

О расчете надежности невосстанавливаемых структурно-сложных систем, элементы которых могут находиться в трех несовместных состояниях

Ковалев А. П., доктор техн. наук, Москвина И. И., канд. техн. наук,
Павлович А. А., магистр

ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”

Используя понятия “сечение”, “минимальное сечение”, предложен способ оценки надежности сложных по структуре схем замещения систем, элементы которых могут находиться в трех несовместных состояниях: работоспособное, отказавшее, отказ “обрыв цепи” или отказ “в срабатывании”. Приведен пример расчета. Показано, что точность расчетов при $t \leq 1$ года не отличается от точности расчета известными способами.

Ключевые слова: “сечение”, “минимальное сечение”, система, сложная схема, вероятность, узел нагрузки, отказ “обрыв цепи”, отказ “в срабатывании”.

К невосстанавливаемой структурно-сложной системе, элементы которой могут находиться в трех несовместных состояниях, будем относить такую восстанавливаемую систему, элементы которой в случае возникновения отказов не могут быть введены в эксплуатацию за рассматриваемый интервал времени. Под системой в данном случае будем понимать совокупность взаимосвязанных конструктивно независимых изделий, которые обладают свойством перестраивать свою структуру в результате случайного повреждения некоторых её элементов без нарушения (либо частичного нарушения) выполнения поставленной перед ней задачи. Под структурно-сложной схемой замещения системы будем понимать такую, в состав которой входит хотя бы одна группа элементов, соединенных в виде логической звезды или треугольника. Под простой по структуре схемой замещения системы будем понимать такую, элементы которой могут соединяться: последовательно, параллельно, последовательно-параллельно либо параллельно-последовательно.

Аналогом элемента с тремя несовместными состояниями в системах электроснабжения потребителей электроэнергии может быть представлен защитный коммутационный аппарат, который с течением времени может находиться в трех несовместных состояниях: работоспособном, отказ “обрыв цепи” или отказ “в срабатывании”.

Если в зоне действия релейной защиты (РЗ) i -го коммутационного аппарата произошло повреждение (КЗ или ОЗ) и оно было отключено соответствующим устройством, то такие повреждения следует относить к отказам “обрыв цепи”. Ложное, излишнее

срабатывание РЗ, а также ошибки обслуживающего и эксплуатирующего персонала, при которых отключаются i -е защитные коммутационные аппараты, также следует относить к отказам “обрыв цепи”. К отказам “в срабатывании” i -го защитного коммутационного аппарата нужно относить такие повреждения в защищаемой сети, при которых через него проходит аварийный ток КЗ, а его РЗ не работает (находится в отказавшем состоянии).

Секционный i -й коммутационный аппарат снабжен АВР и в нормальном состоянии отключен. К отказу “обрыв цепи” i -го секционного коммутационного аппарата следует относить следующее событие: при аварийном автоматическом отключении вводного защитного коммутационного аппарата с помощью реле минимального напряжения секционный коммутационный аппарат не включился. Аварийное включение i -го секционного коммутационного аппарата с помощью АВР на КЗ, в результате чего через него прошел сквозной аварийный ток, а его токовая защита не работает, следует относить к отказу “в срабатывании”.

Для приведения структурно-сложной схемы замещения системы к простой, элементы которой могут находиться в трех несовместных состояниях, предложены приближенные формулы переходов от логического треугольника к эквивалентной по надежности звезде и от логической звезды к эквивалентному по надежности треугольнику [1]. Предложенные формулы справедливы при выполнении следующих условий:

$$\begin{aligned} q_{ok} q_{oi} < q_{oj}; \quad q_{oi} q_{oj} < q_{ok}; \quad q_{ok} q_{oj} < q_{oi}; \\ q_{sx} q_{sy} < q_{sz}; \quad q_{sy} q_{sz} < q_{sx}; \quad q_{sx} q_{sz} < q_{sy}, \end{aligned} \quad (1)$$

где индексы o и s указывают на то, что учитываются повреждения элементов схемы замещения; под индексами i, j, k подразумевают отказ “обрыв цепи”, а под индексами x, y, z — отказ “в срабатывании”.

Если условия (1) для структурно-сложной схемы замещения системы не выполняются, то для приведения ее к простой воспользуемся понятиями “сечение” и “минимальное сечение” [2].

Структурно-сложную схему замещения системы при учете двух несовместных типов отказов ее элементов можно заменить на две эквивалентные по надежности простые, используя понятия “сечение” и “минимальное сечение”.

Под отказом структурно-сложной по определению схемы замещения системы при учете отказов ее элементов “обрыв цепи” будем понимать появление такого случайного события, в результате которого происходит повреждение некоторых ее элементов и прерывается связь между ее узлами “вход” и “выход” (между источниками энергоснабжения и его потребителями).

Под “сечением” S схемы замещения структурно-сложной системы будем понимать совокупность элементов, выход из строя которых (отказ типа “обрыв цепи”) приводит к разрыву связи между узлами “вход” и “выход”.

Под “минимальным сечением” S_{min} схемы замещения структурно-сложной системы будем понимать “сечение”, у которого предполагается, что хотя бы один элемент оказался абсолютно надежным, в результате чего отказы типа “обрыв цепи” оставшихся в этом “сечении” элементов не будут более составлять “сечение”, так как при этом не происходит разрыв связи между узлами “вход” и “выход”.

Используя исходную схему замещения структурно-сложной системы, понятие “минимальное сечение” S_{min} , учитывая, что элементы системы подвергаются отказам “обрыв цепи” и заданы вероятности отказов каждого из i ее элементов q_{oi} ($i=1, n$), строится схема “минимальных сечений”.

При построении схемы замещения “минимальных сечений” S_{min} и учете отказов элементов “обрыв цепи” выделяют отдельно одно-, двух-, трехэлементные и более “минимальные сечения”. После получения отдельных групп “минимальных сечений” их соединяют последовательно между собой, начиная от “минимального сечения”, которое

состоит из одного или двух параллельно соединенных элементов, и заканчивая “минимальным сечением”, которое состоит из максимально возможного числа параллельно соединенных элементов.

Используя полученную простую по определению схему замещения “минимальных сечений” и формулы, приведенные в [1], определяем нижнюю оценку ее вероятности отказов $Q_{он}$.

Под отказом структурно-сложной схемы замещения системы при учете отказов “в срабатывании” элементов будем понимать появление такого случайного события, в результате которого между узлами “вход” и “выход” схемы замещения протекает сквозной аварийный ток.

Под “сечением” \tilde{S} структурно-сложной схемы замещения системы будем понимать совокупность элементов, выход из строя которых (учитываются отказы “в срабатывании” элементов схемы замещения) приводит к тому, что между узлами “вход” и “выход” схемы замещения протекает сквозной аварийный ток.

Под “минимальным сечением” \tilde{S}_{min} структурно-сложной схемы замещения системы будем понимать “сечение”, у которого хотя бы один элемент оказался абсолютно надежным, в результате чего отказы “в срабатывании” оставшихся в этом “сечении” элементов уже не будут более составлять “сечение”, так как при этом не происходит протекание сквозного аварийного тока между узлами “вход” и “выход”.

Используя исходную схему замещения структурно-сложной системы, понятие \tilde{S}_{min} и учитывая, что в элементах системы наблюдаются отказы “в срабатывании” и известны вероятности отказов каждого из i ее элементов q_{si} , строим схему “минимальных сечений” следующим образом.

Каждое “минимальное сечение” представляет собой минимальный набор логически последовательного соединения элементов, отказ которых (учитываются отказы “в срабатывании” элементов) приводит к тому, что происходит протекание сквозного аварийного тока между узлами “вход” и “выход” схемы замещения системы.

Все полученные “минимальные сечения” соединяются между собой в параллельную группу, в результате чего имеем простую по определению схему замещения “минималь-

ных сечений” системы при учете отказов “в срабатывании” ее элементов.

Используя простую по определению схему замещения “минимальных сечений” при учете отказов “в срабатывании” ее элементов и формулы, приведенные в [1], находим нижнюю оценку ее вероятности отказов $Q_{сн}$.

Исходными данными для построения схемы “минимальных сечений” (учитывая отказы элементов схемы замещения типа “обрыв цепи”) являются: схема замещения системы с указанием всех ее узлов; номера элементов, которые соединяют узлы между собой; узлы “вход” и “выход”; вероятности отказов элементов q_{oi} ($i = \overline{1, n}$).

Для построения схемы замещения “минимальных сечений” следует заполнить табл. 1 следующим образом:

в колонку 1 первой строки (№ 1) ставим символ A_0 — узел, который обозначает “вход” в схеме замещения;

в колонку 2 первой строки записываем номера элементов схемы замещения, непосредственно связанных с узлом A_0 ;

в колонку 3 записываем эти же номера элементов схемы замещения, которые и являются “сечением”, их же заносим в колонку 4, так как это “сечение” будет “минимальным” (по определению); в колонку 1 второй строки (№ 2) ставим “узлы” A_0 и A_j , которые соединяются между собой с помощью элемента j ($j = \overline{1, n}$), где n — число элементов в схеме замещения, непосредственно связанных с “узлом” A_0 ;

в колонку 2 ставим столбец, который состоит из двух строк: в верхнюю строку записываем номера элементов схемы замещения, которые соединяются с узлом A_0 , а во вторую строку — номера элементов, которые непосредственно соединяют узел A_j с другими узлами;

одинаковые номера элементов схемы замещения, которые входят в первую и вторую строки, вычеркиваем и получаем “сечение”. Полученное таким образом “сечение” заносим в колонку 3, затем его анализируем. Если полученное “сечение” является “минимальным” (по определению), заносим его в колонку 4, если нет, то четвертая колонка остается незаполненной (т. е. такого “минимального сечения” не существует);

после установления всех связей между узлами A_0 и A_j и построения “минимальных сечений” к этой группе прибавляем “узел” A_i ($i = \overline{1, n}$), который через элемент j схемы заме-

Таблица 1

Алгоритм получения “минимальных сечений” при учете отказов элементов схемы замещения типа “обрыв цепи”

№	Узел схемы за- мещения	Элементы связи между узлами	“Сече- ние”	“Мини- мальное сечение”
	1	2	3	4
1				
2				
3				
⋮				
n				

щения связан с узлом A_j или связан элементом с узлом A_0 (имеет место при числе элементов $n \geq 3$, непосредственно связанных с A_0), и процедуру получения “минимального сечения” повторяем, т. е. в колонку 1 заносим узлы A_0 , A_j , A_i ;

в колонку 2 заносим столбец, который состоит из трех строк: в первую строку записываем номера элементов схемы замещения, которые соединяются с узлом A_0 , во вторую — номера элементов, которые соединяются с узлом A_j , а в третью — номера элементов, которые соединяются с узлом A_i ;

четное число одинаковых номеров элементов, которые входят в разные строки, вычеркиваем, полученное “сечение” записываем в колонку 3 и после его анализа, если оно является “минимальным” (по определению), записываем в колонку 4;

описанную выше процедуру получения “минимальных сечений” будем повторять до тех пор, пока в первую колонку табл. 1 не будут внесены все узлы схемы замещения без последнего, который обозначает ее “выход”, а затем составляем столбцы из строк, каждая из которых состоит из номеров элементов, соединяющихся с данным узлом;

вычеркиваем четное число номеров элементов схемы замещения, которые входят в разные строки, а затем получаем последнее “минимальное сечение”;

номера элементов каждой строки колонки 4 в табл. 1 соответствуют определенному “минимальному сечению”, которое представляется в виде их параллельного соединения

Таблица 2

**Алгоритм получения “минимальных сечений”
при учете отказов “в срабатывании”
элементов схемы замещения**

№	Минимальное число узлов между “входом” и “выходом”	Элементы связи между узлами, i	“Сечение”	“Минимальное сечение”
	1	2	3	4
1				
2				
3				
⋮				
n				

(отказ элементов данного “минимального сечения” приводит к тому, что связь между узлами “вход” и “выход” будет нарушена);

последовательное соединение “минимальных сечений” позволяет получить расчетную схему для определения нижней оценки вероятности отказов системы при учете отказов ее элементов типа “обрыв цепи”.

Для получения схемы замещения “минимальных сечений” при учете отказов “в срабатывании” ее элементов следует заполнить табл. 2, используя следующие правила:

в первую колонку первой строки (№ 1) заносим минимальное число узлов схемы замещения, начиная с A_0 (узел “входа”) и заканчивая узлом “выхода” A_n ($i=1, n$), через которые может пройти сквозной аварийный ток;

во вторую колонку первой строки записываем номера элементов схемы замещения, которые соединяют между собой отдельные узлы, занесенные в первую колонку первой строки;

в третью колонку первой строки записываем номера элементов второй колонки первой строки, повреждения которых (отказ “в срабатывании”) приводят к тому, что через узлы A_0 и A_n пройдет сквозной аварийный ток, т. е. получится “сечение”;

анализируем полученное “сечение”. Если оно получилось “минимальным” (по определению), номера его элементов записываем в колонку 4 первой строки, а если нет, четвертая колонка остается незаполненной, т. е.

такого “минимального сечения” не существует;

после получения первого “минимального сечения” процедура повторяется до тех пор, пока не будут перечислены все существующие в приведенной схеме замещения “минимальные сечения”;

каждое получаемое “минимальное сечение” (четвертая колонка) представляется в виде последовательно соединенных элементов;

параллельное соединение всех полученных “минимальных сечений” позволяет получить расчетную схему для определения нижней оценки вероятности отказов системы при учете отказов “в срабатывании” ее элементов.

С помощью полученных алгоритмов построения схем “минимальных сечений” с учетом двух несовместных типов отказов элементов схемы замещения (отказ “обрыв цепи” и отказ “в срабатывании”) составляем схему “минимальных сечений”. Используя приведенные в [1] формулы вероятности q_{oi} , q_{si} ($i=1, n$) элементов схемы замещения, можно определить нижнюю оценку $Q_{он}$ вероятности того, что не произойдет разрыв связи между узлами “вход” и “выход”, и $Q_{сн}$ вероятности того, что между узлами “вход” и “выход” схемы замещения пройдет сквозной аварийный ток.

Под вероятностью безотказной работы невосстанавливаемой системы, элементы которой могут находиться в трех несовместных состояниях, будем понимать меру ее надежности, которая характеризуется вероятностью того, что в течение заданного интервала времени не произойдут такие случайные события, в результате которых рвется связь или проходит сквозной аварийный ток между узлами “вход” и “выход” схемы замещения, при условии, что в начальный момент времени все ее элементы находились в работоспособном состоянии.

Для нахождения нижней оценки R_n вероятности безотказной работы невосстанавливаемой системы справедливо выражение

$$R_n = 1 - Q_{он} - Q_{сн}. \quad (2)$$

Описанная методика построения схем замещения “минимальных сечений” позволяет оценивать надежность структурно-сложных систем, элементы которых могут находиться в трех несовместных состояниях.

Пример. Схема замещения сложной системы для оценки ее надежности приведена на

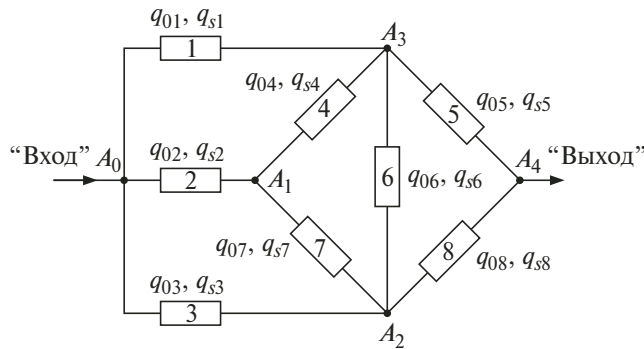


Рис. 1. Схема замещения системы

рис. 1. Для ее элементов заданы следующие интенсивности отказов:

$$\begin{aligned} \lambda_{o1} &= 0,58 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s1} &= 0,34 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o2} &= 0,42 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s2} &= 0,25 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o3} &= 0,75 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s3} &= 0,25 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o4} &= 0,5 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s4} &= 0,34 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o5} &= 0,75 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s5} &= 0,25 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o6} &= 0,34 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s6} &= 0,25 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o7} &= 0,67 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s7} &= 0,5 \text{ год}^{-1}; \\ \lambda_{o8} &= 0,5 \text{ год}^{-1}; & \lambda_{s8} &= 0,42 \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Необходимо определить нижнюю оценку R_H того, что в течение времени $t = 0,1$ года не произойдет разрыв связи или не пройдет сквозной аварийный ток между узлами “вход” и “выход” схемы замещения.

Используя формулы, приведенные в [1], и исходные данные примера, для $t = 0,1$ года находим q_{oi} , q_{si} ($i = 1, 8$):

$$\begin{aligned} q_{o1} &= 0,0554; & q_{s1} &= 0,0325; & q_{o2} &= 0,0406; \\ q_{s2} &= 0,0242; & q_{o3} &= 0,0714; & q_{s3} &= 0,0238; \\ q_{o4} &= 0,0479; & q_{s4} &= 0,0326; & q_{o5} &= 0,0714; \\ q_{s5} &= 0,0238; & q_{o6} &= 0,033; & q_{s6} &= 0,0243; \\ q_{o7} &= 0,0632; & q_{s7} &= 0,0472; & q_{o8} &= 0,0478; \\ & & q_{s8} &= 0,0401. \end{aligned}$$

Для получения схемы “минимальных сечений” (учитываются отказы элементов типа

Таблица 3

Алгоритм получения “минимальных сечений” при учёте отказов схемы типа “обрыв цепи”

№	Узел схемы замещения	Элементы связи между узлами	“Сечение”	“Мини- мальное сечение”
	1	2	3	4
1	A_0	1, 2, 3	1.2.3	1.2.3
2	$A_0 + A_1$	1, 2, 3 2, 4, 7	1.3.4.7	1.3.4.7
3	$A_0 + A_2$	1, 2, 3 3, 7, 6, 8	1.2.6.7.8	1.2.6.7.8
4	$A_0 + A_3$	1, 2, 3 1, 4, 5, 6	2.3.4.5.6	2.3.4.5.6
5	$A_0 A_1 + A_3$	1, 3, 4, 7 1, 4, 5, 6	3.5.6.7	3.5.6.7
6	$A_0 A_1 + A_2$	1, 3, 4, 7 3, 6, 7, 8	1.4.6.8	1.4.6.8
7	$A_0 A_2 + A_3$	1, 2, 6, 7, 8 1, 4, 5, 6	2.4.5.7.8	—
8	$A_0 A_1 A_3 + A_2$	3, 5, 6, 7 3, 6, 7, 8	5.8	5.8

“обрыв цепи”) используется схема (на рис. 1) и заполняется (табл. 3) в соответствии с описанным выше алгоритмом.

“Сечение” № 7 (2.4.5.7.8) не является “минимальным”, так как включает в себя уже “минимальное сечение” (5.8), поэтому колонка 4 в этом случае остается пустой.

Используя полученную четвертую колонку табл. 3, строим схему “минимальных сечений” (рис. 2).

Для получения схемы “минимальных сечений” (учитывается отказ “в срабатывании” элемента) следует использовать схему на рис. 1 и заполнить табл. 4 в соответствии с описанным выше алгоритмом.

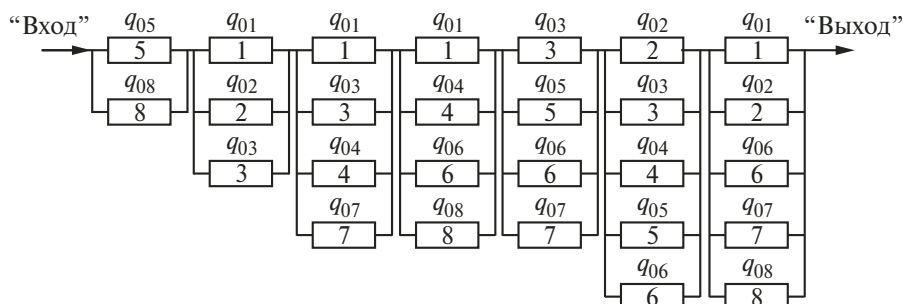


Рис. 2. Схема “минимальных сечений” при учете отказов “обрыв цепи” элементов

Таблица 4

Алгоритм получения “минимальных сечений” при учёте отказов элементов “в срабатывании”

№	Узлы схемы, через которые проходит сквозной аварийный ток	Элементы связи между узлами	“Сечение”	“Минимальное сечение”
	1	2	3	4
1	A_0, A_3, A_4	1, 5	1.5	1.5
2	A_0, A_2, A_4	3, 8	3.8	3.8
3	A_0, A_3, A_2, A_4	1, 6, 8	1.6.8	1.6.8
4	A_0, A_1, A_3, A_4	2, 4, 5	2.4.5	2.4.5
5	A_0, A_1, A_2, A_4	2, 7, 8	2.7.8	2.7.8
6	A_0, A_2, A_3, A_4	3, 6, 5	3.6.5	3.6.5
7	A_0, A_1, A_3, A_2, A_4	2, 4, 6, 8	2.4.6.8	2.4.6.8
8	A_0, A_2, A_1, A_3, A_4	3, 7, 4, 5	3.7.4.5	3.7.4.5
9	A_0, A_3, A_1, A_2, A_4	1, 4, 7, 8	1.4.7.8	1.4.7.8
10	A_0, A_1, A_2, A_3, A_4	2, 7, 6, 5	2.7.6.5	2.7.6.5

Используя данные колонки 4 табл. 4, строим схему “минимальных сечений” (учитываются отказы “в срабатывании” ее элементов — см. рис. 3).

С помощью схем замещения “минимальных сечений” на рис. 2, 3 и формул, приведенных в [1], находим:

$$Q_{он} = 1 - (1 - q_{05}q_{08})(1 - q_{01}q_{02}q_{03}) \times \\ \times (1 - q_{01}q_{03}q_{04}q_{07})(1 - q_{01}q_{04}q_{06}q_{08}) \times \\ \times (1 - q_{03}q_{05}q_{06}q_{07})(1 - q_{02}q_{03}q_{04}q_{05}q_{06}) \times \\ \times (1 - q_{01}q_{02}q_{07}q_{08});$$

$$Q_{сн} = 1 - (1 - q_{s1}q_{s5})(1 - q_{s3}q_{s8})(1 - q_{s1}q_{s6}q_{s8}) \times \\ \times (1 - q_{s2}q_{s4}q_{s5})(1 - q_{s2}q_{s7}q_{s8})(1 - q_{s3}q_{s6}q_{s5}) \times \\ \times (1 - q_{s2}q_{s4}q_{s6}q_{s8})(1 - q_{s3}q_{s7}q_{s4}q_{s5}) \times \\ \times (1 - q_{s1}q_{s4}q_{s7}q_{s8})(1 - q_{s2}q_{s7}q_{s6}q_{s5}).$$

Для $q_{oi}, q_{si} (i=\overline{1,8})$ получаем:

$$Q_{он} = 0,0036; Q_{сн} = 0,0018.$$

Используя формулу (2), находим:

$$R_{н} = 1 - Q_{он} - Q_{сн} = \\ = 1 - 0,0036 - 0,0018 = 0,9946.$$

Аналогичный результат был получен при решении этой же задачи с использованием: метода преобразования “треугольник-звезда” и “звезда-треугольник” [1];

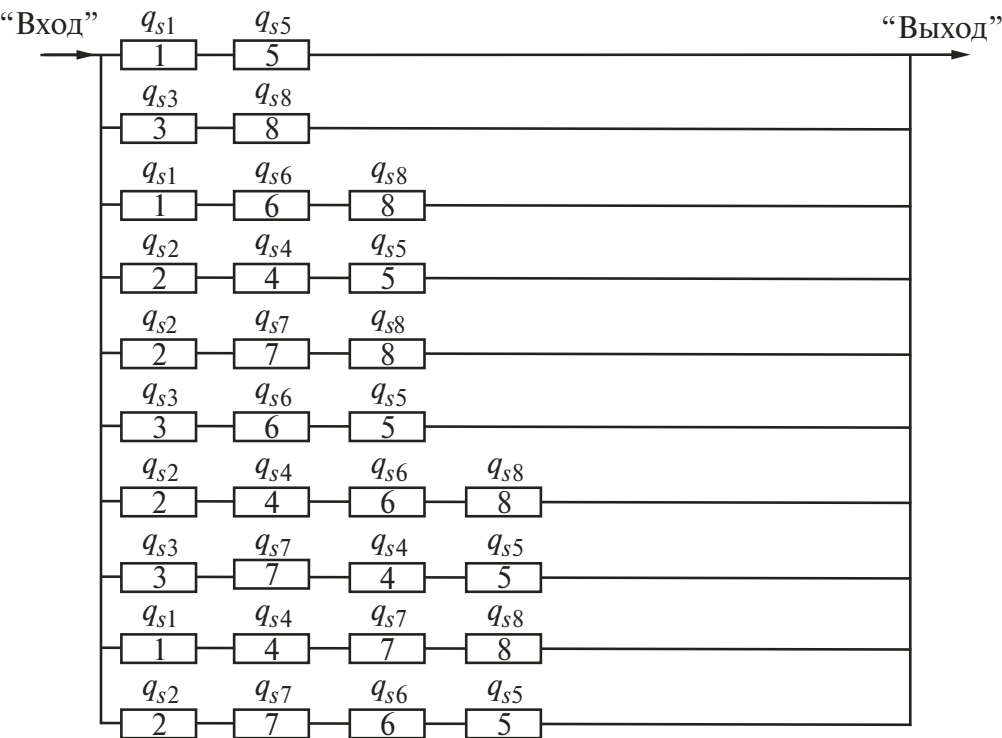


Рис. 3. Схема “минимальных сечений” при учете отказов “в срабатывании” элементов

точного метода, основанного на алгебре кортежей [3];

логику-вероятностного метода [4].

Во всех этих случаях также получено $R = 0,9946$.

Если не учитывать в расчетах надежности невосстанавливаемых систем отказы “в срабатывании” защитных коммутационных аппаратов, т. е. $Q_{сн} = 0$, то для данного конкретного примера вероятность отказов системы занижается в 1,5 раза.

Точность расчетов надежности невосстанавливаемых структурно-сложных схем для $t \leq 0,1$ года, предлагаемым способом с использованием схем “минимальных сечений” не отличается от известных.

Список литературы

1. Ковалев, А. П. Расчет надежности невосстанавливаемых систем, элементы которых могут находиться в трех несовместных состояниях / А. П. Ковалев, И. И. Москвина, Т. Г. Бусыгин // Промышленная энергетика. — 2018. — № 3. — С. 7 – 13.
2. Беляев, Ю. К. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев,

В. В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.

3. Кулик, Б. А. Логико-вероятностные методы и алгебра кортежей / Б. А. Кулик // В сб.: Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. — СПб.: ИПМ РАН. — 1995. — Вып. 5. — Препринт 123. — С. 18 – 43.
4. Ковалев, А. П. Применение логико-вероятностных методов для оценки надежности структурно-сложных систем / А. П. Ковалев, А. В. Спиваковский // Электричество. — 2000. — № 9. — С. 66 – 70.

References

1. Kovalev A. P., Moskvina I. I., Busygin T. G. *Proyshlennaya energetika* (Industrial power engineering), 2018, No. 3, pp. 7 – 13.
2. Belyaev Yu. K., Bogatyrev V. A., Bolotin V. V. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: Spravochnik* (Reliability of technical systems: a Handbook), Moscow, Radio i svyaz', 1985, 608 p.
3. Kulik B. A. *Teoriya i informatsionnaya tekhnologiya modelirovaniya bezopasnosti slozhnykh sistem* (Theory and Information Technology for Modeling the Security of Complex Systems), St. Petersburg, IPM RAN, 1995, Vol. 5, Preprint 123, pp. 18 – 43.
4. Kovalev A. P., Spivakovskii A. V. *Elektrichestvo* (Electricity), 2000, No. 9, pp. 66 – 70.

iriwka-gt@inbox.ru

On calculation of the reliability of unrecoverable structurally complex systems with the elements that can exist in three incompatible states

Kovalev A. P., Moskvina I. I., Pavlovich A. A.

A method for assessing the reliability of the systems with a complex structure of equivalent circuits containing the elements that can exist in three incompatible states: workable, failed, “open-circuit failure” or “failure to operate” is proposed using concepts of “cross section” and “minimum cross section”. An example of the calculation is presented. It is shown that the accuracy of calculations for 1 year does not differ from the accuracy of calculations carried out by the known methods.

Keywords: “cross section”, “minimum cross section”, system, complex scheme, probability, load node, “open-circuit failure”, “failure to operate”.