

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ
АКТИВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
РАСХОДОВАНИЯ РЕСУРСА
ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ РЭА

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАСХОДОВАНИЯ
РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РЭА

У т в е р ж д е н о
редакционно-издатель-
ским советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторным работам

Куйбышев 1987

УДК 621.382

Представлены основополагающие представления теории "Физической надежности". Рассмотрена термоактивационная модель расходования ресурса элементов конструкций с точки зрения ухудшения их функционального качества. Приведены методика проведения моделирующих ресурсных испытаний и алгоритмы определения параметров модели расходования ресурса.

Рецензент: канд.техн.наук, доцент В.Д.Д м и т р и е в

Составитель Ашот Геворкович С а в о я в

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
РАСХОДОВАНИЯ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РЭА

Редактор Л.В.З а х а р д я е в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Т.И.Л а й к и н а

Подписано в печать 20.05.87 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,85. Т. 300 экз.
Заказ 330. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Уч-к оперативной полиграфии КуАИ, г. Куйбышев,
ул. Ульяновская, 18.

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с основополагающими физическими представлениями активационных механизмов деградации элементов конструкции РЭА;

изучение модели расходования ресурса элементов конструкции РЭА;

определение параметров модели расходования ресурса по результатам ограниченной выборки, полученной в ходе экспериментальных исследований элементов конструкции РЭА;

моделирование ресурсных испытаний элементов конструкции РЭА с помощью методов вычислительной техники;

установление основных закономерностей влияния возмущающих факторов на функциональные параметры элементов конструкции РЭА;

приобретение навыков использования ЭВМ в инженерной практике по специальности 0705.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основополагающие физические представления

активационных механизмов деградации физико-химических структур

Настоящая работа ставит своей целью изучение вопроса надежности и долговечности РЭА для случая непрерывного отказа.

Проблема надежности непосредственно перекликается с понятием "устойчивости" физических систем (I). Действительно, любое конкретное техническое устройство, реализующее определенное функциональное качество, представляет собой, с формальной точки зрения, физическую систему, характеризуемую параметрами сугубо физического плана. Очевидно, что сохранение устройством начального функционального качества зависит от интенсивности физико-химических процессов, протекающих в процессе эксплуатации РЭА. Центральным моментом настоящего рассмотрения является утверждение: потеря функционального качества РЭА является результатом последовательного накопления в элементах конструкций РЭА нарушений на атомном уровне (элементарные процессы).

К элементарным атомным процессам следует отнести диффузию, образование дислокаций, миграцию дислокаций, химические превращения, структурные изменения. Общим для всех перечисленных процессов является их активационный характер (2). Вкратце суть активационного характера элементарных атомных процессов можно изложить на основании модельного представления.

Пусть система (атомная) может находиться в двух состояниях A и B . Переход из состояния A в состояние B может иметь место в том случае, когда атом имеет энергию, превосходящую некоторое пороговое значение W . Величина W получила название "энергии активации элементарного атомного процесса". Таким образом, исследование надежности РЭА сводится к рассмотрению вопроса интенсивности элементарных атомных процессов при заданном значении W .

Методы статистической физики позволяют установить количество атомов, имеющих энергию, превосходящую некоторое наперед заданное значение W :

$$N_W = N_0 \exp(-W/kT), \quad (1)$$

где N_W - количество молекул (атомов), имеющих энергию большую W , а следовательно, способных реализовать элементарный атомный процесс;

N_0 - полное количество атомов;

W - энергия активации элементарного атомного процесса;

k - постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура.

В выражении (1) в качестве возмущающего фактора выступает температура. Учет других возмущающих факторов устанавливается в виде уменьшения начальной энергии активации W (3):

$$W_\Sigma = W + \sum_i P_i Q_i, \quad (2)$$

где W_Σ - энергия активации с учетом совокупного влияния всех возмущающих факторов;

P_i - интенсивность возмущающего фактора - i -го типа;

Q_i - чувствительность системы к возмущающему фактору i -го типа.

В настоящей работе рассматривается простейший случай: $i = 1$.

Описание модели расходования ресурса

Использование вышеисложенных представлений позволяет выразить относительное изменение функционального параметра $\Delta S/S_0$ в виде (1)

$$\Delta S/S_0 = B t \exp\{-(W+PQ)/kT\}, \quad (3)$$

где S - значение функционального параметра после продолжительности функционирования t ;

S_0 - начальное значение функционального параметра;

t - продолжительность эксплуатации.

B - константа.

Выражение (3) может быть использовано для оценки ресурса элементов конструкций РЗА. Следует отметить область определения модели. Поскольку при выводе выражения (3) использовано первое приближение при разложении функции S в степенной ряд по параметру t , то область определения модели выражается условием $\Delta S/S \ll 1$.

Методика определения параметров модели в ходе ведения ресурса

Согласно выражению (3) параметрами модели, характеризующей функциональным параметром S , являются W , Q , B .

Следовательно, для их определения необходима постановка трех независимых экспериментов:

Эксперимент 1

$$\frac{S_2 - S_1}{S_1} = B(t_2 - t_1) \exp\{-(W + P_1 Q)/kT_1\}, \quad (4)$$

где S_i - значение параметра S в момент времени t_i ;

P_1, T_1 - параметры эксперимента.

Эксперимент 2

$$\frac{S_3 - S_2}{S_2} = B(t_3 - t_2) \exp\{-(W + P_2 Q)/kT_1\}, \quad (5)$$

где P_2, T_1 - параметры эксперимента.

Эксперимент 3

$$\frac{S_4 - S_3}{S_3} = B(t_4 - t_3) \exp\{-(W + P_1 Q)/kT_2\}, \quad (6)$$

где P_1, T_2 - параметры эксперимента.

На основании выражений (4) - (6) находим:

$$Q = \frac{kT_1}{P_2 - P_1} \ln \left\{ \frac{(S_2 - S_1)S_2(t_3 - t_2)}{(S_3 - S_2)S_1(t_2 - t_1)} \right\}; \quad (7)$$

$$W = k \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \ln \left\{ \frac{(S_4 - S_3)S_1(t_2 - t_1)}{(S_2 - S_1)S_3(t_4 - t_3)} \right\}; \quad (8)$$

$$B = \frac{S_4 - S_3}{S_3(t_4 - t_3)} \exp\{-(W + P_1 Q)/kT_2\}. \quad (9)$$

Алгоритм определения параметров модели $\{Q, W, B\}$ представлен в приложении I.

Моделирование ресурсных испытаний элементов конструкций РЭА с помощью методов вычислительной техники

В данном случае решается обратная задача: по известным значениям параметров Q , W , B определяются значения $S(P_i, t_j)$ - значения параметра $\Delta S/S_0$ для совокупности параметров P_i и t_j . В качестве начальных значений приняты $P_1 = 0$, $t_1 = 0$. Далее эти параметры (с целью облегчения применения машинных методов обработки результатов вычислений) возрастают с шагом $\Delta P = 5$ и $\Delta t = 10$.

Алгоритм расчета относительных изменений функционального параметра представлен в приложении I (этап № 2). Результаты вычислений представляются в виде матрицы значений $\Delta S/S_0$ для дискретных значений пар параметров $\{P_i, t_j\}$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Общие указания

Предлагается три варианта выполнения лабораторной работы.

В а р и а н т 1. Исходные данные, необходимые для определения параметров модели $\{Q, W, B\}$, определяются экспериментально в ходе выполнения работы.

В а р и а н т 2. Исходные данные выдаются преподавателем перед выполнением работы.

В а р и а н т 3. Студент сам "конструирует" исходные данные, исходя из имеющихся аналитических выражений, определяющих параметры модели $\{Q, W, B\}$. (Во всех рассмотренных случаях необходимо произвести оценку области определения модели расходования ресурса).

Запись исходных данных производится в виде:

$S_1 =$	$S_2 =$	$S_3 =$	$S_4 =$
$t_1 =$	$t_2 =$	$t_3 =$	$t_4 =$
$T_1 =$	$T_2 =$		
$P_1 =$	$P_2 =$		
$\Delta P =$	$\Delta t =$		

Порядок выполнения работы

П о р я д о к выполнения работы предусматривает:

определение (получение у преподавателя) исходных данных, необходимых для вычисления параметров модели;

вычисление параметров модели $\{Q, W, B\}$;

моделирование ресурсных испытаний элемента конструкции РЭА с помощью ЭВМ;

оформление результатов работы в виде технического отчета.

О т ч е т по работе должен содержать:

аналитическое описание модели расходования ресурса;

исходные данные, необходимые для расчета параметров модели;

методику экспериментального определения исходных данных (для варианта № I);

параметры модели расходования ресурса с выводом и рекомендациями относительно априорной устойчивости элемента конструкции РЭА;

результаты моделирующих ресурсных испытаний;

машинную распечатку алгоритма и результатов анализа ресурса.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. В чем состоит физическая сущность понятия "энергия активации элементарных атомных процессов"?

2. Как можно объяснить универсальность активационных моделей деградации физических систем?

3. Каким образом в рассматриваемой модели расходования ресурса производится учет комплексного влияния взмущающих факторов?

4. Чем определяются ограничения активационной модели расходования ресурса?

5. В каком смысле следует понимать требования о независимости экспериментальных исследований?

6. Позволяет ли рассматриваемая модель расходования ресурса сократить объем экспериментальных исследований объектов?

7. В чем состоят практические трудности использования рассмотренной модели расходования ресурса?

Библиографический список

1. С а н о я н А.Г. Физические основы надежности радиоматериалов. - КуАИ, 1977. - 28 с.
2. М е л а м е д о в Н.М. Физические основы надежности. - М.: Наука, 1973. - 217 с.
3. Физика сегодня и завтра /Сб.под ред. В.В.Т у ш к е в и ч а - М.: Наука, 1973. - 149 с.
4. Э м а н у э л ь Н.М., К н о р р е Д.К. Курс химической кинетики. - М.: Высшая школа, 1969. - 344 с.
5. Г е г у з и и Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах. - М.: Наука, 1970. - 97 с.
6. К о ф с т а д П. Отклонения от стехиометрии, диффузия и электропроводность в простых окислах металлов. - М.: Мир, 1975. - 457 с.
7. С е м е н о в И.Н., Б о г д а н о в Р.В. Энергия и химический процесс. - М.: Химия, 1973. - 29 с.
8. Т а г е р А.А. Физико-химия полимеров. - М.: Химия, 1968. - 349 с.
9. Р е г е л ь А.И., С л у ц к е р Э.Е. Кинетическая теория прочности твердых тел. - М.: Наука, 1978. - 497 с.

Алгоритмы вычисления параметров модели расходования ресурса и моделирование ресурсных испытаний с помощью БЭМ

```

//PRISM JOB I2345 'SINOJAN' /F SGL/V.L.B=(2,0)
//DATA FOLG.PAR.LKED=N/NOALY
C КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ОБЪЕКТОВ РЕСУРСА
C АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЪЕМНОЕ МОДЕЛИ
S(0)=(S-S(0))/S(0)=D*V*EXP(-W*P*O)/A*(1-T)
T(0)=
S(0) - НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА СИСТЕМЫ
S-ТЕКУЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА СИСТЕМЫ
B-КОНСТАНТА
W-ЭНЕРГИЯ АКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ СРЕДНЕЕ ПО ПАРАМЕТРУ 'S'(ЭЛЕКТРОНОВ)
P-ИНТЕНСИВНОСТЬ ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
O-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРА 'S' К ФАКТОРУ 'P'
AK-ПОСТОЯННАЯ БОЛЬШАЯ (ЦЕНТРОСИМЕТРИЯ)
T-АКСИОМЕТРИЯ ТЕМПЕРАТУРА (GRAD K)
TV-ДЕЛЕНИЕ ЧИСЛОВАТЫХ СИСТЕМ
ЭТАП I 'ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТОД: B,W,O'
+++++ИСПОЛЗУЮТСЯ РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕХ НЕЗАВИСИМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ИСПОЛЗУЕМЕ ЛАТЕНС ЭКСПЕРИМЕНТОВ:
ЭКСПЕРИМЕНТ 1 S(2) S(1) TV(2) TV(1) P(1) T(1)
ЭКСПЕРИМЕНТ 2 S(3) S(2) TV(3) TV(3) P(1) T(1)
ЭКСПЕРИМЕНТ 3 S(4) S(3) TV(4) TV(4) P(1) T(1)
T(0)=S(1) ЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА 'S' В МОМЕНТ ВРЕМЕНИ 'TV(I)'
ПРИМЕЧАНИЕ: В СТРОКЕ 3 ИСПОЛЬЗОВАНЫ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
(S-S(0))/S(0)=(S(I+1)-S(I))/S(I)
TV=TV(I+1)-TV(I)
DIMENSION S(4),TV(4),T(2),P(2),SM(7,7),TB(7),PB(7)
AK=8.6E-05
S(1)-ИСХОДНЫЙ ПАРАМЕТР
TV(1)-ТЕКУЩЕЕ ВРЕМЯ
T(1)-ТЕМПЕРАТУРА
P(1)-ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗМУЩАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
NAME LIST/PAR/S,TV,T,P,DTR,PB

```

```

READ(5,PAR)
S2=S(2)-S(1)
S3=S(3)-S(2)
S4=S(4)-S(3)
TV2=TV(2)-TV(1)
TV3=TV(3)-TV(2)
TV4=V(4)-TV(3)
P2=P(2)-P(1)
T2=T(2)-T(1)
Q=AK*T(1)*ALOG(S2*TV3*S2)/(S3*TV2*S(1))/P2
W=AK*T(1)*T(2)*ALOG(S4*S(1)*TV2/(S2*S(3)*TV4))/T2-P(1)*Q
P=S4*EXP((W+P(1)*Q)/(AK*T(2)))/(S(3)*TV4)
PRINT 2
2 FORMAT(//SX, ПЕЧАТЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЭКСПИМЕНТОВ )
PRINT 3, S(1), I=1,4)
3 FORMAT(//SX, S(I) = ,4F10.3)
PRINT 4, (TV(I), I=1,4)
4 FORMAT(//SX, TV(I) = ,4F10.3)
PRINT 5, (T(I), I=1,2)
5 FORMAT(//SX, T(I) = ,2F10.3)
PRINT 6, (P(I), I=1,2)
6 FORMAT(//SX, P(I) = ,2F10.3)
PRINT 21, S2, S3, S4
21 FORMAT(//SX, S2 = ,E12.5,3X, S3 = ,E12.5,3X, S4 = ,E12.5)
PRINT 22, TV2, TV3, TV4
22 FORMAT(//SX, TV2 = ,E12.5,3X, TV3 = ,E12.5,3X, TV4 = ,E12.5)
PRINT 23, P2, T2
23 FORMAT(//SX, P2 = ,E12.5,5X, T2 = ,E12.5)
PRINT 7
7 FORMAT(//SX, ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ')
PRINT 8, Q, W, B
8 FORMAT(//SX, Q = ,E12.4,3X, W = ,E12.4,3X, B = ,E12.4)
ЭТАП 2, ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСХОДА ЭНЕРГИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ В.М.О.
+
```

```

C      ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: ОПРЕДЕЛИТЬ  $SM(K, M) = (S - S(0)) / S(0)$ 
C      В ДАННОЙ СИСТЕМЕ: TV=TB, F=PB
C      НАРЯДЫ ТН И РВ ДОБАВЛЯЮТ С ШАГОМ DTV И DPB ОТ ПЕРВОГО ЗНАЧЕНИЯ
C      КОМПАКТНО ШАГОМ: K=M=7
DO 10 K=1,7
TB(K)=0.+(K-1)*DTV
10 PB(K)=0.+(K-1)*DPB
DO 11 K=1,7
DO 12 I=1,7
SM(K,I)=B*TB(K)*EXP(-(M+PB(M)*O)/(AK*T(I)))
12 CONTINUE
11 CONTINUE
PRINT 20,DTV,DPB
20 FORMAT(//SX,DTB=,E12.4,8X,DPB=,E12.4)
PRINT 13,(TB(K),K=1,7)
PRINT 14,(PB(K),K=1,7)
PRINT 15,(SM(K,I),I=1,7),K=1,7
13 FORMAT(//10X,TB(K)=,7F5.0)
14 FORMAT(//10X,PB(K)=,7F5.0)
15 FORMAT(//10X,НАТЯЖА SM(K,M)/(10X,7E10.3))
НО ПОТРЕБИТЕЛЬ-ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ
НО ВЕЩНО-МАТЕРИАЛЬНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
STOP
END

```

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Краткие теоретические сведения.....	3
Основополагающие физические представления активационных механизмов деградации физико- химических структур.....	3
Описание модели расходования ресурса.....	4
Методика определения параметров модели рас- ходования ресурса.....	5
Моделирование ресурсных испытаний элементов конструкций РЭА с помощью методов вычисли- тельной техники.....	6
Методические указания по выполнению работы.....	6
Общие указания.....	6
Порядок выполнения работы.....	7
Вопросы к коллоквиуму.....	7
Библиографический список.....	8
П р и л о ж е н и е. Алгоритм вычисления парамет- ров модели расходования ресурса и моделиро- вания ресурсных испытаний с помощью ЭВМ.....	9