

Е.В. ГЕНИАТУЛИНА, М.Г. Гриф
**МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В
ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ**

Гениатулина Е.В., Гриф М.Г. Методы проектирования и моделирования в задачах оптимизации процессов функционирования человеко-машинных систем.

Аннотация. В статье рассмотрены модели и методы автоматизации проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем (ПФ ЧМС) на основе функционально-структурной теории (ФСТ) человеко-машинных систем и обобщенного структурного метода проф. А.И. Губинского. Приведены основные понятия и определения ФСТ и методов последовательной оптимизации ПФ ЧМС. В статье предлагаются новые методы и алгоритмы, направленные на расширение области применения ФСТ ЧМС А.И. Губинского в оптимальном проектировании ПФ ЧМС. Предложен способ расширения области использования ФСТ ЧМС за счет интеграции оптимизационных моделей ПФ ЧМС с методом имитационного моделирования, так как ФСТ можно применять только для процессов без последействия и при отсутствии зависимых операций. Предлагается способ устранения данного ограничения путем интеграции технологии проектирования ПФ ЧМС основе ФСТ с методом имитационного моделирования тех участков процесса, для которых не выполняются указанные выше требования ФСТ. Описан алгоритм генерации последовательно-параллельных соединений операций с учетом дополнительных ограничений, алгоритм генерации альтернативных вариантов ПФ ЧМС на основе совпадения целей операций, алгоритм генерации параметрических альтернатив на основе шаблона. Приведены основные понятия и определения, необходимые для алгоритма генерации фрагментов процесса с учетом обязательных сочетаний операций. Предложено использование матрицы обязательных сочетаний операций, в которой ненулевые элементы строк имеют смысл единственно возможных сочетаний способов выполнения соответствующих типовых функциональных единиц в альтернативах. Введено понятие состав и понятие парной несовместимости составов, на основе которых происходит распределение выполняемых функций составами.

Ключевые слова: функционально-структурная теория, человеко-машинная система, множество альтернатив, альтернативный граф, функциональная сеть, цель операции, обязательные сочетания операций, парная несовместимость, автоматизация проектирования, имитационное моделирование.

Geniatulina E.V., Grif M.G. Man-machine Systems Functioning Design and Modeling Methods in Optimization Processes Problems.

Abstract. The article is dedicated to the models and methods of automation man-machine systems functioning processes design based on functional-structural theory of man-machine systems and generalized structural method of prof. A.I. Gubinsky. The basic concepts and definitions of the functional-structural theory and sequential optimization method of man-machine systems functioning processes are presented. They are intended to expand the scope of functional-structural theory of prof. A.I. Gubinsky in man-machine systems functioning processes optimal design. The functional-structural theory is applicable only for processes without aftereffect and in the case of dependent operations absence. That is why the integration of man-machine systems functioning processes optimization models with simulation method is proposed. Also the man-machine systems functioning processes integration design technology method based on the functional-structural theory with simulation method for the areas that are

not fulfilled the above requirements of the functional-structural theory is researched. The proposed methods allow to bypass limitations of functional-structural theory. The algorithm for generating a series-parallel connection operations with the additional constraints, the algorithm generating alternatives process of man-machine systems functioning processes based on the coincidence of the objectives of operations, the algorithm generating parametric alternatives based on a template are described. The basic concepts and definitions necessary for the generation algorithm of process fragments with the mandatory combinations of operations are represented. The using of binding combinations operations matrix, in which the nonzero elements of rows have meaning of the only possible method combinations for performing the relevant functional units in alternatives, is proposed. The performed functions distribution is based on the concept of the composition and the concept of compositions pair incompatibility.

Keywords: functional-structural theory, man-machine system, the set of alternatives, the alternative graph, functional network, the operation target binding combination of operations, pair incompatibility, design automation.

1. Введение. Разработка технологий проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем по показателям эффективности, качества и надежности (ЭКН) является одним из доминирующих направлений в исследовании и автоматизации проектных работ, управления объектами и принятия решений. Существует множество различных подходов к оптимальному проектированию процессов функционирования ЧМС, которые обеспечивают возможность генерации и быстрого анализа достаточно большого числа альтернатив [1,2]. Одним из хорошо зарекомендовавших себя на практике является функционально-структурная теория и обобщенный структурный метод проф. Губинского А.И. [3,4], получившие творческое развитие в работах В.Г. Евграфова, П.И. Падерно, А.П. Ротштейна, П.П. Чабаненко, Е.А. Лаврова и др. [7-11].

В работах Е.Б. Цоя и М.Г. Грифа [5,6] разработаны модели, методы и технологии последовательной оптимизации процессов функционирования (ПФ) ЧМС по показателям эффективности, качества и надежности на основе ФСТ. Однако применяемый в них способ задания множества альтернатив ПФ ЧМС требует явного описания процессов и достаточно трудоемок. Кроме того, механизм задания ограничений на сочетании способов выполнения отдельных операций в ПФ представляет для проектировщика большую сложность.

В настоящей работе предлагается способ расширения области использования ФСТ ЧМС за счет интеграции оптимизационных моделей ПФ ЧМС с методом имитационного моделирования, так как ФСТ можно применять только для процессов без последствия и при отсутствии зависимых операций. Описывается способ устранения данного ограничения путем интеграции технологии проектирования ПФ ЧМС основе ФСТ с методом имитационного моделирования тех участков процесса, для которых не выполняются указанные выше требования ФСТ.

Предлагаются также новые методы оптимального проектирования ПФ ЧМС. Описываются и обосновываются подходы к заданию множества альтернатив ПФ ЧМС с использованием модели данных на основе объектно-ориентированного представления операций, которое строится путем синтеза функционально-структурной теории и объектно-ориентированного проектирования. Рассматриваются алгоритм генерации последовательно-параллельных процессов, алгоритм генерации альтернативных фрагментов ПФ ЧМС на базе совпадения целей процессов, а также алгоритм с учетом обязательных сочетаний операций, которые реализованы в гибридной экспертной системе (ГЭС) проектирования человеко-машинных систем и принятия решений – ИНТЕЛЛЕКТ-3.

2. Постановка задачи оптимального проектирования ПФ ЧМС. Использование при проектировании ПФ ЧМС ФСТ А.И. Губинского предполагает, что каждый альтернативный процесс функционирования ЧМС задается в виде функциональной сети (ФС) и представляется состоящим из ряда формализованных единиц – типовых функциональных единиц (ТФЕ) и их типовых комбинации – типовых функциональных структур (ТФС). Причем множество альтернатив может содержать как структурные, так и параметрические альтернативы (рисунк 1) [3-6].

Непосредственно в основе способа оценки вероятностных показателей эффективности, качества и надежности процесса функционирования ЧМС – вероятности правильного (безошибочного) выполнения B , среднего времени T и средних затрат (дохода) V от выполнения, вероятности своевременного выполнения $P(t < T_d)$, лежит вероятностный граф, а также правила его редукции (укрупнения).

Рассмотрим способы задания оптимизационной модели ПФ ЧМС на основе функциональной сети с использованием множеств элементов ЧМС, выполняемых функций и операций. Множество альтернативных процессов ЧМС, пользователь описывает в виде альтернативного графа (рисунк 2).

Отдельный процесс функционирования должен быть представлен в виде суперпозиции ТФС, в которые входят наборы операций. Под операцией $O \equiv O(F, E, Q)$ понимается процесс выполнения функции F элементом E в состоянии ЧМС S , Q - показатели эффективности, качества и надежности. Отдельный процесс функционирования ЧМС (функциональная сеть) представляется в виде суперпозиции ТФС:

$$O_z = TFC_i(O_{i_1}, O_{i_2}, \dots, O_{i_k}), \quad (1)$$

где $T\Phi C_i \in M_{T\Phi C}$, O_{i_j} – простая или составная операция. Две операции с совпадающей функцией $F - \alpha(F, E_1, Q_1)$ и $\alpha(F, E_2, Q_2)$ являются альтернативными ("параметрическими") способами выполнения операции O , так же как и составные операции $O = T\Phi C_i(O_{i_1}, O_{i_2}, \dots)$ и $O = T\Phi C_s(O_{s_1}, O_{s_2}, \dots)$, $i \neq s$ - "структурными".

Задача оптимизации (обобщенная задача динамического программирования) ставится следующим образом:

$$\begin{aligned} K_{ЭКН}(A) &\rightarrow \text{extr}, \\ A &\in M_d \subseteq M_a \end{aligned} \quad (2)$$

где $K_{ЭКН}(A)$ – критерий оптимальности для сочетаний критериев ЭКН; M_d – множество допустимых альтернатив, альтернативные варианты процесса – M_a .

Вероятностные и нечеткие показатели эффективности, качества и надежности процесса (алгоритма) функционирования: $B(A), T(A), V(A), P(t < T_d)(A), \tilde{B}(A), \tilde{T}(A), \tilde{V}(A)$.

$B(A)$ – вероятность правильного (безошибочного) выполнения, $T(A)$ – среднее время и $V(A)$ – средние затраты или доход в зависимости от поставленной задачи.

В табл. 1 приведены некоторые из возможных постановок задач оптимизации с показателями $B(A)$, $T(A)$ и $V(A)$. Здесь $P_{ogr}(A)$ – ограничения на совместимость способов выполнения компонентов альтернатив в виде предиката – "Если $P_{ogr}(A)$ есть "Истина", то A удовлетворяет ограничениям задачи".

В [5] разработан метод последовательной оптимизации ПФ ЧМС на модели ФС в рамках общей схемы метода последовательного анализа вариантов с пошаговым конструированием частичных решений. Конкретный алгоритм пошагового конструирования определяется правилом выбора частичных решений (подсетей) ϑ , подлежащих развитию на каждом шаге, и набор тестов ξ , осуществляющих отсев тех из них, которые не могут быть построены до оптимальных. Вариация параметров ϑ и ξ приводит к различным алгоритмам метода последовательного анализа вариантов применительно к задачам оптимизации ПФ ЧМС на функциональных сетях.

Таблица 1. Скалярные и векторные задачи оптимизации с показателями $B(A)$, $T(A)$ и $V(A)$

Критерий	Ограничения	Примечания
$B(A) \rightarrow \max,$ $A \in M_d$	$B(A) \leq B_d,$ $T(A) \leq T_d,$ $P_{ogr}(A)$	$V_d \geq 0,$ $T_d \geq 0$
$T(A) \rightarrow \min,$ $A \in M_d$	$V(A) \leq V_d,$ $B(A) \geq B_d,$ $P_{ogr}(A)$	$V_d \geq 0,$ $B_d \in [0.1]$
$V(A) \rightarrow \min,$ $A \in M_d$	$T(A) \leq T_d,$ $B(A) \geq B_d,$ $P_{ogr}(A)$	$T_d \geq 0,$ $B_d \in [0.1]$
$F_1 = c_1 B(A) - c_2 T(A)$ $-c_3 V(A) \rightarrow \max$	$P_{ogr}(A)$	$c_i \geq 0, i=1...3$

Технология проектирования ПФ по показателям ЭКН наиболее полно реализована в гибридной экспертной системе ГЭС Интеллект-3, которая предназначена для автоматизации проектирования ПФ ЧМС на основе вероятностных и нечетких показателей ЭКН методом последовательной оптимизации.

3. Построение множества альтернатив на основе объектно-ориентированной модели данных. Ранее пользователю было необходимо задавать процесс функционирования в явном виде. Это достаточно трудоемкий процесс, который требует от пользователя обладания определенными навыками. Предлагается автоматическая генерация всего ПФ за счет алгоритма генерации последовательно-параллельного ПФ ЧМС, где $M = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ – множество абстрактных операций, отличающихся друг от друга уникальным именем (или номером), n – общее количество операций. В основе данного алгоритма лежат такие понятия как множество абстрактных операций, а также бинарные отношения следования операций.

$R = \{ \langle O_i, O_j \rangle / O_i R O_j \Leftrightarrow O_i \neq O_j; O_i, O_j \in M \}, R \subseteq M^2$ – бинарное отношение на множестве M^2 «следует за» (за операцией O_i следует операция O_j), задает отношение последовательности на множестве M .

Для определения последовательно – параллельной структуры (алгоритм) выполнения операций процесса функционирования человеко-машинных систем, необходимо разбить множество M на m попарно не пересекающихся подмножеств P_i таких, что каждый элемент из M принадлежит только одному из этих подмножеств[12-14]:

$$P = P_1, P_2, \dots, P_m, \quad (3)$$

где m – количество подмножеств множества P .

Условия распараллеливания, в соответствии с которыми необходимо максимально распараллелить алгоритм (3), но с минимально возможным значением m (удовлетворяющим от 1) до 6):

1) $\forall i P_i \subseteq M$ – все подмножества P входят во множество абстрактных операций M ;

2) $\forall i \forall j i \neq j P_i \cap P_j = \emptyset$ – одна и та же операция не должна входить одновременно в два различных подмножества P ;

3) $\bigcup_{i=1, m} P_i = M$ – все операции из множества M должны быть учтены;

4) Для мощности $\forall O_{s_1} \in P_j$ и $\forall O_{s_2} \in P_i$, и $j < i, i \neq j \Rightarrow \exists O_{s_1} R O_{s_2}$ – должна обязательно существовать начальная операция (та, которая не следует ни за какой другой);

5) Условие параллельности 1:

Для мощности $|P_i| > 1: \forall O_{s_1}$ и $\forall O_{s_2} \in P_i \Rightarrow \exists O_{s_1} R O_{s_2}$ – для любых двух пар операций, не должно существовать отношений следования друг за другом;

6) Условие последовательности:

$\forall O_{s_1} \in P_j$ и $\forall O_{s_2} \in P_i$ и $j < i, i \neq j \Rightarrow \exists O_{s_1} R O_{s_2}$ – операция O_{s_1} следует за операцией O_{s_2} , только в том случае, если не существует отношения «следования за» $- O_{s_1} R O_{s_2}$.

В результате получаем последовательно-параллельную структуру вида (рисунок 1).

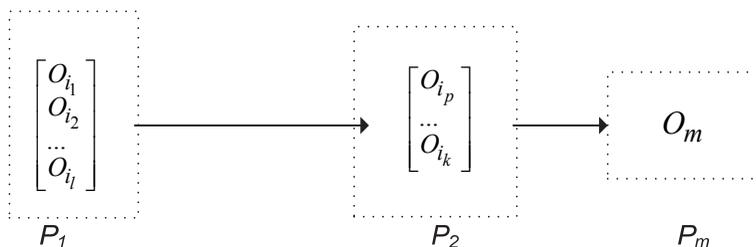


Рис. 1. Последовательно-параллельная структура

Отношения следования «следует за» R задаются посредством матрицы смежности:

$$A = \|a_{ij}\|, \text{ где } i, j = \overline{1, n} \text{ и } a_{ij} = 1 \Leftrightarrow \exists O_i R O_j.$$

Исходя из которой, находится матрица достижимости:

$$A' = \|a'_{ij}\|, \text{ где } i, j = \overline{1, n}.$$

Вводимые пользователем отношения следования, в конечном итоге, представляются в виде списков: $S_i = \{O_{S_1}, \dots, O_{S_m} \mid \forall O_S \in M / a'_{is} = 1\}$

или $S_i = \{O_{S_1}, \dots, O_{S_m} \mid \forall O_S \in M \exists Put(O_i, O_S)\}$.

$Put(O_i, O_j)$ – существование достижимости из O_i в O_j , определяется путем учета явных или неявных отношений «следования за» – $O_i R O_j$.

Расширением алгоритма последовательно-параллельных ПФ является алгоритм автоматической генерации параметрических способов выполнения операций на базе объектно-ориентированной модели представления данных, элементами которой являются классы, объекты, отношения (наследования, агрегации, ассоциации, метакласс), свойства, методы и т.п. В рамках данного способа происходит описание операций, множества альтернатив и методов его модификации [13-17]. В качестве способа описания введено понятие «состав».

Состав – совокупность объектов разных классов, объединенных для достижения поставленных задач и обладающий критериями ЭКН.

$St_i \equiv (O_1, O_2, \dots, O_n, B, T, V)$, где St – состав, O_1, O_2, \dots, O_n – операции.

В общем случае во множество параметрических способов выполнения операции входит совокупность составов, целью каждого из которых является результат выполнения необходимой операции: $M_p(O) \equiv \{St_1, St_2, \dots, St_n\}$, где $M_p(O)$ – множества параметрических способов выполнения операции.

Разработан алгоритм генерации параметрических альтернатив на основе меры близости составов. Он позволяет автоматически подобрать наиболее близкие способы выполнения операций в рамках той или иной ТФЕ на основе меры близости составов.

Мера близости v – значение в диапазоне от 0 до 1, по которому определяется степень "похожести", близости между объектами (или группами объектов) и между их атрибутами [19].

Определение. Состав St_i является близким составу St_j тогда, когда мера близости между этими составами $v(St_i, St_j) > 0$:

$$v(St_i, St_j) = \frac{N_s}{N_o},$$

где N_s – количество схожих объектов состава St_i по отношению к составу $St_j - K_{O_s}$, а также соответствующих им характеристик (атрибутов) – K_{C_s} : $N_s = K_{O_s} + K_{C_s}$,

N_o – общее количество объектов K_{O_o} и характеристик (со значениями, если они есть) K_{C_o} состава St_j : $N_o = K_{O_o} + K_{C_o}$.

N_s – определяется в соответствии с объектами и их характеристиками, т.е. проверяется соответствие конкретных объектов одного состава с объектами другого состава.

N_o – количество объектов одного состава, значения характеристик которых совпадают со значениями характеристик другого состава.

Использование меры близости позволяет определить уровень сходства составов объектов, для более полного понимания пользователем схожести тех или иных составов, помогает в выборе близких составов в качестве альтернатив в рамках ТФЕ.

Разработан метод генерации структурных альтернатив на основе деления на фрагменты ПФ. Две операции являются структурными альтернативами $O = TFC_i(O_{i_1}, O_{i_2}, \dots)$ и $O = TFC_s(O_{s_1}, O_{s_2}, \dots)$, $i \neq s$ если при выполнении операций в рамках этих ТФС достигается необходи-

мый результат или, иначе говоря, операции направлены на достижении одной и той же заданной цели.

Цель – это желаемое состояние процесса, которое достигается путем перехода из одного состояния системы в другое посредством операций, входящих в конкретные фрагменты процесса.

В рамках ПФ существует множество целей: $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$, где $Z_i = Z_i(TФE_i, \dots, TФE_j)$ – множество ТФЕ, объединенных для достижения единой цели.

$Z_i(TФE_i, \dots, TФE_j)$ – будем называть цель от точки $TФE_i$ до точки $TФE_j$.

Ранее цель задавалась только для конкретной ТФЕ исходя из выполняемой операции, и не давала пользователю никакой возможности сгенерировать структурную альтернативу. Разработанный метод позволяет пользователю создавать цели на любых участках ПФ и сохранять их, что позволяет пользователю автоматически получить представление процесса или отдельной его части - фрагмента в виде альтернативного графа на основе ранее сохраненных целей фрагментов. Необходимо лишь поставить цель для новой части ПФ, система сама сгенерирует возможные варианты решения.

Алгоритм генерации параметрических альтернатив может расширить алгоритм последовательно-параллельного алгоритма и дать возможность пользователю не только сформировать весь алгоритм с учетом внешних факторов, а также подобрать возможные параметрические альтернативы для каждой ТФЕ в рамках графа всего процесса.

4. Оптимизация с учетом обязательных и недопустимых сочетаний операций. Ранее была предложена только матрица недопустимых сочетаний операций. Она заполнялась вручную пользователем, что сопровождалось поиском номеров способов выполнения операций в рамках ТФЕ, причем некоторые из них не были исходными.

Предложено автоматизировать заполнение матрицы недопустимых сочетаний операций за счет ввода понятия списка парной несовместимости составов. Все данные по несовместимости хранятся в системе и не требуют повторного ввода.

Рассмотрим пример понятия ограничений на совместимость способов выполнения ТФЕ с учетом недопустимых сочетаний операций. Пусть набором текста на ЭВМ могут заниматься два оператора - А и В (рисунок 2.). В данной ФС только три операции, следовательно, имеем восемь альтернатив.

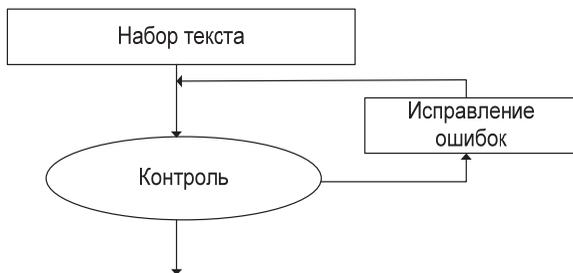


Рис. 2. Функциональная сеть набора текста оператором ЭВМ

Однако реальных альтернатив только две – назначить на все три операции либо A , либо B . Следовательно, нужно задать матрицу:

$$M_{SOV} = \begin{Bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \text{ или } M_{ZSOV} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 \end{Bmatrix}.$$

Для упрощения ввода и хранения информации, используемой ранее, а также для автоматического формирования матрицы M_{SOV} , введем понятие списка по парной несовместимости составов:

$$Sp \equiv (St_i, St_j), \text{ где } St_i, St_j \equiv (O_1, O_2, \dots, O_n, B, T, V).$$

На основе приведенного примера, достаточно сказать что A и B не совместимы, чтобы получить автоматическую матрицу M_{SOV} приведенную выше, тогда как, вводя матрицу самостоятельно, пользователю необходимо помнить какой номер у способа выполнения операции в определенной ТФС, что заставляет пользователя тратить больше времени на ввод матрицы ограничений на совместимость.

Таким образом, получаем:

$Sp \equiv (A, B)$ - означает, что состав А и состав В – несовместимы.

В результате, на основе примера получается матрица несовместимых сочетаний способов выполнения операций:

$$M_{SOV} = \begin{Bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Поскольку просмотр графа последовательный, и сравнение попарно, добавляется в матрицу еще 2 строки $\{0,2,1\}$ и $\{0,1,2\}$. Они являются лишними, поскольку сочетания $\{1,2,0\}$ и $\{1,0,2\}$ уже учитывают $\{0,2,1\}$ и $\{0,2,1\}$.

В связи этим встает необходимость поиска взаимозаменяющих строк, который предполагает поиск лишних строк и удаление их из матрицы несовместимых способов сочетания операций для более быстрого его анализа, что сокращает время работы всего алгоритма оптимизации в целом.

Бывают ситуации, когда пользователю проще задать те сочетания способов выполнения операций, которые обязательно должны быть. В связи с этим, предложено использование матрицы обязательных сочетаний операций M_{ZSOV} , в которой ненулевые элементы строк имеют смысл единственно возможных сочетаний способов выполнения соответствующих ТФЕ в альтернативах.

В той части алгоритма оптимизации, где происходит отсев частичных решений исходя их введенных матриц недопустимых и обязательных сочетаний операций, время нахождения решения увеличивается в зависимости от количества введенных в них строк, поскольку решение об отсеке принимается на основе последовательного анализа каждой матрицы.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что алгоритм оптимального проектирования процессов функционирования ЧМС с учетом недопустимых и обязательных сочетаний операций, позволяет снизить время решения задачи по сравнению с методом поиска на основе недопустимых сочетаний операций при большем их количестве [17].

5. Интеграция оптимизационных моделей ПФ ЧМС с методом имитационного моделирования. В [6] была впервые предложена схема интеграции метода оптимального проектирования ПФ ЧМС на основе ФСТ с методом имитационного моделирования показателей эффективности, качества и надежности отдельных участков процесса, которые нельзя описать функциональной сетью.

Суть предлагаемого подхода состоит в следующем [18, 19].

1. Множество альтернатив ПФ ЧМС описывается одной из популярных и наглядных нотаций описания бизнес-процессов – EPC. Данная нотация дополняется специальным блоком для задания альтернативных участков ПФ ЧМС.

2. В каждом блоке, аналогичном ТФЕ в ФС, задаются вероятности исходов выполнения (правильно, ошибка) как функции от различных факторов, например, освещенность рабочего места, квалифика-

ция работника и т.п. Кроме того, задаются и формулы для вычисления (изменения) значений факторов в процессе выполнения данного блока.

3. Проводится анализ множества альтернатив ПФ ЧМС на предмет выделения в нем участков, которые нельзя описывать моделью ФС. Так, например, если для линейного участка процесса находится фактор, влияющий на исходы первой и последней операции, то весь участок нельзя описывать ФС. Или для циклического участка процесса выясняется, что фактор на входе в цикл может изменяться внутри цикла.

4. Для выделенных участков процесса, не представимых ФС, проводится имитационное моделирование показателей эквивалентного блока – $B(A)$, $T(A)$ и $V(A)$, который и заменит данный участок. Необходимо заметить, что данный блок, как правило, является альтернативным.

5. После того как во множестве альтернатив ПФ ЧМС, описанного в системе нотаций ЕРС, не останется участков непредставимых ФС, производится трансляция нотаций ЕРС в ФС.

Решения задач оптимального проектирования ПФ ЧМС на модели ФС осуществляется в ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3. Программный комплекс имитационного моделирования ПФ ЧМС разработан для операционной системы Windows, написан на языке C# с использованием библиотеки Microsoft .NETFramework 2.0 и компонента построения диаграмм MicrosoftVisio. Применяется совместно с ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3.

6. Заключение. Все приведенные методы и алгоритмы направлены на расширение области применения ФСТ ЧМС А.И. Губинского в оптимальном проектировании ПФ ЧМС. Так, алгоритм генерации последовательно-параллельных процессов функционирования ЧМС позволяет автоматически сформировать ПФ с учетом максимального распараллеливания операций. Это уменьшает время, затрачиваемое на рассматриваемый пользователем процесс, позволяет учесть влияние факторов внешней среды, сформировать возможные альтернативы в рамках той или иной операции, исключая ситуации распараллеливания операций, в том случае, если операции выполняются в различных условиях. Кроме того, возможна автоматическая генерация частей ПФ на основе алгоритма деления на фрагменты, который позволяет учитывать и хранить фрагменты ПФ на основе заданной цели.

Описанный метод генерации процессов функционирования на основе обязательных сочетаний операций позволяет пользователю задавать быстро и удобно альтернативы, имеющие ограничения на совместимость или же являющиеся обязательными для того или иного процесса, что ускоряет время работы алгоритма в целом. Данные ме-

тоды программно реализованы в ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3 с учетом всех описанных особенностей.

Интеграция ФСТ с методом имитационного моделирования позволяет проводить оптимизацию ПФ ЧМС в случае, когда имеют место процессы с последействием, что также расширяет возможности модели ФСТ ЧМС.

Литература

1. *MacGarry K., Wermter S., MacIntyre J.* Hybrid neural system: from simply coupling to fully integrated neural network // *Neural computing surveys*. 1999. vol. 2. pp. 62–93.
2. *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии // М.: Наука. 1988. 280с.
3. *Адаменко А.Н.* Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник // М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
4. *Губинский А.И.* Надежность и качество функционирования эргатических систем // Л.: Наука, 1982. 270 с.
5. *Гриф М.Г. Цой Е.Б.* Автоматизация проектирования процессов функционирования человеко-машинных систем на основе метода последовательной оптимизации: монография // Новосибирск. НГТУ. 2005. 264 с.
6. *Гриф М.Г., Никитюк А.А.* Проектирование и оптимизация бизнес-процессов на основе аппарата функциональных сетей // Информатика: проблемы, методология, технологии : материалы 11 междунар. науч.-метод. конф. Воронеж: ИПЦ ВГУ. 2011. Т. 1. С. 209–212.
7. *Падерно П.И.* Функционально-структурная теория – направления развития // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2011. № 3-1. С. 89–90.
8. *Падерно П.И., Смирнов А.В.* Оценка безошибочности выполнения фрагментов алгоритмов при различных видах ошибок // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2012. № 2. С. 38–45.
9. *Ротштейн А. П.* Алгебра алгоритмов и нечеткая логика в анализе надежности систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. № 2. С. 91–103.
10. *Лавров Е. А., Пасько Н. Б.* Подход к формированию банка оптимизационных моделей для распределения функций между операторами АСУ // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Серия «Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты». 2011. № 1/4 (49). С. 46–50.
11. *Чабаненко П. П.* Исследование безопасности и эффективности функционирования систем человек-техника эргосетями // Севастополь: Изд-во Акад. воен.-мор. сил им. П. С. Нахимова. 2012. 160 с.
12. *Гениатулина Е.В., Гриф М.Г.* Метод генерации процессов функционирования человеко-машинных систем // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2009. №2(56). С. 71–76.
13. *Гениатулина Е.В., Гриф М.Г.* Методы генерации множества альтернатив в задачах оптимизации человеко-машинных систем // Науч. вест. НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2010. №4(41). С. 41–50.
14. *Гениатулина Е.В.* Проектирование процессов функционирования в человеко-машинных системах // Перспективы развития информационных технологий. Сборник материалов II Ежегодной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием г. Новосибирск: Изд-во «Сибпринт». 2010. С.205-210.

15. *Гениатулина Е.В.* Метод генерации процессов функционирования человеко-машинных систем в интеллектуальных системах // «Молодой ученый». Чита. ООО «Издательство Молодой ученый». 2009. №10. С.83 – 85.
16. *Гениатулина Е.В.* Представление данных в интеллектуальных системах, усеченно-естественный язык // Материалы девятой международной научно-методической конференции. Информатика: проблемы, методология, технологии. Воронеж. Воронежский государственный университет. 2009. Т. 1. С. 202-210.
17. *Гениатулина Е.В., Гриф М.Г.* Метод генерации фрагментов процесса функционирования с учетом обязательных сочетаний операций // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2014. №3 (77). С. 53-62.
18. *Grif M.G., Sundui O., Tsoy E.B.* Methods of designing and modeling of man-machine systems // Proc. of International Summerworkshop Computer Science 2014. Germany. Chemnitz. 2014. pp. 38-40.
19. *Grif M.G., Sundui O., Tsoy E.B.* Selecting the method of maintenance and elimination of network failures in the National University of Mongolia // News of Science and Education. 2014. vol. 14(14). pp. 116-123.

References

1. MacGarry K., Wermter S., MacIntyre J. Hybrid neural system: from simply coupling to fully integrated neural network. Neural computing surveys. 1999. vol. 2. pp. 62–93.
2. Pospelov G.S. *Iskussvennyi intellekt – osnova novoi informatsionnoi tekhnologii* [Artificial Intelligence - the basis of new information technology]. M.:Nauka. 1988. 280 p. (In Russ.).
3. Adamenko A.N. *Informatsionno-upravliaiushchie cheloveko-mashinnye sistemy: Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya: Spravochnik* [Information and Control Man-Machine Systems: Research, design, testing: test handbook] Moscow: Mashinostroenie. 1993. 528 p. (In Russ.).
4. Gubinskii A.I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of operation ergonomics systems]. L.: Nauka, 1982. 270 p. (In Russ.).
5. Grif M.G. Tsoi E.B. *Avtomatizatsiya proektirovaniya protsessov funktsionirovaniya cheloveko-mashinnykh sistem na osnove metoda posledovatel'noi optimizatsii: monografiya* [Computer-aided design processes of man-machine systems on the basis of serial optimization: a monograph]. Novosibirsk, NSTU. 2005. 264 p. (In Russ.).
6. Grif M.G., Nikitiuk A.A. [Design and optimization of business processes on the basis of the device functional networks]. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: materialy 11 mezhdunar. nauch.-metod. konf* [Materials of 11th International Scientific Conference]. Voronezh: IPTS VGU. 2011. vol. 1. pp. 209–212. (In Russ.).
7. Paderno P.I. [Functional- structural theory - development directions]. *Chelovecheskii faktor: problemy psikhologii i ergonomiki – Human Factors: Problems of Psychology and Ergonomics*. 2011. vol. 3-1. pp. 89–90. (In Russ.).
8. Paderno P.I., Smirnov A.V. [Evaluation of infallibility perform fragments of algorithms for different types of errors]. *Izvestiia SPbGETU "LETI" – Proceedings of Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI"*. 2012. vol. 2. pp. 38–45. (In Russ.).
9. Rotshtein A. P. [Algebra algorithms and fuzzy logic to analyze the reliability of systems]. *Izvestiia RAN. Teoriia i sistemy upravleniia – Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2010. vol. 2. pp. 91–103. (In Russ.).
10. Lavrov E. A., Pas'ko N. B. [Approach to the formation of the bank's optimization models for the distribution of functions between operators ACS]. *Vostochno-Evropeskii zhurnal peredovykh tekhnologii. Serii «Matematika i kibernetika - fundamental'nye i prikladnye aspekty» – East European Journal of advanced technologies*. 2011. vol. 1/4 (49). pp. 46–50. (In Russ.).
11. Chabanenko P. P. *Issledovanie bezopasnosti i effektivnosti funktsionirovaniia sistem chelovek-tekhnika ergosetiami* [Study of the safety and effectiveness of the systems of

- human- technology ergonomic networks]. Sevastopol': Izd-vo Akad. voen.-mor. sil im. P. S. Nakhimova. 2012. 160 p. (In Russ.).
12. Geniatulina E.V., Grif M.G. [The method of generating processes of man-machine systems]. *Sbornik nauchnykh trudov – Collection of scientific works NSTU*. NGTU–Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2009. №2(56). pp. 71–76. (In Russ.).
 13. Geniatulina E.V., Grif M.G. [Methods for generating a plurality of alternatives in optimization problems of man-machine systems]. *Nauch. vest. NGTU – Scientific Bulletin NSTU*. Novosibirsk: Izd-vo NGTU. 2010. vol. 4(41). pp. 41–50. (In Russ.).
 14. Geniatulina E.V. [Designing processes functioning in man-machine systems. Prospects of development of information technologies]. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologii. Sbornik materialov II Ezhгодnoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhduнародnym uchastiem* [Collection of materials II Annual All-Russian scientific conference with international participation]. Novosibirsk: Izd-vo «Sibprint». 2010. pp. 205–210. (In Russ.).
 15. Geniatulina E.V., Grif M.G. [The generating fragments of the process operation method with the mandatory operations combination]. *Molodoi uchenyi – Young researcher*. Chita. OOO «Izdatel'stvo Molodoi uchenyi. 2009. vol. 10. pp. 83–85. (In Russ.).
 16. Geniatulina E.V. [Data representation in intelligent systems, truncated natural language]. *Materialy devyatoi mezhduнародnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii. Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii* [Proceedings of the Ninth International Scientific Conference]. Voronezh. Voronezhskii gosudarstvennyi universitet. 2009. vol. 1. pp. 202–210. (In Russ.).
 17. Geniatulina E.V., Grif M.G. [The method of generating of fragments of the process of functioning in view of the mandatory combinations of operations]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU – Proceedings of NSTU*. 2014. № 3 (77). pp. 53-62.
 18. Grif M.G., Sundui O., Tsoy E.B. Methods of designing and modeling of man-machine systems. Proc. of International Summerworkshop Computer Science 2014. Summerworkshop. Germany. Chemnitz. 2014. pp. 38–40.
 19. Grif M.G., Sundui O., Tsoy E.B. Selecting the method of maintenance and elimination of network failures in the National University of Mongolia. *News of Science and Education*. 2014. vol. 14(14). pp. 116–123.

Гениатулина Елена Владимировна — к-т техн. наук, доцент кафедры Автоматизированных систем управления Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Область научных интересов: методы проектирования и оптимизации человеко-машинных систем. Число научных публикаций — 18. genilen@gmail.com; пр. К.Маркса, 20, Новосибирск, 630092; р.т. +7(383) 346-15-59, факс +7(383)346-11-00.

Geniatulina Elena Vladimirovna — Ph.D., department of automated control systems, Novosibirsk State Technical University. Research interests: methods of designing and optimization of man-machine systems, systems of sign language machine translation. Number of publications — 18. genilen@gmail.com; prospect Karla Marksa 20, Novosibirsk; office phone. +7(383) 346-15-59, fax +7(383)346-11-00.

Гриф Михаил Геннадьевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Область научных интересов: методы проектирования и оптимизации человеко-машинных систем, системы компьютерного сурдоперевода. Число научных публикаций — 220. grifmg@mail.ru; пр. К.Маркса, 20, Новосибирск, 630092; р.т. +7(383) 346-15-59, факс +7(383)346-11-00.

Grif Mikhail Gennadyevich — Ph.D., Dr. Sci., professor, head of department of automated control systems, Novosibirsk State Technical University. Research interests: methods of designing and optimization of man-machine systems, systems of sign language machine translation. Number of publications — 220. grifmg@mail.ru; prospect Karla Marksa 20, Novosibirsk; office phone +7(383) 346-15-59, fax +7(383)346-11-00.

РЕФЕРАТ

Гениатулина Е.В., Гриф М.Г. **Методы проектирования и моделирования в задачах оптимизации процессов функционирования человеко-машинных систем.**

Целью данной статьи является описание способов расширения области использования ФСТ ЧМС за счет интеграции оптимизационных моделей ПФ ЧМС с методом имитационного моделирования, а также рядом алгоритмов, описанных в статье.

Статья состоит из 6 основных частей: введение, постановка задачи оптимального проектирования ПФ ЧМС, построение множества альтернатив на основе объектно-ориентированной модели данных, оптимизация с учетом обязательных и недопустимых сочетаний операций, интеграция оптимизационных моделей ПФ ЧМС с методом имитационного моделирования и заключение. Во введении описываются основные проблемы в проектировании ПФ ЧМС на основе ФСТ, ставится актуальность задачи. Во второй части ставится задача оптимального проектирования ПФ ЧМС, описывается оптимизационная модель и показатели эффективности. В третьей части описываются и обосновываются подходы к заданию множества альтернатив ПФ ЧМС с использованием модели данных на основе объектно-ориентированного представления операций, которое строится путем синтеза функционально-структурной теории и объектно-ориентированного проектирования. Рассматриваются алгоритм генерации последовательно-параллельных процессов и алгоритм генерации альтернативных фрагментов ПФ ЧМС на базе совпадения целей процессов. В четвертой части представлен алгоритм с учетом обязательных и недопустимых сочетаний операций. Рассматривается конкретный пример. В пятой части описывается способ устранения ограничения ФСТ путем интеграции технологии проектирования ПФ ЧМС основе ФСТ с методом имитационного моделирования, так как ФСТ можно применять только для процессов без последствия и при отсутствии зависимых операций. Предлагаются также новые методы оптимального проектирования ПФ ЧМС.

Данные алгоритмы позволяют сократить время на описание, постановку и решение задач оптимизации в ПФ ЧМС на основе ФСТ в рамках использования гибридной экспертной системы ГЭС ИНТЕЛЛЕКТ-3. Интеграция ФСТ с методом имитационного моделирования позволяет проводить оптимизацию ПФ ЧМС в случае, когда имеют место процессы с последствием. Это также расширяет возможности модели ФСТ ЧМС.

SUMMARY

Geniatulina E.V., Grif M.G. Man-machine systems functioning design and modeling methods in optimization processes problems.

The article considers design of HMS functioning process (FP) based on functional structural theory of HMS (FST HMS) and suggests how to expand application of FST HMS by integrating FP HMS optimization models and simulation method. A number of algorithms are described in the paper.

The article consists of six parts: introduction, FP HMS optimal design problem statement, alternatives set construction based on an object-oriented data model, optimization based on mandatory and invalid operations combinations, FP HMS optimization models and simulation method integration and conclusion. The introduction describes main problems in the FP HMS design based on FST, states the urgency of the subject. The second part includes the definition of the FP HMS optimal design problem, optimization model and efficiency indicators information. The third part describes and justifies the approaches to defining the FP HMS alternatives set using a data model based on pre-operations object-oriented representation, which is constructed by synthesizing FST and object-oriented design. The algorithm for generating series-parallel processes and the algorithm used to generate FP HMS alternative fragments based on process goals matching are considered. The fourth section presents an algorithm based on combination of binding and invalid operations. The concrete example is referring. A particular example is considered. In the fifth section a way to eliminate FST restrictions by integrating the design of FP HMS technology based on FST and simulation method is stated, since FST can be applied only to processes with no aftereffect and dependent operations. New methods for optimal design of FP HMS were offered.

These algorithms are used to reduce the time for description, formulation and optimization problems resolving of FP HMS based on the FST in a hybrid expert system framework HES INTELLEKT-3. Integrating FST and simulation method allows to optimize FP HMS having processes with aftereffects. It also enlarges scope of the FDT HMS model application.