

УДК 629.017

## МЕТОДИКА НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Дудукалов Ю. В., к.т.н., доцент

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,*

*Для анализа надежности процессов ремонта предложена методика моделирования структуры алгоритма функционирования на основе методологии системно-процессного подхода. Рассмотрено применение методов алгебры алгоритмики для выполнения вероятностных оценок уровня надежности технологий восстановления деталей машин.*

**Ключевые слова:** надежность, технология восстановления, оценка уровня, детали машин, нечеткая логика

**Введение.** Для решения проблем надежности при использовании технологий восстановления для деталей машин необходим системный анализ процесса функционирования ремонтного предприятия [1]. Формализованное обоснование структуры применяемых алгоритмов технологических процессов и операций, методов восстановления ресурса деталей после эксплуатации позволяет оптимизировать последовательность и состав всей совокупности технологических переходов, включая контроль точности и качества согласно требованиям стандартов ISO 9000:2000, сократить расход используемых ресурсов.

**Анализ последних публикаций.** При моделировании надежности сложных систем, к числу которых относятся технологические системы для процессов восстановления, сложились два подхода [2]:

- для объектов технологических систем на основе анализа  $S$ -структур, который определяет надежность в целом системы по надежности отдельных элементов и их структурной взаимосвязи;

- для процессов в технологических системах по свойствам функциональности составляющих  $F$ -структур, который имеет в своей основе анализ правильности достижения результатов в соответствии с алгоритмами технологических маршрутов, операций и переходов.

Методы повышения  $S$ -надежности активно разрабатываются во многих теоретических и практических работах [3].

Для  $F$ -надежности рассматривается именно функциональный отказ, который возникает как случайное событие, состоящее в нарушении правильного выполнения функций элементом системы при сохранении им работоспособного состояния [4]. Вероятность отказа самого элемента системы может быть оценена  $S$ -надежностью, при анализе надежности

сложных систем целесообразно применять сочетание указанных подходов.

При системном анализе используется понятие обобщенной динамической системы [5] или системно-процессное представление [6]. Такие модели необходимы при изучении  $S$ -структур объектов, как элементов, и  $F$ -структур для функциональных процессов. Для оценки уровня надежности при технологическом инжиниринге восстановления деталей машин должен быть установлен порядок применения операторных и логических структур.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследования является подготовка методики оценки уровня надежности технологий восстановления деталей машин.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- предложить формализованное описание  $F$ -структур для технологий восстановления;
- подготовить методику оценки уровня надежности.

**Формализованное представление  $F$ -структур.** Процессы в технологических системах имеют развитую структуризацию, включающую маршрутное, операционное описания, а также детализацию по технологическим и вспомогательным переходам, рабочим и вспомогательным ходам. В общем случае такие представления дают развернутую во времени последовательность действий, операций или работ. Их выполнение должно обеспечить достижение цели, т.е. они являются алгоритмами функционирования ( $A\Phi$ ) [5, 7, 8].

Таким образом, процессы в технологических системах имеют целевой характер, а цель – это модель состояния, на реализацию или достижение которого направлена производственная деятельность. Цель является организующим фактором этой деятельности.

Моделирование системной деятельности включает:

- моделирование цели, т.е. модель образа желаемого состояния объекта, которое будет достигнуто в результате трудовой деятельности. Для оценки состояния объекта используется  $S$ -надежность;
- моделирование плана действий, подготовка алгоритма. В этом случае для анализа надежности следует применять  $F$ -подход.

В методологии системно-процессного подхода алгоритмы функционирования являются иерархическими образованиями. Они включают группы операций, приемы, отдельные операции, переходы, проходы [7, 8].

Общую символьную модель структуры алгоритма функционирования

можно представить в виде

$$A\Phi = \bigcap_{i=1}^n TO_i \left[ \bigcap_{j=1}^m (Tner_j, Vner_j, Kner_j) \right], \quad (1)$$

где  $TO_i$  – технологические операции;

$Tner_j$  – технологические переходы по обработке;

$Vner_j$  – вспомогательные переходы;

$Kner_j$  – контроль, диагностика, испытания;

$n, m$  – число соответственно операций и соответствующих переходов.

Структура  $A\Phi$  может быть нерегулярной и регулярной, с обратными связями и без них. Это объясняется необходимостью повторного выполнения групп или отдельных операций, наличием альтернативных технологических приемов, возвратом после испытаний и диагностики.

Для анализа  $A\Phi$  используют методы алгебры алгоритмики и принципы трансформационной сводимости, которые разработаны школой Глушкова В.М. [5]. При подготовке структурного описания для анализа надежности  $A\Phi$  в задачах  $F$ -подхода используется инструментарий алгебры алгоритмических моделей. Для этого выражение (1) записывается в следующем виде

$$A\Phi = \langle TO, B, \Omega_1, \Omega_2 \rangle \quad (2)$$

где  $TO = \{TO_1, TO_2, TO_3, \dots\}$  – множество операторов, отображающих состояния технологической системы (1);

$B = \{\alpha, \beta, \gamma, \dots\}$  – множество логических условий, которое отображает состояния системы в двух элементах множества  $\{1,0\}$  – истина и ложь;

$\Omega_1$  – множество, содержащее булевы операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, которые порождаются логическими условиями из множества  $B$ .

$\Omega_2$  – множество, которое включает композиции бинарных и терных операций, состоящих в последовательном или циклическом применении операторов из множества  $TO$ .

**Методика оценки уровня надежности технологий восстановления.** На рис. 1 в графическом виде  $ER$ -модели показаны основные составляющие  $A\Phi$  при выполнении капитального ремонта двигателя автомобиля с учетом разнообразия технологических операций, включая контрольные переходы согласно стандартам ISO 9000:2000.

Типовой алгоритм функционирования  $A\Phi$  в технологической системе включает операции и элементы операций обработки информации и приня-

тия решений, операции переработки и преобразования материалов, процессы функционирования технологического оборудования в человеко-машинных подсистемах (разборочно-сборочные операции, механообработка, сварка и наплавка, термообработка и другие), процедуры инженерного проектирования, документирования.

Согласно теореме регуляции произвольный нерегулярный алгоритм можно преобразовать в эквивалентный регулярный с помощью последовательных циклических и разветвляющихся структур [5].



Рис.1 - АФ ТС для капитального ремонта двигателя

Выполним преобразования и запишем АФ ТС (2), выделяя алгоритмические структуры с учетом особенностей выполнения технологических операций при капитальном ремонте двигателя:

$$A\Phi = On_1 \{ w_1 U_1 \} On_2 \left( E \vee \{ U_2 \{ w_2 U_1 \} On_2 \} \right) On_3 \left( E \vee \{ w_3 U_3 \} \right) \left( E \vee \{ On_4 \left( E \vee \{ w_4 U_3 \} \right) \} \right) On_6 On_7, \quad (3)$$

где  $E$  – оператор тождественности.

Полученная модель может быть использована для оценки уровня надежности АФ на стадии проектирования, определения вероятностных временных и стоимостных характеристик процессов в технологических системах восстановления деталей машин.

Методика включает подготовку нечеткой модели процесса, которая включает следующие основные элементы: блок фаззификации, блок нечеткого логического вывода, блок дефаззификации.

Блок фаззификации преобразует фиксированный вектор влияющих факторов в матрицу, элементы которой представляют результат расчета соответствующих функций принадлежности  $\Phi П$ . Для выполнения указанной операции блок фаззификации должен иметь доступ к точно определенным функциям принадлежности  $\Phi П$  входов. Вычисленные и представленные на выходе блока фаззификации степени принадлежности дают информацию о том, в какой степени числовые значения принадлежат конкретным нечетким множествам.

Блок нечеткого логического вывода, который вначале определяет степени выполнения отдельных правил, а затем выполняет операции импликации, в результате которой определяется модифицированная  $\Phi П$  заключения отдельного правила (вывод на правилах). Для выполнения вычислений блок вывода должен включать в себя следующие строго определенные элементы: база правил, функции принадлежности  $\Phi П$  и механизм вывода. База правил содержит логические правила, которые задают имеющие место в системе причинно-следственные отношения между нечеткими значениями ее входных и выходных величин.

Блок дефаззификации, в котором определяется четкое числовое значение выходного параметра нечеткой модели, соответствующее заданным входным сигналам. Данная операция выполняется посредством механизма дефаззификации. В качестве механизма дефаззификации используется метод центра сумм. Одним из главных достоинств метода центра сумм является участие в процессе дефаззификации всех активизированных функций принадлежности заключений (активных правил), т.е. метод центра сумм, как и ряд других методов дефаззификации, обеспечивает более высокую чувствительность нечеткой модели к изменению входных сигналов.

Важным этапом решения задачи идентификации нечетких моделей является выбор вида  $\Phi П$ . Существует широкий набор аналитических выражений  $\Phi П$ , используемых в механизмах нечеткого вывода систем моделирования: кусочно-линейные, треугольные, трапецидальные, сигмоидные, гауссовы и полиномиальные. Выбор трапецидальной  $\Phi П$  обусловлен формой полей допусков восстанавливаемых и контролируемых размеров, характером изменения размера в процессе эксплуатации и адекватностью синтезируемых нечетких моделей.

**Выводы.** 1. Предлагаемая методика оценки уровня надежности технологий восстановления деталей машин на основе формализованного описания  $F$ -структур для технологических алгоритмов позволяет на стадии проектирования определять вероятностные временные и стоимостные характеристики процессов в технологических системах.

2. Полученные нечеткие модели могут быть использованы в интеллектуальных системах, обеспечивающих прогнозирование эффективности технологий восстановления и методов контроля согласно стандартам ISO 9000:2000.

### Список используемых источников

1. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) // В двух частях. Часть 1. – Харьков. – РИО ХГАДТУ, 1998 – 255 с., Часть 2. - Харьков. – РИО ХГАДТУ, 1998 – 219 с.
2. Ротштейн О.П., Штовба С.Д., Козачко О.М. Моделювання та оптимізація надійності багатовимірних алгоритмічних процесів. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. - 211 с.
3. Анилович В.Я. Обеспечение надежности сельскохозяйственной техники / В.Я. Анилович, В.Г. Карпов – К.: Техника, 1989. – 125 с.
4. Ротштейн А.П. Алгебра алгоритмов и нечеткая логика в анализе надежности систем. – Известия РАН. Теория и системы управления, Вып. 2, 2010, С. 87 – 99.
5. Глушков В.М. Алгебра. Языки. Программирование / В.М. Глушков, Г.Е. Цейтлин, Е.Л. Ющенко – Киев: Наукова думка, 3-е изд., перераб. и доп., 1989. – 376 с.
6. Тернюк Н.Э. Системно-процессное моделирование технических систем в CALS-технологиях / Н.Э. Тернюк, Ю.В. Дудукалов, В.В. Федченко, Н.Н. Гладкая // Сборник научных трудов «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии», Вып. 49 - Харьков, 2011 - с. 124 - 133.
7. Кудинов Ю.И. Системный подход к нечеткому моделированию сложных производственных систем/ Ю.И. Кудинов– М. Информационные технологии. Приложение. Вып.5. - 2009. – 32 с.
8. Дудукалов Ю.В. Моделирование структуры алгоритма функционирования технологических систем при анализе надежности процессов ремонта. - Вісник ХНТУСГ. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Вип. 80. 2009. - С. 246 – 250.

## Анотація

### ОЦІНКА РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Дудукалов Ю. В.

*Для аналізу надійності процесів ремонту запропонована методика моделювання структури алгоритму функціонування на основі методології системно-процесного підходу. Розглянуто застосування методів алгебри алгоритміки для виконання імовірнісних оцінок рівня надійності технологій відновлення деталей машин.*

**Ключові слова:** надійність, технологія відновлення, оцінка рівня, деталі машин, нечітка логіка

## Abstract

### ALGORITHM STRUCTURE MODELLING OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FUNCTIONING AT THE ANALYSIS OF REPAIR PROCESSES RELIABILITY

Dudukalov Y.V.

*To analyze the reliability of repair processes, a methodology is proposed to model the structure of the operation algorithm on the basis of the methodology of the system-process approach. The application of algebraic algorithms methods for performing probabilistic estimates of the reliability level of technologies for restoring machine parts is considered.*

**Key words:** reliability, recovery technology, level estimation, machine parts, fuzzy logic