

**УДК 658.5. 011. 56**

**Е.А. ЛАВРОВ**, докт. техн. наук, профессор, СумГУ, г. Сумы  
**Н.Б. ПАСЬКО**, ст. препод., Сумской национальный аграрный университет

## **ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОГО УЩЕРБА ОТ ОШИБОК ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

Рассматривается задача выбора способа реализации алгоритма функционирования дискретной человеко-машинной системы, обеспечивающего минимум ущерба от возможных нарушений. Базовая модель-граф событий.

Ключевые слова: алгоритм функционирования, целевая функция, оптимизационная модель.

Розглядається задача вибору способу реалізації алгоритму функціонування дискретної людино-машинної системи, що забезпечує мінімум збитку від можливих порушень. Базова модель-граф подій.

Ключові слова: алгоритм функціонування, цільова функція, оптимізаційна модель.

The task of choice of method of realization of algorithm of functioning of the discrete of «man-machine» system is examined. A choice is provide a minimum of harm from possible violations. Base model is count of events.

Keywords: algorithm of functioning, objective function, count of events.

### **1. Введение**

Задача выбора способа взаимодействия человека-оператора с программно-техническими средствами АСУ в различных постановках достаточно полно рассмотрена в работах научной школы проф. Губинского А.И. [1]. Процессы возникновения ошибок учитывались, как правило, введением показателя “вероятность безошибочного выполнения”. Этот показатель использовался как при формировании целевой функции, так и при задании ограничений. Однако, различные ошибки могут вести к различным последствиям [2,3], которые по-разному влияют на эффективность функционирования. Сегодня оптимизация функционирования не может быть построена на бинарной модели “есть ошибка - нет ошибки”. Важно знать не сам факт ошибки, а минимизировать возможный ущерб. Так, например, украинский представитель компании Toyota на своем сайте [4], посвященном автоматизированным складам, отмечает: “Вероятность ущерба в складских операциях может быть очень значительной, от повреждения техники и до повреждения обрабатываемого груза и товаров, и, что самое важное, - телесные повреждения персонала”. Учитывая, что модели ошибок, приводящие к нарушениям разных типов, получены [3], приобретает

актуальность задача “уметь” выбирать организацию деятельности оператора, обеспечивающую при заданных ограничениях минимум возможного ущерба от нарушений.

**2. Постановка задачи.** Заданы: - структура алгоритма функционирования (АФ) системы “человек-машина” (СЧМ), определяемая множеством операций ( $\langle \{O_{ij} \} \mid i=1,2,\dots,N_0 \rangle$ ) и множеством связей между ними ( $\langle \{U_{ij} \} \mid i=1,2,\dots,U_0 \rangle$ ); - множество возможных способов реализации каждой операции ( $\langle \{K_{ij} \} \mid i=1,2,\dots,N_0 \rangle$ ); - множество возможных нарушений технологического процесса ( $\langle \{E_{ij} \} \mid i=1,2,\dots,E_0 \rangle$ ); - математическое ожидание значения экономического ущерба от нарушения каждого типа и их комбинаций – ( $\langle \{\alpha_{ij} \} \mid 1\text{-сочетание элементов из } E \text{ по } j \text{ элементов, } j=1,2,\dots,E_0 \rangle$ ); - для каждого способа реализации каждой операции - множество характеристик времени и безошибочности ( $\langle \{M_{ij}^k \} \mid k \in K_i, i=1,2,\dots,N_0, j=1,2,\dots,E_0 \rangle$ ), состав которого определяется типом операции [1]; - максимально допустимое время реализации АФ -  $T_0$ .

Необходимо: для каждой операции выбрать такой способ, чтобы обеспечить минимум математического ожидания возможного ущерба от выполнения АФ и значение математического ожидания общего времени выполнения АФ, меньшее заданного значения  $T_0$ .

В общем виде задачу можно представить в виде задачи минимизации ущерба с ограничением на среднее время выполнения алгоритма:

$$V(X) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\bar{T}(X) \leq T_0, \quad (2)$$

$$X \in X' \quad (3)$$

где  $X$  - вектор, характеризующий вариант структуры АФ;  $V(X)$  – численное выражение ущерба в результате внесения ошибок разных типов;  $\bar{T}(X)$  - среднее время выполнения алгоритма;  $T_0$  - максимально допустимое время реализации функции;  $X'$  - область допустимых решений.

### 3. Разработка математической модели.

**3.1. Алгоритм перехода от графа работ к графу событий.** Наиболее общей моделью, используемой для оптимизации АФ, является граф событий. Переход от графа работ к графу событий обоснован в [1].

Построение графа событий для учета вектора возможных исходов реализации АФ приведено в [3]. Пример перехода показан на рис.1.

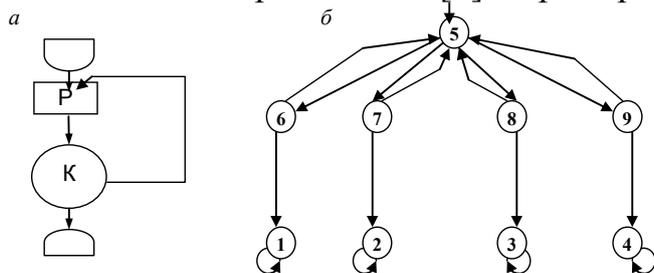


Рис.1. ТФС «Рабочая – контроль функционирования». Граф работ (а), граф событий (б). Поглощающие вершины: 1- безошибочный исход; 2 – выполнение АФ с ошибкой 2-го типа; 3 – выполнение АФ с ошибкой 1-го типа; 4 – выполнение АФ с ошибкой 1-го и 2-го типа

### 3.2 Разработка модели выбора способов выполнения операций.

**3.2.1. Модель полумарковского процесса, описывающего граф событий.** Используя [1], представим граф событий в виде следующей модели. Пусть  $N$  – общее число вершин. В каждой вершине  $i$  может быть  $K_i$  способов выполнения работы. Каждому решению соответствует свой набор переходов, который характеризуется  $P_{ij}^{(k)}$  - вероятностью перехода из вершины  $i$  в вершину  $j$  при выборе  $k$ -го решения,  $k \in K_i$ . Причем:  $\sum_j P_{ij}^{(k)} = 1$  при всех  $i$  и при всех

$k \in K_i$ .  $T_{ij}^{(k)}$  - среднее время  $i$ -й работы при  $k$ -м решении при переходе в вершину  $j$ . Среднее ожидаемое время  $i$ -й работы при  $k$ -м решении  $T_i^{(k)}$  вычисляются по формуле:  $T_i^{(k)} = \sum_j P_{ij}^{(k)} T_{ij}^{(k)}$ . Каждому варианту

окончания функционирования на графе событий ставим в соответствие поглощающее состояние. Поглощающие вершины нумеруем первыми  $r$  натуральными числами. В их число входят интересующие нас исходы  $r_l$ . Вершины  $s, t, \dots, n$  будем называть зависимыми, если в них должны приниматься одинаковые решения. Для непоглощающих вершин, зададим вектор начальных вероятностей:  $a = (a_{r+1}, a_{r+2}, \dots, a_n)$ , при этом:  $\sum_{i=r+1}^N a_i = 1$ .

Под оптимизацией АФ понимается выбор в каждой вершине такого решения, чтобы целевой функции доставлялся экстремум.

#### 3.2.2. Разработка способа формализации задачи выбора варианта АФ.

Составим выражение для целевой функции. Введем обозначения:  $e_1, e_2, \dots, e_j$  - элементы множества  $E$ ;  $L$  – множество всевозможных сочетаний по  $j$  элементов ( $j=1, 2, \dots, E_0$ ) из элементов множества  $E$ . Все возможные сочетания, моделирующие одновременное наличие  $j$  различных ошибок, определяем как коэффициенты  $\beta_j$  производящей функции при  $s^j$  ( $s$  – любое число):

$$F(s) = \sum_{j=0}^{E_0} \beta_j s^j = (1 + e_1 s)(1 + e_2 s) \dots (1 + e_{E_0} s), \quad (4)$$

В общем виде элемент множества  $l \in L$  (т.е. сочетание элементов множества  $E$  по  $j$  элементов) запишется следующим образом:

$$l = e_{h_1} e_{h_2} \dots e_{h_j}, \quad (5)$$

где:  $h_1 = 1, 2, 3, \dots, E_0$ ;  $h_2 = 2, 3, 4, \dots, E_0$ ;  $h_j = j, j+1, j+2, \dots, E_0$ ;  $j=1, 2, \dots, E_0$ ;

Пусть:  $B_l^0(X)$  – вероятность выполнения АФ с ошибками, определенными сочетанием  $l \in L$  (5);  $\alpha_l$  – величина ущерба от реализации функции с нарушениями, определенными сочетанием  $l \in L$  (5). Тогда формула для выражения целевой функции  $V(X)$ , определяющей величину ущерба в результате внесения ошибок разных типов, будет иметь вид:

$$V(X) = \sum_{l \in L} \alpha_l B_l^0(X) \quad (6)$$

Выражение для  $B_l^0(X)$  в формуле (6) зависит от способа описания АФ графом событий или графом работ. При описании АФ графом событий выражение для целевой функции поставленной задачи будет иметь вид:

$$V(X) = \sum_{l \in L} \alpha_l \sum_{s_l} \sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} P_{is_l}^{(k)} x_i^{(k)} \quad (7)$$

Здесь  $x_i^{(k)}$  - переменная, которая характеризует выбор решения:  $x_i^{(k)} > 0$  в том случае, если в  $i$ -й вершине для выполнения работы выбрано  $k$ -е решение, и  $x_i^{(k)} = 0$ , в противном случае. Для учета ограничения на среднее время выполнения алгоритма и учета зависимых вершин вводятся булевские переменные  $\delta_i^{(k)}$  (для  $k$ -го решения в  $i$ -й вершине). Тогда, задача обеспечения минимума ущерба от возможных нарушений, принимает вид:

$$V(X) = \sum_{l \in L} \alpha_l \sum_{s_l} \sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} P_{is_l}^{(k)} x_i^{(k)} \rightarrow \min \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} x_j^{(k)} - \sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K} P_{ij}^{(k)} x_i^{(k)} = a_j, \quad j=r+1, r+2, \dots, N \quad (9)$$

$$\sum_{i=r+1}^N \sum_j \sum_{k \in K_i} P_{ij}^{(k)} T_{ij}^{(k)} x_i^{(k)} \leq T_0 \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K_i} \delta_i^{(k)} = 1 \quad \text{при всех } i, \quad (11)$$

$$\delta_s^{(k)} = \delta_m^{(k)} = \dots = \delta_n^{(k)} \quad \text{при всех } k \in K_i \quad (12)$$

$$x_i^{(k)} - M \delta_i^{(k)} \leq 0 \quad \text{при всех } i \text{ и всех } k \in K_i \quad (13)$$

$$x_i^{(k)} - m \delta_i^{(k)} \geq 0 \quad \text{при всех } i \text{ и всех } k \in K_i \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^r \sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} P_{ij}^{(k)} x_i^{(k)} = 1, \quad (15)$$

$$x_i^{(k)} \geq 0 \quad \text{при всех } i \text{ и всех } k \in K_i \quad (16)$$

Здесь  $m$  и  $M$  – достаточно малое и достаточно большое числа. Ограничение (15) требует, чтобы с вероятностью 1 процесс поглотился. Ограничение (11) для  $\delta_i^{(k)}$  требует, чтобы для каждого  $i$  только одно  $\delta_i^{(k)}$  было равно единице. Это означает, что в каждой вершине  $i$  для выполнения работы принимается только одно  $k$ -е решение,  $k \in K_i$ . Ограничение (13) требует, чтобы при каждом  $i$  не более чем одно  $x_i^{(k)}$  было отлично от нуля (совместно с ограничением (16)). Ограничение (14) требует, чтобы при каждом  $i$  одно или более  $x_i^{(k)}$  было отлично от нуля. Совместно (13) и (14) требуют, чтобы лишь одно  $x_i^{(k)}$  было отлично от нуля. Ограничения (10), (12) моделируют, соответственно, ограничение на среднее время выполнения и зависимость вершин. Решение задачи (8)-(16) обладает свойством, что для каждого  $i$  только один  $x_i^{(k)}$  отличен от нуля, и, таким образом, находим оптимальное решение в каждой вершине.

**4. Направления дальнейших исследований.** 1. Формирование банка моделей для реальных АФ АСУ. 2. Распространение результатов на задачу

формирования группы операторов, назначаемых оператором – руководителем на реализацию АФ с учетом их функциональных возможностей и совместимости в группе.

### **Выводы.**

Таким образом, исходная задача сведена к задаче линейного программирования. Достоинство – возможность реализации с использованием стандартных ППП. Недостаток – трудоемкость перехода от графа работ к графу событий (устраняется путем формирования банка моделей типовых АФ). Компьютерные эксперименты по оптимизации АФ реальных АСУ, проведенные в MS EXCEL, подтвердили приемлемую вычислительную сложность и практическую значимость результатов.

**Список литературы:** 1. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания [Текст] : Справочник/ А.Н. Адаменко, А.Т. Ашеров, И.Л. Бердников и др. ; под общ. ред. А.И. Губинского и Е.Г. Евграфова - М. : Машиностроение, 1993. – 528с. 2. Козачко, О.М. Моделювання надійності алгоритмічних процесів, які виконуються з помилками різних типів [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 01.05.02 / О. М. Козачко ; [Національний технічний університет] . — Вінниця, 2006. — 19 с. 3. Лавров, Е.А. Моделирование надежности человеко-машинных систем: учет ошибок разных типов [Текст] / Е.А. Лавров, Н.Б. Пасько //Восточно-европейский журнал передовых технологий. Сер. "Системы управления. Информационные технологии". – 2007. №2/2 (26) - С.25-35. 4. Обучение операторов складской техники Toyota [Электронный ресурс] / ООО «ФОРСТОР». — Режим доступа : \www/ URL: <http://forstor.com.ua/driver-training.html/> — 28.11.2010 г. — Загл. с экрана.

*Поступила в редколлегию 25.11.2010*

**УДК 004.942:519.876**

**В. А. ЛЫФАРЬ**, зав. відділом, ТОВ “ Науковий центр вивчення ризиків “РІЗИКОН”, м. Северодонецьк

**С. А. САФОНОВА**, ст. викл., Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імени Володимира Даля, м. Северодонецьк

## **МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИСПЕТЧЕРОМ В УСЛОВИЯХ АВАРИИ**

Рассмотрены информационная технология и программно-аппаратный комплекс поддержки действий диспетчера в аварийных ситуациях.

Ключевые слова: информационная технология, аварийная ситуация, модель.

Розглянуті інформаційна технологія і програмно-апаратний комплекс підтримки дій диспетчера в аварійних ситуаціях.

Ключові слова: інформаційна технологія, аварійна ситуація, модель.

Information technology and software-hardware system to support controller operations in emergency are considered .

Keywords: information technology ,emergency, model.