

Задаваясь требуемой наработкой на отказ зерноуборочного комплекса КЗР-10 "Полесье-Ротор" $T_{90}=80$ моточасов и универсального энергетического средства УЭС-2А-250А $T_{90}=150$ моточасов, используя метод весовых коэффициентов, принятых по аналогии с данными нормирования надежности агрегатов зерноуборочного комбайна "Дон- 1500", получим величины 90 % наработки на отказ отдельных агрегатов зерноуборочного комплекса. Результаты нормирования надежности с использованием различных методов и законов распределения приведены в таблице и показаны на рисунке.

Распределение	Наработка на отказ $T_{90\%}$ час		
	Экспоненциальное	Вейбулла	
Метод нормирования	Равномерный	Весовых коэффициентов	
УЭС 2А-250А "Полесье"	150	150	150
Молотильно-сепарирующее устройство	685	390	120
Система транспортировки зернового вороха	685	1630	520
Прицепной очиститель-накопитель	685	1630	520
Жатка зерновая	685	490	160
Зерноуборочный комплекс "КЗР-10"	80	80	80

Изложенная методика применима для нормирования надежности элементов любой сложной технической системы при последовательном соединении агрегатов и независимости их отказов. Метод учета зависимостей между отказами отдельных элементов изложен в [2].

Литература. 1. Переверзев Е.С., Даниев Ю.Ф. Испытания и надежность технических систем. Днепропетровск: НАН, НКА Украины, Институт технической механики, 1999. - 223с. ISBN 5-217-00033-3. 2. Солитерман Ю.Л. . Прогнозирование надежности деталей и агрегатов трансмиссий. - В кн. «Надежность и безопасность технических систем» Тез. докл. Международн. Научно- техн. конф. Минск.1997.С.66-69

Существенного повышения эффективности нормирования надежности можно достичь путем использования доступной информации о фактической надежности отдельных подсистем и элементов, как эксплуатирующихся систем-аналогов, так и опытных образцов разрабатываемых систем.

Основными видами распределений, наиболее часто применяемых при анализе надежности сложных технических систем являются:

- Экспоненциальное;
- Нормальное;
- Логарифмически нормальное;
- Вейбулла.

При априорном нормировании надежности сложных технических систем наибольшее распространение получило экспоненциальное распределение. С одной стороны, при значительном числе элементов распределение надежности сложной технической системы приближается к экспоненциальному закону. С другой стороны, при экспоненциальном распределении выполнение нормирования надежности подсистем и элементов существенно упрощается. Хотя применение экспоненциального распределения по сравнению с другими распределениями дает завышенные требования к надежности подсистем. Так, например, по данным [1], в случае экспоненциального распределения вероятность безотказной работы составляет около 75% значения вероятности безотказной работы при нормальном распределении при одинаковых значениях средней наработки на отказ. Следовательно, можно полагать, что нормирование надежности с применением экспоненциального распределения определяет верхний предел требований к надежности отдельных подсистем. Тем не менее, по указанным выше причинам, экспоненциальное распределение широко применяется при нормировании надежности сложных технических систем в энергетике, электронике, судостроении и ряде других отраслей.

В качестве примера использования разработанных методов приведем полученные результаты нормирования надежности основных подсистем самоходного зерноуборочного комплекса КЗР-10 «Полесье-Ротор». Указанный комплекс представляет собой сложную самоходную машину с набором сменного рабочего оборудования и состоит из значительного числа деталей, объединенных в целый ряд систем и агрегатов. Надежность зерноуборочного комплекса определяется как надежностью отдельных систем и агрегатов, так и структурными связями между их функционированием. По аналогии с эксплуатационными данными наработки на отказ УЭС-2А-250А, являющегося основной машиной, на которой базируется комплекс, описываемого распределением Вейбулла, принято, что наработка на отказ остальных подсистем зерноуборочного комплекса также описывается распределением Вейбулла

$$R(t) = \exp(-\alpha t^\beta) \quad (5)$$

с параметрами $\alpha=0,000004$, $\beta=2,04$, полученными на основании обработки экспериментальных данных.

T_{90} - гамма-процентная ($\gamma=90\%$) наработка на отказ каждой из подсистем описывается из выражения:

$$T_\gamma = \left(-\frac{1}{\alpha} \ln \gamma\right)^{1/\beta}. \quad (6)$$

Для нормирования надежности системы, состоящей из n последовательно соединенных независимых подсистем используется выражение:

$$T_\gamma = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_{\gamma i}} \right)^\beta \right]^{-1/\beta} \quad (7)$$

При независимых отказах элементов левое неравенство выражения (2) превращается в строгое равенство. При полностью коррелированных отказах элементов правое неравенство выражения (2) превращается в строгое равенство.

Пусть $\lambda_i(t)$ - интенсивность отказов i -го элемента, а $\lambda_s(t)$ - интенсивность отказов системы. Тогда неравенство (1) может быть представлено в виде:

$$\lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t) \leq \lambda_s(t). \quad (3)$$

Для нормирования надежности системы могут быть использованы различные аналитические и статистические модели и методы. В частности, к ним относятся:

- Метод равномерного распределения надежности,
- Метод весовых коэффициентов,
- Метод минимизации затрат,
- Метод динамического программирования,
- Метод неопределенных множителей Лагранжа,
- Метод учета влияющих факторов,
- Метод Марковских сетей,
- Метод доминирующих последовательностей с ограничениями,
- Метод нормирования с учетом резервирования и доработок базовых элементов системы,
- Метод нормирования с учетом восстановления системы в процессе эксплуатации и ряд других.

При распределении требований к надежности между элементами системы необходимо учитывать следующие основные факторы: сложность структуры и длительность использования отдельных подсистем; достигнутый технический уровень надежности отдельных подсистем и их элементов; критичность отказов подсистем.

Нормирование надежности важнейших компонентов сложных технических систем следует осуществлять с учетом допустимого человеческого, экологического и экономического риска. При оценке допустимого человеческого риска необходимо учитывать вероятность отказа, его последствия, а также стоимость дополнительных мер по снижению вероятности его появления. Суммарный экономический риск, связанный с отказом системы, можно определить по формуле

$$S_R = \sum_{i=1}^n N_i (C_{1i} + C_{2i} T_i), \quad (4)$$

S_R - Стоимостное выражение суммарного риска;

n - Число элементов в системе;

N_i - Число отказов i -го элемента за анализируемый период;

C_{1i} - Стоимость ремонтных работ по восстановлению работоспособности или замены i -го элемента;

C_{2i} - Оценка убытков, связанных с вынужденным простоем системы в течение единицы времени;

T_i - Время простоя, связанное с восстановлением работоспособности или заменой i -го элемента.

Для решения задачи нормирования надежности сложной технической системы представляется необходимым построение графов системных моделей, своеобразных деревьев развития повреждений, приводящих к критическим отказам. Расчетный анализ разрабатываемых моделей позволяет предложить метод нормирования надежности отдельных компонентов сложных технических систем по данным установленных из условий не превышения максимально допустимого риска требований к надежности и безотказности системы в целом.

НАДЕЖНОСТЬ И РЕСУРСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН

12 декабря 2002 г., 9.00 – 18.00
1-й учебный корпус БНТУ
аудитория 202

Руководители секции:

Махутов Н.В. – д.т.н., профессор, член-корр РАН

Почтенный Е.К. – д.т.н., профессор

Капуста П.П. – к.т.н., доцент

Секретарь: **ЦарукФ.Ф.** – к.т.н., доцент

УДК 62.192:519.2

**О.В. Берестнев¹, Ю. Л. Солигерман¹,
А.М. Гоман¹, А.А. Дюжев²**

НОРМИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹⁾ *Институт надежности машин Национальной Академии наук, Минск, Беларусь,*
²⁾ *УП ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике, Гомель, Беларусь*

Нормирование надежности элементов сложных технических систем представляет задачу определения требований к их надежности, обеспечивающей установленные показатели надежности всей системы.

Распределение заданной надежности R_s между элементами системы требует решения неравенства:

$$f(R_1, R_2, R_3, \dots, R_n) \geq R_s, \quad (1)$$

где R_i - заданная вероятность безотказной работы i -го элемента,

f - функциональное соотношение между надежностью элементов и системы.

При наиболее распространенном в технике последовательном соединении элементов функция f подчиняется условию:

$$\prod_{i=1}^n R_i(t) \leq f \leq R_{min}(t). \quad (2)$$

где $R_{min}(t)$ - надежность лимитирующего элемента.

моделирование проводилось для первых 5000 секунд процесса охлаждения, а для объекта типа “патрубок” – для 6000 секунд.

На рис.2 представлены зависимости, описывающие динамику роста долей групп по каждому из моделируемых объектов с течением времени. Из таблицы 1 видно, что для модели типа “диск” выигрыш по времени составил порядка 40%, а для модели типа “патрубок” – 25%. Причем погрешность в обоих случаях составила немногим более 3 С°.

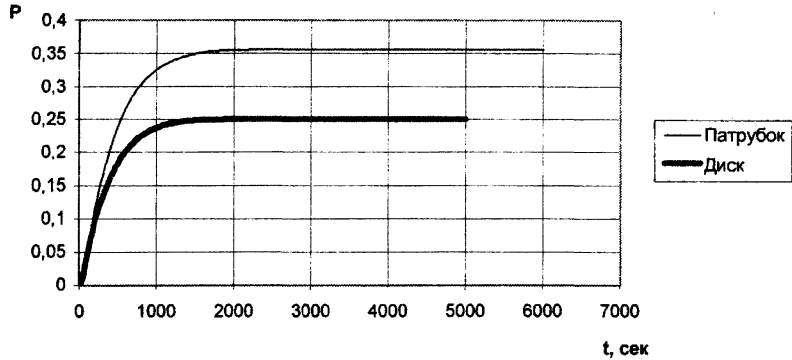


Рис. 2. Диаграмма роста долей групп подобия для объектов типа “диск” и “патрубок”
 Результаты численного моделирования промышленных объектов и их пространственные характеристики

Таблица 1

№	Объект	Число элементов	Время расчета τ , сек		Погрешность Q , С°
			Традиционный метод	Метод группирования	
1	ДИСК	248741	9396	5432	3,108
2	Патрубок	575156	22500	16833	3,13

Таким образом, представленные данные показали, что предложенный метод группирования для объектов со сложной пространственной конфигурацией, в применении его к тепловой задаче способен снизить временные затраты при моделировании. Данный метод может быть использован при расчетах деталей, проходящих термическую обработку в печи в течение длительного времени.

странственных объектов, состоящих из большого числа элементов при моделировании длительных процессов. В связи с этим затрудняется решение прикладных задач связанных с оптимизацией и управлением режимами нагрева. В данной работе предлагается подход, позволяющий существенно снизить временные затраты при расчете трехмерных тепловых задач по сравнению с классическим конечно-разностным подходом.

Целью настоящей работы является разработка нового метода, основанного на идее группирования температурно-временных функций элементов моделируемого объекта, уменьшающего время расчета процессов длящихся в большом временном промежутке.

В качестве математической модели использовалось трехмерное уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где c – теплопроводность,

ρ – плотность,

$\lambda(T)$ – теплоемкость,

x, y, z – координаты рассчитываемой области объекта и среды,

$T(x, y, z, \tau)$ – температура точки с координатами (x, y, z) в момент времени τ .

В процессе использования метода группирования вычислялась доля групп подобия P_k от общего числа элементов:

$$P_k = \frac{N_k}{M}, \quad (3)$$

где N_k – число обнаруженных групп на k -том такте расчета,

M – общее число элементов, участвующих в расчете.

При решении данной задачи была разработана программа для платформ Windows 9x/ME/NT/2000/XP. Программное обеспечение написано в среде быстрой разработки Delphi 6.0. Входными данными для программы являются теплофизические характеристики объекта, шаги по пространству и по времени. Данная программа использовалась при расчете промышленных отливок типа “диск” и “патрубок”. На рис. 1 представлены трехмерные изображения моделируемых объектов.

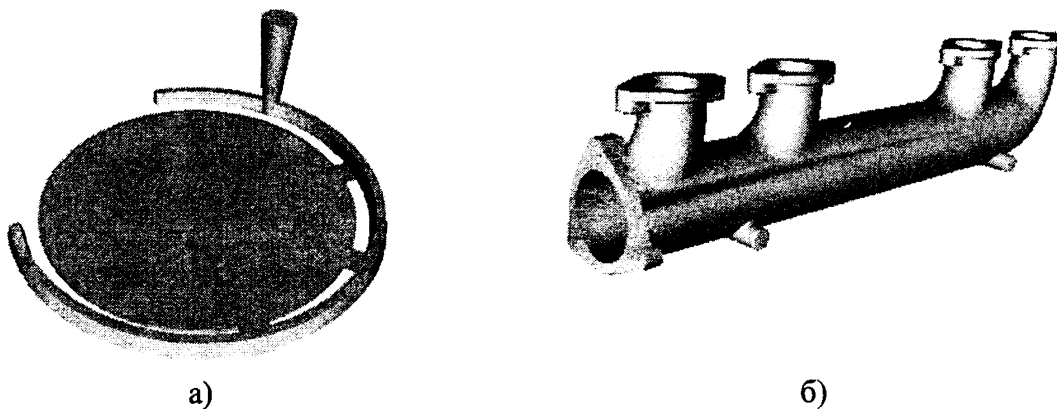


Рис.1. Пространственные изображения промышленных отливок типа а) “диск” и б) “патрубок”

Детали принимались изготовленными из алюминия, со следующими свойствами: теплоемкость, $\lambda = 40 \text{ Вт} \cdot (\text{м} \cdot \text{К})$, теплопроводность, $c = 838 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$, плотность $\rho = 2380 \text{ кг} / \text{м}^3$. Средой охлаждения была выбрана стальная форма со следующими характеристиками: $\lambda = 40 \text{ Вт} \cdot (\text{м} \cdot \text{К})$, $c = 524 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$, $\rho = 7600 \text{ кг} / \text{м}^3$. Начальная температура объектов $t_0 = 800 \text{ C}^\circ$, температура среды $t_c = 20 \text{ C}^\circ$. Для расчета использовался компьютер со следующей конфигурацией: P-IV – 1,5 Гц, 256 Мб ОЗУ. Для объекта типа “диск”

Рассмотрим результаты решения новой задачи с помощью электро моделирующего устройства.

Штамп с плоским основанием сложной формы в плане вдавливается в изотропное упругое полупространство под действием центрально приложенной силы P , рис. 4. Полагаем, что нагрузка вне штампа и силы трения между штампом и упругим полупространством отсутствуют. На рис. 5 показаны линии контактных давлений, где $\alpha = c/2a$.

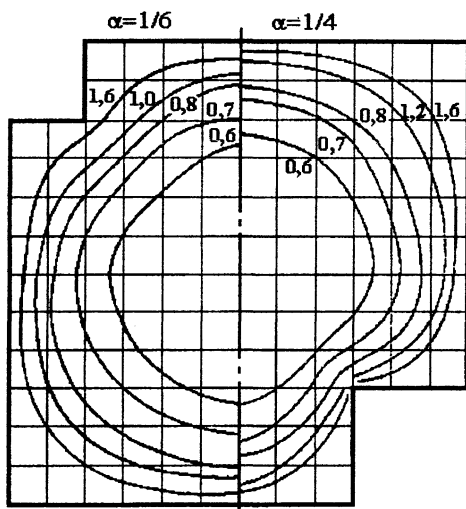


Рис. 5. Линии равных контактных давлений.

Электро моделирующее устройство позволяет также решать задачи для неплоских штампов при действии различной нагрузки, а также задачи о контакте двух упругих тел с учетом тепловыделения и износа.

Литература. 1. Бородачев Н.М., Тариков Г.П. Устройство для решения задач физических полей. Авт. свид. № 434426. Бюл. изобр., 1974. – № 24. 2. Бородачев Н.М., Тариков Г.П. Устройство для моделирования пространственных контактных задач. Авт. свид № 570905. Бюл. изобр., 1977. – № 32. 3. Бородачев Н.М., Тариков Г.П. Устройство для решения пространственных контактных задач. Авт. свид. № 1791829. Бюл. изобр., 1992. – № 32. 4. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 264 с. 5. Нейман Л.Р., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники. Ч. I. – М., Л.: ГЭИ, 1948. – 355 с. 6. Парселл Э. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 447 с. 7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1976. – 616 с. 8. Тариков Г.П. и др. Патент РБ. Способ решения пространственных контактных задач теории упругости, № 2200, 1998.

УДК 519:527:669.27

А. С. Бороздин, А. Н. Чичко

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППИРОВКИ К РЕШЕНИЮ ТРЕХМЕРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ,

*Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших проблем, с которыми приходится сталкиваться при математическом моделировании тепловых процессов 3D объектов является время компьютерного счета. Это время может стать критическим фактором при расчете сложных про-