается к единице:  $count=1$ . Вводится код первого типа корпуса и число элементов с данным типом корпуса.

Блок Р5. Запрос о том, завершены ли ввод информации.

Блок Р6. Проверка, есть ли рассматриваемый код в имеющейся базе данных. Если нет – возврат к блоку Р1 для возможности пополнения базы данных новым элементом.

Блок А11. Ввод числа элементов рассматриваемого типа, расположенных на второй стороне узла.

Блок А12. Определение числа элементов рассматриваемого типа, расположенных на первой стороне узла.

Блок А13. Приращение значения счетчика элементов на единицу:  $count=count+1$ .

Блок А14. Ввод коэффициента заполнения платы.

Блок А15. Расчет площади элементов.

Блок А16. Определение элемента, имеющего максимальную высоту.

Блок А17. Расчет объема узла.

Блок А18. Расчет массы узла.

Блок А19. Расчет суммарной мощности, рассеиваемой всеми элементами.

Блок А20. Расчет удельной выделяемой мощности ФУ.

Блок А21. Определение данных по устойчивости к электромагнитным наводкам, механическим и климатическим факторам, технологичности, ремонтпригодности.

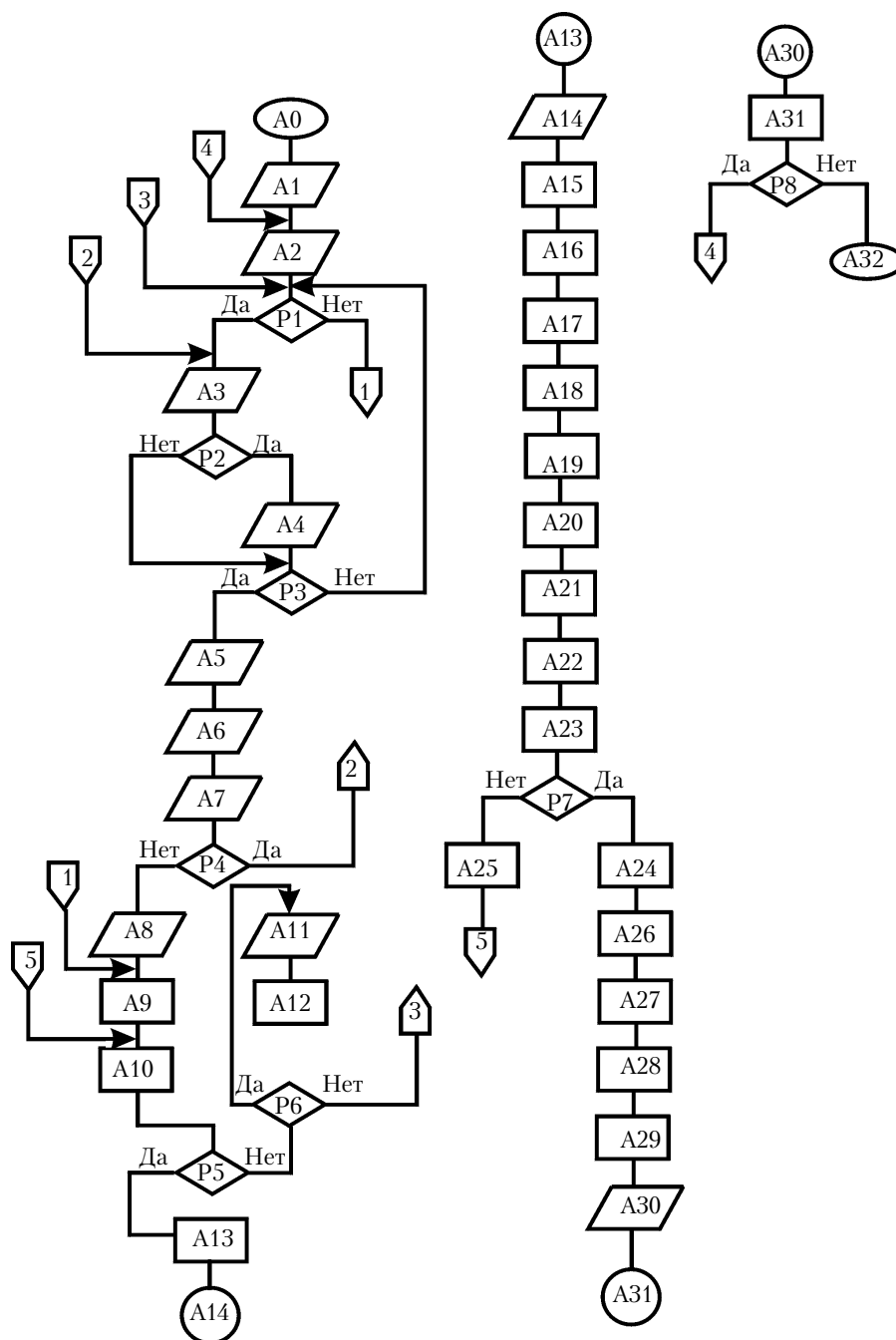


Рис. 2

Блок А22. Расчет надежности узла.

Блок А23. Результаты расчетов выводятся на дисплей.

Блок Р7. Запрос о необходимости расчета других вариантов.

Блок А24. Нормирование значений площади вариантов узлов.

Блок А25. Нарращение счетчика вариантов конструкции на единицу:  $W=W+1$ .

Блок А26. Нормирование значений объема вариантов узлов.

Блок А27. Нормирование значений массы вариантов узлов.

Блок А28. Нормирование значений удельного тепловыделения вариантов узлов.

Блок А29. Нормирование значений показателей надежности вариантов узлов, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, ремонтпригодности и технологичности.

Блок А30. Ввод значений весовых коэффициентов.

Блок А31. Расчет значений комплексных показателей и вывод результатов.

Блок Р7. Проверка необходимости продолжения работы.

Блок А32. Завершение работы.

### Заключение

В ходе проведенной работы разработана стратегия принятия решения о выборе того или иного варианта конструкции, разработаны критерии и методика проведения морфологического многокритериального анализа конструкторско-технологических параметров ФУ РЭС, разработаны алгоритм и программа выбора оптимальных вариантов конструкций ФУ РЭС на IBM-совместимых ПЭВМ.

В качестве объекта исследований (тестового примера) была выбрана схема модуля процессора МП511, поскольку телевизионная техника достаточно широко распространена и может иметь применение во всех рассмотренных выше вариантах условий эксплуатации. Оказалось, что для всех вариантов условий эксплуатации оптимальным вариантом конструкции яв-

ляется второй. Этот результат вполне естествен и подтверждается существующей практикой.

Однако в ряде случаев производитель по отдельным причинам, о которых мы уже говорили, не может применить оптимальный вариант. Тогда на основе анализа ранжированной последовательности всех вариантов, полученной в ходе работы программы, проектировщик может выбрать оптимальный вариант из числа доступных ему.

Полученные в ходе работы результаты можно рассматривать как базовые для исследования конкретных конструкций. Разработанная методика предполагает возможность внесения дополнений и изменений, поскольку невозможно предусмотреть всевозможные факторы. Для определения значений отдельных частных показателей качества можно использовать аналитические зависимости, более удобные для пользователя (например, представленные в [3]). Можно учитывать иной набор показателей, иные значения весовых коэффициентов и т. д.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ермолович А. Технология пайки — критерии выбора // Электронные компоненты и системы. — 1999. — № 3. — С. 24—27.

2. Каушанский Н. И. Сопоставительный анализ вариантов конструкции радиоэлектронных узлов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1992. — Вып. 2. — С. 15—19.

3. Коробов А. И., Плеханов А. Е., Тверской Е. М. Выбор конструктивно-технологического варианта ГИС // Там же. — 1999. — № 2—3. — С. 8—12.

4. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Сов. радио, 1980.

5. Парфенов Е. М., Камышская Э. Н., Усачев В. П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1989.

6. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1971.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Инструментальные средства моделирования дискретных систем. Ю. А. Семишин, О. В. Литвинова (Украина, г. Одесса)
- Обработка результатов пассивного эксперимента. Ю. А. Долгов, С. Г. Федорченко (Молдова, г. Тирасполь)
- Технологические методы повышения надежности термоэлектрических модулей. Н. Н. Прошкин (Украина, г. Одесса)
- Тепловые процессы в микролазерных устройствах информационных систем. В. И. Осинский, В. Г. Вербицкий, Ю. Е. Николаенко, С. К. Жук, С. В. Бобженко, П. А. Мерзвинский (Украина, г. Киев)
- Повышение прочности конструкционных материалов в электронной аппаратуре. А. Р. Гохман, Ю. Н. Иванов, М. А. Дроздов, В. В. Дроздова (Украина, г. Одесса)



- Влияние на диэлектрическую проницаемость температурных превращений в стекле композиционной стеклокерамики. М. В. Дмитриев (Украина, г. Одесса)
- Электрический импеданс акустически нагруженного электроакустического преобразователя акустооптической ячейки. В. В. Данилов, С. В. Иванов (Украина, г. Донецк)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции