

## ПРОБЛЕМЪТ ЗА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР ПРИ ОЦЕНКА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ФУНКЦИОНИРАНЕ НА СЛОЖНИ ЕРГАТИЧНИ СИСТЕМИ

Зоя Хубенова<sup>1</sup>, Владимир Гергов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

<sup>2</sup>ВТУ „Т. Каблешков“ – София

e-mail: zhubenova@space.bas.bg; vladigergov@abv.bg

**Ключови думи:** автоматизирана система, човек оператор, професионална пригодност

**Резюме:** Статията е посветена на търсенето на решение на проблемите, свързани с «човешкия фактор» (ЧФ), актуален за сложните системи за управление. Обосновава се необходимостта от създаването на комплексен имитационен модел, отразяващ поведението на оператора в автоматизираните системи за управление. Такъв модел позволява да се създават адекватни сценарии на работа на оператора, като възможност за оптимизация по критерий минимум на неадекватни действия на оператора при неизправност. Предложена е методология за анализ на ЧФ, посредством оценка на ефективността на операторската дейност на база системен модел, в който са обособени сензорно, когнитивно и моторно ниво на операторските функции.

## HUMAN FACTOR ISSUE IN ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF FUNCTIONING OF SOPHISTICATED ERGATIC SYSTEMS

Zoya Hubenova<sup>1</sup>, Vladimir Gergov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Todor Kableshkov University of Transport – Sofia

e-mail: zhubenova@space.bas.bg; vladigergov@abv.bg

**Keywords:** automated systems, human operator, capabilities

**Abstract:** The article is devoted to finding a solution to the problems, associated with “the human factor”, current for the sophisticated control systems. The need of creation of a complex simulative model, reflecting the operator’s behavior in automatic control systems is grounded. Such a model allows to be created appropriate working scenarios of the operator, as well as an opportunity for optimization, according to minimum criterion, of the inadequate actions of the operator at a fault. Methodology for human factor analysis by evaluating of effectiveness of operator’s activity, based on a system model, in which are differentiated the sensory, cognitive and motor level of operator’s functions has been proposed.

### Въведение

Развитието на информационните технологии, повишаването на степента на автоматизация и съответстващото преразпределение на функциите между човека и техниката до сега не са довели до решаването на проблемите, свързани с човешкия фактор (ЧФ) в системите за управление, а в някои случаи даже ги задълбочават. За това свидетелстват резултатите при анализа на извънредните и аварийни ситуации. Разследването и анализът на болшинството аварии и произшествия в авиацията, наземния и воден транспорт, енергетиката, атомната и нефтена промишленост, част от които водят до катастрофални последствия, показват, че ако в 60-те години грешките на човека са първопричина само за 20 % от инцидентите, то през 90-те техния дял нараства до 80 % [4].

Един от из ключовите причини на проблема „човешки фактор“ е липсата на квалифициран персонал, способен да работи при експлоатацията на съвременните системи за автоматизации [1, 6]. Други причини са снижаване на технологичната дисциплина, притъпяване

на бдителността при дълговременна монотонна работа и пр. Става очевидна потребността от кадри, които да могат да вземат отговорни решения, доколкото могат и знаят да ползват целия огромен потенциал на съвременната техника. В същото време, операторът трябва да е в активно състояние и адекватно да реагира в нещатни ситуации, а както показва опита, нивото им на подготовка е често недостатъчно. В резултат, внедряването на съвременните технологии на автоматизация в такива сложни комплекси не само дава очевидни преимущества, но и повдига редица нови проблеми и задачи като: повишаване нивото, включително и нови методи за обучение и преподготовка на кадрите, усъвършенстване процеса на взаимодействие на оператор–конзола в автоматизираните системи за управление (АСУ), подбор на кадри за операторските длъжности и др.

Особеностите на тези по същество ергатични системи (ЕС) са, че в контура на управление, т.е. в управляващата система е включен самия ЧО (или група оператори), както и това, че психофизиологичните свойства на оператора трябва да са част от параметрите (свойствата) на системата. Ако функционирането на този род системи е в условия на неопределеност, то качеството на управление се осигурява от ЧО [5]. В тази връзка възниква задачата за определяне на професионалната пригодност на операторите, чието решение е важно и актуално за повишаване надеждността на човека-оператора в структурата на ЕС.

### **Подходи за решаване на проблема „човешки фактор”**

Традиционен подход за решаване на разглеждания проблем е оптималното разпределение на функциите между човека и техниката, както и повишаване ефективността от дейността на оператора по пътя на подобряване условията на труда (ергономично направление). С времето възникването на проблемите (50–60-те години), свързани с разпределението на функциите между оператора и автоматиката се е променяло [3, 5]. Първоначално това е формулирано в работите на П. М. Фитс във вид на списък от сравнителни възможности между човека и машината. Необходимостта от разпределение на функциите е била поставена под съмнение от Н. Джордан, издигнал идеята за взаимодопълването на човека и машината. В това направление са работели У. Сингълтон, В. Я. Дубровский и др., като в резултат са се оформили две направления за нейното решаване [6].

Представителите на *първото* направление предлагат нови принципи на организация на съвместната работа на човека и техниката и ролята на активния оператор в системата «човек - машина» (Н. Д. Завалова, Б. Ф. Ломов); *Второто* направление се опира на принципа на динамичното или адаптивно разпределение на функциите между оператора и машината (К. А. Кук, К. Корбридж, Е. Костин и др.) [2].

В последно време в редица публикации се застъпва тезата за целесъобразността от включването в АСУ на методите на изкуствен интелект. Представя се също, че проблемът на ЧФ ще стане предмет на информационната екология на човека – това ново научно направление. По мнение на много специалисти от промишлеността, интелигентното управление трябва да отговаря на редица изисквания като: способност за обучение и адаптация; повишаване на устойчивостта и простота на управлението на сложни обекти; способност за включване на нови компоненти, осигуряващи най-добрите решения в рамките на ограниченията, наложени от апаратно-програмните средства пр. Развитието на приложните аспекти на интелигентните системи и теорията на размитите множества дават нови възможности за моделиране на такива системи. Обръща се внимание основно и върху това, как да се повиши адекватността на действията на оператора за предотвратяване на извънредни ситуации или в условия на такива ситуации. Средствата на изкуствен интелект трябва да предоставят по време на работната смяна на оператора жизнен тонус, съответстващ на неговите функционални задължения. На тези средства се възлагат и отговорностите за предсказване на състоянието на оператора и управлявания обект.

Важно е да се отбележи, че ергономичните (комфортни) условия за работа на оператора не са достатъчни, а понякога и неадекватни, за решаване проблема за човешкия фактор. Това е видно от продължаващите по причина ЧФ аварии. Необходимо е да се помага на оператора да съхранява в течение на цялата работна смяна активния тонус, позволяващ адекватно да реагира, в частност и на извънредни обстоятелства.

### **Концепция за моделиране на системата «оператор — АСУ»**

Изискванията към описателните и функционални възможности на средствата за моделиране могат да се формулират, като се анализират съществуващите модели на дейността на ЧО [6]. Традиционно при описване на модели на дейността на ЧО се различават следните основни обекти и процеси:

- структурни елементи (процеси) на дейността (например, операции, задачи, действия, типове функционални елементи и структури, фази за решения на задачите);
- логико-времева последователност на действията (алгоритъм на действие), реализирана с помощта на логически условия и различни композиционери, организиращи вход-изход от алгоритъма, паралелни и циклични процеси;
- обекти на дейността (средства за изобразяване на информация, органи за управление, други оператори);
- количествени показатели на дейността (надеждности – вероятност за грешки, времеви – време за реакция или изпълняване на действия);
- фактори, влияещи на дейността, такива като микроклимат, опасност, сложност, достоверност на информацията и др.;
- характер на дейността (типове на задачите, типове поведение и пр.);
- ресурси и състояние на оператора (памет, анализатори, психофизиологически показатели и характеристики);
- елементи на групова дейност (взаимодействие, синхронизация, управление);
- състояние на обекта на управление.

Решаването на проблема за ЧФ се свързва със следните направления:

**1. Поддържане емоционалното комфортно и бодро състояние на оператора в работното време.** На състоянието на оператора в течение на работната смяна влияят работните и организационни характеристики [1]. Работните характеристики включват съдържанието на работата, средствата за работа, и технически и социалните условия на труд. Организационните характеристики са оптималната структура на АСУ, процесите и управлението. Необходимо е, да се отчитат всички тези външни за оператора фактори, влияещи на неговата работоспособност.

Следва да се създават условия, в които се изключва извънредната пасивност на оператора. Тя може да доведе до повишаване на монотонността и като следствие, уморяемост и сънливост, които отрицателно влияят на работоспособността. Целесъобразна е също така психопрофилактиката на неблагоприятните функционални състояния. Всичко това се препоръчва от класическата ергономия.

**2. Осигуряване на своєвременен и ефективен отдих (релаксация) на оператора.** Качеството, времето, интензивността на отдиха зависят от индивидуалните характеристики на всеки оператор. Индивидуалните характеристики на оператора се делят на професионални, нравствени и организационни, психологични, физиологични и физически. Това съществено усложнява организацията на интелектуалния компонент на оператора, а самият проблем за ЧФ става интердисциплинарен.

**3. Сnižаване на неадекватното натоварване на оператора.** Необходимо е да се изключат излишните действия, извършвани от оператора, като съответно се осигури удобство на работното място и организация на почивките, т.е. да се осигури необходимото ниво на работните, организационни, индивидуални характеристики на локалната среда за работа на оператора, която да е адекватна на неговите функционални задължения.

**4. Мониторинг на състоянието на работоспособността на оператора,** на неговото емоционално и физическо състояние. Мониторингът е необходим за своєвременното реагиране при поява на признаци на умора, прекомерно натоварване, спад на реактивността и пр., а като следствие, спад на психологическата работоспособност, увеличаване на вероятността от грешни действия и пр.

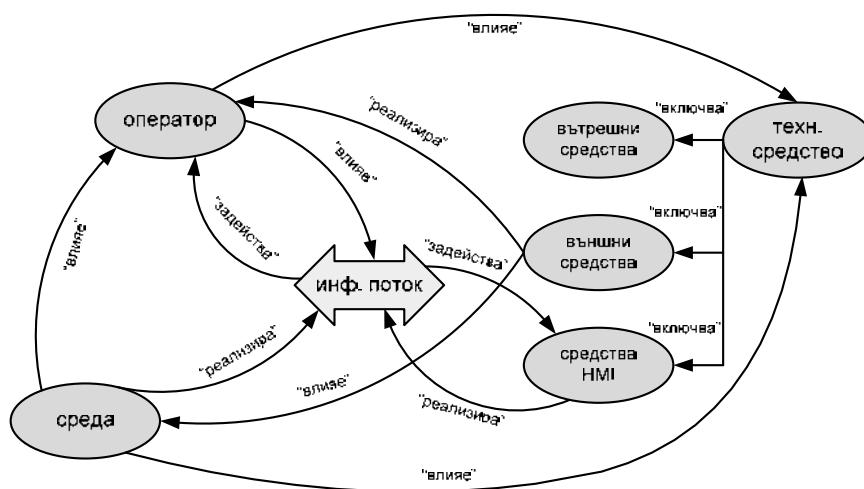
Изброените по-горе задачи са непосредствено свързани с операторските пултове и средствата за изобразяване на информацията, оборудвани със съответните апаратно-програмни осигуряване и дистанционни средства за измерване и наблюдение в частност.

Организацията на адекватен потребителски интерфейс с конзолата е задължително изискване за всяка АСУ. Поддържането на необходима реактивност на оператора и на неговото съответстващо емоционално и физическо състояние е възможно по пътя на регулярния тренинг. Например, чрез определени интервали от време или по резултати от мониторинга се имитира лъжлива критична ситуация, в която операторът е принуден да се намеси. По-нататък се прави оценка и анализ на действията на оператора. Ако реакцията на произтеклите събития е адекватна и времето за решение на дадената задача удовлетворява изискванията, то операторът продължава своята работа, ако не — се предприемат мерки или той се заменя. Друго решение — да се «накара» автоматиката да отчита личностните характеристики на всеки оператор поотделно. При започване на работа операторът запълва входяща анкета и се провежда профтестиране. Системата, отчита особеностите на конкретния оператор, като дава възможност да организира по съответстващ начин взаимодействието му с АСУ.

Трябва да се отбележи, че задачата, свързана с пригодността на оператора не е тривиална, поради сложността на връзките между професионалните качества и сложната интерпретация на резултатите от тестирането и формализацията на процесите в операторската дейност. До сега недостатъчно са изучени въпросите за избора на отделните професионални характеристики, тяхната взаимовръзка с успешността на операторската дейност, като отсъства единен методически подход за провеждане на изследванията и подбора на оперативния персонал на основа достиженията на съвременните интелектуални технологии. Тези професионално-важни качества на ЧО, необходими за успешното обучение и ефективна работа могат да се определят като физически, анатомо-физиологични, психически и личностни свойства на човека. В тази връзка са разработени различни подходи за тяхната оценка, основани на методи за тестиране и лабораторни експерименти, насочени към моделиране на операторската дейност [3].

### Модел за описание и оценка на операторска дейност

За описание и представянето на знания за професионалната дейност на човека-оператор в структурата ЕС може да се изобрази процеса на взаимодействие на ЧО, техническата система и средата във вид на семантична мрежа (фиг.1.).



Фиг. 1. Модел за анализ на взаимодействие в ергатична система

Така операторската дейност може да се проектира като циклично изпълнение на отделни актове от тази дейност. В този смисъл целесъобразно е въвеждането на понятието акт на операторска дейност, като под това понятие се разбира: завършена последователност от отделни неповтарящи се операторски действия, реализиращи единичен цикъл на управление. Отчитайки, че има известно разделяне в операторската дейност, то и акта може да се раздели на отделни типични етапи:

$$(1) \quad R = \{R_i\}, \quad i = 1, N$$

където  $R_i$  е елемент на системата, представляващ отделния етап от операторската дейност (под елемент от системата се разбира най-проста неделима операция),  $i$  – броя на етапите на операторската дейност.

Всеки етап от операторската дейност, от своя страна, се характеризира с набор от елементарни операторски действия:

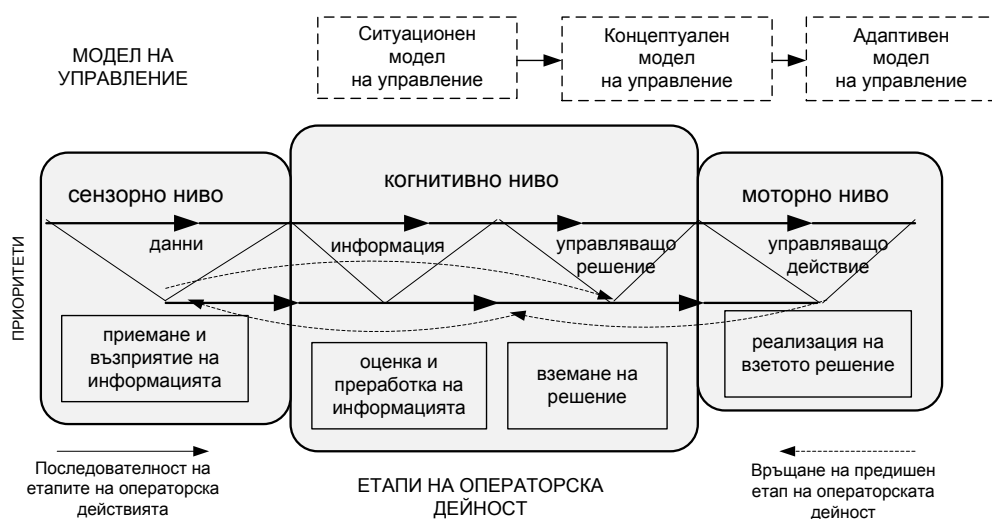
$$(2) \quad R_i = \{K_j\}, \quad j = 1, N$$

където  $R_i$  е елемент на системата, представляваща етап от операторската дейност,  $i$  – брой етапи,  $K_j$  – операторско действие,  $j$  – брой действия.

Като условие за декомпозиция е избрано условието за пресичане на множеството на елементарните действия: ако за всяко  $j$  и  $l$  множеството елементи на системата не се пресичат  $\forall(i, l): R_i \cap R_l = \phi, \quad i = 1, N; l = 1, M$ , то по-нататъшна декомпозиция не е необходима.

Въз основа на анализа на графа на операторската дейност (показани на контура неповтарящи се операторски действия??)  $R_1 \rightarrow R_i \rightarrow R_{i+1} \rightarrow R_N$ , се отделят четири етапа на операторската дейност:  $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4\}$ , где  $R_1$  – етап за приемане и възприятие на

постъпващата информация, R2 – етап за оценка и преработка на информацията, R3 – етап за вземане на решение, R4 – етап за реализация на взетото решение, показващо последователното изменение на модела за оперативното управление. Това е показано на фиг. 2 и е в съответствие с известния модел на Y. Liu и C. Wu [7] – в последователността на операторските действия на схемата последователно са отделени етапите на от операторската дейност, съответно на сензорно, когнитивно и моторно ниво.



Фиг. 2. Системен модел на операторски функции (по Y. Liu и C. Wu)

Функционалният анализ позволява да се идентифицират всички функции на автоматизираната система, както изпълняваните от човека, така и от системата за управление. Операторската дейност в структурата на ЕС може да се представи чрез множеството елементи R, с помощта на които се описват събитията, водещи до възникването, откриването и отстраняването на грешките на оператора. В анализирания алгоритъм на функциониране, с помощта на описание на елементите се задават реалните действия на ЧО, работните операции на технологичното оборудване, програмното осигуряване, както и логически функции (табл.1).

Таблица 1. Някои основни елементи в акт на операторската дейност

Номер	Обозначение на елемента	Работна операция
1.	R	Работна операция
2.	A	Алтернативна операция
3.	F	Операция «контрол на функциониране»
4.	Z	Операция задържане

Множеството от елементите се оценяват с вероятностни характеристики, чрез които се прави оценка на качеството на изпълнение на описаните елементи. Елементите на тази група се използват като променливи и както в математиката имат име и стойност. Името в случая обозначава показателя за качество, а конкретната стойност на променливата се задава с вероятностно-времеви характеристики. Един пример за тяхното използване и показано в таблица 2.

Таблица 2. Множество елементи за оценяване

Номер	Обозначение на елемента	Характеристики
1.	$P^1$	Вероятност за безгрешно изпълнение на $K_i$
2.	$P^2$	Вероятност за грешно изпълнение на $K_i$
3.	$M_T$	Математическо очакване за времето на изпълнение
4.	$D_T$	Дисперсия за времето на изпълнение.
5.	$K^{11}$	Условна вероятност за това, че проверяваната операция при фактически правилно изпълнение ще бъде призната за правилна.
6.	$K^{10}$	Условна вероятност за това, че проверяваната операция при фактически правилно изпълнение ще бъде призната за неправилна.

Концепцията за оценка на професионалната пригодност се базира на анализа на ефективността на действие на оператора във всеки от показаните етапи на операторската дейност и безгрешното изпълнение на операциите, отнесени към определянето на набор от основни качества на ЧО, които трябва да са определени в професиограмата [1]

Моделът на успешна операторска дейност в общ вид може да бъде представена като многопараметрична структура от вида  $S = \{H, G, C, Z, U\}$ , където: H – множество от характеристиките на личността, обединяващи основни психофизиологични изисквания; G – параметрите на професиограмата, които дават структурата на дадената професионална дейност; C - изброяване и анализ на онези дейностни операции, характерни за професията; Z – основни задачи, които характеризират действията на оператора; U – характеристики на работното място

За отработване на различни варианти за решения на поставените проблеми се използват имитационни модели, отразяващи достатъчно адекватно спецификата на процесите в системата «човек - техника», «човек — конзола на АСУ». Отчитайки интердисциплинарността на проблемите, свързани с ЧФ, такъв модел може да бъде тренажорен стенд, включващ имитационна система за конкретен АСУ, диспечерски пункт и т.н. при отчитане на психофункционалното състояние на човека–оператора. Основни елементи на технико-диспечерското управление са операторът и управляемите от него обекти, като съгласуването на работата им се осъществява в процеса на обмен на информация. Тази информация може да се характеризира с мярка за сложност на възприятие от оператора, която зависи от степента на трудност за нейното възприемане. Сложността на информацията е непосредствено свързано с времето на нейното възприемане и осмисляне от човека [3].

### **Заклучение**

Посредством използването на системния подход е разработена обобщена методология за построяване на система за оценка на професионалната пригодност на оператора в ергатична система въз основа на получаване, обработка и представяне на знания за операторската дейност. Тази методология обединява подходи за оценка пригодността на оператора, основана на оценката за успешност на операторската дейност в отделните ѝ етапи, съответно на сензорно, когнитивно и моторно ниво. Практическата реализация на системата за оценка на професионалната пригодност може да бъде осъществена с използването на методи за интелектуален анализ на данните и системите за поддържане вземането на решения за широка номенклатура операторски професии.

Предвид сложността и мултидисциплинарността на проблема е подходящо реализирането на стимулационни експерименти, безопасни за хората и за техническата система. Практически по-нататъшните изследвания са свързани със създаването на имитационен модел, позволяващ да се направи оценка на ефективността на ергатична система при изменение на параметрите на нейните елементи.

### **Литература:**

1. Бодров, В.А., Психология профессиональной пригодности. Учебное пособие для вузов – М.. ПЕР СЭ, 2001 – 511 с
2. Brookhuis, K., Hedge A., Hendrick H., Salas E., Stanton N. Handbook of Human Factors and Ergonomics Models, Florida: CRC Press, 2005.
3. Dimitrov, I., S. Tanev, P. Getsov, P. Trendafilov, H. Hristov, L. Aleksiev, S. Doshev. Scientific Research Complex for the Study of Human Operator in Extreme Conditions. RAST 2011 5-th International Conference – Recent Advances in Space Technologies, Istanbul, 2011, p.825
4. Karwowski, W., Salvendy, Design of Work and Development of Personnel in Advanced Manufacturing, JohnWiley&Sons, Canada, 1994.
5. Kirwan, B., A Guide, To Practical Human Reliability Assessment, Taylor & Francis, 1990
6. Salvendy, Gavriel (Editor), Handbook of Human Factors and Ergonomics, Purdue University, 2006, Canada.
7. Wu, C., Liu Y., "Queuing Network Modeling of Transcription Typing", ACM Transactions on Computer Human Interaction, vol. 15, 2008, pp. 1-45.