

УДК 331. 101.1.[658.336:656.7] (045)

Ю.В. Петрова, канд. техн. наук, доц.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ РОБОТИ ОПЕРАТОРА НА ЙОГО ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Досліджено динамічні властивості операторів за результатами структурної ідентифікації моделей динаміки зорових каналів оператора. Розглянуто зміну структури та параметрів моделей динаміки зорових каналів операторів під час неперервної роботи зі сприйняття та відтворення візуальної стохастичної інформації.

Researching dynamic properties of operators by the means of the structural identification of dynamics models of human's "visual channels" is carried out. Change of structure and parameters of dynamics models of operators' "visual channels" during continuous action for visual perception processes from display and reproduction of visual stochastic information is considered.

Постановка проблеми

Оператор – одна з найважливіших ланок у контурі керування складним динамічним об'єктом і для виконання своїх функцій повинна мати такі природні здібності, як швидкість, точність, адекватність і погодженість рухів. Підвищення вимог до якості роботи складних систем керування (пілотування і безпекою руху літальних апаратів) висовують до оператора все більш високі вимоги. У багатьох випадках виявилось, що слабким місцем системи людина–машина, що обмежує її ефективність і надійність, є сама людина.

Люди відрізняються одне від одного фізіологічними та психічними властивостями, тому ефективність роботи кожного конкретного виконавця в конкретних умовах різна й може змінюватися з часом. Дослідження цих змін є вкрай важливим для цілей відбору та атестації кандидатів в оператори, зокрема, торкаються досліджень зорового каналу сприйняття візуальної інформації, її перероблення та відповідної моторної реакції оператора.

Аналіз досліджень і публікацій

Найпоширенішим параметром в оцінюванні ефективності роботи оператора під час спостереження за візуальним сигналом є величина помилки оператора [1]. У деяких роботах пропонується розглядати оператора під час спостереження як генератора помилки. У цьому випадку помилка є інтегральним показником індивідуальних відмінностей операторів.

Для оцінювання швидкодії оператора використовують кількісний показник, який називають часом реакції людини між впливом якого-небудь вхідного сигналу на сенсор людини і його відповідною реакцією.

Вивченню часу реакції присвячено велику кількість робіт у сфері інженерної психології.

Однак цей показник не характеризує такі сторони діяльності оператора, як точність виконання дій, їх адекватність, смугу пропускання сигналу та ін.

Для визначення втомності у процесі спостереження за візуальним сигналом, як правило, використовують метод опитування: оператор виконує свою роботу й через певні рівні відрізки часу оцінює свій стан, наприклад, за шестибальною шкалою, запропонованою [1] Г.М. Зараковським. Окрім того, характеристики втомлюваності оцінюються ще додатково й кількісною зміною помилки оператора.

У багатьох випадках, наприклад, під час роботи на борту літальних апаратів, для визначення придатності людини до операторської діяльності недостатньо охарактеризувати дії оператора довірливими кількісними критеріями, такими, як загальний час роботи або середня помилка. Це пояснюється тим, що ці критерії недостатньо вписуються в систему рівнянь, що зв'язують входи й виходи різних елементів системи керування й не дають повного уявлення про якість роботи оператора й відповідність його психофізіологічних характеристик конкретному виду діяльності.

Мета статті

Завдання полягає в тому, щоб за масивами сигналів «вхід–вихід» і за аналогією з відомими алгоритмами структурної ідентифікації [2] визначити передавальну функцію зорового каналу оператора, а також спектральну щільність ремант, що супроводжує процес сприйняття вхідної інформації (реакцію оператора на неї), дослідити та проаналізувати вплив часу неперервної роботи на динамічні характеристики зорового каналу людини-оператора, ґрунтуючись на отриманих моделях динаміки.

Експериментальні дослідження

Умови діяльності оператора характеризуються:

- властивостями об'єкта керування й режимами роботи, тобто тривалістю робочих періодів і перерв;
- наявністю й характером завад;
- конструктивними особливостями технічних пристроїв, призначених для реалізації відповідних рухових реакцій.

На поведінку оператора в контурі керування значно впливають чинні вимоги до його роботи. Головна мета роботи оператора – якнайшвидше і найточніше реагувати на вхідний сигнал.

Оскільки операція слідкування характерна для багатьох видів діяльності оператора, проведемо дослідження динаміки зорового каналу оператора, спостерігаючи за візуальним стохастичним сигналом.

Як відповідну реакцію будемо використовувати рух руки оператора під час переміщення маніпулятора типу «мишка» на горизонтальній поверхні за напрямком нагору та вниз.

Експериментальні дослідження було проведено за методикою, запропонованою в праці [3]. Оператор працював у розімкнутому контурі керування (рис. 1).

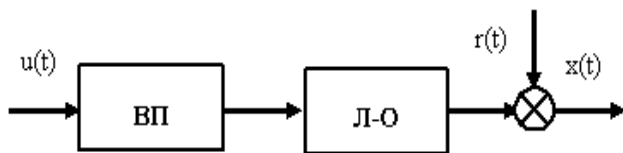


Рис. 1. Блок-схема системи сприйняття зорової інформації

У цьому експерименті головним завданням оператора Л-О було найбільш точно відтворювати візуальний стохастичний вхідний сигнал $u(t)$ на дисплеї комп'ютера ВП.

Для дослідження динамічних властивостей оператора найкращим законом руху цілі, як показано в роботі [1], є смуговий «білий» шум.

Під час роботи кожен оператор вносить збурення в систему – ремнанту $r(t)$. Під ремнантою розуміють ту частину вихідного сигналу оператора, яка не може бути отримана лінійним перетворенням вхідного сигналу. До джерел, що породжують залишок, належать:

- нелінійна частина реакції на вхідний сигнал;
- власний шум оператора (шум не має зв'язку із вхідним сигналом);
- нестационарність параметрів передавальної функції оператора.

Вхідний $u(t)$ і вихідний $x(t)$ сигнали піддавались первинній, а потім вторинній обробці з використанням спектрального алгоритму структурної ідентифікації, який описано в праці [2], для побудови математичних моделей динаміки зорового каналу оператора та його ремнанти $r(t)$. Раніше цей алгоритм застосовувався для вивчення технічних систем і акселераційного каналу пілота-оператора.

Як матеріальну базу для експериментальних досліджень був використаний персональний комп'ютер на базі мікропроцесора «Pentium-4» (1,2 ГГц) з оперативною пам'яттю 256 Мбайт.

Відображення візуальної інформації виводилося з монітора «ViewSonic – 17» (частота вертикального розгорнення – 100 Гц, частота горизонтального розгорнення – 63,6 МГц).

Реакція оператора вводилась в комп'ютер за допомогою маніпулятора типу «мишка» – A4 Tech, 520 dpi.

Для проведення експериментальних досліджень було спеціально розроблено програму мовою програмування Borland C++ Builder 5. Після завантаження програми виникає спеціальне вікно, де оператор може вибрати тестовий сигнал, час дискретизації вхідного й вихідного сигналів. Колір тестового сигналу – зелений, яскравість – 100 кд/м², що відповідає державним стандартам України.

Вікно відображення тестового сигналу займає тільки частину екрана, на іншій частині екрана оператор намагається відтворити тестовий стаціонарний випадковий сигнал у діапазоні частот, що перевищує смугу пропускання частот можливих реакцій операторів. Розмах коливань променя індикатора становить 7 см від середньої лінії (випадковий процес центрований). Відстань від дисплея комп'ютера до очей випробуваного становить 80 см.

Оператор бачить тільки частину тестового сигналу, кожні наступні точки послідовності виникають із часом із заданим дослідниками інтервалом дискретизації, а частина попередніх точок зникає одна за одною. В оператора складається враження, що сигнал рухається по екрану монітора. Це робиться спеціально, щоб оператор не бачив, як буде змінюватись сигнал у майбутньому. Швидкість руху тестового сигналу становить 600 точок на хвилину. Це потрібно для наближення умов експерименту до реальних умов роботи оператора на борту літака або на авіаційному тренажері. Вхідний і вихідний сигнали фіксуються й надалі підлягають обробленню.

Результати досліджень

Під час безперервної роботи оператора найсильніше проявляються такі його особливості, як адаптація та втома, які впливають на якість роботи оператора.

Для дослідження впливу тривалості безперервної роботи на зміну динаміки зорового каналу оператора було проведено експериментальні дослідження. Із 20 випробуваних вікової категорії від 20 до 30 рр., що працюють тільки правою рукою після проведення досліджень було обрано п'ять операторів із середніми динамічними характеристиками за цією групою.

Оператори мали найточніше відтворити візуальний стохастичний сигнал у разі безперервної роботи протягом 80 хв.

Вхідний і вихідний сигнали записувались кожні 10 хв роботи оператора. Усі експериментальні дослідження проводилися всередині робочого дня при денному світлі.

Після проведення експериментальних досліджень, а також первинної (отримання спектральних та взаємних спектральних щільностей вхідного та вихідного сигналів) та вторинної обробки (структурної ідентифікації моделей динаміки зорових каналів операторів) отриманих експериментальних даних було побудовано математичні моделі зорових каналів кожного з досліджуваних операторів для кожного запису його роботи та знайдено спектральні щільності його ремнанти відповідно до відомої методики досліджень [3].

Проаналізувавши отримані передавальні функції операторів, було встановлено, що всі передавальні функції, апроксимуються двома коливальними ланками, тобто тривалість роботи не вплинула на структуру передавальної функції жодного з випробуваних.

Таблиця 1

Параметри передавальної функції зорового каналу оператора

Час роботи оператора, хв	K	T_1, c	T_2, c	$f_{пр}, Гц$	τ, c
10	0,65	0,09	0,05	1,7	0,2
20	0,89	0,09	0,05	1,7	0,2
30	0,7	0,09	0,05	1,8	0,2
40	0,7	0,09	0,05	1,7	0,2
50	0,7	0,09	0,05	1,7	0,2
60	0,5	0,1	0,05	1,4	0,2
70	0,6	0,11	0,06	1,2	0,2
80	0,5	0,11	0,06	1,1	0,2

Примітка. $f_{пр}$ – смуга пропускання частот у зоровому каналі оператора.

Таким чином, узагальнена передавальна функція моделей динаміки зорових каналів операторів має вигляд:

$$W(s) = K \frac{1}{(T_1^2 s^2 + 2\xi_1 T_1 s + 1)(T_2^2 s^2 + 2\xi_2 T_2 s + 1)} e^{-\tau s},$$

де K – коефіцієнт підсилення каналу;

T_1, T_2 – стала часу апроксимуючих ланок;

ξ_1, ξ_2 – відносні коефіцієнти демпфірування;

τ – час запізнювання реакції оператора.

Результати зміни параметрів передавальної функції та смуги пропускання вхідного сигналу з часом для одного оператора, що брали участь у дослідженні, із середніми динамічними характеристиками у цій групі, наведено в табл. 1.

Апроксимуючі вирази для кожної зі спектральних щільностей ремнанти всіх операторів описуються коливальною ланкою. Таким чином, узагальнену модель спектральної щільності ремнанти цієї групи подамо у вигляді

$$S_{rr} = \frac{\sigma_r^2}{\pi} \left| \frac{1}{T_{r1}^2 s^2 + 2\xi_{r1} T_{r1} s + 1} \right|^2,$$

де σ_r – інтенсивність сигналу ремнанти.

Результати зміни параметрів спектральної щільності ремнанти із часом для оператора із середніми динамічними характеристиками в цій групі наведено в табл. 2.

Для наочного зображення характеру зміни динаміки зорових каналів операторів під час тривалої роботи було побудовано графіки зміни коефіцієнта підсилення, смуги пропускання, часу затримки реакції оператора та дисперсії спектральної щільності ремнанти для п'яти операторів з досліджуваної групи (рис. 2).

Таблиця 2

Параметри спектральної щільності ремнанти зорового каналу оператора

Час роботи оператора, хв	$\sigma_r, см$	T_{r1}, c	$D_{r\sigma}, см^2$
10	1,0	0,09	1,8
20	0,9	0,09	0,45
30	0,8	0,1	0,4
40	1,1	0,11	0,75
50	1,2	0,11	0,8
60	1,2	0,1	0,9
70	1,2	0,1	0,9
80	1,5	0,12	1,3

Примітка. $D_{r\sigma}$ – дисперсія сигналу ремнанти кожного оператора.

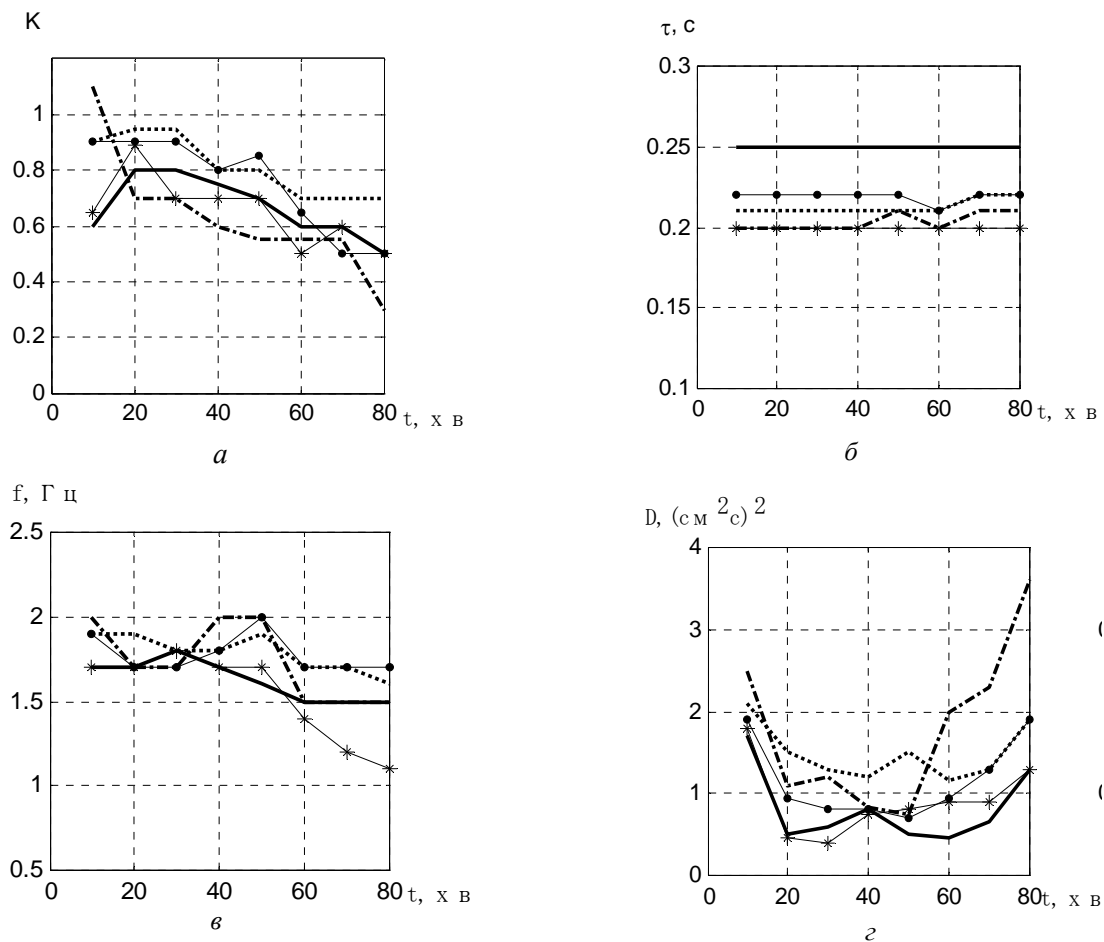


Рис. 2. Вплив часу роботи на коефіцієнт підсилення оператора (а), час запізнювання реакції оператора (б), смугу пропускання оператора (в), дисперсію ремнанти оператора (з)

Висновки

Аналіз отриманих експериментальних даних щодо зміни динаміки зорового каналу оператора під час тривалої роботи дав такі дані:

- запізнювання реакції операторів майже не змінюється під час тривалої роботи в досліджуваному часовому діапазоні;
- значення коефіцієнта підсилення досліджуваного часового діапазону спочатку збільшується, а потім його значення зменшується приблизно на 30–40 %;
- смуга пропускання вхідного сигналу з часом зменшується у всіх операторів приблизно на 10–15 %, у деяких спостерігається тенденція до деякого розширення смуги пропускання всередині роботи;
- мінімальні значення дисперсії ремнанти всіх випробуваних осіб спостерігаються в середині часового інтервалу, початок і кінець роботи

характеризуються більшим значенням дисперсії ремнанти оператора (після 40–60 хв роботи дисперсія ремнанти збільшується в 1,5–2 рази); – ступінь зміни зазначених параметрів визначається індивідуальними особливостями кожного оператора.

Отже, коефіцієнт підсилення, смугу пропускання вхідного сигналу й дисперсію ремнанти можна використовувати для адекватного кількісного оцінювання втомі операторів.

Література

1. *Леонова А.Б., Медведев В.В.* Функциональные состояния человека в трудовой деятельности. – М.: Наука, 1985. – 103 с.
2. *Блохин Л.Н.* Оптимальные системы стабилизации. – К.: Техніка, 1982. – 144 с.
3. *Петрова Ю.В.* Методика атестації динамічних властивостей зорового каналу оператора // Пробл. інформатизації та управління. – 2004. – Вип. 11. – С. 173–176.