

Министерство образования и науки Украины
Одесский государственный политехнический университет

Труды
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

Вып.1 (10). 2000

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2000. — Вып. 1 (10). — 319 с. — Яз. рус., укр.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Малахов В.П. — гл. редактор, *Алексеева Л.А.*, *Бельтюков Е.А.*, *Дащенко А.Ф.*, *Ефрешина Н.П.*, *Иванова Л.А.*, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Кругляк Ю.А.*, *Куншенко Б.В.*, *Куценко А.Н.*, *Новиков В.М.*, *Новохатский И.А.*, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Продиус И.П.*, *Пуйло Г.В.*, *Соколенко В.Н.*, *Становский А.Л.*, *Харичков С.К.*, *Цабиев О.Н.*, *Ямпольский Ю.С.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского государственного политехнического университета, протокол № 5 от 15.02.2000 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:
<http://www.ospu.odessa.ua/ospu/>

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ	7
С.А. Балан, Г.В. Кострова, В.Н. Пурич. Анализ структурочувствительных формовочных смесей.....	8
С.А. Балан, Т.В. Лысенко, Е.Г. Трофименко. Моделирование теплопереноса в литейной форме при источниках с переменными границами.....	11
Л.В. Прокопович. Литейные отвалы в системе ландшафта.....	14
В.В. Черниенко, В.А. Граменицкий, Е.Г. Павлышко. Формирование композиционных материалов на основе цилиндрических игл.....	15
Ю.М. Хомяк, А.В. Цимбалюк. Определение адгезионной прочности покрытий методом штифтов.....	19
А.А. Мешков, А.Ф. Даценко. Определение критической длины трещины.....	21
А.Н. Подкорытов. Общий итерационный метод и алгоритм исключения интерференции сопряженных криволинейных поверхностей.....	24
Г.А. Оборский. Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем.....	27
Н.М. Панкратов, А.В. Кравчук, В.С. Кравчук. Оценка ресурса сварных металлоконструкций мобильных машин.....	30
С.А. Балан, Т.П. Становская, О.Е. Гончарова. Метод виртуального объекта в проектировании.....	32
В.Н. Тихенко. Структурная классификация следящих гидроприводов с обратными связями по нагрузке.....	35
Е.Б. Козарезов. Силовой расчет пространственных рациональных механизмов с замкнутыми кинематическими цепями.....	39
И.В. Николенко. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния блока цилиндров аксиально-поршневой гидромашины.....	43
С.С. Гутьяря. Целевая квантификация квалиметрических показателей передач зацеплением.....	45
В.В. Иванов. Оптимизация распределения нагрузки с учетом случайного характера погрешностей монтажа.....	50
А.А. Оргиян. Точность обработки наружных поверхностей поршней на копировальных станках.....	54
В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко. Управление резьбошлифованием ходовых винтов на основе диагностики процесса.....	57
А.Ю. Браилов. Исключение интерференции сопряженных криволинейных поверхностей.....	60
П. Гащук, І. Вікович, Б. Дівеєв. Розрахунок на міцність кінематично збуреної пружно-підкріпленої навісної штанги обприскувача.....	64
ЭНЕРГЕТИКА	69
А.И. Брунеткин, В.И. Вернета. Расчет температуры воздуха в системе охлаждения привода СУЗ в реакторах ВВЭР-1000.....	70
В.А. Демченко, А.А. Стопакевич, В.Ф. Ложечников. Оптимальный ПИ-регулятор уровня воды в парогенераторе энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000.....	73
А.П. Воинов, Д.И. Богаченко, Е.А. Шевчук. Ограничение внешней эрозии при освоении котлов с кипящим слоем.....	76
Д.А. Кочугов. Защита от коррозии контактного теплообменника с активной насадкой, газоходов и дымовых труб.....	78

Для исключения интерференции и профилирования сопряженных криволинейных поверхностей разработан алгоритм (рис. 2), где n — число контрольных точек; t — модуль касательного вектора; t_1, t_2 — проекции единичного касательного вектора на оси O_1X_1 и O_1Y_1 ; k — число участков гладких кривых.

Свободные от интерференции зубчатые передачи и режущий инструмент позволяют избежать подрезаний, заклиниваний, опасной концентрации напряжений и увеличивают точность и надежность широкого класса деталей в машиностроении.

Литература

1. Подкорытов А.Н. Автоматизированное электронное моделирование и исследование интерференции сопряженных криволинейных поверхностей на базе ЭЦВМ ЕС. — Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1976.
2. А.с. 195841 СССР. Многозаходная чистовая червячная фреза / А.Н. Подкорытов // Бюл. — 1967. — № 10.
3. Подкорытов А.Н. Исключение интерференции сопряженных поверхностей зубчатых передач. // INTERNATIONAL CONGRESS - GEAR TRANSMISSIONS — Sofia, Bulgaria, 1995. — С. 143 — 145.
4. Подкорытов А.Н., Мальцев Д.В. Scientific basics of geometry modelling conjugated curved surfaces excluding interference // Proceedings of the 8th ICECGDG. Vol. 2. — Austin, Texas, USA, 1998. — С. 56 — 59.

УДК 621.9.08:311.14

Г.А. Оборский, канд. техн. наук, проф.

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

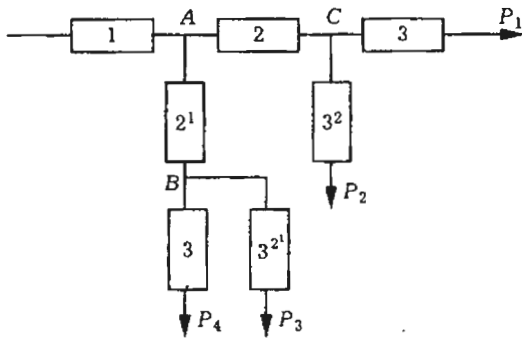
Г.О. Оборський. Побудова ефективних систем управління надійністю складних технічних систем. Запропоновані структурні моделі, складені з використанням апарату алгебри логіки, що дозволяють визначити рівень надійності складних технічних систем. Для управління надійністю вводять поняття "значимість" і "вклад" елементів в спільній здійності системи.

G.A. Oborsky. Construction of effective systems for controlling the reliability of complicated technical systems. Some structural models made with the use of algebraic logics are offered. They allow to determine the level of reliability of complicated technical systems. The notions of "importance" and "input" of elements to the total reliability of the system are introduced for the purpose of managing.

Современные тенденции уменьшения срока морального и физического старения сложных технических систем на первый взгляд снижают значение надежности их функционирования. Однако, как известно, надежность включает в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость, и в этом смысле обеспечение безотказной работы технической системы, которая в одних случаях связана с простым комфортом и удобством, а в другом с безопасностью для жизни людей, заставляет в очередной раз обратиться к вопросу

и обеспечения надежности сложных технических систем. Разработка любой системы управления начинается с определения цели функционирования, что цель функционирования сложной технической системы — обеспечение безотказной работы в любой момент времени. При этом обычно приходится учитывать воздействия системы случайных факторов, а показатели качества функционирования являются характеристиками случайных процессов.

Построение эффективных систем управления невозможно без разработки математических моделей, описывающих связь входных и выходных параметров. Наличие большого чис-



Структурная модель системы, состоящей из трех элементов

ла факторов, которые оказывают влияние на качество функционирования системы, ставит в разряд важнейших задач также определение доминирующих факторов и установление степени их влияния на анализируемый выходной параметр, т.е. на надежность.

Раскрытие “черного ящика”, необходимое для математического описания сложной системы, — задача, которая требует глубоких знаний особенностей функционирования конкретной системы. Однако, если конкретизировать задачу управления — обеспечение безотказного функционирования, то весьма эффективным является использование структурных моделей, которые с помощью аппарата алгебры логики позволяют получить строгое

аналитическое решение [1, 2]. Основная идея метода состоит в описании сложной системы с помощью структурных моделей, содержащих логические элементы “И”, “ИЛИ”, и заменой (на определенной стадии анализа) логических переменных на вероятности того, что переменная принимает значение “1” или “0”, что соответствует работоспособному либо неработоспособному состоянию системы.

В качестве примера рассмотрим структурную модель механической системы, состоящей из трех элементов, представленную на рисунке. Это может быть технологическая система, выполняющая три последовательные операции, или любая техническая система, состоящая из трех блоков. Особенностью сложных механических систем является то, что резервирование здесь редко применяется в чистом виде, а для обеспечения надежности характерным является применение принципа избыточности более общего, чем резервирование. Реализацией этого принципа является то, что каждый последующий элемент структурной схемы имеет возможность исправить отказ предыдущего элемента, изменяя свою “нагрузку”. Узлы разветвления А, В и С на структурной схеме соответствуют логической функции “ИЛИ” и отражают возможность системы работать в нормальном режиме (2, 3) при безотказной работе элементов, либо с измененной характеристикой (2¹, 3², 3^{2^1}) при отказе предыдущих элементов.

Используя аппарат алгебры логики, функцию работоспособности системы можно представить в виде [2]

$$y = \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{matrix} = \begin{matrix} x_1 x_2 x_3 \\ x_1 x_{2^1} x_3 \\ x_1 x_2 x_{3^2} \\ x_1 x_2 x_{3^2} \end{matrix} \quad (1)$$

где P₁...P₄ — кратчайшие пути успешного функционирования системы;

x₁, x₂, ... x_{3²} — различные состояния элементов системы, входящих в кратчайшие пути P₁...P₄.

Расчет надежности системы удобно проводить используя табличный метод [1], для чего составляется таблица, в которой строки соответствуют всем элементам структурной модели, а в столбцах определены возможные пути успешного функционирования системы и их сочетания.

Таблица расчета надежности структурной модели

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁ P ₂	P ₁ P ₃	P ₁ P ₄	P ₂ P ₃	P ₃ P ₄	P ₁ P ₂ P ₃	P ₁ P ₂ P ₄	P ₁ P ₃ P ₄	P ₂ P ₃ P ₄	P ₁ P ₂ P ₃ P ₄		
	+				-				+				-			
R ₁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
R ₂	■	□	□	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	
R ₃	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
R _{2¹}	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
R _{3²}	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
R _{3^{2^1}}	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
R _c	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Управление надежностью системы необходимо осуществлять как на этапе проектирования, так и при ее функционировании, для чего должна быть возможность определения "слабых мест". Логико-вероятностные модели позволяют не только количественно оценить надежность сложных систем, но и выяснять роль конкретных элементов в обеспечении надежности всей системы. С этой целью введены характеристики, которые называются "значимостью" и "вкладом" элемента в надежность системы [1].

"Значимостью" Z_{xi} элемента x_i в систему $y(x_1...x_n)$ называется частная производная от вероятности безотказной работы системы R_c по вероятности безотказной работы элемента R_i , т.е.

$$Z_{xi} = \frac{\partial P\{y(x_1...x_n) = 1\}}{\partial P\{x_i = 1\}} = \frac{\partial R_c}{\partial R_i} \quad (2)$$

Для монотонных структур

$$Z_{xi} = \frac{\partial R_c}{\partial R_i} = R_{c1}^{(i)} - R_{c0}^{(i)}, \quad (3)$$

где $R_{c1}^{(i)}$ и $R_{c0}^{(i)}$ — вероятность безотказной работы системы при абсолютной надежности и абсолютном отказе элемента x_i соответственно.

Алгоритм определения "значимости" элемента x_i , базирующийся на табличном методе расчета надежности системы, следующий:

- строим таблицу расчета надежности системы (см. таблицу);
- вычеркиваем из нее строку, соответствующую элементу x_i ;
- вычеркиваем из нее столбцы, в которых элемент x_i отсутствует;
- перемножаем в оставшихся столбцах вероятности безотказной работы тех элементов, которые заштрихованы;
- складываем результаты, полученные в результате перемножения с учетом знаков "+" и "-" в таблице.

Определим, например, "значимость" элементов x_2 и x_3 (см. рисунок) при условии равной надежности всех элементов системы $R_i=0,9$

$$Z_{x2} = \frac{\partial R_c}{\partial R_2} = 2R^2 - R^3 - R^4 + R^5 = 0,821; \quad (4)$$

$$Z_{x3} = \frac{\partial R_c}{\partial R_3} = 2R^2 - 2R^3 - R^4 + 2R^5 = 0,662. \quad (5)$$

Из приведенных расчетов видно, что второй элемент имеет большую "значимость" и является более предпочтительным при управлении надежностью R_c . При этом "значимость" элемента x_i характеризует скорость изменения надежности системы, т.е. условную вероятность безотказной работы системы при условии работоспособности элемента x_i .

"Вкладом" элемента x_i в надежность системы $y(x_1...x_n)$ V_{xi} называется произведение вероятности безотказной работы элемента R_i на его "значимость", т.е.

$$V_{xi} = R_i \frac{R_c}{R_i} \quad (6)$$

"Вклад" характеризует приращение надежности системы после восстановления элементов x_i из неработоспособного состояния в работоспособное.

Определим "вклад" элементов x_2 и x_3 в надежность системы (см. рисунок):

$$V_{x2} = R_2 \frac{\partial R_c}{\partial R_2} = 0,9 \cdot 0,821 = 0,739, \quad (7)$$

$$V_{x3} = R_3 \frac{\partial R_c}{\partial R_3} = 0,9 \cdot 0,662 = 0,596. \quad (8)$$

"Значимость" элемента Z_{xi} характеризует местоположение элемента x_i в структуре системы $y(x_1...x_n)$, а также зависимость от вероятностей безотказной работы всех других элементов системы (кроме самого элемента), а "вклад" элемента V_{xi} характеризует не только местоположение элемента x_i в структуре, но и связь с вероятностью безотказной работы всех элементов этой системы, включая i -й элемент.

Таким образом, применение структурных моделей сложных систем, основанных на логико-вероятностном методе, позволяет корректно раскрыть “черный ящик”, а введение критериев “значимости” и “вклада” элементов — осуществлять построение эффективной системы управления надежностью.

Литература

1. Рябинин Н.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. — М.: Радио и связь, 1981.
- √ 2. Оборский Г.А. Применение структурных моделей для прогнозирования надежности технологических систем // Металлорежущие станки. Респ. межведомств. науч.-техн. сб. — К., 1990. — С. 24 — 26.

УДК 539.4:624.014

Н.М. Панкратов, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Одес. ин-т-полигон мобильной техники,
 А.В. Кравчук, инженер,
 В.С. Кравчук, канд. техн. наук, доц.

ОЦЕНКА РЕСУРСА СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

М.М. Панкратов, А.В. Кравчук, В.С. Кравчук. **Оцінка ресурсу зварювальних металоконструкцій мобільних машин.** Розглянуто розв'язання проблеми оцінки ресурсу зварювальних конструкцій мобільних машин.

N.M. Pankratov, A.V. Kravchuk, V.S. Kravchuk. **Resource evaluation of vehicle welding constructions.** A solution of the problem of resource evaluation of vehicle welding constructions is considered.

Сварное соединение является нерегулярной многопараметрической зоной металлоконструкций мобильных машин, на ресурс которой влияет много факторов. Как показала практика эксплуатации, такими факторами являются прожоги, подрезы, горячие трещины, инородные включения, остаточные напряжения [1]. Наличие в сварных соединениях зон с разными физико-механическими свойствами влияет не только на стадию зарождения усталостной трещины, но и определяет процесс ее развития.

Несмотря на значительное число работ, посвященных данному вопросу, работоспособность металлоконструкций мобильных машин на стадии развития усталостных трещин остается малоизученной.

Рассмотрим два варианта прогнозирования ресурса металлоконструкции: простой (статически определимой) и сложной (статически неопределимой). Выполненные в НАТИ исследования [2] показали, что ресурс простых сварных конструкций можно определить как [3]

$$N = \frac{2}{(n-2) \cdot C_p (\Delta\sigma)^n} \left(\frac{1}{l_0^{(n-2)/2}} - \frac{1}{l_{кр}^{(n-2)/2}} \right), \quad (1)$$

где N — число циклов нагружения при развитии трещины от l_0 до $l_{кр}$;

l_0 — длина трещины в начале второй стадии процесса нагружения;

$l_{кр}$ — критическая длина трещины (отказа или предельного состояния объекта);

n — параметр (в логарифмических координатах характеризует котангенс угла наклона кривой усталости к оси $\lg N$);

$C_p = \pi^{n/2} C_1 C_2$ — коэффициент;

C_1 — коэффициент, определяемый экспериментально, учитывает форму детали и размеры трещины;

C_2 — константа материала, определяемая экспериментально;

$\Delta\sigma$ — приведенная величина размаха напряжений при переменном нагружении.