

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИКА, КОМП'ЮТЕРНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.362.2

А.А. Гнатовская¹, Т.Б. Вохменцева², Л.Б. Коваленко¹, С.Д. Кузниченко¹

¹ Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина

² Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина

НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА В САПР КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предложена реализация надежно-ориентированных моделей взаимосвязи показателей надежности и основных параметров двухкаскадного термоэлектрического охлаждающего устройства в подсистеме САПР с учетом выбранного режима функционирования. Использование данных моделей позволило осуществлять надежно-ориентированное проектирование двухкаскадных термоэлектрических устройств в САПР критических систем.

Ключевые слова: Надежно-ориентированное проектирование – Термоэлектрические устройства – Надежность – Критические информационные системы – Теплонагруженные элементы.

Г.А. Гнатовська¹, Т.Б. Вохменцева², Л.Б. Коваленко¹, С.Д. Кузніченко¹

¹ Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

² Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

НАДІЙНІСТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОКАСКАДНОГО ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИСТРОЮ В САПР КРИТИЧНИХ СИСТЕМ

Запропоновано реалізацію надійнісно-орієнтованих моделей взаємозв'язку показників надійності та основних параметрів двокаскадного термоелектричного охолоджувального пристрою в підсистемі САПР з урахуванням обраного режиму функціонування. Використання даних моделей дозволило здійснювати надійнісно-орієнтоване проектування двокаскадних термоелектричних пристроїв у САПР критичних систем.

Ключеві слова: Надійнісно-орієнтоване проектування – Термоелектричні пристрої – Надійність – Критичні інформаційні системи – Теплонавантажені елементи.

DOI: 10.15673/0453-8307.2/2015.39354



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в постоянном расширении функциональных возможностей критических информационных систем при соответствующем усложнении находятся в противоречии с повышением надежности. Проблема является частью фундаментального противоречия – создания надежной системы из аппаратных и программных средств с ограниченной надежностью.

Особо остро эта проблема стоит для критических систем с теплонагруженными элементами, которые работают в предельных условиях, относительно тепловых режимов. К таким системам можно отнести информационно-управляющие системы с приемниками интенсивного лазерного инфракрасного излучения, высокочастотных и ультразвуковых излучателей, системы взаимодей-

ствия с плазменными потоками. Интенсивность выхода из строя теплонагруженных средств, которые не могут работать без охладителей, существенно превышает интенсивность отказов аналогичных средств, работающих в нормальных условиях эксплуатации. Такие теплонагруженные средства требуют надежно-ориентированного моделирования и анализа, а автоматизированное проектирование оптимизированных теплонагруженных средств должно способствовать повышению надежности критических систем [1].

Исследования, направленные на решение задач повышения надежности теплонагруженных средств с каскадными термоэлектрическими устройствами, которые возникают в САПР критических информационных систем в широком диапазоне тепловых нагрузок, являются актуальными.

Для создания САПР критических теплонагруженных средств и устройств обеспечения их тепловых режимов необходимо, прежде всего, на модельном уровне проанализировать каскадные термоэлектрические устройства (ТЭУ) как такие, которые обеспечивают наиболее высокие показатели надежности по сравнению с другими видами охладителей.

Фундаментальным подходом обеспечения надежности систем является параметрический метод, поскольку интенсивность отказов составляющих компонентов естественным образом входит в результирующую интенсивность отказа системы. Ранее моделировались эти процессы для однокаскадных термоэлектрических устройств [2]. Важность параметрического подхода при проектировании надежных информационных систем и составляющих их компонентов предопределяет и значительное внимание разработке систем автоматизированного проектирования в данном направлении.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проектирование каскадных ТЭУ, как правило, ограничивается выбором параметрических характеристик унифицированных модулей без учета связанных с параметрами надежности эксплуатационных характеристик, которые для теплонагруженных режимов становятся определяющими [3].

Ключевой проблемой является необходимость количественной оценки показателей надежности, поскольку только при выполнении этого условия возможно выполнение надежность-ориентированного проектирования в САПР.

Предложена и разработана математическая модель взаимосвязи основных показателей надежности, которыми выбраны интенсивность отказов (λ) и вероятность безотказной работы (P), с основными параметрами двухкаскадного ТЭУ, что позволяет получать количественные оценки параметров надежности двухкаскадных термоэлектрических устройств на стадии проектирования [4].

Основными параметрами двухкаскадного ТЭУ являются: холодопроизводительность (Q_0), относительные рабочие токи (B_1, B_2), перепад температур в каскадах (ΔT), количество термоэлементов в каскадах (n_1 – в первом каскаде, n_2 – во втором каскаде), относительная тепловая нагрузка (C).

В модели приняты следующие ограничения: последовательное соединение термоэлементов в каскадах и самих каскадов; выход из строя любого термоэлемента приводит к выходу каскадного ТЭУ в целом; события выхода из строя элементов и интенсивность отказов одинаковые и независимые.

Применение каскадных ТЭУ обосновано не только обеспечением более глубокого охлаждения по сравнению с однокаскадными ТЭУ, но и повы-

шением энергетической эффективности охлаждения и экономичности.

III. МОДЕЛЬ НАИБОЛЬШЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Разработана модель наибольшей энергетической эффективности, связывающая основные параметры надежности двухкаскадного ТЭУ с относительными токами и перепадами температур и тепловой нагрузкой в режиме максимального холодильного коэффициента (E_{max}). Предложенная модель позволяет количественно оценивать показатели надежности двухкаскадного ТЭУ выбранный конструкции в режиме максимального холодильного коэффициента в различных условиях эксплуатации при изменении относительных рабочих токов и тепловой нагрузки при заданном перепаде температур.

Анализ полученной модели показал, что существует оптимальная тепловая нагрузка, соответствующая наибольшему холодильному коэффициенту, и что величина интенсивности отказов $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ увеличивается с ростом тепловой нагрузки и перепада температуры (рисунок 1).

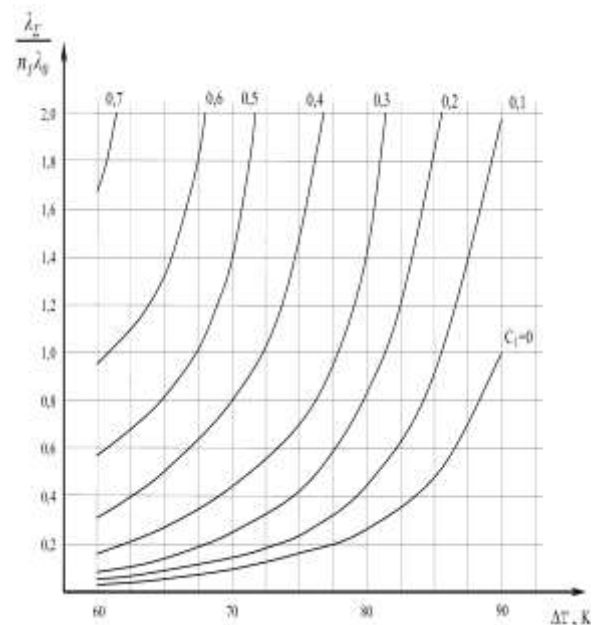


Рисунок 1 – Зависимость относительной величины интенсивности отказов двухкаскадного ТЭУ от перепада температур ΔT при $T=300\text{K}$, $C_1 = 0 \dots 0,7$ $n_1 = 9$ в режиме наибольшего холодильного коэффициента

Использование модели наибольшей энергетической эффективности в САПР позволяет количественно оценивать показатели надежности двухкаскадных ТЭУ и проводить надежность-ориентированное проектирование теплонагружен-

ных средств в режиме максимал-ьного холодильного коэффициента (E_{max}).

III. МОДЕЛЬ НАИМЕНЬШЕЙ ВЕЛИЧИНЫ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

Предложены и проанализированы зависимости относительных рабочих токов (B_1, B_2) и перепадов температур (Θ_1, Θ_2) двухкаскадного ТЭУ, от отношения количества термоэлементов в каскадах (n_1/n_2). Оценено влияние распределения количества термоэлементов в каскадах ТЭУ на показатели надежности в широком диапазоне температур с учетом тепловой нагрузки [5]. Проведен анализ зависимости относительной интенсивности отказов от соотношения термоэлементов в каскадах для, различных перепадов температур (Рисунок 2).

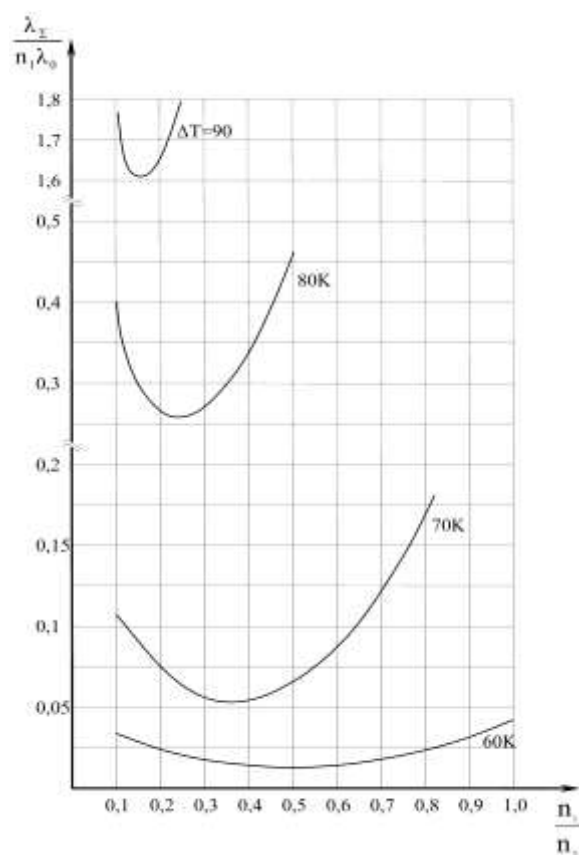


Рисунок 2 – Зависимость относительной величины интенсивности отказов двухкаскадного ТЭУ от отношения количества термоэлементов в смежных каскадах n_1/n_2 при $T=300K, Q_0 = 0,1Вт$ перепадах температур $\Delta T = 60 K; 70 K; 80 K; 90 K$

Количественная оценка полученных минимумов зависимости $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0} = f\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$ при различных значениях перепада температур, позволяет осуществлять надежно-ориентированное проектирование двухкаскадных термоэлектрических

устройств в САПР по условию, обеспечивающем наименьшую интенсивность отказа.

При выборе соотношения термоэлементов двухкаскадного ТЭУ целесообразно ориентироваться на ту конструкцию, которая бы обеспечивала минимальную интенсивность отказов при заданных перепаде температур и тепловой нагрузке. При этом величина холодильного коэффициента близка к максимальному значению.

Проведенный сравнительный анализ расчетных данных основных параметров показал возможность прогнозирования показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных унифицированных конструкций, что позволяет проводить рациональное надежно-ориентированное проектирование двухкаскадных ТЭУ.

IV. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Объект охлаждения (составная часть радиоэлектронной аппаратуры) характеризуется мощностью собственных тепловыделений, габаритами, массой, рабочей температурой, которые и определяют суммарную тепловую нагрузку. Поэтому при проектировании каскадных ТЭУ необходимо оценивать и влияние величины тепловой нагрузки на основные показатели надежности.

Проанализирована модель взаимосвязи основных показателей и показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций с величиной тепловой нагрузки (Рисунок 3).

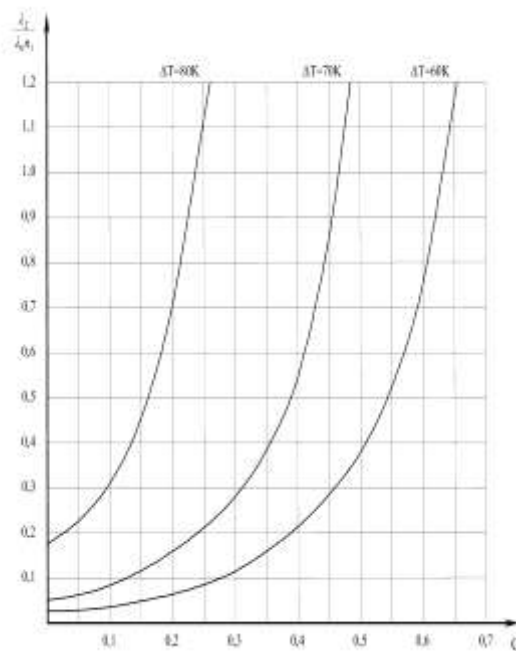


Рисунок 3 – Зависимость относительной величины интенсивности отказов двухкаскадного ТЭУ от относительной тепловой нагрузки C_1 при $\Delta T = 60K; 70 K; 80 K, T = 300 K, n_1/n_2 = 0,33$

С ростом тепловой нагрузки C_1 величина относительной интенсивности отказов $\frac{\lambda_{\Sigma}}{n_1 \lambda_0}$ увеличивается при различных значениях отношения n_1/n_2 и перепада температур ΔT . С ростом перепада температур ΔT , величина относительной интенсивности отказов увеличивается при заданной тепловой нагрузке C_1 . Зависимости позволяют оценить влияние тепловой нагрузки на показатели надежности. Полученные данные указывают на возможность прогнозирования показателей надежности двухкаскадных ТЭУ различных конструкций в зависимости от величины тепловой нагрузки.

V. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНЫХ ТЭУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБРАННОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Предложенные и рассмотренные математические модели позволяют количественно оценить показатели надежности, поскольку только при выполнении этого условия возможно выполнение надежностно-ориентированного проектирования в САПР. Предложенная математическая модель взаимосвязи основных показателей двухкаскадного ТЭУ и показателей надежности позволяет производить надежностно-ориентированное проектирование двухкаскадного ТЭУ, осуществляя выбор различных унифицированных модулей термоэлементов. При выборе конструкции двухкаскадного

ТЭУ целесообразно ориентироваться на ту конструкцию, которая бы обеспечивала минимальную интенсивность отказов при заданных перепаде температур и тепловой нагрузке. При этом величина холодильного коэффициента близка к максимальному значению.

VI. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В результате выполнения проектирования в подсистеме САПР, по предложенной математической модели, были получены следующие основные показатели надежности и основные параметры двухкаскадного термоэлектрического устройства заданной конструкции (Таблица 1).

Исходные данные для расчета: $T = 300$ К, $\Delta T = 60$ К; $\Delta T = 70$ К, $\Delta T = 80$ К, $Q_0 = 0,1$ Вт, $n_1/n_2 = 0,5$, $nI = 9$, для режима максимального холодильного коэффициента – E_{max} и режима наименьшей интенсивности отказов – λ_{min} . Для получения сравнительных характеристик показателей надежности в Таблице 1 приведен режим Q_{0max} [6].

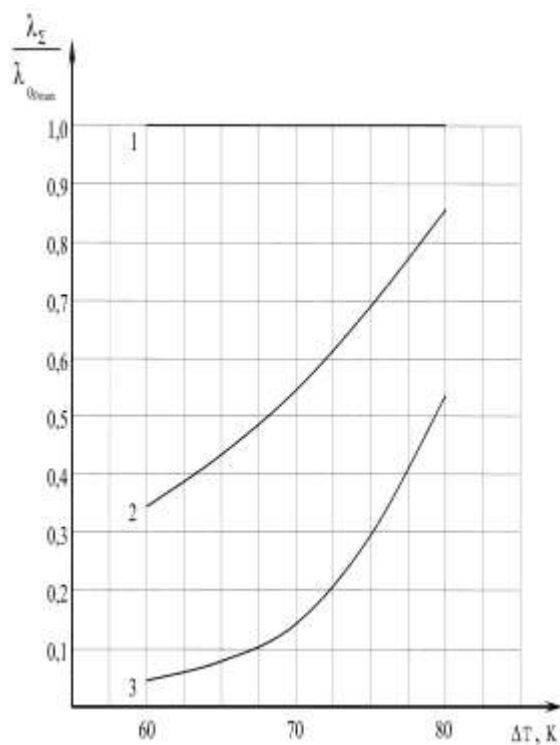
Конструкция двухкаскадного ТЭУ состоит из трех унифицированных модулей "Микрон" М10-9 (один модуль – в "холодном" каскаде, два модуля в "горячем" каскаде – $\frac{M10-9}{M10-18}$). Исходя из полученных результатов возможно использование унифицированного двухкаскадного ТЭУ фирмы "Marlou" M12060.

Таблица 1 – Основные параметры двухкаскадного термоэлектрического устройства в зависимости от различных режимов функционирования и перепадов температур

№ п/п	Режим работы	I, А	V_1 , отн.ед.	V_2 , отн.ед.	Θ_1 , отн.ед.	Θ_2 , отн.ед.	T_1 , К	E_1 , отн.ед.	W_{Σ} , Вт	U_{Σ} , В	$\lambda_{\Sigma} 10^8$, 1/час	P
$\Delta T = 60K$												
1	Q_{0max}	0,66	0,63	3,0	0,38	0,44	264,0	0,0164	6,1	2,0	11,1	0,9989
	E_{max}	0,49	0,47	2,3	0,43	0,37	268,0	0,148	0,68	0,3	3,9	0,9996
	λ_{min}	0,3	0,27	1,4	0,46	0,36	269,0	0,0673	1,5	1,1	0,41	0,99996
$\Delta T = 70K$												
2	Q_{0max}	0,69	0,61	3,1	0,62	0,43	265,0	0,0161	6,2	2,0	12,3	0,9988
	E_{max}	0,54	0,52	2,5	0,58	0,44	263,0	0,075	1,3	0,5	6,4	0,9994
	λ_{min}	0,41	0,38	1,9	0,59	0,43	264,0	0,038	2,6	1,37	1,7	0,9998
$\Delta T = 80K$												
3	Q_{0max}	0,7	0,61	3,0	0,84	0,42	264,0	0,016	6,25	2,1	14,6	0,9985
	E_{max}	0,62	0,58	2,8	0,76	0,52	259,0	0,025	4,0	1,4	12,8	0,9987
	λ_{min}	0,65	0,6	2,7	0,81	0,47	262,0	0,018	5,5	2,0	12,5	0,9988

Рассмотренные и проанализированные режимы наибольшего холодильного коэффициента E_{max} и наименьшей величины отказов λ_{min} для max при прочих равных условиях позволяет в зависимости от перепада температур уменьшить: величину рабочего тока I , интенсивность отказов λ_{Σ} , а, следовательно, увеличивает вероятность безотказной работы P .

Интенсивность отказов увеличивается для всех режимов и при $\Delta T \rightarrow \Delta T_{max}$ и достигает максимальных значений.



- 1 – режим $Q_{0 max}$
 2 – режим E_{max} ;
 3 – режим λ_{min} .

Рисунок 4 – Залежності відносної величини $\frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_{0max}}$ від перепаду температур ΔT двохкаскадного ТЭУ для різних режимів роботи λ_{min} , E_{max} , Q_{0max} для $T=300 K$ при $Q_0 = 0,1Вт$ $n_1/n_2=0,5$, $n_1=9$

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сравнительный анализ расчетных данных основных параметров для двухкаскадного ТЭУ заданной конструкции показывает

двухкаскадного ТЭУ заданной конструкции $n_1/n_2 = const$ по сравнению с режимом Q_0

возможность выбора токовых режимов функционирования (E_{max} , λ_{min}), позволяющих значительно улучшить показатели надежности по сравнению с режимом Q_{0max} . Так, при $\Delta T = 70 K$; $T = 300 K$, $Q_0 = 0,1Вт$, $n_1/n_2 = 0,5$ в режиме E_{max} по сравнению с режимом Q_{0max} интенсивность отказов можно уменьшить приблизительно в два раза, а в режиме λ_{min} – почти в семь раз.

Реализация предложенных надежность-ориентированных моделей, реализованных в подсистеме САПР, обеспечила возможность проектирования двухкаскадных термоэлектрических устройств, обеспечивающих в зависимости от выбранного режима повышение надежности двухкаскадных термоэлектрических устройств более чем в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Соммервилл, И.** Инженерия программного обеспечения [Текст] / И. Соммервилл. – М.: Вильямс, 2002. – 624 с.
2. **Зайков, В.П.** Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств [Текст] Книга 1. Однокаскадные устройства / В.П. Зайков, Л.А. Киншова, В.Ф. Моисеев – Одесса: Политехперіодика, 2009. – 118с.
3. **Ямпурин, Н.П.** Основы надежности электронных средств [Текст] / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова. – М.: Академия, 2010. – 240 с.
4. **Зайков, В.П.** Прогнозирование показателей надежности информационных систем с термоэлектрическими устройствами [Текст] / В. П. Зайков, В. И. Мещеряков, А.А. Гнатовская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Прикладные информационные технологии. 2/10 (50) – Харьков: Технологический центр, 2011. – С.37 – 43.
5. **Гнатовская, А.А.** Обеспечение наименьшей интенсивности отказов термоэлектрического устройства заданной конструкции / А.А. Гнатовская, В.П. Зайков, В.И. Мещеряков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», – 2011. – № 23. – С. 76 – 86.
6. **Зайков, В.П.** Прогнозирование показателей надежности двухкаскадных термоэлектрических охлаждающих устройств различных конструкций в режиме Q_{0max} [Текст] / В. П. Зайков, Л. А. Киншова, Л. Д. Казанжи, Л. Ф. Храмова // Журнал ТКЭА, – 2009. – Т 82, № . – С.34 – 37.

A.A. Gnatovskaya¹, T.B. Vokhmentseva², L.B. Kovalenko¹, S.D. Kuznichenko¹

¹Odessa state environmental University, Str. Lvovskaya.15, Odessa, 65016, Ukraine

²Odessa National Academy of Food Technologies, Str. Kanatnaya 112, Odessa, 65039, Ukraine

TWO-CASCADE THERMOELECTRIC DEVICE RELIABLE-ORIENTED DESIGN IN CAD OF CRITICAL SYSTEMS

The paper deals with the design of thermally loaded vehicles with two-stage thermoelectric cooling devices in CAD critical systems. In the design of thermoelectric cooling devices thermally loaded elements that are part of the critical information systems, an integral characteristic is reliability. The fundamental approach to ensure the reliability is the parametric method, because the failure rate of the components are naturally included in the resulting intensity of a system failure. The importance of the parametric approach for the design of reliable information systems and its constituent components predetermines considerable attention to the development of computer-aided design in this direction. Research is aimed at solving problems of increasing the reliability of thermal loaded funds with cascade thermoelectric cooling devices that occur in CAD of critical information systems in a wide range of thermal loads, are relevant. Application of cascade thermoelectric cooling devices provides the highest reliability in comparison with other types of coolers. Quantitative estimation of reliability indices is crucial in the early stages of design and development tools of thermal-critical systems. The implementation of a subsystem CAD parametric models of the relationship of reliability and the basic parameters of a two-stage thermoelectric cooling device based on the selected mode of operation are proposed. Using this model allows to carry out reliability-oriented design of a two-stage thermoelectric cooling device in CAD critical systems. CAD subsystem provides quantitative estimation of the failure rate and probability of failure of the two-stage thermoelectric cooling devices at the design stage in accordance with the specifications. When designing the thermal-funds, proposed by CAD, calculated parameters of two-stage thermoelectric cooling devices provide the minimum failure rate, which is the determining criterion. Comparative analysis of calculated data for the basic parameters of a two-stage thermoelectric device of specified design shows a choice of current modes of functioning, capable of predicting and significantly improve the performance of the failure rate and the probability of failure-free operation.

Keywords: Reliability-oriented design – Thermoelectric devices – Reliability – Critical Information Systems – Heat-loaded elements.

REFERENCES

1. **Sommervill, I.** 2002. Inzheneriya programmogo obespecheniya [Tekst] / I. Sommervill. – M.: Vilyams, – 624 s.
2. **Zajkov, V.H.** 2009. Prognozirovanie pokazatelej nadezhnosti termoelektricheskix oxlazhdayushhix ustrojstv [tekst] Kniga 1. Odnokaskadnye ustrojstva / V.P. Zajkov, L.A. Kinshova, V.F. Moiseev – Odessa: Politexperiodika, – 118 s.
3. **Yampurin, N.P.** 2010. Osnovy nadezhnosti elektronnyx sredstv [Tekst] / N. P. Yampurin, A. V. Baranova. – M.: Akademiya, – 240 s.
4. **Zajkov, V.P.** 2011. Prognozirovanie pokazatelej nadezhnosti informacionnyx sistem s termoelektricheskimi ustrojstvami [Tekst] / V. P. Zajkov, V. I. Meshheryakov, A.A. Gnatovskaya // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyx tehnologij. Prikladnye informacionnye tehnologi. 2/10 (50) – Xarkov: Texnologicheskij centr, – S.37 – 43.
5. **Gnatovskaya, A.A.** 2011. Obespechenie naimenshej intensivnosti otkazov termoelektricheskogo ustrojstva zadanoj konstrukcii / A.A. Gnatovskaya, V.P. Zajkov, V.I. Meshheryakov // Visnik Nacionalnogo texnichnogo universitetu «XPI». Zbirnik naukovix prac. Tematichnij vipusk: Novi rishennya v suchasnix tehnologiyax. – Xarkiv : NTU «XPI», — № 23. – S. 76 – 86.
6. **Zajkov, V.P.** 2009. Prognozirovanie pokazatelej nadezhnosti dvuxkaskadnyx termoelektricheskix oxlazhdayushhix ustrojstv razlichnyx konstrukcij v rezhime Qomax [Tekst] / V. P. Zajkov, L. A. Kinshova, L. D. Kazanzhi, L. F. Xramova // Zhurnal TKEA, — T 82, № . – S.34 – 37.

Отримана в редакції 15.01.2015, прийнята до друку 03.03.2015