

## ФУНКЦИОНАЛЬНО - ЦЕЛЕВАЯ ПРИЧИННО - СЛЕДСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

к.т.н. В.М. Стрелец  
(представил д.т.н., проф. Ю.А. Абрамов)

Показаны особенности проведения эргономической оценки с помощью функционально-целевых причинно-следственных моделей.

Основными принципами системного подхода к моделированию, анализу и синтезу сложных систем, к числу которых относятся и системы «человек - машина - среда» (СЧМ), являются: единство функционально - целевых и причинно - следственных отношений; последовательное раскрытие неопределенности и избыточности; однозначное представление свойств и характеристик; многоуровневая интеграция систем управления.

На основе принципов однозначности и неизбыточности модель эргономической оценки (ЭО) СЧМ можно представить в виде причинно-следственной модели (ПСМ) сложной системы управления  $S^2$ . В то же время, проведение ЭО СЧМ с помощью ПСМ накладывает существенные ограничения на процедуры ЭО, так как при этом должны быть строго заданы топология, структура операторов и параметры. Кроме того, сказывается невозможность использования системной функционально - целевой информации, что приводит к необходимости полного перебора всего множества ПСМ, тогда как в практике ЭО эксперты используют системную информацию. Это позволяет перейти от перебора всего множества вариантов к исследованию их ограниченного числа. В связи с этим ПСМ должна быть дополнена информацией о причинно-следственных отношениях между переменными системы и системной информацией о функционально-целевых свойствах, т.е. ЭО СЧМ целесообразно проводить на базе функционально-целевых причинно - следственных моделей (ФЦПСМ) [1].

ЭО как имитационная система ( $S^2$ ) представляет собой множество взаимосвязанных подсистем  $S^m$ . В самом общем виде  $S^2$  состоит из следующих подсистем:  $S^1$  - имитационные математические модели (ИММ) СЧМ;  $S^2$  - имитационные физические модели (ИФМ) СЧМ;  $S^3$  - банк эргономических данных (БЭД);  $S^4$  - эксперт (эксперты). На рис.1 представлена функционально - целевая причинно - следственная модель имитационной системы (ИС), на которой выделены подсистемы  $S^m$  и связи  $w^{mx}$  между подсистемами.

В предложенной модели  $F_{01}^1$  - внешние воздействия. Поскольку за

основу подсистемы  $S^1$  взята большая имитационная модель, то в качестве внешних воздействий рассматривается информация от частных имитационных моделей (ЧИМ), из которых она компонуется и которые постоянно совершенствуются и видоизменяются.

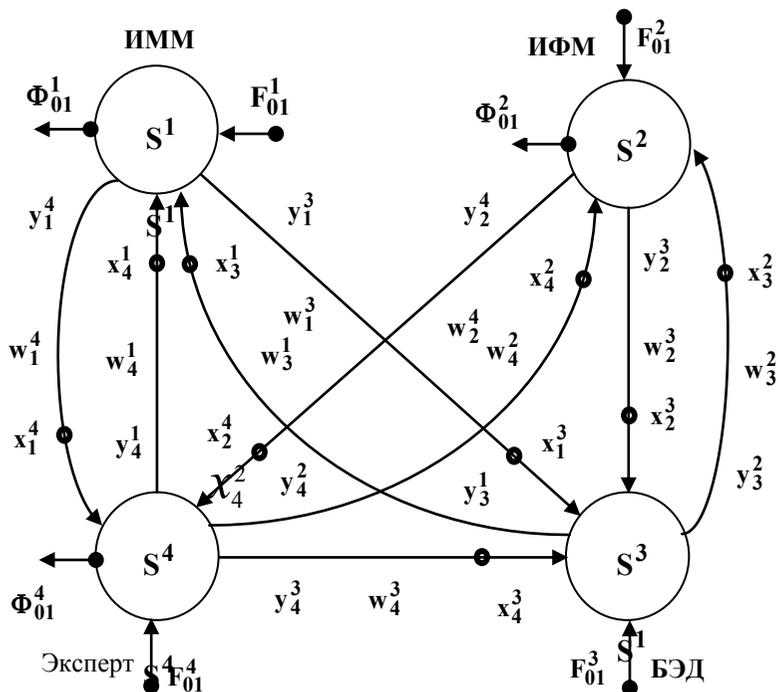


Рис. 1. Функционально-целевая причинно - следственная модель эргономической оценки СЧМ

$F_{01}^2$  - параметры и характеристики деятельности персонала исследуемой системы, моделируемые с помощью ЭВМ и других технических средств;  $F_{01}^3$  - эргономические параметры и характеристики СЧМ;  $F_{01}^4$  - задачи ЭО СЧМ (как правило, ставит заказчик работы или же лицо, принимающее решение);  $x_4^1$  - исходные данные для имитационного математического моделирования СЧМ;  $x_3^1$  - информация из БЭД, необходимая для проведения имитационного математического моделирования;  $x_2^3$  - информация о результатах ФМ, помещаемая в БЭД;  $x_2^4$  - информация о результатах, которой пользуется эксперт;  $x_1^3$  - информация для БЭД о ре-

зультатах имитационного математического моделирования функционирования СЧМ;  $x_1^4$  - информация эксперту о результатах ИМ;  $y_4^1, y_4^2$  - решения о выборе исходных данных и моделей;  $y_3^1, y_3^2$  - параметры и характеристики имитационных моделей;  $y_4^3$  - запросы в БЭД;  $w^{3,1}, w^{1,3}, w^{3,2}, w^{2,3}$  - операторы приема-передачи информации, необходимой для работы имитационных моделей, из БЭД;  $w^{1,4}, w^{4,1}, w^{4,2}, w^{2,4}, w^{4,3}$  - операторы связи;  $\Phi_{01}^1$  - результаты имитационного математического моделирования,  $\Phi_{01}^1 = x_1^4$ ;  $\Phi_{01}^2$  - результаты имитационного физического моделирования,  $\Phi_{01}^2 = x_2^4$ ;  $\Phi_{01}^4$  - результаты эргономической оценки СЧМ.

Граф  $G_{RS}^\Sigma$  ИС представляет собой сильно - связный граф, образованный на множестве  $\{G_0^m; m = 1, \dots, A\}$  сильно связных графов подсистем  $G_0^m$  и множестве дуг  $\{w^{m,k}; m \neq k\}$ , устанавливающих отношения между графами  $G_0^m$ . Выделение из графа  $G_{RS}^\Sigma$  ПСМ ИС с максимальной топологической определенностью графов  $G_0^m$  и связей между ними приводит к его упорядочению, т.е. функционально-целевой причинно-следственной интеграции. ФЦПСМ ИС (рис.1) соответствует первому уровню интеграции сложной системы ( $L=1$ ), т.е. интеграции звеньев в подсистемы, обладающие системными свойствами и выполняющими самостоятельные функции и цели. Разработка ФЦПСМ ИС более низкого уровня интеграции ( $L=0$ ) с максимальной топологической определенностью представляет большую сложность ввиду трудности декомпозиции, в первую очередь подсистем  $S^1$  и  $S^4$ . Второму уровню сложности ( $L=2$ ) соответствует объединение множества подсистем  $S^m$  в комплексы подсистем

$$Z^P = \left\langle S^m; m \in \{1, \dots, A\}; W^{m,k}; m, k \in \{1, \dots, A\} \right\rangle, \quad (1)$$

где  $W^{m,k}$  - множество дуг  $\{w^{m,k}; m \neq k\}$ , устанавливающих отношения между подсистемами  $S^m$  и  $S^k$ .

Подсистема  $S^m$  является элементарной системной единицей, на базе которой формируются, используя информацию о множестве связей  $W^{m,k}$ , комплексы подсистем  $Z^P$  и непосредственно ИС ЭО СЧМ  $S^\Sigma$ . Таким образом, декомпозиция сильно связного графа  $G_{RS}^\Sigma$ , выбор рациональной структуры и параметров подсистем  $S^m$  и связей  $W^{m,k}$  позволяет органи-

зывать ИС, выполняющую общесистемные функции и цели управления.

Модель

$$\mathbf{M}_{RS}^m = \langle \mathbf{M}_F^m, \mathbf{M}_X^m, \mathbf{M}_{FS}^m, \mathbf{M}_{XS}^m, \mathbf{M}_S^m, \mathbf{M}_{SY}^m, \mathbf{M}_{SF}^m, \mathbf{M}_Y^m, \mathbf{M}_\Phi^m \rangle \quad (2)$$

подсистемы  $\mathbf{S}^m$  представляет собой совокупность однозначных и избыточных частных моделей  $\mathbf{M}_S^m$  собственно подсистемы  $\mathbf{S}^m$ ; внешней среды на входе  $\mathbf{M}_F^m$  и выходе  $\mathbf{M}_\Phi^m$ , модели связей внешней среды с подсистемой на входе  $\mathbf{M}_{FS}^m$  и выходе  $\mathbf{M}_{SF}^m$ , а также моделей расширенной внешней среды на входе  $\mathbf{M}_X^m$  и на выходе  $\mathbf{M}_Y^m$  подсистемы и связей  $\mathbf{M}_{XS}^m$  и  $\mathbf{M}_{SY}^m$  этой внешней среды с подсистемой. Следовательно, (2) является сильно связным графом  $\mathbf{G}_0^m$ , условием сильной связности которого является равенство

$$\mathbf{E} = \forall \Gamma(\mathbf{e}_i) , \quad (3)$$

где  $\mathbf{E} = \{\mathbf{e}_i; i \in \mathbf{I}\}$ ,  $\mathbf{I} = \{1, \dots, n_0\}$ ;  $n_0 = |\mathbf{E}|$  - множество вершин  $\mathbf{G}_S^\Sigma$ ;  $\Gamma$  - отношение, которое задает соответствие между парами вершин графа  $\mathbf{G}_S$ .

Поскольку в сильно связном графе  $\mathbf{G}_S$  всегда имеется путь из любой вершины  $\mathbf{e}_i$  в любую вершину  $\mathbf{e}_j$ , где  $(\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j \in \mathbf{E})$ , то на множестве внутренних вершин  $\mathbf{e}_{v_i}^m$  могут быть определены множества  $\mathbf{E}_{VX}^m$ ,  $\mathbf{E}_{VF}^m$  входных вершин  $\mathbf{e}_{v_i}^m$ , связанных единичными дугами с множествами  $\mathbf{E}_X^m$ ,  $\mathbf{E}_F^m$  входных вершин  $\mathbf{e}_{x_a}^m$  и  $\mathbf{e}_{f_{0r}}^m$ , соответствующих переменным  $x_a^m$  и  $f_{0r}^m$ , а также множества  $\mathbf{E}_Y^m$ ,  $\mathbf{E}_\Phi^m$  выходных вершин  $\mathbf{e}_{v_i}^m$  графа  $\mathbf{G}_0^m$ .

Таким образом, методология, основанная на использовании ФЦПСМ, позволяет проводить ЭО СЧМ путем разбиения задач экспертизы в соответствии с системными принципами последовательного раскрытия неопределенности, определения необходимой информации на всех этапах ЭО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. – 416 с.

*Поступила в редколлегию 15.12.2000*