

## ПОДХОД К ФОРМАЛИЗОВАННОМУ ОПИСАНИЮ ДИСКРЕТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СИСТЕМАХ «ЧЕЛОВЕК-ТЕХНИКА-СРЕДА»

*Е.А. Лавров\**, д-р техн. наук, профессор;

*Н.Б. Пасько\*\**, ст. преподаватель,

*\*Сумский государственный университет, г. Сумы, Украина;*

*E-mail: [prof\\_lavrov@mail.ru](mailto:prof_lavrov@mail.ru)*

*\*\*Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы, Украина;*

*Светлой памяти докторов технических наук, профессоров*

*Анатолия Ильича Губинского (1931-1990),*

*Владимира Георгиевича Евграфова (1931-2011)*

*и Акивы Товиевича Ашерова (1938-2011)*

*посвящают авторы эту работу.*

*Рассматривается задача формализации описания функциональной сети алгоритма деятельности операторов систем «человек-машина». Разработан способ описания функциональных сетей для реализации ввода информации о процессах взаимодействия человека с техническими средствами, хранения информации в базе данных и выполнения оценочных операций.*

***Ключевые слова:** алгоритм функционирования, элементы описания, модель функциональной сети, модель функциональной единицы, модель функциональной структуры, модель редукции.*

### ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Создание под руководством А. И. Губинского и В. Г. Евграфова научного направления “Эффективность, качество и надежность систем “человек – техника - среда” явилось фактически переворотом в эргономике, позволившим найти подходы к формализации деятельности человека-оператора.

Новые модели заложили основу для перехода от локальных разработок и изучения отдельных факторов, влияющих на операторов, к комплексному исследованию деятельности, позволяющему получать оценки прагматических и непрагматических показателей алгоритмизированной деятельности.

Такой прорыв позволил внедрить огромное количество исследований и разработок по выявлению эргономических резервов повышения надежности и эффективности реальных систем.

Изначально базой апробации и исследования моделей стали судовые системы управления [1], ядро научной школы в первые годы составили офицеры ВМФ А. И. Губинский (осуществил первое кругосветное плавание на атомной подводной лодке), В. Г. Евграфов, В. В. Кобзев, П. П. Чабаненко, В. И. Еремеев, В. В. Мигачев и многие другие. Широкая география и многоотраслевой характер исследований позволили быстро охватить разные типы систем (начиная от операторов АСУП, АСУТП, ГПС, САПР и др. автоматизированных систем, заканчивая космонавтами [2]).

**Анализ проблемной ситуации и постановка задач исследования.** Исследования данного научного направления традиционно направлены на разработку систем и программ обеспечения эргономического качества. Основное средство выбора и обоснования решений – автоматизированные системы исследований и проектирования. В 80-90-х годах прошлого века

потенциал научной школы был занят созданием разнообразных систем автоматизации разработок. Например:

– “АСНИПИ ЧМС” – Автоматизированная система научных исследований, проектирования и испытаний человеко-машинных систем (ЧМС);

– “АИСЭД” – автоматизированная система эргономических данных.

Разработки велись широкомасштабно в рамках программ международного сотрудничества.

В основе этих и многих последующих разработок, позволяющих решать большинство задач эргономики [3], лежат модели:

- F1 - формализованного описания деятельности человека-оператора;
- F2 - оценивания показателей деятельности;
- F3 - выбора оптимальных проектных решений (оптимизации алгоритмов деятельности).

Аппарат моделей F1, разработанный школой А. И. Губинского, построен на базе функциональных сетей, представляющих собой [1-3]:

- модели операций, выполняемых оператором;
- модели связей между операциями.

Формализмы F1 развиваются и настоящее время, например, трудами проф. П. П. Чабаненко (Украина, Севастополь) [4], проф. А. П. Ротштейна (Израиль, Иерусалим) [5], проф. Падерно П. И. (Россия, Санкт-Петербург) [3] и др.).

Многообразие возможных комбинаций связей между операциями, выполняемых оператором, и, как правило, большая размерность алгоритмов деятельности вызывают проблемы:

- P1 - невозможность “ручного счета”;
- P2 - для автоматизированных моделирующих систем – трудоемкость процедур перевода представленных в графическом виде или словами структур алгоритмов в машинноориентированную форму;
- P3 - сложности реализации процедур полной автоматизации расчетов (без вмешательства человека), связанных с эквивалентированием показателей и поэтапным уменьшением размерности сети.

Практически с первых версий обобщенного структурного метода [1], явившегося базовым способом задания функциональной сети появились попытки создания языка, формализующего функциональную сеть, таким образом, чтобы обеспечить удобство ввода в ЭВМ.

Имеется множество разных подходов к созданию такого языка, например:

- L1 - Язык описания функциональных сетей (ЯОФС) – Губинский А. И., Рещиков М. Ю. и др. [1, 3, 6] – 1983 г.;
- L2 - Предикатный язык для моделирования алгоритмов “Пролог-СМ” – Адаменко А. Н. [3, 7] - 1985 г.;
- L3 - “Алгебраический способ” описания функциональных сетей - Ротштейн А. П. [5] – 1992 г.;
- L4 - Язык описания функциональных структур АТК - Лавров Е. А., Кошман А. В. [8] - 1999 г.

Основными показателями оценки таких формализмов являются показатели функциональности построенных на их основе информационных технологий для решения задач эргономического моделирования (табл 1.).

Исследования эргономических проблем [9, 10] современных распределенных полиэргатических информационных систем выявили острую необходимость новых требований к моделям описания деятельности:

- решение задач оценки операторской деятельности в оперативном режиме, в условиях жестких временных ограничений. Такие оценки, как правило, должен с помощью специальных программных средств

проводить оператор-руководитель, у которого зачастую нет времени на "диалоговое исследование" модели деятельности отдельных операторов-технологов. Необходимо автоматическое получение оценок (редукция [3] функциональной сети без участия человека).

Оценивание надежно-временных показателей с учетом возможности ошибок разных типов.

Таблица 1 - Качественная оценка информационных технологий, реализованных на базе некоторых языков

Язык	Наличие информационной технологии на базе языка	Возможность оценивания в диалоговом режиме	Возможность автоматического оценивания	Возможность моделирования ошибок разных типов	Расширяемость модели	Возможность реализации в других средах
L1	Да	Да	Нет	Нет	Низкая	Да
L2	Да	Да	Да	Нет	Низкая	Нет
L3	Нет сведений	Нет сведений	Нет сведений	Нет сведений	Нет сведений	Да
L4	Да	Да	Нет	Нет	Низкая	Да

В связи с возникшей проблемной ситуацией поставлена [11] задача разработки нового языка для описания функциональных сетей. Некоторые формализмы, необходимые для создания моделирующего квалиметрического комплекса [12], описаны в [11].

Таким образом, целью настоящей работы является разработка языка, позволяющего:

- описывать (в удобном для ввода в компьютер виде) функциональную сеть, в т. ч.:
  - операции алгоритма деятельности;
  - связи между операциями;
  - характеристики операций;
  - типовые блоки операций;
  - правила выявления типовых блоков;
  - правила преобразования (редукции) функциональной сети;
  - модели расчета показателей на шагах редукции;
- обеспечивать автоматическую редукцию и оценивание показателей алгоритма деятельности, в т. ч. в условиях необходимости учета различных типов ошибок человека-оператора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### 1. Разработка моделей описания и оценивания функциональной сети в общем виде

Под формализованным описанием функциональной сети будем понимать представление алгоритма функционирования ЧМС структурной формулой, состоящей из элементов двух множеств  $M_1$  и  $M_2$ :

$M_1$  – множество элементов описания функциональной сети, с помощью которых строится описание функциональной сети с учетом событий, приводящих к возникновению, обнаружению и устранению ошибок (в том числе различных типов);

$M_2$  – множество типов связей (операций описания) между элементами описания функциональной сети. Элементами этого множества задаются отношения между элементами описания конкретной функциональной сети (порядок следования, выходы и переходы).

Тогда получим модель описания функциональной сети в общем виде:

$$O_{FS} ::= \langle E_{FS}, S_{FS} \rangle, \quad (1)$$

где  $E_{FS}$  - подмножество элементов описания из множества  $M_1$ ,  $E_{FS} \in M_1$ ;  
 $S_{FS}$  - подмножество операций описания множества  $M_2$ ,  $S_{FS} \in M_2$ .

$M_3$   $M_4$ :

$M_3$  - множество элементов оценивания, т.е. вероятностно-стоимостных характеристик, с помощью которых оценивается качество выполнения элементов описания функциональной сети;

$M_4$  - множество операций оценивания, т.е. операций над оценочными элементами, с помощью которых вычисляются вероятностно-временные характеристики всего алгоритма функционирования ЧМС. К множеству  $M_4$  относим библиотеку известных математических моделей для расчета показателей качества выполнения типовых функциональных структур (ТФС) и замены их на эквивалентные типовые функциональные единицы (ТФЕ) с учетом одной ошибки и разработанные модели для учета ошибок различных типов.

Введем взаимно-однозначное соответствие: во-первых, между элементами описания из  $M_1$  и элементами оценивания из  $M_3$ ; во-вторых, между операциями описания из  $M_2$  и операциями оценивания из  $M_4$ . Это дает возможность сделать количественную оценку алгоритма функционирования ЧМС формальной процедурой: достаточно лишь описать алгоритм функционирования множествами  $M_1$  и  $M_2$ , а затем выявить и заменить каждую операцию описания из множества  $M_2$  соответствующей оценочной операцией из множества  $M_4$ . Процедуру замены операций описания их оценочными аналогами при исследовании формализованной функциональной сети будем называть сворачиванием или редукцией функциональной сети (по аналогии с редукцией графического представления функциональной сети). Эта процедура основана на применении ТФЕ и ТФС.

Тогда получим модель оценивания функциональной сети в общем виде:

$$C_{FS} = \langle C_{EFS}, C_{OFS}, Pr_{FS} \rangle, \quad (2)$$

где  $C_{EFS}$  - подмножество элементов оценивания из множества  $M_3$ ,  $C_{EFS} \in M_3$ ;  $C_{OFS}$  - подмножество операций оценивания из множества  $M_4$ ,  $C_{OFS} \in M_4$ ;  $Pr_{FS}$  - модель протокола редукции функциональной сети.

Определим значения элементов описания, элементов оценивания и операций описания, используемых для представления функциональной сети и других объектов.

## 2. Описание элементов функциональной сети

С помощью элементов описания (элементов множества  $M_1$ ) задаются обозначения ТФЕ (функционалов основных и дополнительных и композиционных вспомогательных и служебных), наименования ТФЕ и наименование эквивалентных ТФЕ в структуре алгоритма деятельности. Функционеры соответствуют реальным операциям или действиям человека, рабочим операциям технологического оборудования, средств вычислительной техники и программных средств в анализируемом алгоритме функционирования, а композиционеры - некоторым взаимосвязям операций и логическим функциям. Обозначения некоторых ТФЕ, принятые для обозначения элементов функциональной сети, приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Элементы описания для обозначения основных ТФЕ

Номер п/п	Обозначение элемента описания	Применение для описания
1	$R$	Рабочая операция
2	$A$	Альтернативная операция
3	$K$	Операция «контроль функционирования»
4	$Z$	Операция задержки

В качестве элементов описания для задания наименования ТФЕ и эквивалентных ТФЕ в структуре алгоритма деятельности будем использовать последовательности символов, которые указывают тип ТФЕ или эквивалентной ТФЕ и номер этой ТФЕ в структуре алгоритма:

« $P1$ », « $P2$ », ..., « $Pn$ », « $K1$ », « $K2$ », ..., « $Pe1$ », ... .

### 3. Множество элементов оценивания

Элементы этой группы используются как переменные для задания значений показателей качества описательных элементов из множества  $M_1$ . Переменная, так же как и в математике, - это объект, имеющий имя и значение. Имя служит для обозначения показателя качества. Конкретное значение переменная приобретает в процессе задания значения оценочным элементам (элементам множества  $M_3$ ), т. е. вероятностно-временным характеристикам, с помощью которых оценивается качество выполнения описательных элементов. Примеры переменных и их использование показано в табл. 3.

Таблица 3 – Элементы оценивания

Номер п/п	Обозначение элемента оценивания	Применение для задания значений
1	$B^1$	Вероятность безошибочного выполнения ТФЕ
2	$B^0$	Вероятность ошибочного выполнения ТФЕ
5	$M_T$	Математическое ожидание времени выполнения
6	$D_T$	Дисперсия времени выполнения
7	$K^{11}$	Условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически правильном выполнении будет признана правильной
8	$K^{00}$	Условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически неправильном выполнении будет признана неправильной

### 4. Модель ТФЕ

Формализованным описанием ТФЕ назовем элемент описания из множества  $M_1$  вместе с соответствующими ему элементами оценивания из множества  $M_3$ . Тогда модель  $i$ -й ТФЕ будет иметь вид

$$Fe_i ::= \langle o_{e_i}, \{c_{e_{ij}}\} | j = 1, 2, \dots, m_i \rangle, o_{e_i} \in M_1, c_{e_{ij}} \in M_3, \quad (3)$$

где  $o_{e_i}$  –  $i$ -й элемент описания из множества  $M_1$ ;  $c_{e_{ij}}$  –  $j$ -й элемент оценивания ( $j$ -й показатель качества)  $i$ -го элемента описания из множества  $M_3$ ;  $m_i$  – количество оценочных элементов, относящихся к  $i$ -му описательному элементу.

Используя полученную модель ТФЕ в общем виде (формула 3), а также определенные выше элементы описания и оценивания, зададим описание некоторых ТФЕ (табл. 4).

Таблица 4 - Описание ТФЕ

Номер ТФЕ	Содержание ТФЕ	Модель ТФЕ
1	Рабочая	$Fe_1 = \langle R, B^1, B^0, [M_T, D_T], [\bar{C}, D(C)], [\bar{W}, D(W)] \rangle$
2	Альтернативная	$Fe_2 = \langle A, A_i, A_{ij}, [M_T, D_T], [\bar{C}, D(C)], [\bar{W}, D(W)] \rangle$
3	Контроль функционирования	$Fe_3 = \langle K, K^{11}, K^{10}, K^{00}, K^{01}, [M_T, D_T], [\bar{C}, D(C)], [\bar{W}, D(W)] \rangle$

**5. Описание связей между элементами функциональной сети**

Связи между элементами функциональной сети задаются элементами множества  $M_2$ , которые отображают, как соединены и в какой последовательности выполняются ТФЕ. Элементы этой группы в общем виде обозначаются переменными  $N_j, V_i, L_j$  с нижними индексами, используются в моделях для задания связей между элементами ТФС и элементами функциональной сети, и принимают целочисленные значения. Применение указанных переменных:

$N_j$  – порядковый номер ТФЕ в структуре алгоритма;

$V_i$  – возможный тип перехода после выполнения ТФЕ с номером  $N_j$ ;

$L_j$  – номер ТФЕ, выполняемой после выполнения ТФЕ с номером  $N_j$ ,

если осуществляется переход типа  $V_i$ .

Перечень возможных типов переходов и соответственные значения переменной  $V_i$  приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Применение переменной  $V_i$

Значение переменной $V_i$	Применение для задания типа перехода
1	Переход на ТФЕ в структуре алгоритма, следующей после данной по основному направлению алгоритма
2	Переход на ТФЕ, следующей после текущей ТФЕ "контроль функционирования" в случае ошибочного выполнения рабочей операции
3	Переход на ТФЕ, следующей после текущей ТФЕ "контроль работоспособности" в случае ошибочного выполнения рабочей операции
4	Переход на ТФЕ продолжения цикла, следующей после текущей ТФЕ
5	Переход на ТФЕ, следующей после текущей ТФЕ и означающей выход из цикла

В группу элементов задания связей добавим переменную  $k_c$ , означающую ограничение на количество повторений в цикле.

**6. Модель ТФС**

Формализованным описанием ТФС назовем операцию описания из множества  $M_2$ , задающую отношения между несколькими элементами описания, вместе с соответствующими ей оценочными операциями из множества  $M_4$ . Тогда модель  $i$ -й ТФС будет иметь вид

$$Fs_i ::= \langle \{o_{e_j}, N_{ij}, \{V_{ij}, L_{ij}\} | l = 1, 2, \dots, \eta_{ij}, [k_c, ] | j = 1, 2, \dots, k_i\}, o_{ee_i}, \{y_{im}\} | m = 1, 2, \dots, z_i \rangle \tag{4}$$

где  $o_{e_{ij}}$  –  $j$ -й элемент описания  $i$ -й ТФС;  $k_i$  – количество элементов описания  $i$ -й ТФС;  $k_c$  – ограничение на количество повторений в цикле;  $\{N_{ij}, \{V_{ij_l}, L_{ij_l}\} | l = 1, 2, \dots, \eta_{ij}\} \in M_2$  – подмножество связей (операция описания), отвечающее  $j$ -му элементу описания  $i$ -й ТФС. Обозначает переход типа  $V_{ij_l}$  с ТФЕ с описательным элементом  $o_{e_{ij}}$  и номером  $N_{ij}$ , на ТФЕ с номером  $L_{ij_l}$ ;  $\eta_{ij}$  – количество типов переходов, отвечающих  $j$ -му описательному элементу  $i$ -й ТФС;  $o_{ee_i}$  – элемент описания эквивалентной ТФЕ  $i$ -й ТФС;  $\{y_{i_m}\}$  –  $m$ -я оценочная операция  $i$ -й ТФС, применяемая для определения  $m$ -го показателя качества эквивалентной ТФЕ,  $\{y_{i_m}\} \in M_4$ ;  $z_i$  – количество оценочных операций  $i$ -й ТФС.

Используя определенную в общем виде модель ТФС (формула 4), а также определенные выше описательные, оценочные элементы и элементы задания описательных операций, зададим описание всех известных ТФС (примеры моделей ТФС – табл. 6).

Таблица 6 – Примеры описания ТФС

Номер ТФС	Обозначение ТФС	Содержание ТФС	Модель ТФС
1	$F S_{RR}$	Последовательное выполнение рабочих операций	$F S_{RR} = \langle \{R, 1, (1, 2)\}, \{R, 2, (1, 3)\}, \dots, \{R, n, (1, n+1)\}, R, \{B, M_T, D_T\} \rangle$
2	$F S_{RK}$	Цикловая ФС “Рабочая операция с контролем функционирования без ограничения на количество циклов»	$F S_{RK} = \langle \{R, 1, (1, 2)\}, \{K, 2, (1, 3)\}, (2, 1)\}, R, \{B, M_T, D_T\} \rangle$
3	$F S_{CRF}$	$n$ -кратное повторение рабочей операции с приемкой по всем успешным исходам	$F S_{CRF} = \langle \{R, 1, (1, 2)\}, \{C_F, 2, (4, 1), (5, 3), k_c\}, R, \{B, M_T, D_T\} \rangle$

## 7. Модель функциональной сети

Учитывая введенные в моделях (3) и (4) элементы описания и операции описания, структурная формула (1) представления функциональной сети элементами множеств  $M_1$  и  $M_2$  будет иметь вид

$$O_{FS} ::= \langle \{o_{e_j}, te_j, N_j, \{V_{j_l}, L_{j_l}\} | l = 1, 2, \dots, \eta_j, [k_c]\} | j = 1, 2, \dots, n \rangle, \quad (5)$$

где  $o_{e_j}$  –  $j$ -й элемент описания в структуре алгоритма деятельности;  $te_j$  – обозначение в структуре алгоритма ТФЕ с элементом описания  $o_{e_j}$ ;  $n$  – количество элементов описания в структуре алгоритма;  $N_j, \{V_{j_l}, L_{j_l}\}$  – описательная операция, отвечающая  $j$ -му элементу описания функциональной сети. Обозначает переход типа  $V_{j_l}$  с ТФЕ с элементом описания  $o_{e_j}$  и номером  $N_j$ , на ТФЕ с номером  $L_{j_l}$ ;  $\eta_j$  – количество типов

переходов, отвечающих  $j$ -му элементу описания;  $k_{c_j}$  – ограничение на количество повторений в цикле.

### 8. Модель редукции функциональной сети

В функционально-структурной теории под редукцией функциональной сети понимается процесс анализа и выявления в структуре алгоритма деятельности ТФС, и замена их на эквивалентные ТФЕ с показателями качества, рассчитанными на основании математических моделей данной ТФС. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся функциональная сеть не будет приведена к эквивалентной ТФЕ, если это возможно. Пример структуры алгоритма функционирования и схема поэтапного сворачивания структуры показаны на рис. 1.

Формализованным описанием протокола редукции функциональной сети назовем совокупность оценочных операций из множества  $M_4$  над элементами оценивания вместе с соответствующими им элементами описания, задающими обозначения ТФЕ в структуре алгоритма, выявленные для сворачивания на текущем шаге, и элементами описания, задающими обозначение эквивалентной ТФЕ:

$$Pr_{FS} ::= \langle \{s_i, \{te_{ij}\} \mid j = 1, 2, \dots, m_{s_i}, Fs_i, o_{eei}, \{y_{i_l}\} \mid l = 1, 2, \dots, n_i \} \mid i = 1, 2, \dots, n \rangle, \quad (6)$$

где  $s_i$  – номер шага редукции;  $n$  – количество шагов редукции;  $te_{ij}$  – обозначение в структуре алгоритма сворачиваемых на шаге  $s_i$  ТФЕ;  $m_{s_i}$  – количество сворачиваемых на шаге  $s_i$  ТФЕ;  $Fs_i$  – обозначение ТФС, выявленной в структуре алгоритма для сворачивания на шаге  $s_i$ ;  $o_{eei}$  – описательный элемент, задающий обозначение эквивалентной ТФЕ;  $\{y_{i_l}\}$  –  $l$ -я оценочная операция на  $i$ -м шаге редукции, применяемая для определения  $l$ -го показателя качества эквивалентной ТФЕ,  $\{y_{i_m}\} \in M_4$ .

Описание ТФС и обобщенной структуры алгоритма разработанным способом обеспечивает возможность их сравнения, что позволяет выявлять ТФС в структуре алгоритма, и заменять их на эквивалентные ТФЕ.

Справедливо следующее утверждение: «ТФС будет выявлена в структуре алгоритма на одном из шагов редукции, если в структуре алгоритма существует последовательность ТФЕ, аналогичная по составу ТФЕ данной ТФС, а все значения элементов связи, описывающие данные ТФЕ в структуре алгоритма, отличаются от соответствующих значений элементов связи, описывающих такие же ТФЕ в ТФС, на одно и то же число, равное номеру первой ТФЕ, выявленной в структуре алгоритма, уменьшенное на единицу».

Для формализации данного утверждения используем модели (4) и (5), представляющие ТФС и функциональную сеть алгоритма деятельности соответственно.

Пусть задано представление функциональной сети  $O_{FS}$  (формула 5) и модель  $i$ -й ТФС -  $Fs_i$  (формула 4). Тогда функциональная структура  $Fs_i$  будет выявлена в структуре алгоритма на одном из шагов редукции, если

$$\exists r \text{ такое, что } 1 < r < n \text{ и } \exists O_{FS_r} \in O_{FS}, \text{ и}$$

$$O_{FS_r} ::= \langle \{o_{e_h}, te_h, N_h, \{V_{hl}, L_{hl}\} \mid l = 1, 2, \dots, n_h, [k_{c_n}]\} \mid h = r, r + 1, \dots, r + k_i - 1 \rangle,$$

и для  $\forall j = 1, 2, \dots, z_i$  выполняется



$$o_{e_{ij}} = o_{e_{r+j-1}}; \quad N_{ij} = N_{r+j-1} - r + 1; \quad \eta_{ij} = \eta_{r+j-1}; \quad V_{ij_l} = V_{(r+j-1)l};$$

$$L_{ij_l} = L_{(r+j-1)l} - r + 1.$$

Сформулированное утверждение послужило основой для разработки правил выявления основных ТФС в обобщенной структуре алгоритма и редукции функциональной сети.

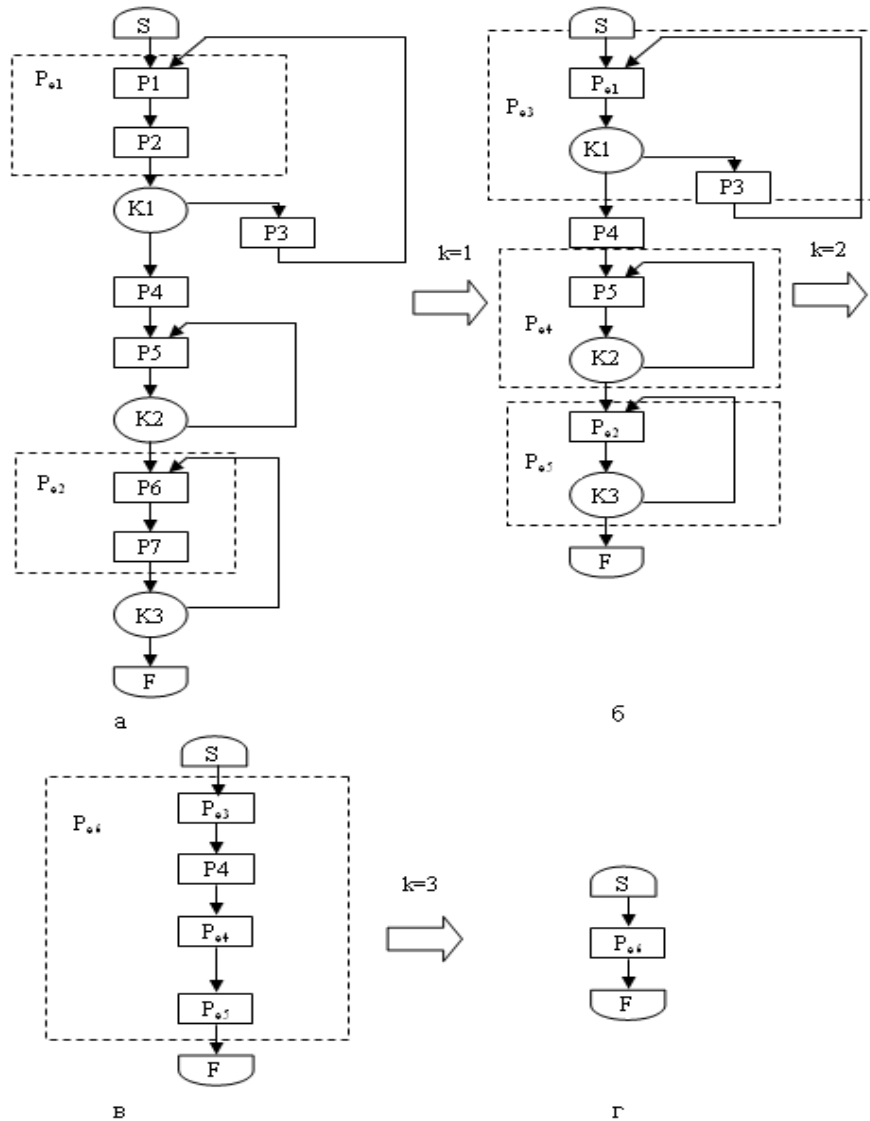


Рисунок 1 - Структура АФ (а), структура АФ после первого шага редукции (б), структура АФ после второго шага редукции (в), структура АФ после третьего шага редукции (г)

### 9. Пример редукции функциональной сети с применением разработанного способа описания ФС

Рассмотрим пример оценки алгоритма деятельности оператора РЖЦ, осуществляющего учет субсидий, предоставляемых абонентам

«Теплоэнерго» (г. Сумы). Техническую часть системы «человек-техника-среда» составляет компьютер с программным обеспечением. Компьютер подключен к локальной сети расчетно-кассового центра. Субъектом системы является оператор-технолог.

### Описание процесса функционирования

Описание делается для одного цикла процесса подготовки исходных данных по учету субсидий, предоставляемых абонентам «Теплоэнерго» за подогрев воды и отопление:

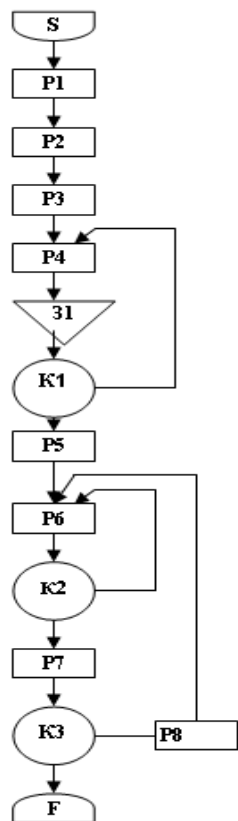


Рисунок 2 - Алгоритм процесса подготовки исходных данных по учету субсидий

- Восприятие задания на формирование исходных данных по предоставлению субсидий потребителям услуг (рабочая операция P1).
- Загрузка программного обеспечения (рабочая операция P2).
- Выбор режима работы «Импорт субсидий» (рабочая операция P3).
- Ввод параметров импорта (рабочая операция P4).
- Обработка информации в компьютере по выбору из файлов, предоставленных службой социальной защиты данных, о предоставленных субсидиях (операция задержки Z1).
- Контроль правильности импорта с возвратом на задание параметров импорта (контрольная операция K1).
- Выбор режима работы «Ручной ввод субсидий» (рабочая операция P5).
- Ручной ввод данных с ведомости (рабочая операция P6).
- Контроль правильности ввода данных с ведомости (контрольная операция K2).
- Отображение итоговых данных по потребителю услуг (рабочая операция P7).
- Сравнение общей суммы субсидий для потребителя с данными управления социальной защиты населения (контрольная операция K3).
- Если сумма не совпадает, то открыть операцию ввода по потребителю (рабочая операция P8) и перейти к ручному вводу по ведомости (рабочая операция P6).

Алгоритм функционирования приведен на рис. 2. Исходные данные представлены в

таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Показатели качества выполнения рабочих ТФЕ

Показатель	Операция								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Вероятность $B^1$	0,999	0,998	0,997	0,995	0,989	0,999	0,999	0,999	
Временной	$M_{T,мин}$	1,1	4,1	0,5	2,7	0,5	10	0,4	0,4
	$D_{T,мин}^2$	0,1	0,2	0,02	0,1	0,02	1,1	0,03	0,001

Таблица 8 - Показатели качества выполнения контрольных ТФЕ

Показатель		Операция		
		<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>
Вероятность	<i>K<sup>11</sup></i>	0,990	0,995	0,995
	<i>K<sup>00</sup></i>	0,975	0,990	0,991
Временной	<i>M<sub>T,мин</sub></i>	4,0	4,5	5,0
	<i>D<sub>T,мин<sup>2</sup></sub></i>	0,7	0,6	1,0

Представление обобщенной структуры алгоритма на языке описания ФС выполняем в соответствии с формулой (5) и приведенными правилами. Задаем фактические значения элементам описания, показателям качества выполнения операций и элементам связи между функциональными единицами. Тогда получим

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, P1, 2, (1, 3)\}, \{R, P2, 3, (1, 4)\}, \{R, P3, 4, (1, 5)\}, \{R, P4, 5, (1, 6)\}, \\ \{Z, Z1, 6, (1, 7)\}, \{K, K1, 7, (1, 8), (2, 5)\}, \{R, P5, 8, (1, 9)\}, \{R, P6, 9, (1, 10)\}, \\ \{K, K2, 10, (1, 11), (2, 9)\}, \{R, P7, 11, (1, 12)\}, \{K, K3, 12, (1, 14), (2, 13)\}, \{R, P8, 13, (1, 9)\}, \\ \{F, F, 14 \} \rangle$$

Руководствуясь приведенным выше утверждением, анализируем полученную ФС на предмет выявления в ней ТФС для сворачивания. На первом и втором шагах редукции сворачиваются первые три (после ТФЕ «Стартер») функциональные единицы (P1, P2, P3) и функциональные единицы P4 и Z1, образующие ТФС «Последовательное выполнение рабочих операций». Эквивалентные функциональные единицы обозначается через *Pe1* и *Pe2*, соответственно показатели качества определяются с помощью расчетных формул библиотеки ТФС [3]. После замены ФС примет вид

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, Pe1, 2, (1, 3)\}, \{R, Pe2, 3, (1, 4)\}, \{K, K1, 4, (1, 5), (2, 3)\}, \{R, P5, \\ 5, (1, 6)\}, \\ \{R, P6, 6, (1, 7)\}, \{K, K2, 7, (1, 8), (2, 6)\}, \{R, P7, 8, (1, 9)\}, \{K, K3, 9, (1, 11), (2, 10)\}, \\ \{R, P8, 10, (1, 6)\}, \{F, F, 11 \} \rangle$$

Следующие два шага редукции сворачивают функциональные единицы *Pe2, K1* и *P6, K2* в эквивалентные функциональные единицы *Pe3* и *Pe4* соответственно. После замены функциональная сеть примет вид

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, Pe1, 2, (1, 3)\}, \{R, Pe3, 3, (1, 4)\}, \{R, P5, 4, (1, 5)\}, \{R, Pe4, 5, (1, 6)\}, \\ \{R, P7, 6, (1, 7)\}, \{K, K3, 7, (1, 9), (2, 8)\}, \{R, P8, 8, (1, 5)\}, \{F, F, 9 \} \rangle$$

На пятом и шестом шагах редукции сворачиваются функциональные единицы *Pe1, Pe3, P5* и *Pe4, P7* как последовательности рабочих операций в эквивалентные функциональные единицы *Pe5* и *Pe6* соответственно. В результате функциональная сеть примет вид

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, Pe5, 2, (1, 3)\}, \{R, Pe6, 3, (1, 4)\}, \{K, K3, 4, (1, 6), (2, 5)\}, \\ \{R, P8, 5, (1, 3)\}, \{F, F, 6 \} \rangle$$

На седьмом шаге редукции сворачиваются функциональные единицы *Pe6, K3* и *P8*, образующие ТФС «Рабочая операция с контролем

функционирования, доработкой и повторением рабочей операции без ограничения на количество циклов», в эквивалентную функциональную единицу *Pe7*.

После замены функциональная сеть примет вид

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, Pe5, 2, (1, 3)\}, \{R, Pe7, 3, (1, 4)\}, \{F, F, 4\} \rangle$$

На восьмом шаге редукции сворачиваются функциональные единицы *Pe5* и *Pe7*, образующие ТФС «Последовательное выполнение рабочих операций», и заменяются на эквивалентную операцию *Pe8*:

$$O_{FS} = \langle \{S, S, 1, (1, 2)\}, \{R, Pe8, 2, (1, 3)\}, \{F, F, 3\} \rangle$$

Таким образом, получена полная оценка качества выполнения всего алгоритма деятельности оператора РКЦ, осуществляющего учет субсидий. Протоколов сворачивания заданной сети на языке описания ФС:

$$\begin{aligned} PrFS := & \langle \{1, (P1, P2, P3), F s_{RR}, Pe1, (0.994010994, 5.6, 0.320000023)\}, \\ & \{2, (P4, 31), F s_{RR}, Pe2, (0.995, 3.7, 0.1000001)\}, \\ & \{3, (Pe2, K1), F s_{RK}, Pe3, (0.999873119, 7.8158702, 1.71766554)\}, \\ & \{4, (P6, K2), F s_{RK}, Pe4, (0.99998994, 14.58730502, 2.9837807)\}, \\ & \{5, (Pe1, Pe3, P5), F s_{RR}, Pe5, (0.9829521, 13.9158702, 2.0576655)\}, \\ & \{6, (Pe4, P7), F s_{RR}, Pe6, (0.99099, 14.987305, 3.0137808)\}, \\ & \{7, (Pe6, K3, P8), F s_{RKR}, Pe7, (0.99991716, 20.234589, 9.1392661)\}, \\ & \{8, (Pe5, Pe7), F s_{RR}, Pe8, (0.9828707, 34.1504599, 11.1969318)\}, \end{aligned}$$

#### АПРОБАЦИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование разработанного языка описания функциональных сетей позволило:

- обеспечить удобство ввода информации о деятельности человека-оператора;
- создать базу данных описаний типовых процессов;
- исключить человека из процессов редукции ФС и, таким образом, значительно повысить удобство и оперативность системы.

Разработанный язык положен в основу программного комплекса «Компьютерная технология моделирования дискретного человеко-машинного взаимодействия» [12], который прошел апробацию:

- при моделировании распределенных систем обработки информации и управления различного назначения;
- в курсе «Эргономика» для слушателей магистратуры Сумского государственного университета ( спец. «Информатика»).

Направления дальнейших исследований:

- широкая апробация языка в рамках программного комплекса;
- создание баз данных реальных процессов реальных систем, описанных с помощью языка, для обеспечения возможности оперативного оценивания альтернативных стратегий организации деятельности;
- разработка модели, преобразующей изображение алгоритма деятельности, подготовленное в среде графического редактора, в модель, описанную в терминах разработанного языка.

## ПІДХІД ДО ФОРМАЛІЗОВАНОГО ОПИСУ ДИСКРЕТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В СИСТЕМАХ «ЛЮДИНА-ТЕХНІКА-СЕРЕДОВИЩЕ»

Є.А. Лавров<sup>1</sup>, Н.Б. Пасько<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна

E-mail: [prof\\_lavrov@mail.ru](mailto:prof_lavrov@mail.ru)

<sup>2</sup> Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Розглядається завдання формалізації опису функціональної сітки алгоритму діяльності операторів систем «людина-машина». Розроблено спосіб опису функціональних мереж для реалізації введення інформації про процеси взаємодії людини з технічними засобами, збереження інформації в базі даних та виконання операцій оцінювання.

**Ключові слова:** алгоритм функціонування, елементи опису, модель функціональної мережі, модель функціональної одиниці, модель функціональної структури, модель редукції.

## THE FORMALIZED DESCRIPTION OF DISCRETE ACTIVITY IN THE SYSTEMS OF "MAN-MACHINE"

E. A. Lavrov<sup>1</sup>, N. B. Pasko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sumy State University, Sumy, Ukraine

E-mail: [prof\\_lavrov@mail.ru](mailto:prof_lavrov@mail.ru)

<sup>2</sup> Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

The task of formalization of description of functional network of algorithm of activity of operator of the systems of «man-machine» is examined. The method of description of functional networks is developed.

**Key words:** algorithm of functioning, model of functional network, model of functional units, model of functional structures.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Губинский А. И. Эргономическое проектирование судовых систем управления / А. И. Губинский, В. Г. Евграфов. - Л.: Судостроение, 1977. - 224 с.
2. Попович П. Р. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов / П. Р. Попович, А. И. Губинский, Г. М. Колесников. - М.: Машиностроение, 1985. - 272 с.
3. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Ашероф, И. Л. Бердников и др.; под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова. - М.: Машиностроение, 1993. - 528 с.
4. Чабаненко П. П. Исследование безопасности и эффективности функционирования систем «человек-техника» эргосетями: Севастополь, АВМС им. П. С. Нахимова, 2012. - 162 с.
5. Ротштейн А. П. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий / А. П. Ротштейн, П. Д. Кузнецов. - К.: Техніка, 1992. - 245с.
6. Решиков М. Ю. Метод автоматизированного моделирования функциональных сетей (на примере человеко-машинных комплексов): автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. - Л.: 1983. - 17 с.
7. Адаменко А. Н. Автоматизация анализа функциональных сетей на основе использования языка исчисления предикатов и системы логического вывода "Пролог-СМ" / А. Н. Адаменко, А. Л. Мединцев // Известия ЛЭТИ, Вып 358. - Л., 1985, - С. 61-65.
8. Лавров Є. А. Інформаційна технологія ергономічного проектування автоматизованих технологічних комплексів / Є. А. Лавров, О. В. Кошман // Вісник Сумського державного аграрного університету, Випуск 3. - Суми, 1999. - С. 31-37.
9. Лавров Е. А. Анализ предметной области «Эргономическое качество полиэргатических систем обработки информации и управления» / Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, серия Информационно-управляющие системы. 2/9 (56). - 2012. - С. 63-69.
10. Lavrov E. Ergonomic support of man-machine interaction. Approach to designing of operators' group activities / V. Lyubchak, N. Pasko // International Journal of Bio-medical Soft Computing and Human Sciences Volume17, №2. - Japan, Tokyo, 2011. - P. 53-58.
11. Лавров Е. А. Язык описания функциональных сетей для моделирующего кваліметричного комплексу ерготехнічних систем / Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Информационно-управляющие системы. - Харьков, 2010. - 3/11 (45). - С. 4-10.
12. Лавров Є. А., Пасько Н. Б. Свідотство про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Комп'ютерна технологія моделювання дискретної людино-машинної взаємодії», № 45262, 21.08.2012.

Поступила в редакцію 16 ноября 2012 г.