



ПРОБЛЕМЪТ ЗА НАДЕЖДНОСТТА НА ЧОВЕКА-ОПЕРАТОР ПРИ ОЦЕНКА НА КАЧЕСТВОТО НА ФУНКЦИОНИРАНЕ НА ЕРГАТИЧНИ СИСТЕМИ

Зоя Хубенова, Антонио Андонов

zhubenova@space.bas.bg ; andonov@vtu.bg

ИКИ – БАН, ул. "Московска" №6, София – 1000, п.к. 799,
ВТУ "Т. Каблешков", ул. "Гео Милев" №158, София – 1574

БЪЛГАРИЯ

Резюме: От гледна точка на ергатичните системи (ЕС) е разгледана проблема за качеството на функциониране на сложни системи и изискването за висока надеждност на човека, като звено в тях. Анализирани са факторите, влияещи на надеждността на човека-оператор (ЧО) и тяхното количествено определяне. Целта е, като се сравни различното им влияние, за да се даде единна комплексна оценка (индекс) на надеждността на ЧО в ЕС.

Ключови думи: ергатична система, човек-оператор, информация, надеждност.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременното производство включва голямо разнообразие на автоматизирани системи, в които основно звено се явява човека. Системите за управление, съставен елемент на които е човека-оператор (ЧО) се наричат ергатични системи (ЕС) и обхващат широк кръг от обекти на управление: механични, електродинамични, химични реактори, системи за масово обслужване, системи за изследване на операциите и пр. Пример за такива ЕС са „оператор – процес“, „диспечерска служба – транспортно средство“, „брокер – борса“, „пилот – самолет“, „шофьор – автомобил“ и др. Комплексната механизация в производствените процеси, автоматизацията в работата на системите за управление, широкото прилагане на изчислителната техника, информационните модели за индивидуално и колективно ползване корено променят характера на труда и довеждат до възникването на нови операторски

професии. По литературни данни от 40 до 70 % от всички откази в техническите сложни системи се дължат на човешкия фактор. Според редица световни изследвания [8, 10, 13], произшествията по причина на човешка грешка за системите на РВД са 90%, при автомобилите – 85%, в ядрените централи на САЩ – 70 %, в транспортната авиация - в 19% от случаите.

Тези факти са довели до увеличаване на интереса към изучаването на надеждността на човека с цел елиминиране, т.е. намаляване на човешките грешки в сложните ергатични системи. Проблемът е изключително важен и във връзка с актуализацията на системите относно безопасност и риск.

Сложните информационни системи са йерархични, като задължителните компоненти в тях са техническите средства, програмното осигуряване и хората (операторите). Ефективността на функционирането им зависи от надеждността на всичките три компонента. При това разработката на конструкцията, избора на форма, цвят, условия за експлоатация, оптимални условия за обслужване и управление трябва да отчитат човешките възможности и ограничения.

Ролята на човешкия фактор в снижаването на надеждността е много висока, а показател за качество на цялата система се приема вероятността за функциониране без нарушения:

$$(1) \quad P_s = P_q(t) P_m(t) P_{np}(t)$$

където; $P_q(t)$, $P_m(t)$, $P_{np}(t)$ – съответните вероятности за правилно функциониране.

Методите за оценка на надеждността на човека използват показателите и математическия апарат на теорията за надеждност на техническите устройства. Между надеждността и инженерната психология, като области на науката, съществува определена връзка. И двете са свързани с прогнозиране и подобряване на характеристиките на системите, но действат с различни средства и способности. Специалистът по надеждност изменя конструкцията, материала, схемата, снижава натоварването и т.н. Специалистът по инженерна психология въздейства на тези технически фактори, които оказват влияние на възможностите на оператора: нивото на шум, осветеност, въздействия на околната среда и пр. Надеждността на работа на системите за управление на техническите системи в значителна степен се определят от надеждността на ЧО и колкото по-сложна е системата, толкова по-изразена е тази зависимост. Проблемът е особено актуален и във връзка с това, че редица операторски дейности се характеризират с екстремни условия, които могат не само да снижават надеждността, но и да оказват вредно и опасно въздействие на човека.

Един от най-важните аспекти, обосноваващи изучаването на този проблем, е опита да се доведат до нула човешките грешки чрез въвеждане на най-новите достижения на психологията, ергономията, инженерните и други науки в проектирането и производството на отделните компоненти на системите [8, 13].

2. ПОДХОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЧОВЕКА

Доколкото в разглежданите ЕС човекът е задължително звено, то в сравнение с техническите системи им е присъщо ново свойство, което е може да се определи като

целесъобразност на функциониране, т.е. способност за достигане на поставената цел. При това целеполагаща е човешката дейност, а функционирането на техническата част носи изпълнителен характер. За това интегрална за дейността на човека е оценката за резултативност по отношение на поставените цели.

В общия проблем за надеждност на ЕС следва да се разграничат две задачи – на анализ и синтез. При първата се прави оценка на надеждността на функциониране на системата с известните параметри в зависимост от условията и режимите на работа. При втората задача се определя структурата и тези параметри, при които качеството на нейното функциониране при установени ограничения (условия и режими на работа), няма да бъде по-лошо от зададеното. При анализиране на функционирането на ЕС са възможни няколко подхода [3, 12]:

- системотехнически, при който човек се разглежда като елемент от средата, влияеща на електронноизчислителната техника;
- равноелементен, при който човекът и техниката, се третират като равнозначни елементи на системата;
- човеко-системен, в който се разглежда системата на човешка дейност, а техническите средства от всякакъв тип са оръдие на труда на човека.

Надеждността на човека може да се разложи на редица съставящи (надеждност на психическите процеси, на енергийните и пр.), а пълната надеждност се определя от съвкупността от процесите протичащи в организма. От своя страна надеждността на дейността на човека се определя от надеждността на човешкия организъм и от надеждността на изпълняваните от него функции по управление и обслужване. Така тя може да се представи във вид на структурна и функционална надеждност.

Основа за получаване на количествен показател на надеждността е структурата на дейността на човека, чието изследване се опира на следните принципи:

- дейността на човека се декомпозира на по-малки елементи (функционални и операционни единици);
- определят се показателите на надеждност на операционните единици (безгрешна работа

и своевременно изпълнение на операциите) – експериментално или по справочни данни;
 - получените структури на дейността (известните характеристики на декомпозираните елементи) на ЧО се съпоставят с по-прости структури с известни еквивалентни времеви и надеждностни характеристики. За показатели на надеждност за дейността на ЧО служат анализа на грешките от гл.т. на причините за тяхното възникване и от признаците на проявата им във външната структура на дейността (изпълнение на професионалната задача) [1]

Анализираните се структури в дейността на ЧО и се определят типове блокове функционални единици, за които аналитично ще могат да се определят характеристиките за функционална надеждност (безгрешност и своевременност) при изпълнение. Показателите за функционална надеждност се определят като произведение от вероятностите за безгрешна работа на всеки блок.

Прилагането на метода изисква класифицирането и количественото определяне на различните критерии за надеждност.

3. ПОКАЗАТЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ НА ЧО В ЕС

Операторската надеждност се влияе от много фактори, които се изразяват от редица показатели, като са правени различни опити за тяхното групиране [11, 14]. Дейността на човека в сложните автоматизирани системи следва да се провежда от позициите на системния поход, отразяващи законите за взаимовръзка и взаимообусловеност на различните компоненти в ЕС.

Основните показатели на надеждността на ЕС са вероятността за безотказно, безгрешно и своевременно решение на задачата на системата, определяни чрез показателите на надеждност на ЧО и на комплекса от технически средства, които се приемат за изходни при отчитане на взаимното им влияние един върху друг. Един подход за количественото им определяне и оценка може да се направи, като те се разгледат в следните групи: психо-физиологични характеристики, функционално състояние, факторите на околната среда, фактори на работно място и сложност на задачите.

3.1. Психо-физиологични характеристики

Като цяло надеждността на ЧО се характеризира с показателите бързодействие, безпогрешност, готовност за работа, своевременност и възстановяване [5].

Критерий за бързодействие е времето за решаване на задачата, т.е. приемаме, че индекс за психофизиологична характеристика е скоростта на действие. То включва времето от момента на реагиране на оператора до окончателното осъществяване на управляващото въздействие, което в най-простия случай е пропорционално на преобразуваната от човека информация I:

$$(2) \quad \tau_{\text{чо}} = a + b I,$$

където a и b са константи, характеризиращи съответно латентното време за реакция и времето загубено за обработка на единица информация. Приетите примерни стойности за тези величини са $a \approx 0.2; b \approx 0.15 - 0.35 \text{ s/bit}$.

Скоростта на действие често се изчислява като сума на времената, необходими за типичните етапи в обработката на информацията (възприемане, анализ и избор на решение). Всеки конкретен период от време, се изчислява по формула (2), а I ще е това количество информацията, което се преработва в съответния етап:

$$(3) \quad \tau_{\text{чо}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

При наличие на редица от сигнали ЧО не обработва сигналите веднага, а губи известно време (τ_n). Тогава бързодействието ще се характеризира с:

$$(4) \quad \tau' = \tau_n + \tau,$$

където τ_n е време до началото на обслужването, τ - собствено време на реакция. Необходимото бързодействие на оператора се определя от продължителността на цикъла на управление:

$$(5) \quad T_c = \tau' + \sum_{i=1}^n \tau_i,$$

където с τ_i е означено времето за задържане на сигнала в i -тото машинно звено, а n е броя на звената.

Когато стойностите T_c и τ_i са дадени, от операторът е изисква да има следната скорост на действие:

$$(6) \quad \tau' \leq \tau_c - \sum_{i=1}^n \tau_i$$

Бързодействието на оператора, както и граничните му стойности може да бъде измерено, ако са известни конкретните дейности.

3.2. Функционално състояние (ФС)

В аспекта на дейността на ЧО и качеството на изпълняваните от него работи, функционалното състояние се разглежда като комплекс от характеристики, които пряко или косвено влияят на изпълнението на задачите по приемане, обработка и предаване на информация. Главен критерии за изменение на ФС може да се счита снижаването или повишаването на ефективността на изпълняваните отделни действия или цялостния трудов процес. Критични при това се оказват не толкова количествените показатели, а качествените изменения в характера и способите на извършваната работа.

Има редица разработки и методи за изследване на ФС, към които обикновено се отнесат специфични класове състояния: оптималната работоспособност, умора, различните форми на стрес (психологичен, физиологичен), екстремни състояния. Например, определят се пет функционални състояния (с коефициент $k_{\text{ФС}}$), съответстващи на определено ниво на работоспособност на човека: «нормална», «ограничена», «незначително снижена», «снизена», «съществено снижена» [6]. Коефициентът показва колко по-малко работа може да изпълнява операторът в дадено функционално състояние в сравнение с количеството работа, изпълнявана от същото лице при оптимално ФС и за някаква специална дейност. Стойностите на коефициента са в рамките на 1–5, като това дава възможност за количествено определяне влиянието на физиологичното състояние, върху надеждността на оператор (Таблица 1).

Таблица 1

Функционално състояние	$k_{\text{ФС}}$
Стабилно	1
Монотонно	(1-2]
Умора	(2-3]
Претоварване	(3-4]
Стрес	(4-5]

3.3. Фактори на материална среда

Съществено влияние върху ФС и работоспособността на оператора оказва работната среда. Определят се пет нива на материалната среда, които непосредствено влияят на надеждността на работата на ЧО.

Първото ниво определя оптимални стандарти за работа на оператора (комфорт на работна среда). Това означава, че при такива стойности, това ниво не предизвиква физиологически усилия на оператора при продължителна работа.

Второ ниво представлява експлоатационни стандарти (относителен дискомфорт). Тези ценности изискват определено усилие на физиологичните системи при ограничено време на работа на оператора (в определен интервал от време осигуряват работоспособност, но предизвикват неприятни субективни усещания и функционални изменения, не излизаци от пределните норми).

Третото ниво са гранични условия (екстремална работна среда). При тези стойности е разрешено за кратко излагането на някои въздействия, при условие, че изпълнявания тип работа позволява временно отслабване на работоспособността.

Четвъртото ниво определя допустими стойности (свръхекстремална). При тези условия операторът притежава минимум работни способности, но животът му не е застрашен.

Петото ниво предполага превишаване на допустимите норми и патологични изменения в организма и се създават условия за невъзможност да се изпълнява работата.

3.4. Работно място.

Като цяло оценката на работното място бива статична и динамична. Статичната се свежда до проверка на антропологичните и психофизиологични изисквания и препоръки, а динамичната се определя от динамиката на работното място, т.е. от сложността на

изпълняваните от оператора задачи (разгледана в т.3.5).

Прави се експертна оценка за ергономични характеристики, които включват размерите на пултове и индикатори, проектиране на помещения, размери и дизайн на индикатори, светотехнически характеристики и пр. [9]. Оценките са в диапазона 5 до 0 (удовлетворителна – не удовлетворителна), а общата се получава след сумиране по уравнението:

$$(7) \quad \alpha = \frac{1}{5N} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^N A_{ij} ,$$

където: N е броят на експертите; A_{ij} - експертна оценка на j -тия експерт по i -то условие.

Необходимите принципи за постигане на оптимално работно място, относно елементарните двигателни актове на човека (сигнал-ответна реакция) са:

- Принципът на съответствие на психофизиологични особености на човека (човешки дейности при обработка на сигналите и управлението трябва да са отчетени максимално);

- Принципът на оптимално кодиране на информацията (смесовата информация следва да бъде кодирана по такъв начин, че за обработката ѝ да се изискват минимални усилия от оператора);

- Принципът на еднозначни действия от оператора (конструктивното решение да не допуска погрешно действие или да изисква продължителен избор за правилно решение).

Окончателната оценка се изчислява по:

$$(8) \quad \beta = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N B_{ij} ,$$

където: B_{ij} е оценка, удовлетворяваща i -тия принцип на j -тия експерт. Стойностите на оценките α и β попадат в диапазона 0 – 10.

Окончателна статична оценка K_{cm} показва средната стойност от оценките α и β , като за оптимално се счита работно място с оценки $\alpha > 8$ и $\beta = 10$ [6,7].

3.5. Сложност на работните задачи.

На второто ниво се извършва оценка на сложността на решаваните от оператора задачи. Оценката се прави в съответствие на системния подход и алгоритмичния анализ [4,5], което позволява получаването на някои количествени характеристики: показатели за стереотипност, логическа сложност, скорост на преработка на информацията, динамична интензивност (напрегнатост). Този модел за анализ на работните резултати на оператора се осъществява на микро и макро ниво. На макро ниво се сравняват работните задачи според сложността и въз основа на определени цели, като се вземат под внимание и условията, необходими за тяхното постигане. На микро ниво алгоритъма на задачата се разделя на оперативни единици (елементарни действия), които са два вида – логически условия (образ, понятие, съждение) и оперативни – съответните действия на оператора. Работният процес се разглежда като съвкупност от елементарни оперативни единици по преработка на управляваща информация. Методиката е трудоемка, поради което експериментално са установени границите на важни характеристики на оператора за всяка операция. Важен параметър е напрегнатостта на изпълнение, което се определя от броя на елементарните оперативни единици, изпълнени за единица време.

По този начин оценката за сложността на работната задача се основава на функцията на индекса на сложност k_c и индекса на работното натоварване k_{pn} [12].

$$(9) \quad k_o = k_c k_{pn}$$

С цел да се оцени сложността на операцията, тя е разделена на моторни операции, моторно-логически операции и логически операции. Сложността на операциите се увеличава от моторните към логическите с активиране на мисловните процеси. Показателите се определят експериментално или по експертна оценка на сложността на предписания алгоритъм на дейността му, като стойностите им варират от 0 до 1.

Таблица 2

Надеждност	Ранг	τ (τ')	$K_{\text{фс}}$	$K_{\text{мс}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{ст}}$
Оптимална	1	T_{opt}	1	Ниво 1	$< 0,6$	10
Много добра	2	$< T_{\text{г}}$	(1-2]	Ниво 2	(0.6-0.8]	[9-10)
Добра	3	$T_{\text{г}}$	(2-3]	Ниво 3	(0.8-1.0]	[7-9)
Критична	4	$> T_{\text{г}}$ при специфичен времеинтервал	(3-4]	Ниво 4	(1.0-1.2]	[5-7)
Недостатъчна	5	$> T_{\text{г}}$	(4-5]	Ниво 5	(1.2-1.4]	< 5

4. СРАВНИТЕЛЕН МЕТОД ЗА ОЦЕНКА НА НАДЕЖНОСТТА НА ЧО

Представените пет критерия са показани със съответния мащаб в Таблица 2 и могат да се използват за оценка на надеждността на оператора. Експертната оценка се прилага с цел да се оцени влиянието на отделните фактори, като се класират в зависимост от интензивността на влиянието им. На базата на стойностите на предложените параметри се определя позиция (ранг), като се приема, че най-ниският ранг съответства на група с най-малкото влияние.

Като комплексен показател за оценка на човешкия фактор в ЕС се определя критерия:

$$(10) \quad K = \sum_{i=1}^4 k_i M_i,$$

където k_i е оценката на показателя, а M_i е тежестта на показателя ($i = 1, \dots, 4$). В съответствие на комплексния показател се провежда атестация на оператора за ниво на годност в съответните категории: «Подходящ», «Условно подходящ», «Неподходящ».

Основна цел на контрола на функциониране на ЕС се състои в умението да се оцени текущото състояние (в частност на оператора) и да се осъществи проверка на съответствието на изискванията за качество на функциониране на системата. Информационният модел за контрол включва две основни направления: управленско (структурно) съгласуване на потоците информация; и информационно (функционално) съгласуване на информационната среда с ергономическата съставляваща в системата за управление. Информационните потоци се организируют по такъв начин, че да удовлетворяват спецификата и ограничените възможности на оператора, като е необходима адаптация на дейността му към особеностите на техниката.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Категорията «надеждност» е една от най-често употребяваните при описание или оценка на дейността на човека и работата на техническия обект или на системите човек-машина. Оценката на надеждността на човека води до намаляване на риска и увеличава безопасността на високоотговорните технологични системи. Едновременно, тя допринася до покачване на производителността. Предложеният метод дава възможност да се определи достоверно комплексен показател на надеждността на ЧО в сложна ергатична система, който позволява:

- оценка на надеждността на оператора при дадени условия на труд;
- мониторинг на надеждността при промяна на средата и условията;
- определяне на годността на оператора в зависимост от целите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежност: человек в системах управления техникой, И-т психологии, РАН, М, 1998
- [2] Вълчев, М.Г., Охрана на труда, «Техника», София, 1990 г.
- [3] Гецов П., Попов В., Димитров И., Експериментално изследване на човека в многозадачен режим. Разпределение на вниманието. Юбилейна научна конференция "30 години организирани космически изследвания в България", София, 27-29 октомври, стр. 262-263, 1999.
- [4] Завалова Н.Д. и др. Образ в системе психической регуляции деятельности. М, 2002.

- [5] Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. М.: Радио и связь, 1987.
- [6] Ломов Б.Ф. Деятельность оператора в системе «человек—машина» / Основы инженерной психологии. Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Высшая школа. 1986. С. 169–196.
- [7] Леонтьев Е. А., Надежность экономических информационных систем, ТГТУ, 2002.
- [8] Cott H.V. Human Errors: Their Causes and Reduction / Jn.: Human Errors in Medicine. M.S. Bogner (Ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Hillsdale, New Jersey. 1994. Pp.63–65.
- [9] European Agency for Safety and Health at work (<http://agency.osha.eu.int>).
- [10] Hollnagel, E., Human reliability analysis: Context and control. London: Academic Press, 1993.
- [11] Kirwan B., A Guide To Practical Human Reliability Assessment (Hardcover), Taylor & Francis, 1990
- [12] Moray N., Error Reduction as a Systems Problem / In: Human Error in Medicine. M.S. Bogner (Ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale. New Jersey. 1994.
- [13] Reason J., A systems approach to organizational error // Ergonomics. 1995. Vol. 38. № 8. Pp. 1708–172
- [14] Savie S., Vukovic L., Andelkovic B., Human operator as a risk factor in technological system, Proceedings of III International Conference "Risk in Technological Systems and the Environment", Faculty of Occupational Safety, Niš, 1997.

THE PROBLEM OF RELIABILITY OF THE MAN-OPERATOR FOR ASSESSING QUALITY OF FUNCTIONING OF ERGATIC SYSTEMS

Zoya Hubenova, Antonio Andonov

zhubenova@space.bas.bg ; andonov@vtu.bg

*Space Research Institute-BAS, 6 "Moskovska" str., Sofia 1000,
Todor Kableshkov HST, 158 Geo Milev Street, 1574 Sofia,
BULGARIA*

Key words: Ergatic Systems, Man – Operator, Information, Reliability

Summary: *In terms of ergatic systems (ES), the issue of quality of functioning of the complex systems has been addressed as well as the requirement to be met regarding high reliability of the Man as a unit within. The factors affecting the reliability of the Man – Operator (MO) and their quantification have been analyzed. The goal is to give a comprehensive assessment (index) of the Man's reliability in the ES by comparing different effects that they produce.*