УДК 681.578.3 (045)

Н.М. Шибицька, канд.техн.наук, доц.
Г.А. Тимофієва, асп.

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗНАНЬ ОПЕРАТОРА ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ ЗАЛЕЖНО ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ВХІДНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ

Досліджено математичну модель оператора ергатичних систем протягом часу. Виявлено математичну залежність між психофізіологічними характеристиками оператора та складністю вхідного інформаційного потоку, що дозволяє підвищити об'єктивність процесу діагностики знань та своєчасно прийняти рішення про професійну підготовку операторів ергатичної системи.

Mathematical model of the ergotic systems operator is offered. Mathematical dependence between operator's psycho-physiological description and complication of input signal is found, that allows to make diagnostic process more objective and to make a decision about operator's professional training in time.

Вступ

Технічний розвиток людства супроводжується передаванням людині все більшої кількості керуючих функцій, що приводить до заміни фізичної праці розумовою, знижуючи необхідність м'язової роботи й відповідних енерговитрат. Однак при цьому значно зростає навантаження на психіку людини, якій доводиться оцінювати та прогнозувати ефективність роботи устаткування й інших людей. Отже, одним із найважливіших завдань є пошук методичних методів об'єктивного оцінювання та прогнозування функціонального стану людини-оператора як об'єкта ергатичної системи.

Ефективність функціювання ергатичної системи значною мірою обумовлене рівнем підготовки персоналу.

Відомо, що головним винуватцем нещасних випадків є зазвичай не техніка, а сама працююча людина [1].

Відповідно до статистики, більшість таких подій, наприклад, в авіації, пов'язані з людським фактором (60-70 %, а в Україні до 95 %). При цьому Міждержавний комітет стверджує: більш ніж у 80 % випадків авіаподії спричиняють відхилення в діях авіаційного персоналу, а сполучення помилок пілотів, диспетчерів та інших операторів літальних апаратів повторюються.

Оскільки на сучасному етапі розвитку авіації у професійній підготовці операторів літальних апаратів все більше беруть участь інформаційні технології, а саме літальні тренажери, то виникає потреба у розробленні нових методів аналізу та прогнозування рівня навченості.

Отже, для забезпечення ефективності роботи ергатичної системи потрібна діагностика стану людини-оператора, що включає в себе не тільки контроль, оцінювання знань, умінь та навичок, але й систематизацію даних для їх опрацювання, аналізу, встановлення тенденцій та, головне, можливість надійного прогнозу рівня знань та вмінь із часом, що дає можливість адекватного моделювання процесу перепідготовки кадрів та підвищення кваліфікації.

Аналіз досліджень і публікацій

Останнім часом приділяється багато уваги питанням моделювання процесів засвоєння та збереження знань операторами ергатичних систем. Найбільш відомі дослідження процесів збереження матеріалу у короткочасній пам'яті [2]. Але оскільки основна інформація зберігається у довготривалій пам'яті, то процес діагностики та прогнозування рівня знань із часом являє науковий інтерес.

Найбільш поширеним та відомим є дослідження процесів пам'яті Г.Еббінгауза, П. Радоссавлевича, А. П'єрона.

Результати цих досліджень характеризують процес забування кінцевого дискретного інформаційного масиву, між елементами якого немає логічного зв'язку, тому не можуть виражати загального закону запамятовування й забування будь-якого матеріалу.

Постановка завдання

Через зростання концентрації керованої потужності в руках однієї людини виникає необхідність прогнозування працездатності операторів ергатичних систем.

Зокрема, для комплексної діагностики стану оператора потрібне кількісне та якісне оцінювання можливостей людини для реалізації кожного із завдань, які вирішує оператор. Для цього використовується математичний опис процесів інформаційного пошуку, перероблення інформації та прийняття рішень. Ці процеси є базовими функціями пам'яті.

Тому завданням кількісного оцінювання цих функцій є отримання математичних значень, що встановлюють залежність між характеристиками вхідної інформації (її обсягом, темпом отримання), а також точністю її відновлення, часом збереження та. ін.

Отже, дослідження математичної моделі пам'яті оператора ергатичної системи протягом часу для визначення працездатності, а саме прогнозування рівня знань та його навченості залежно від складності вхідної інформації, являє науковий інтерес.

Математична модель

Процес професійної підготовки людини складається із періодів накопичення знання оператором та збереження цих знань. Часові характеристики системи визначають швидкість та тривалість накопичення та забування інформації в довготривалій пам'яті.

Прогнозування рівня знань оператора ергатичних систем можливе лише за вхідними та вихідними даними, отриманими у результаті експерименту [3].

Отже, процес збереження інформації у пам'яті є слабо формалізованою областю тому, що апріорної інформації про параметри системи та умови її роботи або немає, або вона неповна.

Розглянемо час $[0,T]$, упродовж якого проводилися експериментальні спостереження за станом оператора. Для визначення ступеня засвоєння знань було проведено тестування у різні моменти часу t_0 – до початку навчання, t_1 – у момент закінчення навчальної дії, t_2 – через деякий проміжок часу.

Математична модель закону збереження знань в пам'яті оператора має вигляд

$$f(t)=\begin{cases} f_1(t), \text{ якщо } 0\le t<t_1; \\ f_2(t), \text{ якщо } t_1<t<t_2, \end{cases} \qquad (1)$$

де $f_1(t)$ – закон засвоєння на інтервалі $[0,t_1]$; $f_2(t)$ – закон збереження інформації на $t>t_1$.

Доведено, [3], що процес ідентифікації параметрів оператора ергатичної системи та прогнозування його стану протягом часу має вигляд диференціального рівняння другого порядку:

$$k_2\frac{d^2f(t)}{dt^2}+k_1\frac{df(t)}{dt}+k_0f(t)=ku_{\text{вх}}(t), \qquad (2)$$

де $f_2(t)$ – вимірювальна вихідна величина (рівень знань оператора);

k_i (i = 0,1 ... n) – параметри стану оператора, які обумовлені психофізіологічними характеристиками;

k – коефіцієнт, який характеризує складність інформаційного потоку;

$u_{\text{вх}}(t)$ – вхідний інформаційний потік:

$$u_{\text{вх}}(t)=u(t)+\frac{du(t)}{dt};$$

$\frac{du(t)}{dt}$ – швидкість подання інформації;

$u(t)$ – задане вхідне значення (тест-сигнал), що являє елемент знання.

Розглянемо, як впливає коефіцієнт складності вхідного сигналу на рівень збереження інформації протягом часу.

Нехай вхідний інформаційний потік $u_{\text{вх}}(t)$ має вигляд (рис. 1), що визначається функцією

$$u(t)=\begin{cases} a\cdot t+b, \text{якщо } 0<t\le t_1; \\ 0, \text{якщо } t_1<t\le\infty, \end{cases} \qquad (3)$$

де $a=\frac{1-b}{t_1}$;

b – рівень фундаментальних знань.

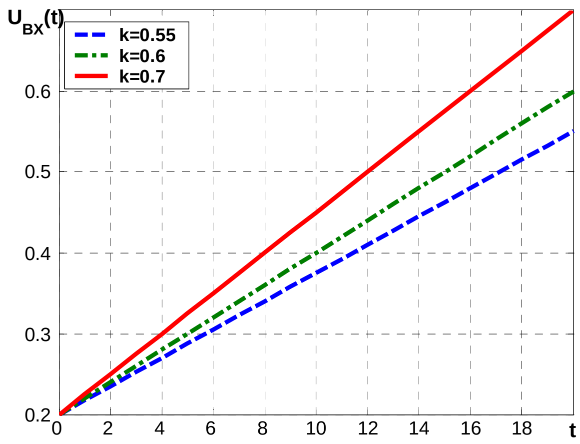

Рис. 1. Вхідний навчальний імпульс $u_{\text{вх}}(t)$ для різних значень k

Для ідентифікації параметрів оператора сформуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), яка характеризує параметричну модель оператора, у матричній формі на підставі проведених експериментальних досліджень у граничних точках підпроцесів $y(t_0)$, $y(t_1)$, $y(t_2)$:

$Y*K=k(U+U')$;

$$\begin{bmatrix} y''(t_0) & y'(t_0) & y(t_0) \\ y''(t_1) & y'(t_1) & y(t_1) \\ y''(t_2) & y'(t_2) & y(t_2) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} k_2 \\ k_1 \\ k_0 \end{bmatrix} = k \left[\begin{bmatrix} u(t_0) \\ u(t_1) \\ u(t_2) \end{bmatrix} + \begin{vmatrix} u'(t_0) \\ u'(t_1) \\ u'(t_2) \end{vmatrix} \right], \quad (4)$$

де Y – матриця стану оператора;

U – вхідний потік інформації;

U' – вектор швидкості подання інформації в граничних точках підпроцесів.

Корені СЛАР (4) виконують такі функції [3]:

k_2 характеризує інерційність мислення, пов'язану з осмисленням інформації та переводом її з короткотривалої пам'яті до довготривалої;

k_1 є узагальненим параметром процесу засвоєння інформації оператором;

k_0 визначає здатність тривалого збереження інформації в довготривалій пам'яті оператора.

Під час розробки методів оцінювання стану оператора ергатичної системи одним із етапів є аналіз дидактичної складності матеріалу та експертне призначення вагових коефіцієнтів k вхідному сигналу, що дозволяє враховувати ступінь складності вхідної інформації відносно інших вхідних сигналів.

Розглянемо період часу $[0, t_1]$, впродовж якого оператором засвоює інформацію, отриману в результаті впливу навчальної дії.

Знайдемо розв'язок лінійного диференціального рівняння (2) з постійними коефіцієнтами, яке в багатьох випадках може бути проінтегровано так званими операційним та операторним методами. Тобто для знаходження розв'язку рівняння використовуємо операційне числення, а саме перетворення Лапласа.

Відомо, [4], що зображення Лапласа існує для будь-якої неперервної або частково неперервної функції $y(t)$, що задовольняє умові $\left| y(t) \le \mathrm{M} e^{\sigma_0 t} \right|$ для всіх $t \ge 0$, де M та σ – дійсні числа.

Згідно з теоремою про диференціювання оригіналу [5]:

$$\begin{aligned} &f'(t) \to pF(p) - f(0); \\ &f''(t) \to p^2 F(p) - pf(0) - f'(0), \end{aligned} \quad (5)$$

де $f(t)$, $f'(t)$, $f''(t)$ – оригінали, $f(t) \to F(p)$.

Розв'язок диференціального рівняння може бути знайденим, якщо його права частина $u(t)$ виражена у вигляді суми простих функцій, для яких вже існує зображення за Лапласом, або у вигляді лінійної комбінації із постійними коефіцієнтами. Таким чином, рівняння (2) в зображеннях за Лапласом згідно з виразом (5) має вигляд

$$\begin{aligned} &k_2 [p^2 F(p) - pf_1(0) - f_1'(0)] + \\ &+ k_1 [pF(p) - f_1(0)] + k_0 F(p) = \frac{ak}{p^2} + \frac{b+a}{p}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тоді зображення вихідного сигналу

$$\begin{aligned} F(p) = &\frac{ak}{k_2} \frac{1}{p_2 p_3} \left(\frac{1}{p^2} + \frac{b}{a} + \frac{1}{k} + \frac{p_1 + p_2}{p_1 p_2} \frac{1}{p} \right) + \\ &+ \frac{1}{p_1 - p_2} \left(\frac{ak}{k_0} \frac{1}{p_1^2} + \frac{kb+a}{k_2} \frac{1}{p_1} + f_1(0) p_1 + v + \frac{k_1 f_1(0)}{k_2} \right) \frac{1}{p - p_1} + \\ &+ \frac{1}{p_2 - p_1} \left(\frac{ak}{k_2} \frac{1}{p_2^2} + f_1(0) p_2 + \frac{kb+a}{k_2} \frac{1}{p_2} + v + \frac{k_1 f_1(0)}{k_2} \right) \frac{1}{p - p_2}, \end{aligned}$$

де p_1 та p_2 – корені характеристичного рівняння, які ще називають полюсами системи.

Перейдемо від зображення до оригіналу, користуючись теоремою лінійності [5]:

$$\begin{aligned} f_1(t) = &\frac{ak}{k_2} \frac{1}{p_2 p_3} \left(t + \frac{b}{a} + \frac{1}{k} + \frac{p_1 + p_2}{p_1 p_2} \right) + \\ &+ \frac{1}{p_1 - p_2} \left(\frac{ak}{k_2} \frac{1}{p_1^2} + f_1(0) p_1 + \frac{kb+a}{k_2} \frac{1}{p_1} + v + \frac{k_1 f_1(0)}{k_2} \right) e^{p_1 t} + \\ &+ \frac{1}{p_2 - p_1} \left(\frac{ak}{k_2} \frac{1}{p_2^2} + f_1(0) p_2 + \frac{kb+a}{k_2} \frac{1}{p_2} + v + \frac{k_1 f_1(0)}{k_2} \right) e^{p_2 t}. \end{aligned} \quad (7)$$

Розглянемо процес збереження інформації пам'яттю оператора після закінчення дії вхідного сигналу, тобто, для $t > t_1$ $u(t) = 0$.

Отже, рівняння (2) матиме вигляд

$$k_2 \frac{d^2 f_2(t)}{dt^2} + k_1 \frac{df_2(t)}{dt} + k_0 f_2(t) = 0.$$

За теоремою про диференціювання оригіналу [6] аналогічно рівнянню (6)

$$\begin{aligned} &k_2 [p^2 F(p) - pf_2(0) - f_2'(0)] + \\ &+ k_1 [pF(p) - f_2(0)] + k_0 F(p) = 0. \end{aligned}$$

Тоді зображення за Лапласом

$$F(p)=\frac{1}{p_1-p_2}\left(f_2(0)p_1+v+\frac{k_1f_2(0)}{k_2}\right)\frac{1}{p-p_1}+$$
$$+\frac{1}{p_2-p_1}\left(f_2(0)p_2+v+\frac{k_1f_2(0)}{k_2}\right)\frac{1}{p-p_2}.$$

Перейдемо від зображення до оригіналу:

$$f_2(t)=\frac{1}{p_1-p_2}\left(f_2(0)p_1+v+\frac{k_1f_2(0)}{k_2}\right)e^{p_1t}+$$
$$+\frac{1}{p_2-p_1}\left(f_2(0)p_2+v+\frac{k_1f_2(0)}{k_2}\right)e^{p_2t}. \quad (8)$$

Використовуючи формули (7), (8), сформуємо закон засвоєння та збереження інформації в пам'яті оператора (1).

Розглянемо на прикладі процеси засвоєння та збереження інформації в пам'яті оператора.

Для розрахунку параметрів системи зафіксуємо значення функції $y(t)$ та її похідних у граничних точках:

$t_0=0$; $t_1=20$; $t_2=220$.

Сформуємо вхідний інформаційний потік $u_{вх}(t_n)$ для різних коефіцієнтів $\bar{k}=[0{,}55;0{,}6;0{,}7]$ складності, які було визначено за допомогою експертного оцінювання.

Розглянемо випадок, коли $k=0{,}6$.

У результаті експериментальних вимірювань у заданих точках підпроцесів отримали: $y(t_0)=0{,}2$; $y(t_1)=0{,}55$; $y(t_2)=0{,}52$.

Сформуємо СЛАР (3), де

$$y'(t_0)=\frac{y(t_1)-y(t_0)}{t_1-t_0},$$

$$y''(t_0)=\frac{y'(t_1)-y'(t_0)}{t_2-t_1}.$$

Оскільки точка t_1 є точкою перегину, то

$y'(t_1)=0$;

$y''(t_1)=-y''(t_0)$.

Аналогічно t_0 знайдемо $y'(t_2)$, $y''(t_2)$.

Таким чином, СЛАР (4) матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} 0{,}0009 & 0{,}017 & 0{,}2 \\ -0{,}0009 & 0 & 0{,}55 \\ -2{,}4e-006 & -0{,}0001 & 0{,}52 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}23 \\ 0{,}6 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Розв'язуючи рівняння (9) знаходимо коефіцієнти k_0,k_1,k_2, що характеризують психофізіологічний стан оператора.

Аналогічно сформуємо СЛАР для кожного значення $\bar{k}=[0{,}55;0{,}6;0{,}7]$ (рис. 1).

Використовуючи корені СЛАР k_0,k_1,k_2 для усіх значень, побудуємо математичну модель у вигляді рівняння (1), яке дозволяє характеризувати тривалість збереження та рівень накопичених знань із часом залежно від складності вхідного інформаційного імпульсу. Враховуючи дидактичний принцип повноти знань, проведемо нормалізацію даних та отримаємо реальний рівень навченості оператора за заданою шкалою оцінювання.

У момент часу t_1 після закінчення навчальної дії $u_{вх}(t)$, проведемо вимірювання рівня $y(t_1)$ знань або вмінь оператора.

Розглянемо вплив складності навчального інформаційного потоку на рівень знань того ж самого оператора для різних значень $u_{вх}(t)$ (рис. 1).

Аналіз отриманих результатів показує, що рівень $y(t_1)$ знань оператора зворотно пропорційний складності k навчальної дії $y_{k=0{,}55}(t_1)>y_{k=0{,}7}(t_1)$.

Якщо оператор засвоїв складний матеріал на достатньому рівні, то через тривалий час отримаємо більш стабільний рівень знань $y_{k=0{,}55}(t_3)<y_{k=0{,}7}(t_3)$, де $t_3>>t_2$ (рис. 2).

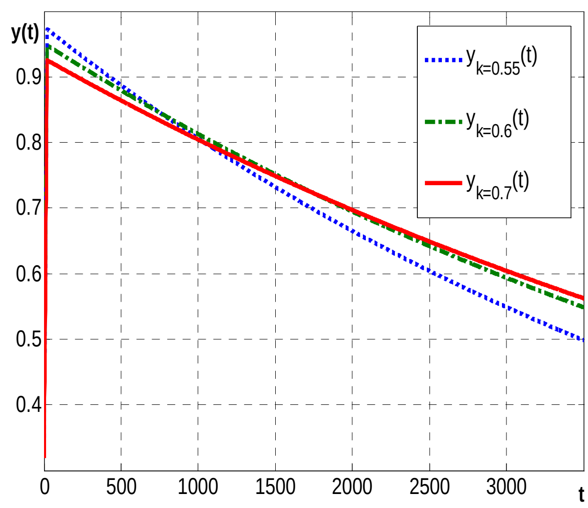

Рис. 2. Закон $y(t)$ накопичення та збереження інформації оператором протягом часу

Таким чином, урахування складності інформаційного потоку дозволяє значною мірою підвищити об’єктивність прийняття рішень про ступені навченості оператора.

Висновки

Запропонована методика прогнозування рівня знань оператора ергатичних систем дозволяє зробити висновки:

1) із часом рівень знань та навченості незалежно від складності вхідної інформації набуває певного рівня та залежить від психофізіологічних характеристик людини;

2) виявлено математичну залежність між характеристиками k вхідного інформаційного потоку $u_{\text{вх}}(t)$ (формою, об’ємом, складністю) та психофізіологічними характеристиками оператора k_i ергатичних систем;

3) прогнозування рівня знань та збереження навичок із часом надає можливість вдосконалювати взаємодію систем керування із оператором у процесі професійної підготовки та здійснювати індивідуальний підхід до кожної людини, що навчається.

Література

1. *Безпека* авіації / В.П., Бабак В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.

2. *Присняков В.Ф., Приснякова Л.М.* Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.

3. *Шибицкая* Н.Н. Метод идентификации объектов в эргатической системе управления процессом обучения // Кибернетика и вычислительная техника. – К., 1999. – Вып. 121. – С. 52–58.

4. *Мартыненко В.С.* Операционное исчисление. − К.:Вища шк., 1973. – 268 с.

5. *Матвеев Н.М.* Дифференциальные уравнения. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1965. – 366 с.

6. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров.– М.: Наука, 1968. – 720 с.

Стаття надійшла до редакції 24.06.08.