



# OSTIS-2015

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЕТЯМИ ПЕТРИ

Бурдо Г. Б., Виноградов Г. П., Сорокин А. Ю.

*Тверской государственный технический университет,*

*г. Тверь, Россия*

**gbtms@yandex.ru**

**wgp272@mail.ru**

**alexey.sorokin13@mail.ru**

В данной работе рассмотрена проблема моделирования автоматизированной системы управления качеством сетями Петри. Рассмотрены логико-временные алгоритмы процессов управления качеством на стадиях жизненного цикла изделия. Показана возможность использования расширенных сетей Петри для моделирования параллельных процессов системы.

**Ключевые слова:** жизненный цикл изделия, критерии качества изделия, сети Петри.

### ВВЕДЕНИЕ

Качество продукции является важнейшим фактором, влияющим на конкурентоспособность предприятия. Ранее, для достижения желаемого уровня качества продукции, было достаточно контролировать его на отдельных этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ). В настоящее время для обеспечения качества продукции необходимо управлять качеством [Колчин А.Ф. и др. 2002] на каждом этапе и стадии ЖЦИ (рис.1).

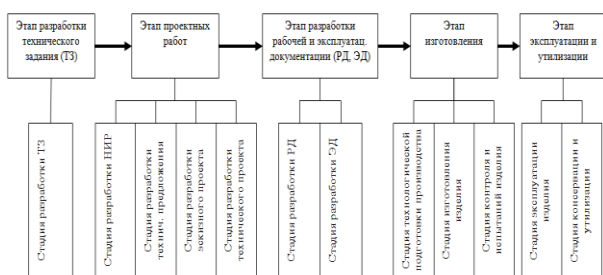


Рисунок 1 - Основные этапы и стадии ЖЦИ

С целью управления качеством продукции на всех этапах жизненного цикла изделия в каждом предприятии создается *система управления качеством (СУК)* продукции, функционирование которой определяется стандартами серии ИСО 9000.

Поэтому, учитывая необходимость оперативного внесения корректив в качественные показатели продукции и широкий спектр выпускаемой

продукции современным машиностроительным предприятием, создание автоматизированных систем управления качеством является актуальной задачей.

### 1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В автоматизированной системе управления качеством продукции (АСУ КП) оценка качества изделия ведется на основе количественных и качественных показателей качества и экспертных оценок. Эта информация может быть нечеткой и недостаточно определённой для того, чтобы быть выраженной математическими зависимостями. Адекватная обработка неопределённой информации, где входные данные не являются точными, невозможна традиционными методами, так как не позволяет учесть присущую этим данным неопределенность. При этом нечеткая логика и теория нечетких множеств являются эффективным подходом в решении данной проблемы. Поэтому для описания функционирования АСУ КП эффективно применить нечеткие сети Петри.

Нечеткие сети Петри позволяют дать адекватное представление и анализ структуры динамических дискретных моделей сложных систем и логико-временных особенностей процессов их функционирования.

На основе ранее разработанных теоретико-множественная модели системы управления качеством, и системы критериев оценки качества

[Бурдо Г. Б. и др. 2014] была смоделирована сеть Петри для АСУ КП. (рис. 2).

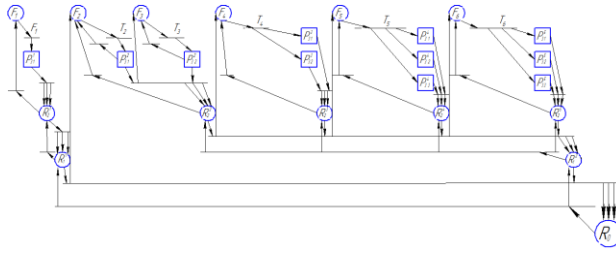


Рисунок 2 - Нечеткая сеть Петри на этапах разработки технического задания и проектных работ в АСУ КП

Здесь нечеткая сеть Петри  $C_f$ , в соответствии с [Блюмин С. Л. и др. 2010] и [Борисов В. В.], определяется как  $C_f = (N, \hat{M}_0, \kappa)$ , где:

1.  $N = (P, T, I, O)$  – структура нечеткой сети Петри, для которой:  $P = \{F, K, R\}$  – непустое конечное множество позиций, условия для активации процессов;  $T$  – непустое конечное множество переходов, протекающие процессы в системе;  $I: P \times T \rightarrow \{0,1\}$  – входная функция переходов;  $O: T \times P \rightarrow \{0,1\}$  – выходная функция переходов.

2.  $\hat{M}_0$  – матрица начальной маркировки  $(n \times m)$ . Каждый её элемент  $m_{ij}^0 = [0,1] (\forall i \in \{1,2,\dots,n\}, \forall j \in J)$  равен значению функции принадлежности наличия  $(j-1)$  числа маркеров в позиции  $p_i$  на момент начала запуска нечеткой сети Петри.

3.  $\kappa = [\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3]$  – множество правил, модификация которых отражает специфику введенной нечеткости в начальную маркировку.

Динамика изменения маркировок нечеткой сети Петри типа  $C_f = (N, \hat{M}_0, \kappa)$  после момента её запуска подчиняется следующим правилам, отражающим специфику введенной нечеткости в маркировку.

1)  $\kappa_1$ : правило определения текущего состояния.

Любое текущее состояние нечеткой сети Петри  $C_f$  определяется некоторой его маркировкой, т.е. матрицей  $\hat{M}_0$  размерности  $(n \times m)$ , каждый компонент которой  $m_{ij} \in [0,1]$ , и интерпретируется как значения функции принадлежности нечеткого наличия  $\{0,1,2,\dots,d\}$  маркеров в соответствующих позициях  $p_i \in P$  нечеткой сети Петри  $C_f$ . Начальное состояние НСП  $C_f$  определяется вектором начальной маркировки  $\hat{M}_0$ .

2)  $\kappa_2$ : правило (условие) активности перехода.

Переход  $t_i \in T$  нечеткой сети Петри  $C_f$  называется активным (разрешенным, возбужденным) при некоторой текущей маркировке  $\hat{M}$ , если выполнено следующее условие:

$$\sigma_i \geq I(p_i, t_k), i=1,\dots,n$$

где  $\sigma_i = \max_{(j \in J) \wedge (m_{ij} > 0)} (\{j\} - 1), i=1,\dots,n$

То есть  $\sigma_i$  равно индексу максимального, отличного от нуля, значения степени принадлежности наличия маркеров в позициях  $p_i \in P$  нечеткой сети Петри. При этом некоторый переход  $t_i \in T$  является активным, если имеется нечеткое количество маркеров, больше или равное числу дуг, соединяющих соответствующие входные позиции с рассматриваемым переходом нечеткой сети Петри.

3)  $\kappa_3$ : правило нечеткого срабатывания перехода.

Если переход  $t_k \in T$  нечеткой сети Петри  $C_f$  является активным при некоторой текущей маркировке  $\hat{M}$ , т.е. выполняется правило активности переходов  $\kappa_2$ . То нечеткое срабатывание данного перехода приводит к новой маркировке, элементы которой определяются следующим образом:

1. для каждой из входных позиций  $p_i \in P$ , для которых  $I(p_i, t_k) > 0$ :

$$m_{i1}^{l+1} = \max_{(j \in \{1,2,\dots,I(p_i, t_k)+1\})} \{m_{ij}\}$$

$$m_{ij}^{l+1} = m_{i,j+I(p_i, t_k)}, j=2,\dots,m$$

2. для каждой из выходных позиций  $p_j \in P$ , для которых  $O(t_k, p_j) > 0$ :

$$m_{ij}^{l+1} = \min \{m_{ij}, 1 - q_k\}, j=1,2,\dots,O(t_k, p_i)$$

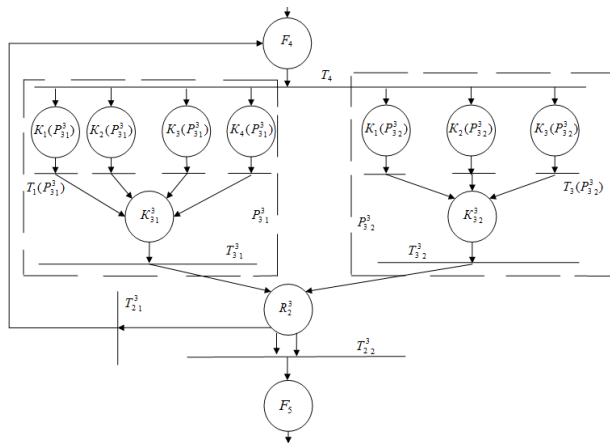
$$m_{i1}^{l+1} = \max_{(\forall j \in J) \wedge (j > O(t_k, p_i))} \{ \min [m_{ij}, 1 - q_k], \min [m_{i,j-O(t_k, p_i)}, q_k] \}$$

где  $q_k$  – степень принадлежности, характеризующая возможность нечеткого срабатывания перехода  $t_k$ , рассчитываемая следующим образом:

$$q_k = \min_{(i \in \{1,2,\dots,n\})} \left\{ \max_{(j \in J) \wedge (j > I(p_i, t_k))} [m_{ij}] \right\}, (\forall t_k \in T)$$

3. если некоторые позиции  $p_i \in P$  являются одновременно входными и выходными для активного перехода  $t_k$ , то для них элементы матрицы новой маркировки рассчитываются последовательно, сначала для входных позиций, затем для выходных.

Рассмотрим оператор  $P_{31}^3$ , на стадии разработки технического предложения (рис. 3).



Здесь обозначение маркировок сети:  $P = [F, K, R]$  - множество позиций,  $T = [T_4, T_{31}, T_2^3]$  - множество переходов.

Значения входных функций переходов:

$$I(F_4, T_4) = 1, \quad I(K_1(P_{31}^3), T_1(P_{31}^3)) = 1, \quad I(K_2(P_{31}^3), T_2(P_{31}^3)) = 1, \\ I(K_3(P_{31}^3), T_3(P_{31}^3)) = 1, \quad I(K_4(P_{31}^3), T_4(P_{31}^3)) = 1, \\ I(K_1(P_{32}^3), T_1(P_{32}^3)) = 1, \quad I(K_2(P_{32}^3), T_2(P_{32}^3)) = 1, \\ I(K_3(P_{32}^3), T_3(P_{32}^3)) = 1, \quad I(K_{31}^3, T_{31}^3) = 1, \quad I(K_{32}^3, T_{32}^3) = 1, \quad I(R_2, T_{21}^3) = 1, \\ I(R_3, T_{22}^3) = 2, \text{ остальные } I(P_i, T_i) = 0.$$

Значения	выходных	функций	переходов:
$O(T_4, K_1(P_{3_1}^3))=1,$	$O(T_4, K_2(P_{3_1}^3))=1,$	$O(T_4, K_3(P_{3_1}^3))=1,$	
$O(T_4, K_4(P_{3_1}^3))=1,$	$O(T_4, K_1(P_{3_2}^3))=1,$	$O(T_4, K_2(P_{3_2}^3))=1,$	
$O(T_4, K_3(P_{3_2}^3))=1,$	$O(T_1(P_{3_1}^3), K_{3_1}^3)=1,$	$O(T_2(P_{3_1}^3), K_{3_1}^3)=1,$	
$O(T_3(P_{3_1}^3), K_{3_1}^3)=1,$	$O(T_4(P_{3_1}^3), K_{3_1}^3)=1,$	$O(T_1(P_{3_2}^3), K_{3_2}^3)=1,$	
$O(T_2(P_{3_2}^3), K_{3_2}^3)=1,$	$O(T_3(P_{3_2}^3), K_{3_2}^3)=1,$	$O(T_{3_1}^3, R_2^3)=1,$	
$O(T_{3_2}^3, R_2^3)=1,$	$O(T_{2_1}^3, F_4)=1,$	$O(T_{2_2}^3, F_5)=1,$	остальные
$O(T_i, P_j)=0.$			

Матрица входных  $I$  и выходных  $O$  функций переходов:

[illegible][illegible]

Матрица начальной маркировки  $\hat{M}_0$ :

	$T_4$	$T_4(P_{1,1}^1)$	$T_5(P_{1,1}^1)$	$T_5(P_{1,1}^1)$	$T_6(P_{1,1}^1)$	$T_6(P_{1,2}^1)$	$T_7(P_{1,2}^1)$	$T_8(P_{1,2}^1)$	$T_{3,1}^1$	$T_{3,2}^1$	$T_{3,1}^1$	$T_{3,2}^1$
$F_4$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_1(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_2(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_3(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_4(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_5(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_6(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_7(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_8(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_9(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{10}(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{11}(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{12}(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{13}(P_{3,1}^1)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{3,1}^1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_{3,2}^1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$R_2^1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$F_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

При срабатывании перехода  $T_4$  условно маркируются позиции  $K_1(P_{3_1}^3)$ ,  $K_2(P_{3_1}^3)$ ,  $K_3(P_{3_1}^3)$ ,  $K_4(P_{3_1}^3)$ ,  $K_1(P_{3_2}^3)$ ,  $K_2(P_{3_2}^3)$ ,  $K_3(P_{3_2}^3)$ . Значение их элементов  $K \in \{0,1\}$  отражают комплексную оценку критериев качества изделия и определяются на основе комплексной оценке единичных критерием и теории нечетких множеств. Для всех остальных позиций правило срабатывание перехода осуществляется по  $K_3$ .

Матрица последующего шага  $\hat{M}_1$ :

[illegible]

1. цикл разработки технического предложения повторяется, т.е. результат оценки недостаточное качество изделия.

2. уровень качества изделия на стадии технического предложения достаточен, и разработка изделия переходит на следующую стадию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная расширенная сеть Петри для автоматизированной системы управления качеством продукции позволяет представить алгоритм работы системы. Показаны логико-временные особенности процессов управления качеством на стадиях жизненного цикла изделия. Расширенная сеть Петри позволяет дать анализ структуры критериев динамической модели системы управления качеством. Следующим шагом становится разработка методики расчета значений комплексных критериев на основе нечетких множеств.

(Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-01-00324).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[Блюмин С. Л. и др. 2010] Окрестностное моделирование сетей Петри: монография / С.Л. Блюмин, А.М. Шмырин, И.А. Седых, В.Ю. Филоненко. - Липецк: ЛЭГИ, 2010. - 124 с..

[Борисов В. В.] Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горная линия – Телеком, 2007. – 284с.: ил.

[Колчин А.Ф. и др. 2002] Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумарков С. В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анархист, 2002. – 304 с.

[Бурдо Г. Б. и др. 2014] Бурдо Г. Б., Сорокин А. Ю. Модели и критерии автоматизированной системы управления качеством наукоемкой машиностроительной продукции/Бурдо. Г. Б., Сорокин А. Ю.// Гибридные и синергитические интеллектуальные системы. Материалы 2 международного Поспеловского симпозиума. С. 78-86.

## MODELING OF AUTOMATED QUALITY CONTROL BY PETRI NETS

Burdo G.B., Vinogradov G. P., Sorokin A. Y.

*Tver State Technical University (TvSTU), Tver, Russia*

**gbtms@yandex.ru**

**wgp272@mail.ru**

**alexey.sorokin13@mail.ru**

In this paper we consider the problem of modeling the automated system of quality control by Petri nets. Considered logical-time algorithms of quality management processes at all stages of the product life cycle. The possibility of using extended Petri nets for modeling concurrent processes in the system.

**Key words:** the life cycle of products, quality criteria of the product, the Petri nets.

## INTRODUCTION

Product quality is the most important factor affecting the competitiveness of the enterprise. At the present time to provide the quality products you need to control the quality at every stage and phase of the product life cycle. The purpose of quality control at all stages of the product life cycle in every enterprise creates a quality management system (QMS) products, the operation of which is determined by the standards of series ISO 9000.

## MAIN PART

In the automated system of quality control (automatic gearbox) assessment of the quality of products is conducted on the basis of quantitative and qualitative indicators of quality and expertise. This information can be vague and not sufficiently specific to be expressed by the mathematical dependencies. Adequate processing of uncertain information, where the input data are not accurate, and impossible by traditional methods, as it allows to take into account the inherent data uncertainty. While fuzzy logic and fuzzy set theory is an effective approach in solving this problem. Therefore, to describe the functioning of the automatic gearbox to effectively apply fuzzy Petri nets.

Fuzzy Petri nets allow to give adequate representation and analysis of the structure of dynamic discrete models of complex systems and logic-time characteristics of the processes of their operation

## CONCLUSION

Presents an extended Petri net for the automated quality control of products allows us to represent the algorithm. Shown logico-temporal features of quality management processes at all stages of the product life cycle. Extended Petri net allows you to give an analysis of the structure of the criteria of the dynamic model of quality management system. The next step to become the development of methods of calculation of complex criteria based on fuzzy sets.