

После компьютерной обработки радиолокационных изображений (РЛИ) пятна нефти в виде векторных (информационных) слоев были внесены в специально созданную геоинформационную систему (ГИС). В данном случае ГИС использовалась в качестве системы, позволяющей сводить воедино и анализировать разнородные данные, полученные из разных источников. Она была создана на основе карт масштаба 1:500 000, уточненных по данным съемок с американского искусственного спутника Земли

Landsat. В результате ГИС на южно-западной части Каспийского моря имела следующие векторные слои: а) береговая линия, б) прибрежная гидрография (реки и озера), в) населенные пункты, г) государственные границы, д) батиметрия; е) грязевые вулканы [5]; ж) локальные структуры осадочного чехла (рисунок 6) [6], з) эпицентры землетрясений (рисунок 6), и) обобщенная схема течений Каспийского моря [6].

Количество пятен, площадь и объемы загрязнения

Таблица 1

№	Дата съемки	Время, UTC	Ветер, скорость и направление м/с	Кол-во пятен	Средняя площадь пятна, км ²	Общая площадь, км ²	Максимальный объем выброса, тонн/день/год
1	05.07.2003	06:56	3-6 Ю/ЮВ	30	3,4	101,6	35,56/12979
2	09.08.2003	06:56	4-6 Ю/ЮВ	78	1,5	113,9	39,80/14525
3	18.10.2003	06:56	2-4 Ю/ЮЗ	52	1,3	66,7	23,35/8520
4	22.03.2004	06:53	2-3 СЗ/ЮВ	64	0,5	31,4	10,99/4011
5	31.05.2004	06:53	2-3 СЗ/ЮВ	98	1,3	127,2	44,52/16250
6	02.10.2004	06:56	2-3 СЗ	32	0,6	19,3	6,75/2465

Карта приуроченности пятен нефти к локальным нефтегазоносным структурам показана на рисунке 6, а на рисунке 7 – сейсмический профиль через ряд из них. Сопоставление сводной карты (рисунок 5) с картой локальных структур осадочного чехла Южно-Каспийской впадины (рисунок 6) позволило установить, что пятна нефти концентрируются на поверхности моря примерно в одних и тех же местах и распределены на поверхности моря неравномерно.

Преобладающее число пятен сосредоточено над глубоководной частью Южного Каспия (глубины моря от 500 до 700 м) в 30-40 км к востоку от свала глубин. Полоса распространения пятен нефти имеет ширину от 50-60 км и простирается в меридиональном направлении на 140 км, сужаясь на севере и юге до 20 км. Плотность пятен существенно уменьшается как в северном, так и в восточном направлениях. Ряд пятен приурочен к мелководной части

моря с глубинами не более 100 м. Площадь отдельного пятна составляет в среднем 1,5 км². В тех местах, где концентрируются пятна нефти, на дне расположены характерные положительные формы подводного рельефа (рисунок 5).

Заключение

В данной работе в соответствии с поставленными задачами были выявлены закономерности связи между грязевыми вулканами и нефтяными месторождениями в неосвоенной части Южно-Каспийской впадины. Определены формы связи гидрологии и гидрохимии вод Каспийского моря с флюидами земной карты, в частности, с потоками подземных вод, нефти и газов, представляемых грязевыми вулканами. Также проанализированы результаты оперативного мониторинга загрязнения вод Каспийского моря за счет природных и антропогенных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кантемиров Ю.И. Обзор современных радиолокационных данных ДЗЗ и методик их обработки с использованием ПК SARscape // Журнал «Геоматика» 2010, №3, с. 42-46.
2. Никольский Д.В. Сравнительный обзор современных радиолокационных систем // Журнал «Геоматика» 2008, №1, с. 11-17.
3. Никольский Д.В. Использование данных ДЗЗ // Журнал «Геоматика» 2008, №1, с. 47-50.
4. Шовенгерт Р.А. Основы дистанционного зондирования Земли // Книга «Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений» 2007, с. 17-19.
5. Диарова М.Д. доклад члена-корреспондента РАН РК, доктора геолого-минералогических наук "Влияние деятельности нефтегазового комплекса на природную среду Северного Каспия" <http://www.caspio.ru/news/zips/Diarov.zip>
6. Беркелиева Т. новая аналитическая статья "Главные экологические проблемы Каспийского моря". http://www.caspio.ru/news/zips/Timur05_02.zip.

УДК 615.035.4

Жаднов В.В.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ С РОТАЦИЕЙ СИЛОВЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ЕГО НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Рассмотрены вопросы формирования наработки до отказа многоканального преобразователя напряжения с магистрально-модульной архитектурой и смешанным резервированием при статистическом моделировании. Предложена формальная модель преобразователя с ротацией силовых каналов, которая позволяет получить реализацию наработки преобразователя с учетом отказов при переключениях каналов и изменений их характеристик надежности при ротациях и отказах. Разработанная модель создана в рамках допущений и ограничений, принятых в действующих нормативных документах. Показана возможность сокращения вычислительных затрат при применении этой модели при статистическом моделировании.

Ключевые слова:

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, СИЛОВОЙ КАНАЛ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕЗЕРВИРОВАНИЕ, РОТАЦИЯ, НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Введение

При проектировании изделий силовой электроники одной из задач является обеспечение требуемого уровня их надежности. Наряду с различными способами построения изделий силовой электроники, одним из наиболее часто применяемых в практике проектирования методов обеспечения требуемого уровня их безотказности, является резервирование. Так, в [1] показано, что для достижения высоких значений показателей безотказности многоканальные преобразователи напряжения должны быть выполнены на основе магистрально-модульной архитектуры со смешанным резервированием их силовых каналов.

На ранних этапах проектирования многоканальных преобразователей напряжения для оценки их показателей безотказности используются расчетные методы. Очевидно, что чем точнее будет расчетная оценка этих показателей, тем больше вероятность того, что созданный образец будет удовлетворять требованиям. Однако на практике часто ограничиваются получением «нижних» оценок показателей безотказности, что связано с ограничениями, присущими аналитическим методам.

В то же время, универсальным методом расчета показателей надежности электронных средств является метод статистического моделирования [2]. Этот метод применяют, в основном, для расчета

показателей типа «наработка» (метод численного интегрирования). Для практической реализации этого метода созданы программные средства для имитационного моделирования, имеющие универсальные языки описания формальной модели, что позволяет существенно упростить создание программной модели, т.к. она генерируется автоматически [3-5]. Однако эти языки имеют ряд ограничений, например, в части возможности описания алгоритма реконфигурации структурной схемы надежности (ССН) изделия при отказах составных частей, причем это относится не только к универсальным, но и специализированным языкам [6].

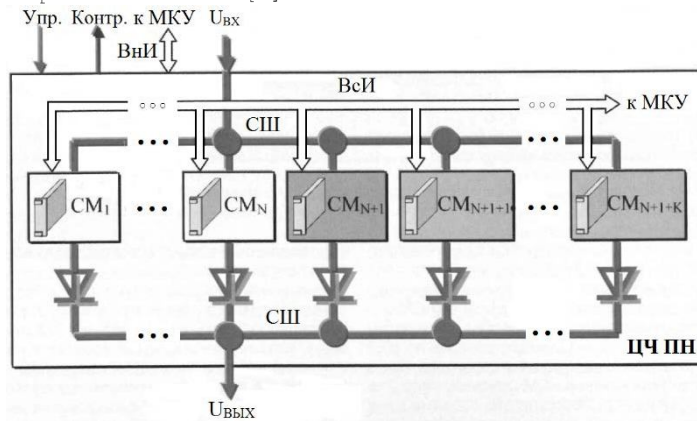


Рисунок 1 - Централизованная часть преобразователя напряжения со смешанным резервированием

Как видно из рис. 1 преобразователь содержит резервирование N основных силовых модулей ($СМ_1-СМ_N$) одним резервным ($СМ_{N+1}$), находящимся во включенном состоянии, и K резервными модулями ($СМ_{N+1+1}-СМ_{N+1+K}$), находящимися в отключенном состоянии. Структурная схема надежности для такого способа резервирования силовых модулей (каналов) приведена на рис. 2.

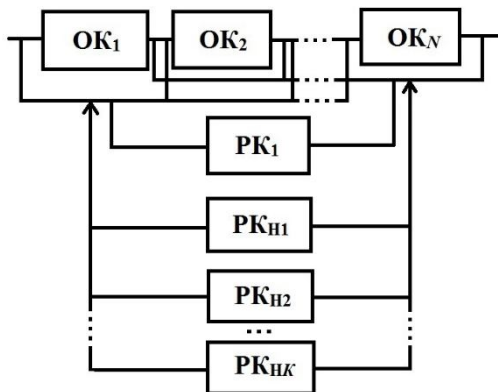


Рисунок 2 - Структурная схема надежности силовых каналов магистрально-модульного многоканального преобразователя напряжения

Особенность рассматриваемого способа резервирования состоит в том, что в стандартной группе «скользящего ненагруженного резервирования» подключение резервных каналов (РК), находящихся в отключенном состоянии, происходит только в случае отказа одного из основных каналов (ОК), а в данной случае и при отказе резервного канала ($РК_1$), находящегося во включенном состоянии.

При использовании выше описанного способа резервирования преобразователя для повышения его эффективности в [1, 7] предложено применять «метод ротации силовых каналов», суть которого состоит в многократном отключении работоспособного канала, работающего на нагрузку и подключении вместо него резервного работоспособного канала, находящегося в отключенном состоянии [8].

Следует отметить, что такой способ повышения надежности изделий (ротация составных частей) широко применяется на практике, например, при эксплуатации автошин. Кроме того, его эффективность была показана в [9] применительно к задаче

Поэтому при имитационном моделировании наработок изделий со специфическими способами резервирования, к которым относятся преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов, программную модель приходится создавать «вручную» на основе формальной модели.

Основная часть

На рис. 1 показана магистрально-модульная архитектура централизованной части многоканального преобразователя напряжения со смешанным резервированием силовых каналов, приведенная в [1].

расчета начальных уровней запасов в комплектах ЭИП, а [10] - применительно к задаче повышения радиационной стойкости средств автоматики в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Однако методики расчета, приведенные в [9, 10], непригодны для расчета надежности преобразователей с ротацией силовых каналов, поскольку в [9] принято, что запас пополняется (восстанавливается) из НИП, а в [10] - что в режиме ожидания стойкость ИС восстанавливается до начального уровня путем отжига, в то время, как отказавшие каналы преобразователя не восстанавливаются.

Что касается вопросов оценки надежности изделий силовой электроники, то они рассматривались в [11], а многоканальных преобразователей - в [12]. Методика расчета преобразователей, с ротацией силовых каналов приведена в [13], однако в ней использованы аналитические методы, позволяющие получить оценки «верхней» и «нижней» границ вероятности безотказной работы (ВБР). Поскольку неизвестно, насколько эти оценки отличаются «точного» значения ВБР, то значение «нижней» границы позволяет судить о выполнении требований по надежности только в том случае, если оно выше требуемого. В противном случае обеспечение требований по надежности вызовет необходимость принятия дополнительных мер. В свою очередь их реализация приведет к усложнению и удорожанию преобразователя, что может оказаться излишним, если «точное» значение ВБР выше требуемого. Таким образом, чтобы избежать избыточных затрат, необходимо рассчитывать и «точное» значение ВБР преобразователя.

Здесь следует отметить, что и эффект в повышении надежности преобразователя от смешанного резервирования с ротацией каналов по сравнению с другими способами резервирования не очевиден. Рассмотрим каждый из них.

1. Скользящее нагруженное резервирование «(N) из (N+1+K)»

Известно, что ненагруженное резервирование эффективней нагруженного. Однако это верно, если характеристики надежности составных частей (СЧ) не зависят от их нагрузки, в то время как у силовых каналов преобразователя такая зависимость есть. Например, если в качестве каналов использовать модули питания типа «ВР», то для них в [14] приведены следующие данные (см. рис. 3).

4.5 Требования к надежности

4.5.1 Гамма-процентная наработка до отказа модуля питания при $\gamma = 97,5\%$ в типовом режиме эксплуатации при $I_{\text{вых}} = I_{\text{вых,ном}}$, $T_{\text{корп}} = 70^\circ\text{C}$ в пределах гамма-процентного срока сохраняемости должна быть не менее 50 000 ч.

4.5.2 Гамма-процентная наработка до отказа модуля питания при $\gamma = 97,5\%$ в облегченном режиме эксплуатации при $I_{\text{вых}} = 0,5 \cdot I_{\text{вых,ном}}$, $T_{\text{корп}} = 50^\circ\text{C}$ в пределах гамма-процентного срока сохраняемости должна быть не менее 80 000 ч.

Рисунок 3 - Характеристики надежности ИВЭП типа «ВР»

Как видно из рис. 3, при снижении нагрузки по мощности и температуре, 97,5% наработка до отказа модуля возрастает в 1,6 раза.

Поскольку при скользшем нагруженном резервировании все каналы находятся в режиме работы, то их коэффициенты интенсивности эксплуатации ($K_{и.э}$) будут постоянными и равными 1, а коэффициент нагрузки по мощности ($K_{н.м}$) каждого из них составит:

$$K_{н.м} = \frac{N}{N+1+K}. \quad (1)$$

Из (1) следует, что по мере отказов модулей $K_{н.м}$ будет возрастать, и при отказе $(1+K)$ модулей будет равен 1. Отметим, что изменение $K_{н.м}$ приводит к изменению интенсивности отказов каналов в режиме работы (λ_p):

$$\lambda_p = \lambda_p(\lambda, K_p), \quad K_p = K_p(K_{н.м}, P_{\text{вых,ном}}, T_{\text{корп}}), \quad (2)$$

где: λ - интенсивность отказов канала в типовом режиме эксплуатации, K_p - коэффициент режима, зависящий от электрической нагрузки и температуры.

Таким образом, при скользшем нагруженном резервировании в расчете надежности следует учитывать не только число основных и резервных каналов, но и изменение их характеристик надежности при изменении нагрузки.

2. Смешанное резервирование

Смешанное резервирование в данном случае представляет собой скользшее нагруженное резервирование «N из (N+1)», элементы которого имеют скользщее ненагруженное резервирование «(N+1) из K»

В этом случае до отказа K каналов значение их $K_{н.м}$ будет постоянным и равным:

$$K_{н.м} = \frac{N}{N+1}. \quad (3)$$

Что касается $K_{и.э}$, то для (N+1) каналов его значение будет постоянным и равным 1, а для резервных каналов оно определяется по формуле [15]:

$$K_{и.э} = \frac{t_{нi}}{t_{ожi} + t_{нi}}, \quad t_{ожi} = \sum_{j=1}^{J_i} t_{нj}, \quad (4)$$

где: $t_{ожi}$ - время ожидания i-го канала; $t_{нi}$ - наработка (время работы) i-го канала; $t_{нj}$ - наработка (время работы) j-го канала; J_i - число отказавших каналов, вместо последнего из которых подключается i-й канал.

Из (4) следует, что чем дольше резервный канал будет находиться в режиме ожидания, тем меньше будет его $K_{и.э}$. Отметим, что изменение $K_{и.э}$ приводит к изменению интенсивности отказов резервных каналов при циклическом применении ($\lambda_{ц}$):

$$\lambda_{ц} = \lambda_{ц}(\lambda_p, \lambda_{ож}, K_{и.э}) \quad (5)$$

где: λ_p - интенсивность отказов канала в режиме работы; $\lambda_{ож}$ - интенсивность отказов канала в режиме ожидания.

Однако численное значение $K_{и.э}$ для резервных каналов в данном случае определить невозможно, т.к. наработки основных и резервных каналов заранее неизвестны.

В отличие от ненагруженного резервирования, при котором эффект не зависит от порядка подключения резервных каналов, при скользшем ненагруженном резервировании величина эффекта зависит от соотношения наработок каналов, т.е. от порядка подключения резервных каналов. Поскольку наработки каналов заранее не известны, то в расчете надежности следует учитывать не только из-

менение интенсивностей отказов резервных каналов, но и заранее определенный порядок их подключения.

3. Смешанное резервирование с ротацией силовых каналов («N+1+K»)

Поскольку при ротации каналов каждый из них попеременно находится то в режиме работы, то в режиме ожидания, то никакого различия между основными и резервными каналами не будет, и такой способ резервирования можно рассматривать как скользшее нагруженное резервирование каналов, у которых значение $K_{н.м}$ определяется по формуле (3), а коэффициент интенсивности эксплуатации при ротации ($K_{и.э.р}$) будет равен [9]:

$$K_{и.э.р} = \frac{N+1}{N+1+K}. \quad (6)$$

По мере отказов каналов значение $K_{и.э.р}$ будет возрастать и при отказе K каналов оно будет равно 1. Отметим, что в данном случае изменения $K_{и.э.р}$ приводит к изменению $\lambda_{ц}$ не только резервных, но и основных каналов

Очевидно, что скользшее нагруженное резервирование возможно, если значение $K_{и.э.р}$ у всех каналов будет одинаковым на интервале времени между отказами. Это можно обеспечить при условии, что времена, в течение которых каждый канал находился в режиме работы и в режиме ожидания за этот интервал для всех каналов будут одинаковыми (т.е. выполнится хотя бы один цикл полной ротации каналов). Также очевидно, что длительность интервала полной ротации должна быть кратной минимальной наработке. Поскольку наработки каналов заранее не известны, то определить минимальную из них не представляется возможным, а, следовательно, невозможно определить и длительность интервала, обеспечивающего равенство $K_{и.э.р}$ каналов.

Тогда для выполнения этого условия следует снижать длительность интервалов (т.е. увеличивать их число), а это ведет к росту числа переключений каналов и, следовательно, к резкому возрастанию вероятности отказов каналов при их переключениях. По сравнению с ненагруженным резервированием, при котором число переключений каналов относительно не велико (не больше числа резервных каналов - K), при ротации каналов их отказы при переключениях могут существенно повлиять на надежность преобразователя [16].

Таким образом, при смешанном резервировании с ротацией силовых каналов в расчете надежности следует учитывать изменение характеристик надежности каналов при изменении их интенсивности эксплуатации, порядка ротации каналов, а также возможность отказов каналов при их переключениях.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что для повышения надежности преобразователя при любом способе резервирования необходимо применять более надежные каналы и/или увеличивать число резервных каналов.

Что касается смешанного резервирования с ротацией силовых каналов, то, с одной стороны, оно интегрирует достоинства первого и второго способов, а с другой - имеет те же недостатки, которые могут проявляться в большей или меньшей степени в зависимости от параметров ротации.

Другими словами, основанный на расчете надежности аналитическим методом вывод о том, что резервирование с ротацией силовых каналов всегда более эффективно, чем другие способы резервирования, может быть и верен в рамках принятых в [13] допущений, однако требует проверки более

точными методами, к которым относится метод имитационного моделирования [17].

Как уже отмечалось выше, применение метода имитационного моделирования требует создания формальной модели. Поскольку первый и второй способы резервирования, по сути, представляют собой частные случаи способа смешанного резервирования с ротацией силовых каналов, то далее будем рассматривать формальную и программную модели для этого способа. Для построения формальной модели необходимо определить алгоритм реконфигурации ССН и ее параметры.

Алгоритм реконфигурации ССН преобразователя зависит от вида ротации каналов и дисциплины очереди на ротацию при отказах каналов. Так, при «последовательной» ротации вместо работающего канала подключается резервный, а при «одновременной» – вместо n работающих каналов подключается $k=n$ резервных. Что касается дисциплины очереди на ротацию то, например, в [13] место канала в очереди определяется его суммарной наработкой канала к моменту подключения (первым в очередь ставится канал, имеющий минимальную наработку).

В качестве параметров ССН будем использовать те же параметры, что и в методике расчета «верхней» и «нижней» границ ВБР [13], а именно:

- критерий отказа преобразователя – отказ любых $(K+2)$ каналов;

- способ резервирования преобразователя – « $N+1+K$ »;

- модель эксплуатации преобразователя – непрерывная работа в течение наработки ($t_{\text{бп}}$);

- все каналы имеют экспоненциальную модель надежности и одинаковые значения интенсивности отказов в номинальном режиме (λ);

- при ротации каналов за время $\delta t_{\text{п}}=0$ сначала подключается резервный канал, а затем отключается работающий;

- в течении времени $t_{\text{бп}}$ отказы каналов обнаруживаются мгновенно;

- при отказе каналов в течении времени $t_{\text{бп}}$ они не восстанавливаются.

Отметим, что здесь опущены параметры, введение которых в методику [13] было обусловлено использованием аналитического метода.

Вместе с тем, к приведенным выше параметрам необходимо добавить следующие параметры:

- вид ротации каналов – «последовательная» ротация (порядок ротации каналов задается временными графиками их работы);

- дисциплина очереди на ротацию при отказах каналов: вместо отказавшего канала подключается первый в очереди резервный канал, который становится первым рабочим, второй резервный канал – первым резервным и т.д., а рабочий канал с текущим минимальным номером становится вторым рабочим и т.д.;

- рассматривается «общий» случай, для которого интервал полной ротации каналов ($t_{\text{р}}$) может быть не постоянной величиной;

- в течении интервала времени $t_{\text{ц}}$ период ротации каналов ($t_{\text{р}}$) является постоянной величиной;

- все каналы имеют экспоненциальную модель надежности и одинаковые значения интенсивности отказов в режиме ожидания ($\lambda_{\text{ож}}$);

- коэффициент нагрузки по мощности канала при отказе 1, 2, ..., K каналов – постоянная величина ($\{K_{\text{н.м}}\}$);

- вероятность одного безотказного включения (отключения) – постоянная величина ($P_{\text{овкл}}$);

- при $t \geq t_{\text{бп}}$ способ резервирования « $N+1+K$ » заменяется на «Смешанное резервирование» (ротация прекращается).

Таким образом, определен алгоритм реконфигурации ССН и ее параметры, что в совокупности позволяет сформировать формальную модель, в результате расчета которой получается реализация наработки преобразователя ($T_{\text{Н}}$):

$$T_{\text{Н}} = \sum_{k=1}^{K+2} t_{\text{отк}_{k,(k-1)}} \quad (7)$$

где $t_{\text{отк}_{k,(k-1)}}$ – реализация наработки преобразователя между k -м и $(k+1)$ -м отказами его каналов.

Поскольку запрограммировать такую модель на языках программ имитационного моделирования не представляется возможным, то в данном случае приходится создавать программную модель (программный модуль). Алгоритм функционирования такого модуля показан на рис. 4.

Алгоритм содержит макроблоки, краткое описание которых приведено ниже.

Блок 1 – запуск модуля по команде программы имитационного моделирования.

Блок 2 – ввод параметров формальной модели после k -го отказа в преобразователе.

Блок 3 – расчет наработки ($t_{\text{экв}}$) при $t_{\text{р}} = (t_{\text{бп}} - t_{\text{отк}_k})$.

Блок 4 – решение: если за время $(t_{\text{бп}} - t_{\text{отк}_k})$ отказов модулей нет, то переход к Блоку 5, иначе – переход к Блоку 17.

Блок 5 – расчет наработок каналов (t_i) для способа «Смешанное резервирование» (без ротации).

Блок 6 – начало цикла по каналам преобразователя.

Блок 7 – начало цикла по интервалам ротации.

Блок 8 – определение ближайшего к $t_{\text{отк}_k}$ интервала, в котором произошел отказ канала и формирование списка каналов, которые отказывают на этом интервале.

Блок 9 – начало цикла по периодам ротации.

Блок 10 – расчет времени до отказа ($t_{\text{отк}_i}$) каналов из списка, определенного в Блоке 8.

Блок 11 – завершение цикла по периодам ротации.

Блок 12 – завершение цикла по интервалам ротации.

Блок 13 – определение минимального интервала времени от k -го до $(k+1)$ -го отказа в преобразователе (t_{MIN}).

Блок 14 – завершение цикла по каналам преобразователя.

Блок 15 – пересчет наработок ($t_{\text{Н}}$) каналов, у которых $t_{\text{отк}_i} > t_{\text{MIN}}$ и расчет времени до $(k+1)$ -го отказа преобразователя (T_{MIN}).

Блок 16 – решение: если параметр формальной модели, содержащий значение общего числа модулей (M) равен $(N+1)$, то переход к Блоку 17, иначе – переход к Блоку 18.

Блок 17 – расчет времени до отказа преобразователя ($T_{\text{Н}}$).

Блок 18 – вывод времени до отказа преобразователя ($T_{\text{Н}}$) в программу имитационного моделирования.

Блок 19 – вывод времени до $(k+1)$ -го отказа канала в преобразователе (T_{MIN}) в программу имитационного моделирования.

Блок 20 – завершение работы модуля и передача управления программе имитационного моделирования.

Отметим ряд особенностей предложенного алгоритма. Поскольку проблема снижения объема вычислительных затрат в методе Монте-Карло по-прежнему остается актуальной, несмотря на постоянный рост возможностей вычислительной техники, то с этой целью в алгоритм были введены блоки, о которых будет сказано ниже.

Исходя из того, что требования к надежности преобразователя, как правило, достаточно высокие, то отказы каналов будут возникать достаточно редко. Поэтому в Блоке 3 предварительно оценивается возможность возникновения отказа каналов за время $(t_{\text{бп}} - t_{\text{отк}_k})$, и при отрицательном результате это позволяет исключить поиск отказов по всем периодам ротации и сразу перейти к расчету наработки каналов ($t_{\text{отк}_i}$) в Блоке 5 и наработке преобразователя ($T_{\text{Н}}$) в Блоке 17.

Если отказы все-таки возможны, то сначала в Блоке 8 находятся интервалы, в которых они происходят, из которых выбирается наиболее близкий к $t_{\text{отк}_k}$, и для этого интервала формируется список каналов, которые в нем отказывают. Это позволяет также исключить поиск отказов по всем периодам

ротации и снизить число каналов, для которых в Блоке 10 будет рассчитано $t_{отк}$.

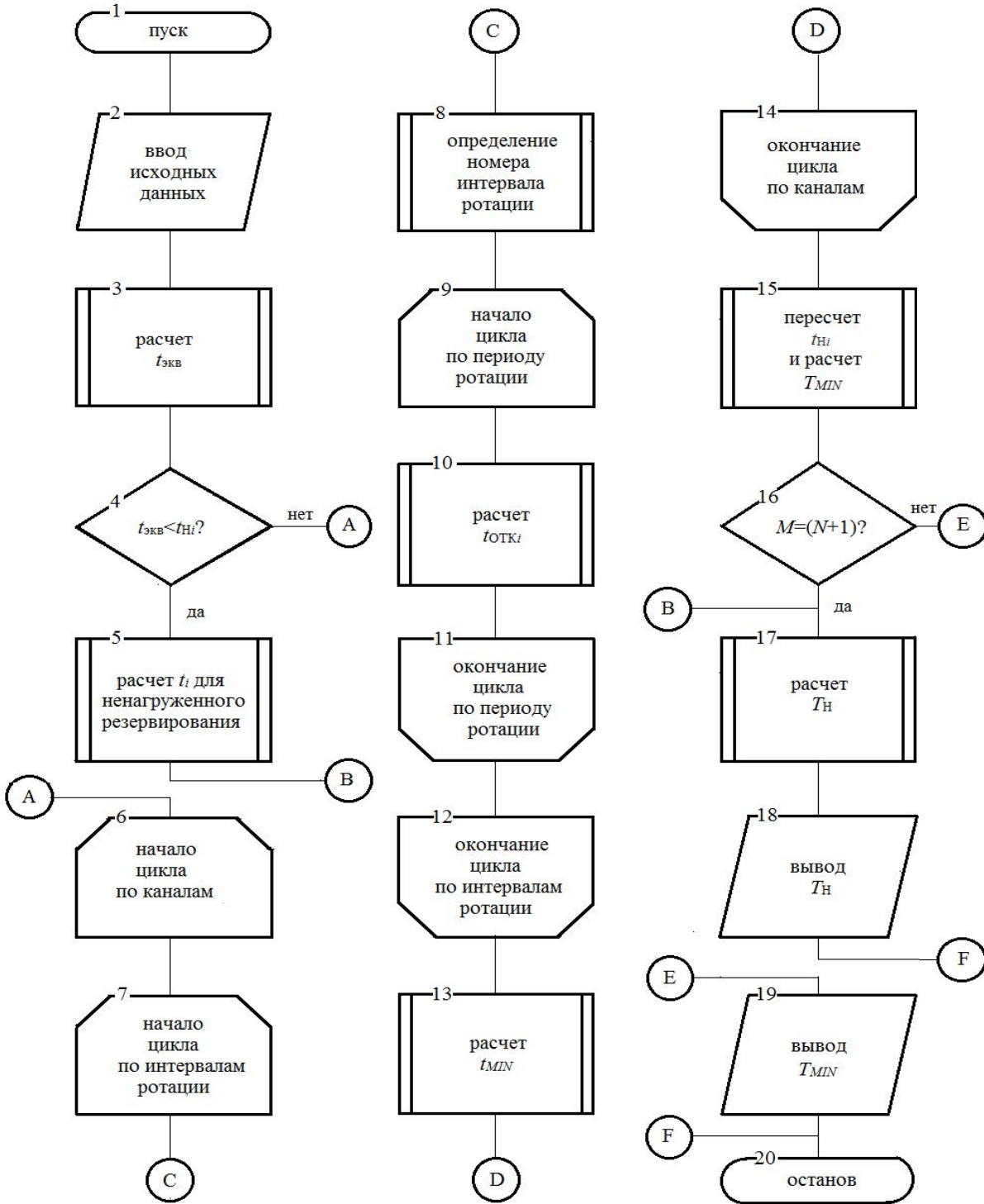


Рисунок 4 – Алгоритм программной модели

Другой особенностью алгоритма является то, что в случае отказа канала за время $(t_{ср} - t_{отк_k})$ при $(k+1) \leq K$ в программу имитационного моделирования в Блоке 19 возвращается не наработка преобразователя, а время до отказа этого канала (T_{MIN}). Это позволяет изменять параметры формальной модели (вид ротации, параметры ротации и дисциплину очереди каналов на ротацию при отказах) в ходе текущего имитационного эксперимента с целью исследования их влияния на надежность преобразователя.

Кроме того, в программе имитационного моделирования на основе алгоритмов реконфигурации формируются временные графики работы каналов, которые передаются в модуль как входные данные. Пример таких графиков приведен на рис. 5.

№ канала	«2-1-2»					№ канала	«2-1-1»			
	$\tau_{pk,1}$	отказ	$\tau_{pk,3}$	$\tau_{pk,4}$	$\tau_{pk,5}$		$\tau_{p(k+1),1}$	$\tau_{p(k+1),2}$	$\tau_{p(k+1),3}$	$\tau_{p(k+1),4}$
1	раб	ож(2рез)	ож	раб	раб	5	раб	ож	раб	раб
2	раб	раб/отказ	ож	ож	раб	3	раб	раб	ож	раб
3	раб	раб	раб	ож	ож	4	раб	раб	раб	ож
4	ож	раб	раб	раб	ож	1	ож	раб	раб	раб
5	ож	ож(1рез)	раб	раб	раб	2	-	-	-	-

Рисунок 5 – Временные графики работы каналов

Поскольку в этом случае алгоритмы реконфигурации в модуле не синтезируются, то это существенно упрощает верификацию программной модели.

Программная реализация модуля была выполнена на языке высокого уровня С# [18].

Заключение

Таким образом, приведенная выше формальная модель преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов позволяет получить реализацию наработки канала, которая необходима для расчета надежности преобразователя методом Монте-Карло. Возможность изменения параметров формальной модели (вида ротации, параметров ротации и дисциплины очереди каналов на ротацию при отказах) в ходе текущего имитационного эксперимента позволяет исследовать их влияние на надежность преобразователя.

Кроме того, разработанный модуль позволяет получить реализацию наработки канала и для двух других способах резервирования, т.к. при $t_r=0$ и $R_{\text{Обкн}}=1$ (каналы постоянно находятся в режиме работы) получается скользящее нагруженное резервирование, а при $t_r=t_{\text{бр}}$ (в течении $t_{\text{бр}}$ ротации нет) – скользящее не нагруженное резервирование. Это позволяет сравнить различные способы резервирования и выбрать тот, который позволит обеспечить требуемый уровень надежности преобразователя с минимальными издержками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либенко Ю.Н., Четин А.Н. Пути повышения безотказности систем вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. // Электропитание. – 2010. – № 4. – с. 10-21.
2. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
3. Т. Шрайбер. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
4. Боев В.Д. Моделирование в среде AnyLogic: учеб. пособие для вузов М.: Издательство Юрайт, 2018. – 298 с. – (Серия: Бакалавр. Прикладной курс).
5. Альсова О.К. Имитационное моделирование систем в среде ExtendSim: учеб. пособие для академического бакалавриата. – 2-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 115 с. – (Серия: Бакалавр. Академический курс).
6. Жаднов В.В., Тихменев А.Н. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств. // Надежность. – 2013. – № 1. – с. 32-43.
7. Четин А.Н. Применение метода ротации силовых каналов для повышения безотказности многоканального преобразователя напряжения. // Практическая силовая электроника. – 2013. – № 49(1). – с. 33-36.
8. Либенко Ю.Н., Ротаренко В.А. Способ управления группой источников вторичного электропитания (ИВЭ), подключенных параллельно на общую шину нагрузки. А.с. СССР 1348805, опубл. 23.03.93, Бюл. № 11, (Патент на изобретение СССР № 1804678, зарег. 09.10.92).
9. Жаднов В. Автоматизация проектирования запасов компонентов в комплексах ЗИП. // Компоненты и технологии. – 2010. – № 5. – с. 173-176.
10. Гобчанский О., Попов В., Николаев Ю. Повышение радиационной стойкости промышленных средств автоматики в составе бортовой аппаратуры. // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4. – с. 36-40.
11. Коваленко Г.Л., Кофанов Ю.Н., Жаднов В.В. Применение автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры для проектных исследований безотказности ИВЭП. // Электронная техника. Серия: Радиодетали и компоненты. – 1990. – № 2(79). – с. 42-44.
12. Жаднов, В.В. Автоматизация исследований безотказности источников вторичного электропитания. / В.В. Жаднов. // Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под ред. Н. К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012 – 2 т. – с. 173-176.
13. Четин А.Н. Методы повышения безотказности централизованной части системы вторичного электропитания аппаратуры вычислительной техники: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2018. – 157 с.
14. ТУ 6390-001-61704169-10. Источники вторичного электропитания типа ВР. Технические условия.
15. РД В 319.01.19-98. Комплексная система контроля качества. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методики оценки и расчёта запасов в комплексах ЗИП.
16. Садыхов Г.С., Чибисова А.В., Савченко В.П. Нижняя доверительная граница вероятности безотказного срабатывания объекта, работающего в импульсном режиме. / Труды международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Т. 1. – Пенза: ПГУ, 2018. – с. 209-210.
17. Жаднов В.В. Метод формирования наработки до отказа электронных компонентов по справочным данным. / Труды международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Т. 1. – Пенза: ПГУ, 2018. – с. 35-37.
18. К. Нагел, Б. Ивсен, Д. Глинн, К. Уотсон, М. Скиннер. С# 4.0 и платформа .NET 4 для профессионалов. – М.: И.Д. Вильямс, 2011. – 1440 с.

УДК 621.396.98.004.1

Загучный Д.А.

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

В данной статье был проведён анализ по удовлетворению требований по помехоустойчивости современных пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов гражданской авиации. Был сделан вывод о том, что помехоустойчивость отечественной спутниковой радионавигационной системы выше, чем у зарубежного аналога и приведена причина этого преимущества. Приведено подробное описание структуры инерциальной навигационной системы, находящейся на борту воздушного судна гражданской авиации «Суперджет-100». Подробно изложены режимы её работы в зависимости от различных условий. Сделан вывод о необходимости разработки методов повышения помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей, находящейся на борту воздушного судна гражданской авиации, которые могут быть реализованы в программном обеспечении. Приведён метод повышения помехоустойчивости на основе комплексирования спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы.

Ключевые слова:

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ, СПУТНИКОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Введение

Современные требования к функционированию пилотажно-навигационных

комплексов воздушных судов гражданской авиации (ВС ГА) включают и требования к повышенной

помехоустойчивости. Это связано как с промышленной деятельностью или спецификой, связанной с тенденцией перехода к спутниковым радионавигационным системам (СРНС), так и с вероятными действиями различных преступных группировок, ищущих новые возможности для атак на ВС ГА [1].