



УДК 621.3.019.3

А. А. Гаспарян, Г. В. Комарова, Д. В. Тянников
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Оценка надежности многофункциональной системы контроля параметров энергетического оборудования

Рассмотрена методика расчета приближенных значений показателей надежности многофункционального комплекса технических средств. Построена структурная схема надежности комплекса. Проведен расчет средней наработки на отказ системы контроля при различном числе резервных элементов.

Надежность, показатели надежности, многофункциональный комплекс, система контроля, структурная схема надежности, методика расчета

Вопросы надежности представляют собой неотъемлемую часть проектирования и разработки нового оборудования. Повышение надежности обеспечивает меньшие материальные затраты на эксплуатацию оборудования, что ведет к увеличению рентабельности и более эффективному использованию ресурсов. Показатели надежности закладываются в процессе проектирования и служат важнейшими технико-экономическими показателями качества технических устройств, систем и комплексов [1].

В статье рассматриваются вопросы оценки надежности многофункциональных комплексов технических средств (КТС) систем контроля и обработки параметров объектов. Такими объектами могут быть разнообразное электрооборудование и подвижные объекты.

В процессе функционирования КТС одновременно или в определенной последовательности могут решаться несколько задач, которые в дальнейшем можно рассматривать и называть функциями. Комплексы выполняют ряд функций, начиная с измерения параметров и заканчивая представлением требуемых данных. Потребность в выполнении тех или иных функций определяется заявками на их выполнение.

Комплекс включает в себя множество технических устройств, обеспечивающих решение функциональных задач системы контроля. К элементам КТС относятся компьютеры, контроллеры, источники питания, принтеры, сканеры, модемы, маршрутизаторы и т. п.

В многофункциональном комплексе обычно одни функции обеспечивают выполнение других, но также есть и выходные функции, которые определяют результат работы КТС, потребляемый пользователем.

Если функции обеспечивают выполнение других функций, то можно рассматривать устройство комплекса как функциональную структуру, которая может быть представлена графом, вершины которого отождествляются с функциями F , а дуги v , соединяющие вершины, указывают направление связи между ними [2].

В качестве примера можно рассмотреть функциональные графы (рис. 1 и 2), включающие четыре узла: F_1 – функция измерения; F_2 – функция вычисления; F_3 – функция регистрации; F_4 – функция представления данных на мониторе.

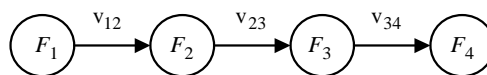


Рис. 1

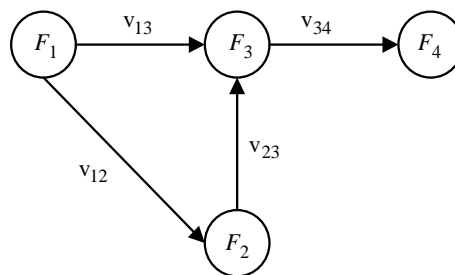


Рис. 2

На рис. 1 представлена последовательность выполнения функций от F_1 к F_4 . На рис. 2 рассмотрен второй вариант графа функционирования при условии, что часть информации не подвергается обработке, а сразу поступает на регистрирующее оборудование.

Функции могут отличаться по степени важности, т. е. по вкладу, который они вносят в процесс функционирования всей системы. Для каждой дуги можно ввести коэффициент влияния одной функции на другую. Если этот коэффициент равен единице, то последующая функция выполняется только при условии успешного выполнения предыдущей.

В статье рассматривается система непрерывного контроля технологических параметров энергетического оборудования. К уровню надежности системы мониторинга могут предъявляться высокие требования, особенно если эта система контролирует параметры такого энергетического оборудования, как гидрогенераторы, турбогенераторы и силовые трансформаторы.

Основным устройством, входящим в состав рассматриваемого технического комплекса, является программируемый логический контроллер ПЛК, состоящий из модуля процессора, модулей дискретного ввода и вывода и коммуникационно-

го модуля. Модуль центрального процессора обеспечивает основные вычислительные функции контроллера. Модуль дискретного ввода предназначен для преобразования входных дискретных сигналов контроллера с различными параметрами исследуемого оборудования в его внутренние логические сигналы. Коммуникационный процессор выполняет автономное управление обменом данными, разгружая центральный процессор.

Для приема входных сигналов применяется система сбора данных ССД, состоящая из концентраторов и цифровых измерительных преобразователей ЦИП нормализованных сигналов.

Комплекс имеет два встраиваемых компьютера и панельный монитор.

Работа рассматриваемого комплекса возможна только при последовательном выполнении всех функций (рис. 1). Надежное функционирование КТС зависит от надежности источников питания. Первые две функции имеют свои источники, а функции регистрации и представления данных имеют общий источник. Такое устройство и обеспечение бесперебойного питания в дальнейшем при построении дерева структурных данных и схемы надежности позволяет говорить о трех основных функциях КТС.

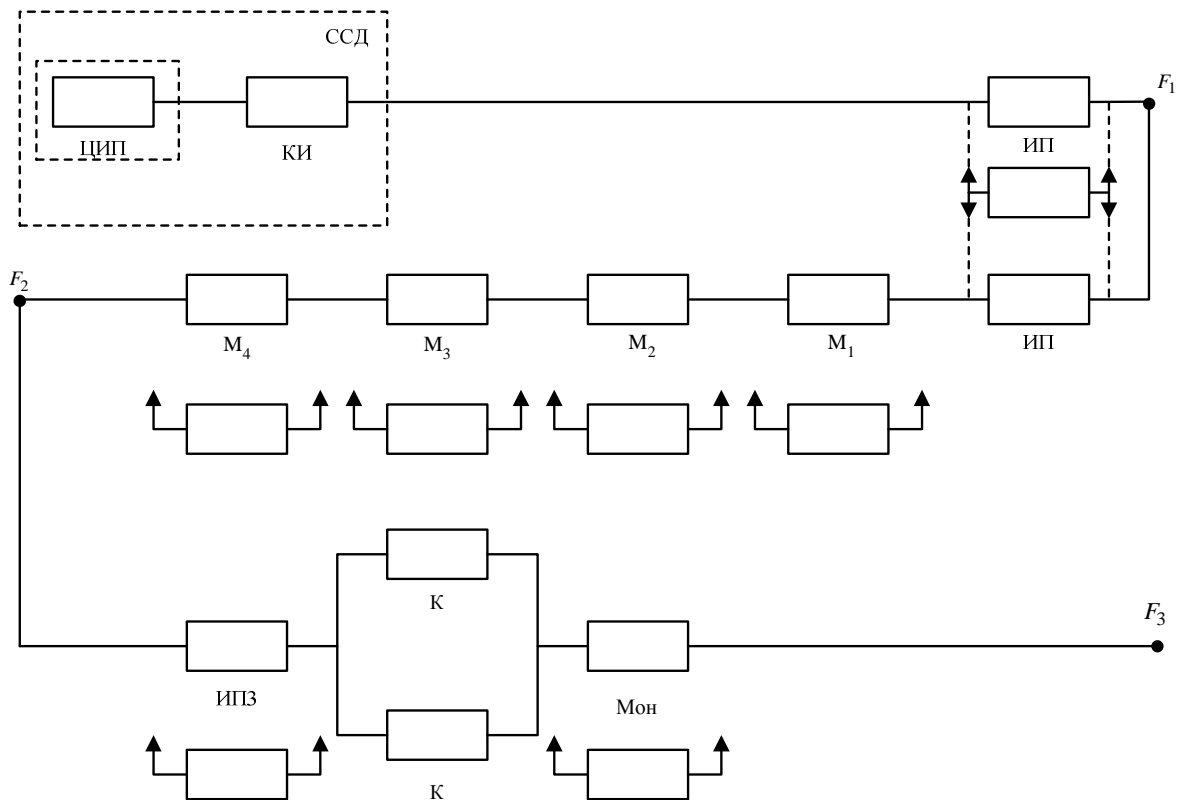


Рис. 3

Функцию измерения F_1 обеспечивают ССД и источник питания ИП. Для выполнения функции вычисления F_2 используется контроллер, состоящий из следующих модулей: процессора M_1 , дискретного ввода M_2 и вывода M_3 , коммутационного M_4 . Источник питания функции F_2 аналогичен источнику питания функции F_1 . Функция регистрации и представления данных (в дальнейшем F_3) выполняется двумя компьютерами К, монитором Мон и источником ИПЗ.

Комплекс относится к устройствам, восстановление работоспособности которых осуществляется путем замены отказавшего оборудования новым из комплекта запасных элементов и частей ЗИП.

Для обеспечения работоспособности и заявленного времени восстановления КТС необходимо укомплектовать запасным оборудованием, которое включено в структурную схему надежности комплекса различными способами (рис. 3). Соединения элементов структурной схемы можно отнести к следующим типам: 1 – последовательное; 2 – параллельное; 3 – резервирование замещением; 4 – скользящий резерв.

На схеме рис. 3 точками обозначены границы выполняемых функций $F_1 - F_3$. На структурной схеме блок ССД выделен штриховой линией. Каждый концентратор имеет несколько цифровых измерительных преобразователей. Элементы блока ССД имеют встроенный резерв, обеспечивающий достаточно высокую наработку на отказ, и в дальнейшем этот блок будет введен в расчет как единое целое с резервом и с общей интенсивностью отказов.

В зависимости от требований, предъявляемых к уровню надежности КТС, число запасных элементов может изменяться.

В статье рассмотрены упрощенные состав и структура системы контроля параметров. Для элементов этой структуры введены приближенные показатели интенсивностей отказов, табл. 1. Все элементы комплекса распределяются по экспоненциальному закону отказов.

Для формализованного представления структурной схемы надежности можно использовать дерево структуры данных, позволяющее перейти от элементов и фрагментов структурной схемы более высоких уровней к элементам более низких уровней, рис. 4 ([2], [3]). На этом дереве изобра-

жены все виды оборудования, обеспечивающего функционирование КТС и выполнение всех функций, количество резервных элементов и способы их включения по отношению к основным.

Таблица 1

Элемент схемы	Обозначение на схеме	Интенсивность отказов $(\lambda_i \cdot 10^{-5}), \text{ч}^{-1}$
Система сбора данных	ССД	1
Источник питания F_1, F_2	ИП	2
Модуль процессора	M_1	0.4
Модуль дискретного ввода	M_2	0.3
Модуль дискретного вывода	M_3	0.3
Модуль коммуникационный	M_4	0.2
Источник питания F_3	ИПЗ	1
Компьютер	К	2.5
Монитор	Мон	5

В рассматриваемом комплексе структура s^0 (рис. 4) представлена последовательным соединением трех структур уровня $u = 1$. Эти три структуры со своим оборудованием выполняют три функции комплекса. Каждую i -ю вершину u -го уровня можно представить в виде:

$$s_i^u = \{t_{s_i^u}, P_i^u, M_i^u\},$$

где $t_{s_i^u}$ – тип структуры, например последовательное или параллельное соединение, скользящий резерв и т. д. Если соединение последовательное ($t_{s_i^u} = 1$) или параллельное ($t_{s_i^u} = 2$), то

параметр P_i^u (множество числовых параметров, характеризующих структуру) приравнивается нулевому значению. Например, в схеме рис. 3 источники питания ИП имеют скользящий резерв. Тогда число основных элементов – 2, а резервных – 1, и $P_i^u = [2, 1]$. M_i^u – множество комплекующих элементов e и структур s более низкого уровня по сравнению с s_i^u – может включать как структуры $(u+1)$ -уровня, так и элементы, например на рис. 4 s_3^1 включает $[s_2^3, e_{\text{ИПЗ}}, e_{\text{Мон}}]$.

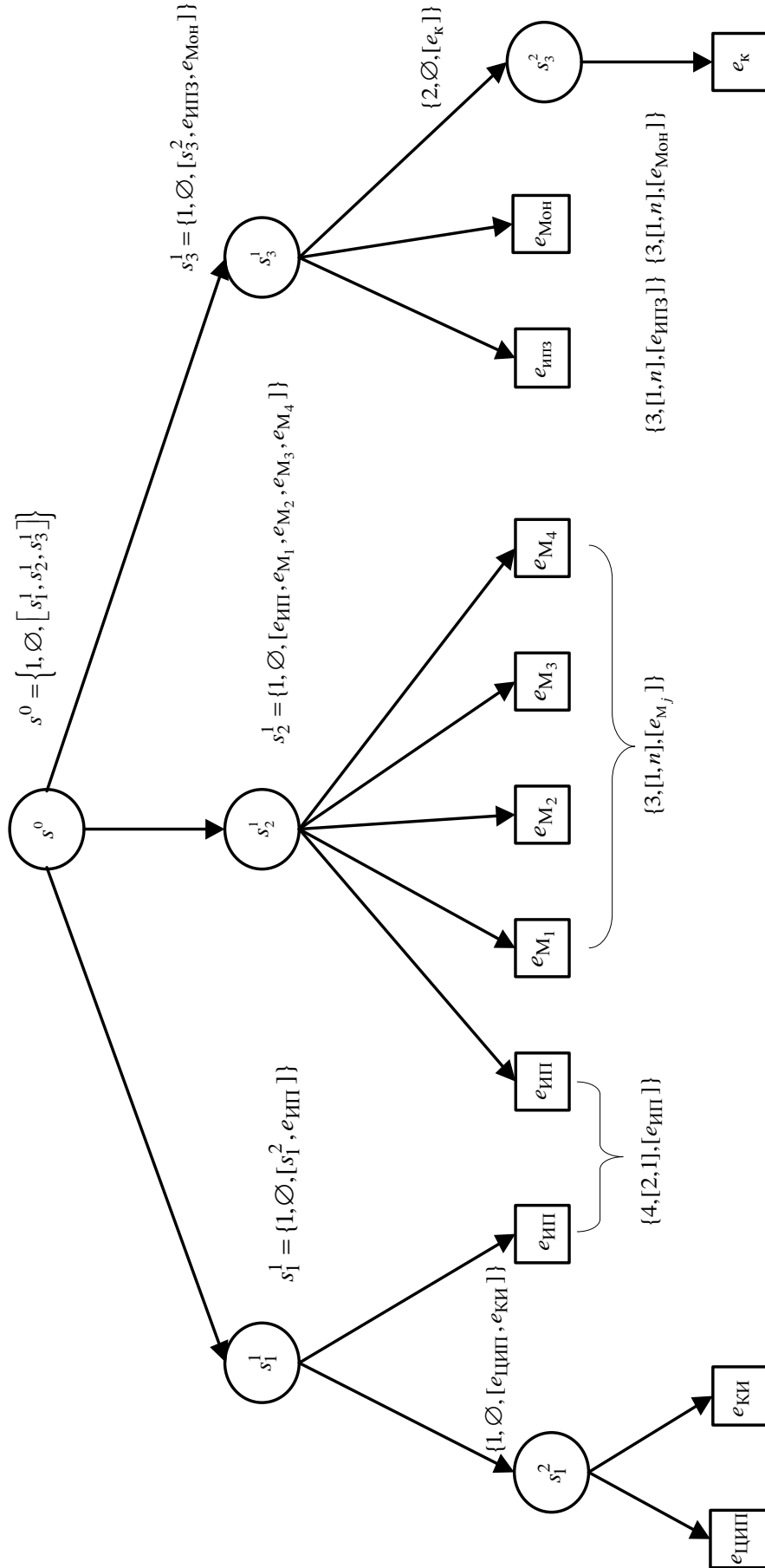


Рис. 4

Для расчета показателей надежности многофункционального КТС предлагается методика, включающая основные этапы:

- анализ работы комплекса с выявлением основных функций и оборудования, выполняющего эти функции;

- разработку структурной схемы надежности КТС, которая на верхнем уровне детализации может представлять собой последовательное соединение элементов (функций), каждый из которых может иметь свою структурную схему. Таким образом, структура детализируется до сменных элементов, для которых предусматривается замена в процессе эксплуатации. ЗИП формируется из сменных элементов различных типов;

- сбор информации об отказах и показателях надежности элементов схемы;

- выбор стратегии и времени пополнения и установки ЗИП;

- построение дерева структурных данных, отражающего функции КТС, элементную базу схемы и виды резервирования;

- расчет показателей надежности отдельных подсистем структурной схемы и КТС в целом;

- сравнение полученного результирующего показателя надежности с требуемым для рассматриваемой КТС и принятие решения о достаточности ЗИП или дополнительной комплектации.

В состав структурной схемы (см. рис. 3) последовательно включаются элементы ЗИП, добавление которых приводит к приращению показателей надежности КТС [1]. После каждого шага добавления элементов оценивается достаточность достигнутого значения показателя наработки на отказ всего комплекса. Как только будет достигнуто требуемое значение показателя, процесс формирования ЗИП завершается.

Расчеты проводились для стратегии пополнения ЗИП при экстренной доставке. Экстренную доставку можно рассматривать как средний вариант между периодическим и непрерывным пополнением запасных частей.

Одним из важнейших показателей надежности для восстанавливаемых систем является коэффициент готовности, который оценивает одновременно свойства работоспособности и ремонтпригодности объекта:

$$k_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B},$$

где T_0 – средняя наработка на отказ; T_B – время восстановления работоспособности.

Для проводимых в статье расчетов введено время пополнения ЗИП и замены любого структурного элемента T_B , которое составляет пять часов.

Вычисление средней наработки на отказ проводится по формулам [3], [4]:

$$T_0 = \left(\sum_j \frac{1}{T_{0j}} \right)^{-1}$$

– при последовательном соединении элементов;

$$T_0 = \left(\sum_j \frac{1}{T_{Bj}} \prod_j \frac{T_{Bj}}{T_{0j}} \right)^{-1}$$

– при параллельном соединении.

Здесь T_{0j} , T_{Bj} – средняя наработка на отказ и время восстановления j -го элемента структурной схемы;

$$T_0 = T_{0j}(n+1)$$

– при резервировании замещением;

$$T_0 = \left[\frac{kC_{n+k}^k \left(\frac{T_{Bj}}{T_{0j}} \right)^n}{T_{0j}} \right]^{-1}$$

– при скользящем резервировании.

Здесь k, n – число основных и резервных элементов в группе; $C_{n+k}^k = \frac{(n+k)!}{n!k!}$. Все элементы,

входящие в группу при скользящем резервировании и резервировании замещением, одинаковые.

В табл. 2 приведены результаты расчета средней наработки на отказ T_0 КТС в целом при экстренных поставках резервного оборудования. Данные приводятся для нескольких шагов процесса формирования ЗИП.

Оборудование, не указанное в табл. 2, имеет встроенный нагруженный резерв и учтено при расчете T_0 КТС.

Окончательное решение о комплектации ЗИП принимается с учетом реальных требований к показателям надежности системы. Например, требуемая наработка на отказ системы мониторинга $T_0 = 3 \cdot 10^4$ ч. Тогда, анализируя полученные результаты (табл. 2), можно принять решение о выборе варианта $N_{ЗИП} = 9$.

Таблица 2

Суммарное число элементов ЗИП	Элементы структурной схемы						Средняя наработка на отказ КТС (T_0), ч
	M_1	M_2	M_3	M_4	ИПЗ	Мон	
0	0	0	0	0	0	0	12 300
6	1	1	1	1	1	1	21 700
7	1	1	1	1	1	2	26 600
8	1	1	1	1	2	2	27 800
9	1	1	1	1	2	3	31 400
10	1	1	1	1	3	3	32 400

При проведении расчетного исследования не рассматривались затраты на технические средства, однако выбор оптимального состава структурной схемы КТС должен проводиться не только по показателю надежности, но и по стоимости основного и запасного оборудования.

Представленная в статье методика оценки надежности многофункциональной системы контроля параметров позволяет получать значения

показателей надежности с учетом технических устройств, входящих в систему. Методика базируется на построении структурной схемы надежности и дерева структурных данных системы мониторинга. Представленные структуры включают основные и резервные элементы, число которых определяется реальными требованиями к уровню надежности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калявин В. П., Рыбаков Л. М. Надежность и диагностика электроустановок: учеб. для вузов. Йошкар-Ола: Изд-во МарГУ, 2000. 348 с.
2. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. СПб.: Питер, 2005. 480 с.
3. Надежность технических систем: справочник / под ред. Н. А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
4. Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1985. 168 с.

A. A. Gasparyan, G. V. Komarova, D. V. Tyannikov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF MULTIFUNCTION MONITORING SYSTEM OF PARAMETERS OF POWER EQUIPMENT

Methodology of calculation of rough values of reliability indexes of multifunction complex of technical equipments was considered. The structural reliability scheme of complex was built. The calculation of mean time between failures of the control system was conducted at the different number of reserve elements.

Reliability, reliability indexes, multifunction complex, monitoring system, structural reliability scheme, methodology of calculation