

УДК 621.311

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ПО СТРУКТУРЕ  
НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

**Д.И. Воронин, Д.Ю. Дьяченко, А.П. Ковалев**  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

*В данной работе предложен метод расчетов надежности структурно-сложных схем, невосстанавливаемых систем, который основан на использовании теоремы о сумме вероятностей несовместных событий и отличается от известных тем, что не использует в расчетах функции алгебры логики, это значительно упрощает расчеты и моделирование на ПК.*

**Основные понятия, допущения и определения**

К невосстанавливаемым в процессе эксплуатации системам будем относить такие системы, восстановление которых по каким-либо причинам невозможно непосредственно в рассматриваемый период времени [1].

Пусть система состоит из конечного числа элементов. Предположим, что отказы элементов системы статистически независимы. Потoki отказов элементов системы стационарны, ординарны и не имеют последствия. Учитываются повреждения элементов типа «обрыв цепи». При выходе из строя любого из элементов системы, восстановление или замена его не возможна в рассматриваемый интервал времени. Считаем, что автоматические средства релейной защиты в коммутационных аппаратах абсолютно надежны.

Пусть каждый элемент схемы замещения характеризуется вероятностью безотказной работы  $P_i, i = \overline{1, n}$ . В схеме замещения выделяется вход и выход системы.

Все источники электроснабжения системы объединяются в одну точку, и эта точка считается абсолютно надежной.

В качестве выхода системы используются «узлы нагрузки», от которых электроэнергия передается потребителям (система сборных шин).

Под «простой» по структуре схемой замещения будем понимать такую, элементы которой могут соединяться: последовательно, параллельно, последовательно-параллельно, параллельно-последовательно.

Для приведения «простых» по структуре схем к одному эквивалентному по надежности элементу используются следующие формулы [2].

Вероятность безотказной работы  $R_n$  схемы замещения, которая состоит из « $n$ » логически последовательного соединения элементов находится с помощью формулы:

$$R_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

где  $P_i$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента схемы замещения ( $i = \overline{1, n}$ ).

Вероятность безотказной работы  $R_m$  схемы, которая состоит из « $m$ » логически параллельного соединения элементов запишем в виде:

$$R_m = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j), \quad (2)$$

где  $P_j$  - вероятность безотказной работы  $j$ -того элемента схемы замещения ( $j = \overline{1, m}$ ).

Под «сложной» по структуре схемой замещения системы электроснабжения будем понимать такую схему, в состав которой входит хотя бы одна «мостиковая» структура [3].

#### **Способ преобразования сложной по структуре схемы замещения по базовому элементу**

Способ преобразования сложной по структуре схемы замещения, основан на использовании теории о сумме вероятностей несовместных событий [4].

Примечательно к задачам оценки надежности систем электроснабжения эта теорема может быть использована следующим образом.

Предположим, что элемент сложной структуры может находиться в двух несовместных состояниях: работоспособное и не работоспособное (отказ типа «обрыв цепи»).

В сложной по структуре схеме замещения выбираем базовый элемент.

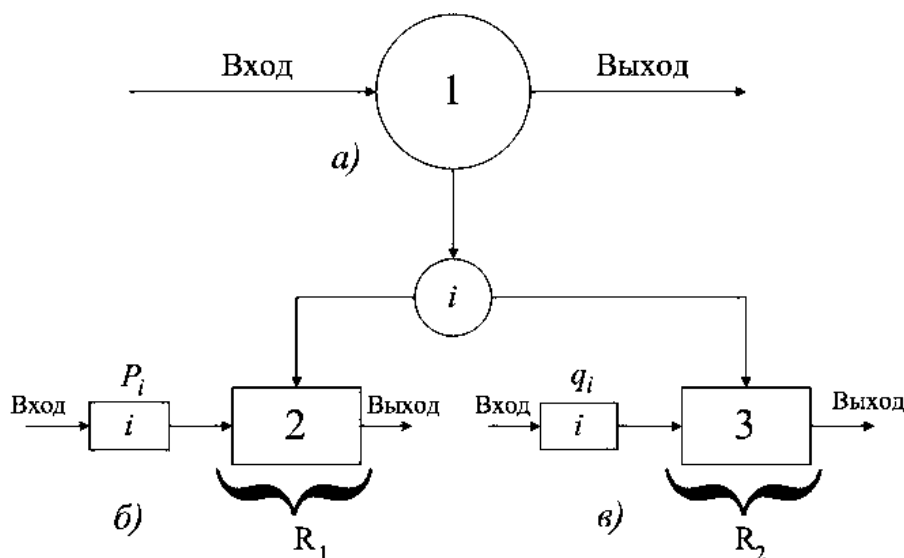
Чаще всего в качестве базового элемента следует выбрать такой элемент, который соединяет между собой два «узла» схемы замещения.

Под «узлом» будем понимать точку в схеме замещения, которая соединяет между собой три и более линии.

В том случае, если базовый элемент выбран, например, это элемент в схеме замещения стоит под номером « $i$ », тогда выдвигаем гипотезу и делаем два допущения:

- базовый элемент « $i$ » абсолютно надежен и способен пропускать через себя нагрузку потребителям электрической энергии;
- базовый элемент « $i$ » абсолютно не надежен и не пропускает через себя нагрузку потребителям электрической энергии.

Для этих случаев, представляющих собой два несовместных события, исходная сложная схема замещения (рисунок 1а) преобразуется в две новые (рисунок 1б) и (рисунок 1в).



*Рис. 1 – Способ преобразования сложной по структуре схемы замещения по базовому элементу « $i$ ».*

*1 – схема замещения исходной «сложной» структуры;  
2,3 – схемы замещения полученных «простых» структур*

В схеме (рисунок 1б) вместо базового элемента « $i$ » ставится абсолютно надежная линия с неограниченной пропускной способностью.

Последовательно с полученной схемой подсоединяется базовый элемент « $i$ ». Вероятность безотказной работы базового элемента равна  $P_i$ .

В схеме замещения (рисунок 1в) в том месте, где находился элемент « $i$ » разрывается цепь. Последовательно с полученной схемой подсоединяется базовый элемент « $i$ », вероятность отказов которого равна  $q_i = 1 - P_i$ .

Полученные после преобразования сложной по структуре схемы (рисунок 1а) по базовому элементу «*i*» две новые схемы (рисунок 1б) и (рисунок 1в), анализируются. Если окажется, что обе полученные схемы будут «простыми», тогда используются формулы (1) и (2) вычисляются их вероятности безотказной работы  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. Вероятности безотказной работы  $R_1$  и  $R_2$  умножаются первая на  $P_i$ , а вторая на  $q_i$ .

Используя теорему о сумме вероятностей несовместных событий, вероятность безотказной работы  $R$  сложной схемы замещения (рисунок 1а) находим следующим образом:

$$R = P_i R_1 + q_i R_2 \quad (3)$$

В том случае, если, например, после преобразования сложной схемы замещения (рисунок 2а) по базовому элементу «*i*» в результате получилось, что одна из схем преобразования (рисунок 2б) будет «простой», а (рисунок 2в) «сложной», тогда в схеме (рисунок 2в) выбираем базовый элемент «*j*» и она раскладывается на две новые (рисунок 2г) и (рисунок 2д).

В схеме (рисунок 2г) вместо базового элемента «*j*» ставится абсолютно надежная линия с неограниченной пропускной способностью. Последовательно с базовым элементом «*i*» подсоединяется базовый элемент «*j*», вероятность безотказной работы, которого равна  $P_j$ .

В схеме замещения (рисунок 2д) в том месте, где находился элемент «*j*» разрывается цепь.

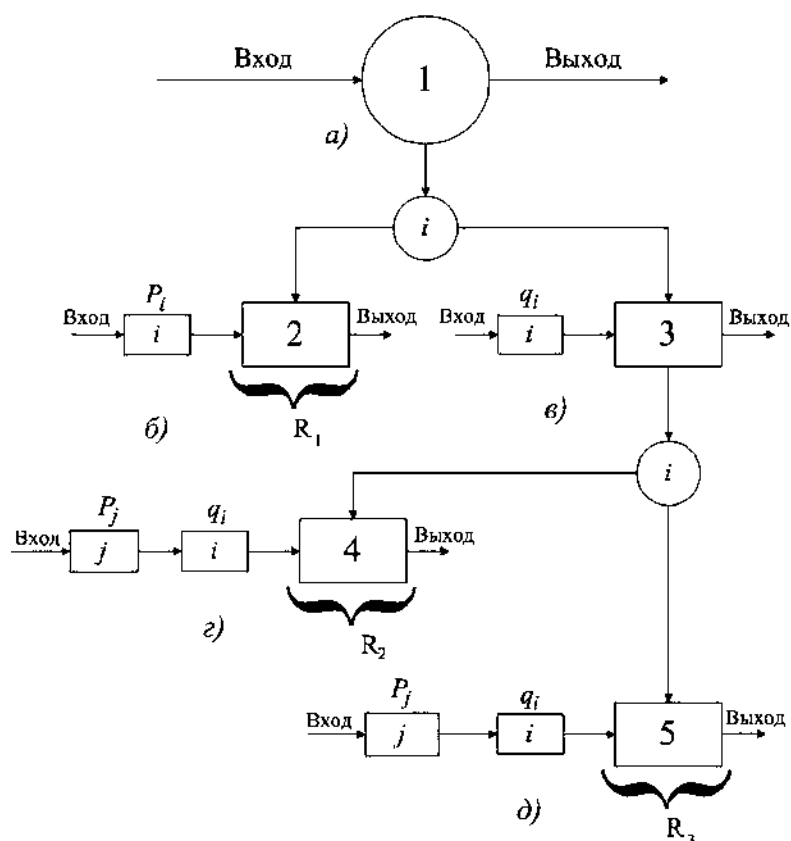
Последовательно с базовым элементом «*i*» подсоединяется базовый элемент «*j*» с характеристикой надежности  $q_j = 1 - P_j$ .

После преобразования схемы замещения (рисунок 2в) по базовому элементу «*j*», получим две новые: (рисунок 2г) и (рисунок 2д), после этого они анализируются. В том случае, если обе полученные схемы «простые», тогда используя формулы (1) и (2) находим их вероятности безотказной работы  $R_2$  и  $R_3$  соответственно.

Полученные вероятности безотказной работы умножаются на соответствующие вероятности базовых элементов «*i*» и «*j*» т. е.  $P_j q_i R_2$ ,  $q_j q_i R_3$ .

Используя теорему о сумме вероятностей несовместных событий, вероятность безотказной работы схемы (рисунок 2в) определяется с помощью формулы:

$$R = P_i R_1 + P_j q_i R_2 + q_j q_i R_3 \quad (4)$$



*Рис. 2 – Способ преобразования «сложной» по структуре схемы замещения по базовому элементу «i» и «j».*

*1 – Исходная схема замещения сложной структуры;*

*2,4,5 – Схемы замещения полученных «простых» структур;*

*3 – Схема замещения «сложной» структуры.*

В том случае, если после преобразования схемы (рисунок 2в) по базовому элементу «j» получилось, что схема (рисунок 2д) оказалась «сложной», тогда процедура преобразования по вновь выбранному базовому элементу будет продолжаться до тех пор, пока все схемы после их преобразования не будут «простыми».

Вероятность безотказной работы исходной схемы в этом случае будет определяться суммой вероятностей безотказной работы полученных «простых» схем, с учетом соответствующих каждой схеме последовательно соединенных базовых элементов.

### **Выводы**

Предлагаемый метод оценки надежности структурных сложных систем, без учета восстановления элементов, отличается от известного [5] тем, что вместо использования уравнений и понятий алгебры логики применяются привычные в ин-

женерной практике схемы замещения реальной системы, это в значительной мере упрощает расчеты и моделирование на ПК.

### **Перечень ссылок**

1. Козлов Б.А., Ушаков И.С. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Сов. радио. 1975. – 472с.
2. Б. Диллон., Ч. Сингх. Инженерные методы обеспечения надежности систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984 – 318с.
3. Ковалев А.П., Сердюк Л.И. Метод расчета надежности сложных систем электроснабжения с учетом восстановления элементов. – Электричество, 1985, №10. с. 52-53
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. 1964 – 576с.
5. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем 2е-изд. – Л.: Судостроение, 1971. – 456с.