

Р. КАМІНСЬКИЙ, Н. ШАХОВСЬКА
Національний університет «Львівська політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ В СТРЕСОВИХ СИТУАЦІЯХ

Приведена математична модель керованого людиною-оператором технологічного процесу з точки зору математичної теорії систем. Для моделювання використано апарат теорії множин. Модель враховує вплив людського фактору на якість керування технологічним процесом. Розглянуто поняття стресостійкості людини-оператора. Вводиться показник стресостійкості та наведена його геометрична інтерпретація. Представлена модель виходу людини-оператора з стресового стану, яка враховує його індивідуальність.

Ключові слова: людина-оператор, управління технологічним процесом, стрес оператора, крива навчання.

R. KAMINSKY, N. SHAKHOVSKA
Lviv Polytechnic National University

SIMULATION OF TECHNOLOGICAL OPERATION OPERATOR BEHAVIOR IN STRESS SITUATIONS

The mathematical model of the human-operator of technological process from the point of view of the mathematical theory of systems is developed. The apparatus of set theory was used for modelling. The model takes into account the influence of the human factor on the quality of process control. The concept of stress-resistance of the human operator is considered. The stress resistance index is introduced and the geometric interpretation is given by the yoci. The model of exit of the person-operator from a stressful condition which considers its individuality is resulted. The authors of this study proposed an approach to establish the value of the stress indicator. The basis of this indicator are the following four general characteristics, namely: experience and level of qualification of the human operator, the working environment and the amount of information about changes in the parameters controlled by the operator, the technological process. The presented models of human-machine interface, indicator of human operator stress and operator exit from stress can be interpreted as an attempt to formalize the operator's activity in human-machine control systems of many types of technological processes. From a practical point of view, these three models are focused on the use of quantitative indicators and characteristics, not only of the human operator, but also to some extent relate to both the technological process and the environment. The proposed indicator of human resilience to the stress, already using the appropriate scale of expert evaluation of its four elements, provides an opportunity to select the best from a group of candidates for the position of operator. This indicator, given the quantitative values of its elements, represents the relationship between the professional level and experience of the operator, the working environment and the amount of information provided. The model of the dynamics of the operator's exit from the stress state follows from the results of the analysis of the stress resistance indicator. Analysis of numerous data on human stress shows that the way out of stress is not instantaneous, but lasts for some time. In addition, the dynamics of the restoration of a person's functional state to normal is usually nonlinear and monotonous, and there may be a final nervous and mental stress, which accelerates his fatigue.

Keywords: human operator, technological process management, operator stress, learning curve.

Вступ

Одним з найбільш поширених людино-машинних інтерфейсів автоматизованих систем управління, інформаційно-пошукових систем та систем обробки інформації є ланка «людина-комп'ютер», яка практично забезпечує, відповідно узгоджене подання інформації користувачам. Людино-машинний інтерфейс фактично несе усю відповідальність за надану інформацію, а тому повинен бути надійним, точним та оперативним. В системному аспекті пара «людина – комп'ютер» є системою, утвореною поєднанням підсистем спеціфічних психофізичних особливостей і функціональних станів людини, пов'язаних з обробкою різноманітної інформації, та підсистемою технічних можливостей сучасної обчислювальної техніки. Роль техніки полягає в надзвичайно високій оперативності пошуку, спеціальної попередньої та різноманітної основної обробки необхідної інформації, а також її збереження, передачі, перетворення та представлення в різних формах.

Як правило, різноманітні робочі ситуації в діяльності людини, зокрема людини-оператора технологічних процесів створюють передумови для порушення режимів людино-машинних систем, появи помилкових дій, загрози виникнення аварійних ситуацій. Дослідженню таких ситуацій з метою моделювання поведінки людини присвячене дослідження [1]. Проаналізовано вплив стресових ситуацій на організм і поведінку людини під час управління технологічними процесами [2]. В [3] представлені матеріали експериментально-теоретичного дослідження інформаційного стресу людини-оператора, як одного з видів професійного стресу. Сучасним методам і засобам для визначення і діагностування емоційного стресу присвячена робота [4].

Моделювання динаміки людини-оператора відіграє важливу роль в керуванні технологічним процесом і є відображене в [5]. Дослідження надійності людини-оператора розглянуто в [6]. Важливе значення для допуску людини до керування технологічним процесом має її підготовка в першу чергу в сенсі стресостійкості, і саме цьому плані, інтерес представляє дослідження, приведені в [7]. Визначальну роль в моделюванні поведінки людини відіграє математичний апарат побудови моделі людино-машинного інтерфейсу як цілісної інтелектуальної системи керування технологічним процесом. Найбільш загальним системним підходом для побудови моделі людино-машинного інтерфейсу є робота [8]. Врахування в моделях поведінки функціонального стану оператора має велике значення не лише при управлінні мирним технологічним процесом, але і для керування військовою технікою зокрема безпілотними літальними апаратами [9]. Ефективна робота людино-машинного інтерфейсу в середовищі розглянута в [10].

Важливе місце в дослідженні операторської діяльності мають ситуації, пов'язані зі стресом. Стрес на робочому місці став предметом підвищеної уваги дослідників в різних країнах. Динаміка поширення докладно викладена у звіті Міжнародного Офісу Праці [11].

Вплив відволікаючих увагу ситуацій, як приведено в [12], призводить до зниження ефективності оператора, а це вказує на те що в моделях оператора не можна вважати її параметри постійними. Зв'язок між психологічними та біологічними аспектами розглянуто в [13]. Індивідуальні відмінності щодо порогової величини та тривалості як внутрішніх так і зовнішніх подразників щодо стресу, приведені в [14]. Автори [15] представляють людино-машинні системи, в яких людський фактор відіграє важливу роль, а тому невдача людини може загрожувати безпекою.

Моделювання виходу людини зі стресової ситуації розглядається багатьма дослідниками. Крива виходу зі стресового стану людини оператора досить добре, з точки зору природи цього процесу може бути описана кривою навчання, приведеною в [16]. Крива навчання є практично універсальною кривою і широко використовується в різних галузях виробництва [17–19], економічних показників [20] та стосовно зниження собівартості виробництва [21].

Основними несприятливими факторами для діяльності оператора є екстремальні ситуації, стрес, порушення біоритмів, сну та неврози, які фактично виступають як наслідок попередніх, і які сучасна наука розглядає як пограничний стан між здоров'ям і психічним захворюванням, пов'язаний з функціональними порушеннями в організмі. Різні обставини заставляють людину швидко і повноцінно адаптуватися і зберігати високу працездатність незалежно від змін оточуючого середовища.

Однією з важливих задач проблеми відновлення функціонального стану людини-оператора, тобто виходу з стресового стану, є дослідження процесів адаптації такої категорії працівників як оператори. Діяльність цих працівників в умовах росту технічного прогресу набуває все більш складного характеру, стає більш відповідальною і супроводжується значним нервово-психічним напруженням когнітивного ресурсу, творчих сил та здібностей.

Метою даного дослідження є розробка математичної моделі виходу людини-оператора з стресового стану, яка відображає загальний зміст його професійної діяльності в людино-машинному інтерфейсі керування технологічним процесом.

Моделювання керованого оператором технологічного процесу

Підсистема психофізичних функціональних особливостей, тобто людина-оператор, в більшості людино-машинних інтерфейсів є висококваліфікованим фахівцем, добре обізнаним з класом розв'язуваних задач, методами їх розв'язку та підходами і принципами інтерпретації отриманих результатів. Проте, людині є властиві певні особливості, об'єктивні і суб'єктивні, пов'язані з центральною нервовою системою, психікою та фізіологією цілого організму, які необхідно враховувати при організації її діяльності в ланці «людина-комп'ютер» у складі типових чи спеціалізованих складних та багатофункціональних систем. До об'єктивних особливостей відносять характеристики психофізіологічного стану людини та психофізичні параметри органів взаємодії з оточуючим середовищем, які безпосередньо чи опосередковано приймають участь в роботі людини-оператора. Суб'єктивні особливості, які до певної міри визначаються функціональним станом організму, проявляються у взаємодії з середовищем, а саме у відношеннях до виконуваної роботи, в оцінці робочої ситуації та у виборі рішень які приймає оператор.

Операторську діяльність можна подати в такий спосіб.

Нехай, протягом часу $[0, T]$ людина оператор керує деяким технологічним процесом $Z(t)$. Керування людиною таким процесом включає найбільш типові аспекти і компоненти реальної операторської діяльності. Системи відображення інформації включають монітори, мнемосхеми, інформаційні табло. В процесі експлуатації технічних засобів даного технологічного процесу та з боку середовища в регулярні або випадкові моменти часу t_i такі, що $t_i \in T$ де $T = \{t_i: t_i \in [0, T], i = \overline{1, N}\}$, фіксується деякий характеристичний вектор контрольованих показників $Z(t)$ – цього технологічного процесу, тобто реальних значень контрольованих параметрів. Значення цих параметрів, отримувани різними вимірювальними і контролюючими засобами мають відповідати заданим нормам технологічного процесу. Інформація про стан керованої технології та оточуюче середовище надається оператору на екрані монітору, інформаційному табло тощо. За зміни цих параметрів, тобто відхиленні їх від норми, оператор аналізує ситуацію і приймає відповідне рішення. Вибір прийнятого оператором рішення здійснюється шляхом реалізації потрібних команд на полі пульта керування.

Таким чином, людина-оператор і технічні засоби відображення інформації та виконання команд утворюють керуючу ланку фактично будь-якого технологічного процесу. Вони є цілісною системою, яку називають людино-машинним інтерфейсом.

Будь-який технологічний процес функціонує в межах множини наперед заданих нормативних та інструктивних значень параметрів – G^* , які визначають оптимальну роботу керованої технології $Z(t)$. Проте, в реальних робочих ситуаціях технологічний процес характеризується множиною – G реальних значень цих параметрів. Величини цих параметрів і визначають біжучий стан цієї технології.

В процесі роботи, в довільні моменти часу t_i оператор отримує інформацію про хід технологічного процесу $Z(t)$ у формі відображень цих параметрів на інформаційному полі пульта керування.

Одномоментне відображення змін інформаційного поля можна подати як зображення-кадр x_i , яке відображає з моменту t_i всю інформацію про стан контрольованого оператором процесу $Z(t_i)$. Кожен такий кадр x_i є елементом множини $x_i \in X$, де $X = \{x_i: x_i = x(t_i), t_i \in T, i = \overline{1, N}\}$, де N – кількість змін параметрів, тобто кадрів.

Тут, множина X фактично є множиною всіх одномоментних робочих ситуацій, в яких оператор приймав рішення – компенсувати відхилення значень параметрів від їх нормативних значень. Практично вона зберігає інформацію про перебіг технологічного процесу, виражену значеннями контрольованих параметрів.

Таким чином, сформовані на основі вектора значень реальних параметрів $\mathbf{g}_i = \langle g_i, \dots, g_r \rangle$, $\mathbf{g}_i \in G$ зображення-кадри x_i даного технологічного процесу відбивають стан $Z(t_i)$ в моменти t_i , де $r = 1, 2, \dots$ – кількість змінених параметрів.

При виявленні зміни в реальних параметрах \mathbf{g}_i , оператор, аналізує та порівнює реальні значення зі значеннями нормативних параметрів $\mathbf{g}_i^* \in G^*$. Для компенсації присутніх змін – існуючих відхилень в значеннях реальних параметрів, оператор конструює або вибирає з множини відомих альтернатив відповідне рішення.

Висококваліфікований досвідчений оператор використовує для порівняння та аналізу сформоване в його пам'яті зображення $x_i^* \in X^*$, яке відповідає встановленим нормативам. Іншими словами, аналізуючи зображення x_i і x_i^* оператор ідентифікує біжучу ситуацію, вибирає або конструює та приймає відповідне рішення $y_j \in Y$, де $Y = \{y_j: y_j = y(t_j), j = \overline{1, N}, t_j = t_i + \tau, t_i, t_j, \tau \in [0, T]\}$, тут τ – час вироблення рішення y_j .

Прийняте рішення y_j оператор реалізує набором команд u_h , які утворюють вектор керування $u_j = \langle u_1, \dots, u_h \rangle$, $u_j \in U$, де U – множина команд керування, а $h = 1, 2, \dots$ – кількість команд в j -й ситуації.

Проте, якщо $x_i \neq x_i^*$, тобто для кадру x_i в множині X^* немає відповідного рішення і, крім того, присутній дефіцит часу, для оператора це може дати різке і значне за величиною нервово-психічне напруження – його перехід в стресовий стан.

Постійне нервове і розумове напруження, почуття відповідальності та обов'язку, довготривала монотонна робота природно створюють суттєве психофізичне навантаження на оператора. При цьому сповільнюються когнітивні та моторні функції, погіршується зоровий пошук, знижується оперативність та безпомилковість дій, виникає значне нервово-психічне перенапруження. Незважаючи на великі резервні та адаптаційні можливості людини, такий стан негативно відбивається на якості роботи людини-оператора.

Тому, ефективність роботи оператора необхідно зв'язувати з конкретними його функціональними (робочими) станами c_k . Множину цих станів можна подати так:

$$C = \{c_k: c_k = c(\delta t_k), \delta t_k = t_{k+1} - t_k; t_k, t_{k+1} \in [0, T]\}.$$

На практиці цю множину розглядають як дискретну, проте встановити чітку межу між станами c_k і c_j є неможливо, оскільки чіткий перехід оператора із стану в стан практично неможливо визначити.

Загальну модель вимоги до оператора і фактично його діяльності в системі управління технологією $Z(t)$ можна сформулювати в такий спосіб: виявити на інформаційному полі пульта управління технологічним процесом $Z(t)$, представлені в моменти t_i зображенням-кадри $x_i \in X$ і компенсувати існуючі відхилення значень біжучих параметрів \mathbf{g}_i від режимно заданих \mathbf{g}_i^* , шляхом вибору відповідного, вектора команд u_h , реалізація якого поверне технологію $Z(t)$ в заданий режим роботи. Причому вибір, прийняття і реалізація рішення в даній ситуації повинні мати максимальну вірогідність $p \rightarrow 1$ при мінімальних витратах часу $\tau \rightarrow 0$, тобто

$$X(\mathbf{g}_i - \mathbf{g}_i^*) \xrightarrow[\tau \rightarrow 0]{p \rightarrow 1} \text{opt}U(x(t_i), c(t_j - t_i), y(t_j)),$$

де x_i – біжучий кадр інформаційного поля, $c(t_j - t_i) = c(\tau)$ – час вибору рішення і команд, $y(t_j)$ – прийняте рішення.

Даний вираз відображає головну вимогу до інтелектуальної діяльності оператора, а саме, оперативно оптимізувати режим керованого ним процесу $Z(t)$. Сучасні виробництва, установи та окремі

підприємства значною мірою використовують у своїй діяльності та в управлінні своїми технологічними процесами операторський персонал – людино-машинні інтерфейси. Керування такими технологічними процесами, з точки зору людино-машинного інтерфейсу як «цілісної системи керування» можна описати, використовуючи загальну теорію систем [8].

Отже, людино-машинний інтерфейс, як систему S , можна представити відношенням $S = X \times Y$, а враховуючи його існування на множині моментів часу T , в які проводять спостереження, та зміни функціонального стану C людини-оператора можемо представити його як кортеж: $S = \langle X, Y, C, \bar{\rho}, \bar{\phi}, T \rangle$. Його елементи відображають усі основні компоненти технологічного процесу. До них належать.

Множина входів $X = \{x_i: x_i = x(t_i), i = 1, 2, \dots, t_i \in T\}$ є множиною вхідних зображень-кадрів, що відображають реальний стан технологічного процесу, наданих на моніторі для опрацювання;

Множина виходів $Y = \{y_j: y_j = y(t_j), j = 1, 2, \dots, t_j \in T\}$ є множиною прийнятих людиною-оператором рішень, які компенсують зміни значень параметрів і забезпечують нормальний перебіг технологічного процесу;

Множина станів $C = \{c_k: c_k = c(t_k), k = 1, 2, \dots, t_k \in T\}$ є множиною функціональних станів людини-оператора протягом керування даним технологічним процесом.

Функція переходів $\bar{\varphi} = \{C_t \times X_t \rightarrow C_{t'}, t, t' \in T, t' > t, t' - t = \Delta t' \rightarrow 0\}$, яка відображає поведінку такої системи і визначається зміною функціонального стану під впливом вхідної інформації, тобто якщо в момент часу t оператор знаходився в стані C_t і в цей момент подане зображення кадру $x_i(t) \equiv X_t$ зі зміною параметрів, для яких не існує в пам'яті оператора відповідного рішення. В такій ситуації людина починає оперативно шукати вихід з ситуації, в результаті чого з'являється нервово перенапруження і в момент t' вона вже знаходиться в деякому стані $C_{t'}$. Час переходу зі стану в стан є дуже коротким. Варто зазначити, що в такому поданні зміна стану може відбутися і з технічних причин і від зовнішнього середовища. Проте, припускається, що протягом керування таких змін не відбувається, а тому зміна станів стосується лише оператора.

Функція результату $\bar{\rho} = \{\rho_t: \rho_t = \rho(t''), C_t \times X_t \rightarrow Y_{t'}, t, t', t'' \in T, t'' > t' > t, t'' - t = \tau \rightarrow 0\}$, яка для звичайних робочих ситуацій, в залежності від вхідної інформації X_t та стану C_t , в якому перебуває оператор, вказує на отримання результату від дій оператора.

Множина моментів часу $T = \{t_i: t_{i+1} > t_i, t_{i+1} - t_i \neq 0, i = 1, 2, \dots\}$ має, для такої моделі, важливе значення, оскільки в ній містяться дані про моменти часу, в які відбуваються початки і закінчення усіх змін в системі.

Момент часу t'' означає момент реалізації, прийнятого оператором рішення, а точніше реалізації цього рішення сформованим набором команд.

Крім констатації факту, а саме, настання подій: експозиції зображень x_i , прийняття і реалізації рішення y_j , зміни функціонального стану c_k в моделюванні діяльності оператора в сенсі розв'язування інтелектуальних задач (компенсації відхилень параметрів) важливу роль відіграє інтервал часу тривання самої події. Саме тривалість τ , тобто час з моменту появи змін до моменту реалізації рішення свідчить про вплив ситуації на людини-оператора.

Більш докладно, поняття стану людино-машинного інтерфейсу формально можна подати як множину окремих підмножин:

$$C = \left\{ C_k^q : \bigcup_{k=1}^K C_k^q = C, C_k^q \cap C_l^q = \emptyset, k = \overline{1, K}, q = 1, 2, 3 \right\}.$$

Стресостійкість людини-оператора

В певному сенсі, можна припустити, що в момент виявлення змін в параметрах технологічного процесу оператор відчуває певний дискомфорт, оскільки має оперативно проаналізувати ситуацію, вибрати та прийняти рішення. За одних умов такий дискомфорт може бути звичайною робочою ситуацією, а за інших – перевести оператора в стресовий стан.

Стресовий стан є найбільш небезпечним, в професійному аспекті, функціональним станом для людини-оператора. В цьому стані суттєво погіршуються не лише психофізіологічні показники, але і професійні, функціональні навички можуть стати неадекватними в даній ситуації. При розгляді індивідуальної надійності операторського персоналу найбільш ефективним показником є стійкість перед екстремальними – стресовими ситуаціями.

Переважно стресом називають будь-який зовнішній вплив на організм, який вимагає від нього адекватної реакції шляхом мобілізації тих чи інших захисних сил. Виділяють три фази стресу.

Перша фаза полягає в тому, що організм мобілізує захисні сили і подає в потрібний момент достатньо енергії для адекватної реакції.

У другій фазі організм реалізує свої можливості. Проте, такий стан не може бути тривалим оскільки він швидко виснажує резерви організму, роззброює його, а це веде до ламання механізмів адаптації.

Третьою фазою є *постстрес*, який характеризується певного типу полегшенням і переважно незначною тривалістю, хоча в багатьох випадках ця фаза є досить тривалою – дні, тижні і навіть місяці.

В реальних технологічних процесах людино-машинний інтерфейс керування є найбільш відповідальною і разом з тим нестійкою ланкою.

Робота оператора вимагає постійної концентрації уваги, значного нервового напруження, мобілізації когнітивних ресурсів. Важливим моментом є те, що керування і контроль технологічного процесу є вельми монотонним, що у свою чергу спричинює додаткове підсилення стресового стану як неочікуваність та неготовність до реакції на нештатні та аварійні ситуації.

В цьому плані, важливе значення має такий елемент операторської діяльності як стресостійкість.

Нажаль в доступних літературних джерелах авторами не виявлено методів кількісного обчислення такої характеристики як стресостійкість. Переважна більшість з них дають представлення про стрес, його вплив на організм та наслідки, а також на вихід з стресового стану.

В професійному плані, на операторські спеціальності здійснюється відбір кандидатів відповідними психологічними службами. В їхньому арсеналі є велика кількість різноманітних методів, методик, тестів та відповідних засобів для визначення стресостійкості операторського персоналу. Проте використання їх на робочих місцях є практично неможливим. Оскільки більшість з них є пов'язані з фізіологічними особливостями їх використання або вимагають відволікання від роботи на робочому місці.

Авторами даного дослідження запропонований підхід для встановлення величини *показника стресостійкості персоналу* h . Основою цього показника є такі чотири загальні характеристики, а саме: досвід та рівень кваліфікації людини-оператора, робочого середовища та обсягу інформації про зміни параметрів, керованого оператором, технологічного процесу. Такими характеристиками є: Q – рівень кваліфікації людини-оператора, D – досвід роботи керування аналогічними технологічними процесами, E – дискомфортність робочого середовища, W – обсяг інформації зі зміненими параметрами.

Зв'язок між цими характеристиками є такий:

$$h = \frac{Q \cdot D}{E \cdot W}$$

Зміст цього показника полягає в тому, що добре підготовленого, тобто висококваліфікованого оператора (Q) з великим практичним досвідом (D) досить важко «застати зненацька». Такий оператор дуже швидко орієнтується в можливих робочих ситуаціях навіть тоді, коли існує значний дискомфорт робочого середовища (E), а обсяг інформації про зміну параметрів (W) є досить великим.

Важливим моментом, щодо використання цього показника є те, що значення усіх чотирьох величин можуть бути визначені за шкалою, наприклад, експертних оцінок. Очевидно, вони також можуть бути вимірні як експертні оцінки за бальними шкалами. Хоча, такі оцінки є дуже загальними, проте в системах профвідбору, навчання та атестації операторського персоналу вони є цілком достатні для ідентифікації операторів та кластеризації їх за рівнем підготовки.

Іншими словами, приступаючи до роботи, кваліфікований оператор з достатнім досвідом має не дискомфортне робоче середовище, а інформаційний потік відповідає заданому, тобто обсяг наданої йому інформації на полі уваги є для нього мінімальним (цілком звичним), оскільки в керованій технології відсутні зміни її параметрів. Отже, робоче місце – середовище та інформаційне забезпечення є в межах норми. Це означає, що оцінки характеристик E і W за прийнятою шкалою є мінімальними. Якщо оператор є і кваліфікованим і має великий досвід, тоді оцінки його характеристик Q і D будуть достатньо високими. В результаті, його показник стресостійкості h буде високим і тоді можна вважати, що $h = h_{max}$.

Модель виходу оператора із стресового стану

Вихід зі стресового стану завжди займає певний час. Модель динаміки виходу людини-оператора з стресового стану можна подати в такому аспекті.

Нехай, в момент t_i виникне нетипова нестандартна ситуація, яка визначена змінами в значеннях параметрів технологічного процесу, тоді стан оператора переходить в стресовий, а сам оператор намагатиметься швидко знайти відповідне рішення для виходу з даної ситуації. Графічно динаміку входження і вихід з стресового стану людини-оператора зображено на рис. 1.

З моменту t_i величина показника стресостійкості h стрімко падає вниз до деякого максимального рівня нервово-психічного напруження. В момент t_i' оператор усвідомлює суть події і починає пошук рішення. З цього ж моменту і до моменту $t_j = t''$ оператор аналізує і реалізує вибране рішення. Після цього оператор, як правило, спочатку досить швидко, а далі сповільнюючись виходить із стресового стану. Можна також прийняти, що в момент $t_j = t''$ технологічний процес повернувся в нормативні параметри. Крім того, протягом інтервалу часу $t_j - t_i' = \tau$ оператор, дещо зменшує величину свого стресового стану, мобілізуючи свій когнітивний ресурс власне для аналізу вибраного рішення та створює відповідну послідовність команд.

В момент t_j оператор все ще перебуває в стресовому стані, але далі, аналізуючи наслідки від прийнятого рішення і потрохи заспокоюючись він повертається до свого нормального функціонального стану. Саме про це і вказує монотонне зростання кривої показника стресостійкості h .

Модель виходу оператора із стресового стану легко подати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dh}{dt} = k(h_{max} - h).$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Подане рівняння характеризує швидкість зростання показника стресостійкості h з моменту часу t_j , коли оператор прийняв і реалізував рішення. Наведене диференціальне рівняння є рівнянням з відокремлюваними змінними, тому його розв'язок можна легко знайти в загальному вигляді:

$$h_{\max} - h = Ce^{-kt}.$$

Постійну C можна знайти з початкової умови: $h(t_j = 0) = V$. Отже, $C = h_{\max} - V$. Тут момент $t_j = 0$ означає те, що відлік аргументу кривої виходу оператора з стресового стану стосується саме цього моменту.

Криву виходу оператора з стану стресу називають «кривою навчання», проте її застосування виявляється значно ширшим. Таким чином, ця крива в нашому випадку описується такою формулою:

$$h(t) = h_{\max} - (h_{\max} - V) \cdot e^{-kt}.$$

Швидкість кривої виходу із стресового стану $h(t)$ від значної, зразу після моменту t_j , поступово і нелінійно сповільнюється, наближаючись до свого максимального значення h_{\max} . Параметр V означає той мінімальний рівень показника стресостійкості, за якого оператор ще в стані прийняти і реалізувати адекватне рішення (врятувати технологічний процес). Різниця $(h_{\max} - V)$ характеризує потенціал стресостійкості людини-оператора. Якщо $V < h_{\min}$ оператору необхідно припинити керування технологічним процесом. Параметр k , який у виразі рівняння визначається як коефіцієнт пропорційності, в останньому виразі має фізичний зміст, який означає індивідуальність оператора, а його математичний зміст – швидкість підйому кривої.

Висновки

Представлені моделі людино-машинного інтерфейсу, показника стресостійкості людини-оператора та виходу оператора з стресового стану можна інтерпретувати як спробу формалізації операторської діяльності в людино-машинних системах керування багатьма видами технологічних процесів. З практичної точки зору, ці три моделі орієнтовані на використання кількісних показників і характеристик, не лише людини-оператора, але і до певної міри стосуються як самого технологічного процесу так середовища. Запропонований показник стресостійкості людини-оператора, вже за умови використання відповідної шкали експертного оцінювання його чотирьох елементів, надає можливість відібрати з групи кандидатів-претендентів на місце оператора кращих. Даний показник, за умови кількісних значень його елементів, представляє зв'язок між професійним рівнем і досвідом оператора, робочим середовищем та обсягом наданої інформації.

Модель динаміки виходу оператора зі стресового стану впливає з результатів аналізу показника стресостійкості. Аналіз численних даних, щодо стресу людини, свідчить про те, що вихід з стресового стану не відбувається миттєво, а триває деякий час. Крім того, динаміка відновлення функціонального стану людини до нормального є, як правило, нелінійною і монотонною, причому може мати місце остаточне нервово-психічне напруження, яке пришвидшує його втому.

Приведені результати можуть бути використані в різних лабораторіях та установах для організації професійного відбору претендентів в штат операторського персоналу, їх навчання та перенавчання, а також для атестації кваліфікаційного рівня. Очевидно, що в таких випадках має бути сформована експертна комісія та враховані характеристики конкретного технологічного процесу та вимоги до нього.

Література

1. Приснякова Л. До моделювання поведінки людини / Л. Приснякова, В. Присняков // Психологія і суспільство. – 2004. – № 3. – С. 91–98.
2. Мочурад Л.І. Моделювання стресової ситуації людини в автоматизованих системах управління технологічними процесами /Л.І. Мочурад, Н.І. Бойко, М.В. Яцків // Науковий вісник НЛТУ України. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 152–157.
3. Бодров В. А. Информационный стресс : учебное пособие для вузов / Бодров В.А. – М. : ПЕР СЭ, 2000. – 352 с.
4. Havlikova M., Jirgl M., Bradac Z. Human Reliability in Man-Machine Systems. Procedia Engineering 100. 2015. P. 1207–1214.
5. Jiacaí Huang, YangQuan Chen, Haibin Li, Xinxin Shi. Fractional Order Modeling of Human Operator Behavior with Second Order Controlled Plant and Experiment Research[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(3): 271–280.
6. Marie Havlikova, Miroslav Jirglb, Zdenek Bradacc. Human Reliability in Man-Machine Systems / 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2014. Procedia Engineering Volume 100, 2015, Pages 1207-1214
7. Сучасні методи і засоби для визначення і діагностування емоційного стресу : монографія / за заг. ред. О.П. Мінцера. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 228 с.
8. M. D. Mesarovic and Yasuhiko Takahara. GENERAL SYSTEMS THEORY: MATHEMATICAL FOUNDATIONS. Mathematics in science and engineering Volume 113, ACADEMIC PRESS New York, San Francisco, London 1975 – 316 p.

9. Yurii Kryvenchuk, Ihor Helzynskyy, Tetiana Helzhynska, Nataliya Boyko, Roman Danel. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2488/paper26.pdf>.
10. Kralikova R., Dzunova L., Pinosova M., Wessely E. & Koblasa F. (2019). Man-Machine-Environment System Analyses and Impact of Environment Factors to Productivity and Health of Employees, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.0131-0138, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-22-8, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.
11. Workplace Stress: A collective challenge – Report, 04 April 2016, 978-92-2-130642-9[ISBN]. URL: https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_466547/lang--en/index.htm
12. A. Kopyt, K. Zuzewicz, P. Bartuzi. Experimental identification of a mathematical model of human operator working under mental stress / Acta of Bioengineering and Biomechanics Original paper Vol. 19, No. 3, 2017. – P. 177–185.
13. D. Savic, G. Knezevic and G. Opacic. A mathematical model of stress reaction: Individual differences in threshold and duration. *Psychobiology* 2000, 28 (4), 581–592.
14. Филиппов М.М. Психофизиология функциональных состояний : учеб. пособие / Филиппов М.М. – Киев : МАУП, 2006. – 240 с.
15. Ложкин Г.В. Практическая психология в системах «человек – техника» / Ложкин Г.В., Повякель Н.И. – Киев : МАУП, 2003. – 296 с.
16. Mathematical modeling of learning. Peter F. W. PREECE The School of Education, University of Exeter, St. Luke 3, Exeter, EX 1 2L U, England // JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 21, NO. 9, PP. 953-955 (1984).
17. Learning curve models and applications: Literature review and research directions Michel Jose Anzanello, Flavio Sanson Fogliatto. Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Osvaldo Aranha, 99 - 5 andar, Porto Alegre e CEP 90.035-190, Rio Grande do Sul, Brazil // International Journal of Industrial Ergonomics 41 (2011) 573–583.
18. Levente Malysz and Attila Pem / Predicting future performance by learning curves. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 119 (2014) 368–376.
19. An almost learning curve model for manual assembly performance improvement. Vytautas Kleizaa, Justinas Tilindisb. Published online: October 10, 2016. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, Vol. 21, No. 6, 839–850.
20. LEARNING CURVES: AN ALTERNATIVE ANALYSIS THESIS Sharif F. Harris, URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1055207.pdf>
21. Learning Rate Sensitivity Model Nichols F. Brown System of Systems Engineering Office Systems Engineering Division Timothy P. Anderson Integrated Cost and Schedule Analysis Department Systems Engineering Division. Presented at the 2018 ICEAA Professional Development & Training Workshop. URL: www.iceaaonline.com

References

1. Prysnyakova L., Prysnyakov V. To model human behavior. *Psychology and society*. 2004. № 3. P. 91–98.
2. Mochurad L.I., Boyko N.I., Yatskiv M.V. Modeling of human stress situation in automated process control systems. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 2020, vol. 30, № 1. P. 152–157.
3. Bodrov V. A. Information stress: textbook for universities. M.: PER SE, 2000. 352 p.
4. Havlikova M., Jirgl M., Bradac Z. Human Reliability in Man-Machine Systems. *Procedia Engineering* 100 (2015). P. 1207–1214.
5. Jiakai Huang, YangQuan Chen, Haibin Li, Xinxin Shi. Fractional Order Modeling of Human Operator Behavior with Second Order Controlled Plant and Experiment Research[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2016, 3(3): 271-280.
6. Marie Havlikova, Miroslav Jirglb, Zdenek Bradacc. Human Reliability in Man-Machine Systems / 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2014/ *Procedia Engineering* Volume 100, 2015, Pages 1207-1214
7. Modern methods and tools for determining and diagnosing emotional stress: a monograph / for general. ed. O.P. Minzer. - Vinnytsia: VNTU, 2010. 228 p.
8. M. D. Mesarovic and Yasuhiko Takahara. GENERAL SYSTEMS THEORY: MATHEMATICAL FOUNDATIONS. Mathematics in science and engineering Volume 113, ACADEMIC PRESS New York, San Francisco, London 1975. 316 p.
9. Yurii Kryvenchuk, Ihor Helzynskyy, Tetiana Helzhynska, Nataliya Boyko, Roman Danel. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2488/paper26.pdf>.
10. Kralikova, R., Dzunova, L., Pinosova M., Wessely E. & Koblasa F. (2019). Man-Machine-Environment System Analyses and Impact of Environment Factors to Productivity and Health of Employees, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp. 0131-0138, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-22-8, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.
11. Workplace Stress: A collective challenge – Report, 04 April 2016, 978-92-2-130642-9[ISBN]. URL: https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_466547/lang--en/index.htm
12. A. Kopyt, K. Zuzewicz, P. Bartuzi. Experimental identification of a mathematical model of human operator working under mental stress / Acta of Bioengineering and Biomechanics Original paper Vol. 19, No. 3, 2017. – P. 177–185.
13. D. Savic, G. Knezevic and G. Opacic. A mathematical model of stress reaction: Individual differences in threshold and duration / *Psychobiology* 2000, 28 (4), 581-592.
14. Filippov M.M. Psychophysiology of functional states: Textbook. Benefit. Kiev: MAUP, 2006. 240 p.
15. Lozhkin G.V., Povyakel N.I. Practical psychology in the systems "man - technology". Kiev: MAUP, 2003. 296 p.
16. Mathematical modeling of learning. Peter F. W. PREECE The School of Education, University of Exeter, St. Luke 3, Exeter, EX 1 2L U, England // JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 21, NO. 9, PP. 953-955 (1984).
17. Learning curve models and applications: Literature review and research directions Michel Jose Anzanello, Flavio Sanson Fogliatto. Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Osvaldo Aranha, 99 - 5 andar, Porto Alegre e CEP 90.035-190, Rio Grande do Sul, Brazil // International Journal of Industrial Ergonomics 41 (2011) 573–583.

17. Levente Malysz and Attila Pem / Predicting future performance by learning curves. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 119 (2014) 368–376.

18. An almost learning curve model for manual assembly performance improvement. Vytautas Kleizaa, Justinas Tilindisb. Published online: October 10, 2016. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, Vol. 21, No. 6, 839–850.

19. LEARNING CURVES: AN ALTERNATIVE ANALYSIS THESIS Sharif F. Harris, URL: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1055207.pdf>

20. Learning Rate Sensitivity Model Nichols F. Brown System of Systems Engineering Office Systems Engineering Division Timothy P. Anderson Integrated Cost and Schedule Analysis Department Systems Engineering Division. Presented at the 2018 ICEAA Professional Development & Training Workshop. URL: www.iceaaonline.com

Надійшла / Paper received : 13.10.2020 Надрукована/Printed :27.11.2020