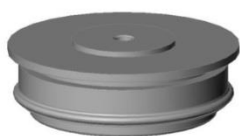


7. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics// Journal of Engineering Thermophysics. 2009. T. 18. № 2. С. 162-167.

УДК 681.2

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИОДА ТИПА Д123-500 В ТАБЛЕТОЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Курмангалиев Р.Х., Кравченко Е.В., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: rinat_real@rambler.ru, kevatp@tpu.ru



*Рис.1 Низкочастотный
диод типа Д123-500 в
таблеточном исполнении*

Диод Д123-500 таблеточного исполнения предназначен для применения в цепях постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц различных силовых установок.

Основные особенности:

1. Герметичные металлокерамические корпуса;
2. Прижимные внутренние контактные соединения, обеспечивающие высокую стойкость к циклическим нагрузкам;
3. Диоды поставляются прямой и обратной полярности.

Модель низкочастотного диода типа Д123-500 представлена на рис.1.

Области применения:

1. В транспортных средствах;
2. Неуправляемые и полуправляемые выпрямительные мосты;
3. Сварка;
4. Гальваника.

Цель настоящей работы – анализ интенсивностей отказов силового полупроводникового прибора (СПП) на основе численного моделирования нестационарных неоднородных полей температур при наличии источника тепловыделения в условиях естественной конвекции в диапазоне рабочих температур окружающей среды.

Анализ теплового режима работы прибора

Анализ теплового режима низкочастотного диода Д123-500 проводился в одномерной постановке. Температура перехода принималась $T_{пер}=190^{\circ}\text{C}$. Геометрия области решения представлена на рис.2.

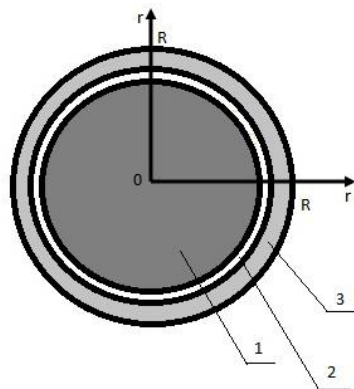


Рис. 2. Геометрия области решения (1,2,3 – области с различными теплофизическими характеристиками).

Математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2}, 0 < r < R_1 \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2}, R_1 < r < R_2; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2}, R_2 < r < R_3 \end{cases} \quad (1)$$

Начальные и граничные условия запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} t = 0 : T &= T_0, 0 \leq r \leq R; \\ r = 0 : \frac{\partial T}{\partial r} &= 0, t > 0; \\ r = R : T &= T_h, t > 0; \\ T_1(t, R_1) &= T_2(t, R_1), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R_1} &= -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=R_1}, \\ T_2(t, R_2) &= T_3(t, R_2), \\ -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=R_2} &= -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} \Big|_{r=R_2} \end{aligned} \quad (2)$$

Проведено численное моделирование температурного поля в неоднородной круглой пластине с размерами по оси x равными R_1, R_2, R_3 .

Таблица 1.-Теплофизические свойства материалов (пластины)

Материал	λ , Вт/м*К	C , кДж/кг*К	ρ , кг/м3
Кремний	149	714	2330
Алюминий	210	903	2700
Керамика	1,8	680	1800

Предполагалось, что модель (пластина) включает области с отличающимися теплофизическими характеристиками (табл.1). В области радиусом R_1 (рис.2) происходил нагрев материала. На границе $r=R$ рассматривались граничные условия первого рода, в месте контакта 1 и 2 среды, а также 2 и 3 среды рассматривались условия 4 рода. [1].

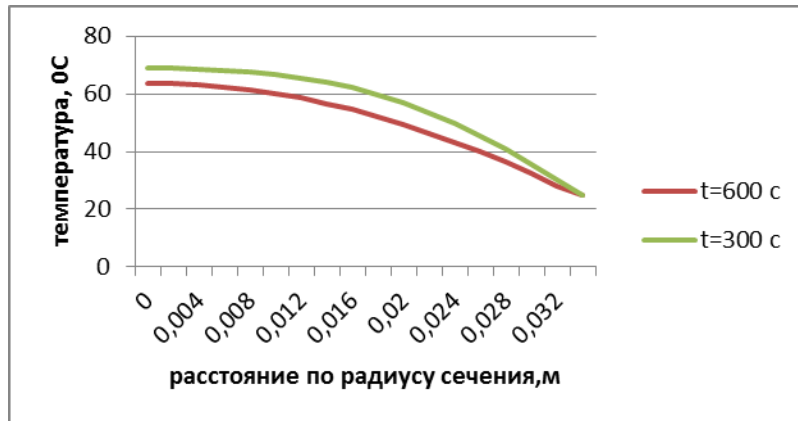


Рис.3. Распределение температуры по радиусу сечения.

Основные допущения, используемые при постановке задачи:

1. Теплофизические характеристики материалов не зависят от температуры;
2. Тепловой контакт на границах между областями (1,2) и (2,3) считается идеальным.

Характерное распределение температуры моделируемого объекта (диода) при температуре окружающей среды $T=25^{\circ}\text{C}$ в момент времени $t_1=300\text{с}$ $t_2=600\text{с}$ показан на рис.3[2]

Постановка задачи прогнозирования показателей надежности СПП. Для анализа показателей надежности диодного модуля выбраны математические модели – Аррениуса и мультипликативная модель [3].

Мультипликативная математическая модель оценки надежности диодного модуля :

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\text{б.с.г.}} \cdot K_p \cdot K_{\text{дн}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{s1} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\Sigma}, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{б.с.г.}}$ – базовая интенсивность отказов силового прибора; K_p – коэффициент режима, зависящий от электрической нагрузки и температуры; $K_{\text{дн}}$ – значение коэффициента $K_{\text{дн}}$ в зависимости от максимально допустимой, установленной в ТУ, электрической нагрузки; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент функциональной специфики режима работы прибора; K_{s1} – значения коэффициента K_{s1} в зависимости от величины рабочего напряжения относительно максимально допустимого по ТУ; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент уровня качества прибора; K_{Σ} – коэффициент жесткости условий эксплуатации.

Модель Аррениуса для оценки надежности диодного модуля:

$$\lambda_A(T) = C \cdot \exp\left(\frac{-E}{kT}\right), \quad (4)$$

где C – константа, E – энергия активации, k – постоянная Больцмана.

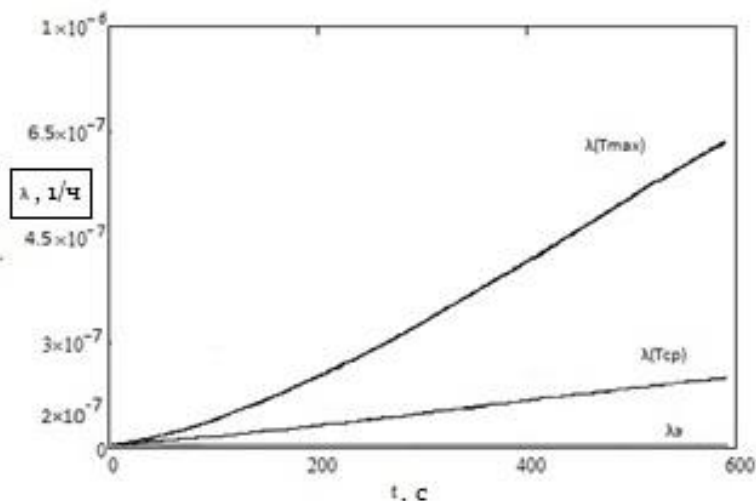


Рис. 4. Интенсивность отказов СПП при температуре окружающей среды $T=25^{\circ}\text{C}$, $t=600\text{с}$. ($\lambda\lambda$ – мультипликативная модель (3); $\lambda(T_{cp})$ – модель Аррениуса (при T_{cp}); $\lambda(T_{max})$ – модель Аррениуса (при T_{max})).

Результаты численного моделирования показателей надежности (интенсивности отказов) СПП приведены на рис. 5. Поведение функции интенсивности отказов $\lambda(t)$ свидетельствует не только о значительных различиях в оценках надежности по моделям (3) и (4), но и о высокой степени зависимости прогностической модели Аррениуса (кривые $\lambda(T_{max})$ и $\lambda(T_{cp})$ на рис.4) от расчетной (принимаемой) температуры.

Численные значения $\lambda_A(T_{\text{макс}})$, рассчитанные по модели Аррениуса (4), в 4,5 раза выше полученных по мультипликативной модели (3) для времени работы 600 с и температуры окружающей среды 25°C . Отношение интенсивностей отказов по модели Аррениуса $\lambda_A(T_{\text{макс}})$ и $\lambda_A(T_{cp})$ составило 2 при прочих равных условиях.

Заключение. Использование мультипликативной модели (3) в оценках интенсивности отказов СПП приводит к значительному завышению эксплуатационного ресурса приборов ($\lambda\lambda = 1.447 \cdot 10^{-7}, 1/\text{ч}$) [4].

Прогнозирование показателей надежности СПП необходимо проводить на основании анализа реального нестационарного неоднородного теплового режима прибора.

Список литературы:

1. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
2. Кузнецов Г.В., Кравченко Е.В. Анализ деструкции полимерного материала изделий электронной техники в условиях пространственной неоднородности температурных полей // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. №3. С. 4-12

3. Справочник «Надежность электрорадиоизделий» / Под.ред. Прытков С.Ф., Горбачев В.М.
4. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

УДК 62-404.1

**КОМПЛЕКС ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА
НА БАЗЕ ГРС-4 НОВОСВЕРДЛОВСКОЙ ТЭЦ**

Лебедев М.С., магистр, Лебедев А.С., аспирант
Уральский Федеральный университет, Екатеринбург
E-mail: borez1992@mail.ru

Сжиженный природный газ (СПГ) - криогенная жидкость с содержанием метана не менее 86% и температурой кипения от -162°C , при регазификации которой из 1 м^3 получают около 600 м^3 газа при нормальных условиях (760 мм рт.ст., 0°C). СПГ нетоксичен, хранится при небольшом избыточном давлении в емкостях с теплоизоляцией.

Сжиженный газ, в отличие от природного газа в «чистом виде», имеет следующие преимущества:

1. Сжижение природного газа увеличивает его плотность в 600 раз, что сокращает объем при транспортировке и хранении.
2. Появляется возможность создания запасов и их использования по мере необходимости.
3. Возможность транспортировки на большие расстояния.

Целью данной работы является анализ технологического процесса установки для производства сжиженного природного газа на базе ГРС-4, выявление преимуществ и недостатков производства.

Исследование проводилось на Комплексе СПГ Управления «Уралавтогаз» ОАО «Газпром трансгаз Екатеринбург». На этом Комплексе сжиженный газ производится за счет перепада давления на ГРС-4 (газораспределительная станция) с понижением давления газа от 35 до 6 кгс/см², проходя по турбодетандерному циклу среднего давления [1]. Природный газ с давлением 35 кгс/см² поступает на блок осушки, сжимается в турбокомпрессоре (на одном валу с турбодетандером) до 41 кгс/см², охлаждается в охладителе природного газа и разделяется на ожижаемый (13,5%) и детандерный (86,5%) потоки. Ожижаемый поток приходит через блок очистки, и, далее, оба потока проходят через предварительный и основной теплообменники. В результате расширения в турбодетандере температура газа понижается до -115°C . Поскольку этого понижения температуры недостаточно для ожижения газа, дополнительно произво-