

## Динамический стенд для оценки затрат времени на формы мышления человека-оператора

© К.А. Пупков, А.Д. Левадко, Н.В. Лукьянова, В.А. Новикова,  
Нэй Зин Хтун, А.А. Полякова, А.Е. Садовников, О.П. Трифионов,  
А.Д. Устюжанин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены конструктивные особенности и функциональные возможности динамического стенда для оценки затрат времени на формы мышления человека-оператора при скрытом (латентном) периоде прохождения информации через мозг по экспериментальным данным при работе в системе человек — машина. Данные исследования важны, поскольку такая система является интеллектуальной, определение времени чистого запаздывания, затрачиваемого на реализацию форм мышления, необходимо для оценки качества принимаемых человеком-оператором решений в процессе управления объектами. Выявлено, что ряд ортогональных G-функционалов Винера дает наиболее полное и строгое описание динамики человека-оператора и математические возможности для вычисления необходимого времени запаздывания.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, человек-оператор, латентный период, форма познания, качество управления

**Введение.** Исследованию и оценке динамики человека-оператора, работающего в составе системы управления различными объектами, посвящено значительное число работ, анализ и обобщение которых приведены в монографии Т.Б. Шеридана и У.Р. Феррелла и других работах [1–4]. Наиболее полное и строгое описание динамики человека-оператора, основанное на применении ряда из ортогональных G-функционалов Винера и экспериментальных данных, получено К.А. Пупковым и А.Д. Устюжаниным [5–8] в виде передаточной функции

$$\frac{U_{\text{вых}}(s)}{U_{\text{вх}}(s)} = K_{r.-o} e^{-s\tau} \frac{T_1 s + 1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{вых}}(s)$  — преобразование Лапласа результата действий человека-оператора;  $U_{\text{вх}}(s)$  — преобразование Лапласа зрительной информации, воспринимаемой человеком-оператором;  $K_{r.-o}$  — коэффициент усиления;  $\tau$  — время чистого запаздывания, соответствующее времени прохождения информации через мозг человека-оператора, так называемый латентный (скрытый) период;  $T_1$  — постоянная времени, характеризующая прогностические свойства человека-оператора;

$T$  и  $\xi$  — параметры колебательного звена, характеризующие динамику мышечной системы человека-оператора.

**Основные задачи динамического стенда.** Динамика мышечной системы, определяемая параметрами  $T$  и  $\xi$ , зависит в основном от физического состояния человека-оператора, степени тренированности, качества формирования навыков и т. п.

Однако интерес представляет в значительной мере скрытый период прохождения информации через мозг человека-оператора, характеризующийся временем  $\tau$ , которое также зависит от личных факторов и прежде всего факторов процесса познания. Время  $\tau$  различно для каждого индивидуума. Используем классическую теорию познания, а именно будем полагать, что процесс познания имеет следующие формы: 1) ощущение информации; 2) восприятие; 3) представление — так называемое живое созерцание; 4) формирование понятия; 5) суждение; 6) умозаключение (принятие решения) — абстрактное мышление; 7) практика (реализация принятого решения в целях подтверждения сформированного понятия).

Ставится задача: определить время, затрачиваемое человеком-оператором в процессе работы на реализацию указанных выше форм живого созерцания и абстрактного мышления, а также затраты на передачу принятого решения на его реализацию мышечной системой.

Заметим, что суммарное время  $\tau$  могли определять и ранее, также по экспериментальным данным [5].

Цель такого определения — понять, каким образом время, затрачиваемое на формы мышления, влияет на качество принимаемого решения и в целом на качество управления тем или иным динамическим объектом.

Под интеллектуальной системой понимается объединенная информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способная на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, принимать решения к действию и находить рациональные способы достижения цели. Следовательно, система человек — машина является интеллектуальной, поэтому определение времени запаздывания при реализации форм мышления в скрытом периоде прохождения информации через мозг человека является не только возможным, но и необходимым.

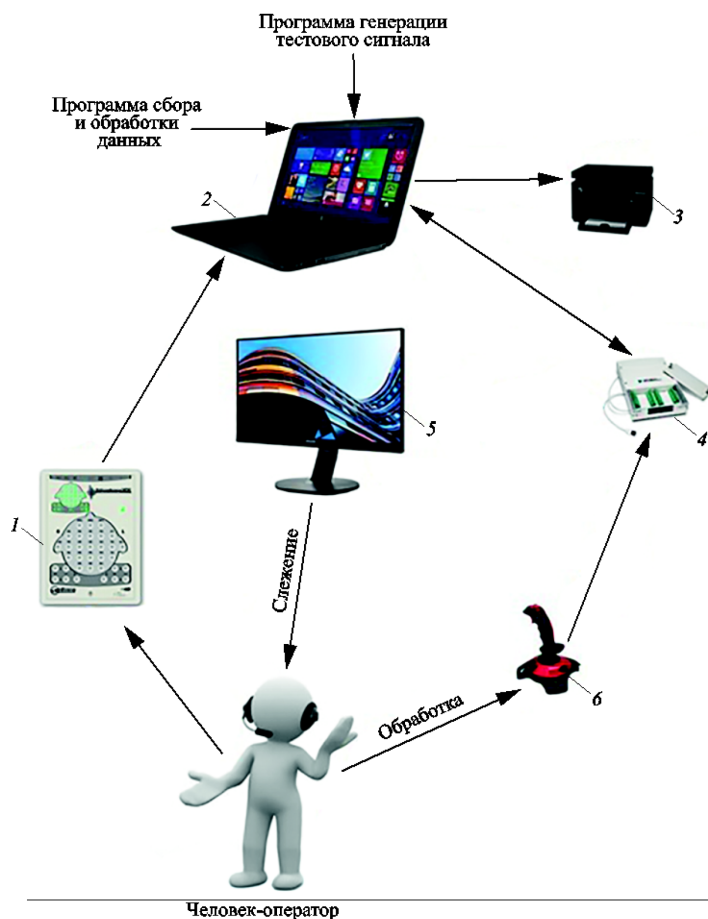
**Экспериментальная база исследований.** Для того чтобы достичь обозначенной цели, необходимо иметь экспериментальную базу с соответствующими средствами получения и обработки информации. На данном этапе именно этой задаче посвящена наша работа, поскольку определение чистого запаздывания  $\tau$  дает возможность судить об устойчивости системы управления, а определение времени, затрачиваемого на реализацию форм мышления, позволит судить о

качестве принимаемых человеком-оператором решений в процессе управления тем или иным объектом.

Суть исследования состоит в том, что на экране монитора визуально высвечивается реализация «белого» гауссова случайного процесса в определенной полосе частот, которая отслеживается человеком-оператором с помощью рукоятки, движение которой отражается на экране монитора, одновременно регистрируются биотоки мозга человека-оператора с помощью электроэнцефалографа (16 отведений). Все сведения, полученные в результате эксперимента, регистрируются в цифровой форме на интервале  $[0, T]$ .

Совместная обработка полученных данных осуществляется на основе теории функциональных рядов [5]. Вычисление ядер первого порядка ряда из ортогональных  $G$ -функционалов Винера дает возможность по смещению по времени моды ядра относительно начала координат определить значение затрат времени на реализацию форм мышления и общего времени запаздывания  $\tau$  [9].

Функциональная схема динамического стенда приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Функциональная схема динамического стенда

В составе этой функциональной схемы используются следующие устройства:

- 1) электроэнцефалограф Нейрон-Спектр-1;
- 2) компьютер;
- 3) лазерный цветной принтер PRO MFP M176;
- 4) система сбора данных — National Instruments NI USB-6221;
- 5) система отображения информации (СОИ) — телевизионный приемник;
- 6) рукоятка слежения.

В качестве теоретической базы для получения желаемого результата используется ряд из ортогональных  $G$ -функционалов Винера [10] вида

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} G_n [h_n, x(t)], \quad (2)$$

где  $y(t)$  — процесс на выходе идентифицируемого человека-оператора;  $G_n$  — функционалы Винера, такие что  $\overline{G_n \times G_m} = 0$  при  $m \neq n$  (черта здесь и далее означает среднее по времени);  $h_n$  — ядра  $G$ -функционалов;  $x(t)$  — входной сигнал (тест), представляющий собой белый гауссов процесс с корреляционной функцией  $R_x(\tau) = c^2 \delta(\tau)$ ,  $c^2$  — уровень случайного процесса,  $\delta(\tau)$  — дельта-функция, и спектральной плотностью  $S_x(\omega) = \frac{c^2}{2\pi}$ .

Ядра функционалов можно определить, используя формулу вида

$$h_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) = \frac{1}{c^{2n} n!} \left\{ \overline{y(t) - \sum_{m=0}^{n-1} G_m [h_m, x(t)]} \right\} x(t - \tau_1) \dots x(t - \tau_n). \quad (3)$$

Для нахождения искомым времен запаздывания достаточно использовать только ядро первого порядка  $h_1$ :

$$h_1(\tau) = \frac{1}{c^2} \overline{y(t)x(t - \tau)}. \quad (4)$$

Именно для определения этого ядра необходимо экспериментально задать в виде реализации СОИ тестовый сигнал в определенной полосе частот и реакции человека-оператора в виде реализации процесса отслеживания тестового сигнала и реализации электроэнцефалограмм от 16 ответвлений шапочки на голове человека-оператора. Величину  $c^2$  (см. (4)) можно определить исходя из того,

что дисперсия случайного сигнала, синтезируемая программой случайных чисел, равна единице:

$$\sigma_x^2 = \frac{c^2}{2\pi} 2\omega_0 = 1.$$

Здесь  $\omega_0$  — выбранное граничное значение полосы частот теста.

По теореме Котельникова

$$\omega_0 = \frac{\pi}{\Delta t}.$$

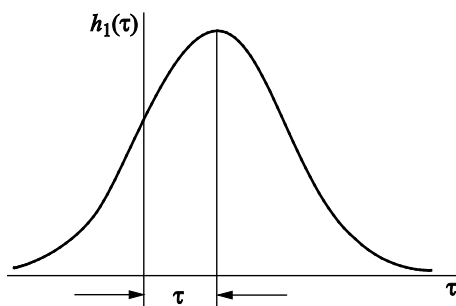
Тогда

$$\frac{c^2}{\pi} \cdot \frac{\pi}{\Delta t} = 1; \quad c^2 = \Delta t.$$

Например, выбранная частота  $\omega_0 = 10$  рад/с,  $c^2 = \Delta t = \frac{\pi}{10 \text{ рад/с}} \approx \frac{3}{10}$  с.

Заметим, что все реализации случайного процесса наблюдаются на интервале времени  $[0, T]$ . Значение  $T$  обычно равно 10–12 значениям времени затухания ядра первого порядка.

Искомые значения временных запаздываний определяются по сдвигу моды ядра  $h_1$  относительно начала координат. Например, ядро первого порядка  $h_1$  имеет вид, изображенный на рис. 2.



**Рис. 2.** Ядро первого порядка  $\tau$  — искомое время запаздывания

**Заключение.** Исходя из изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Поставлена проблема оценки качества принимаемого решения и выработки управления человеком-оператором в составе системы человек — машина на основе исследования скрытого (латентного) перио-

да времени прохождения информации через мозг человека при зрительном ее восприятии.

2. Разработан динамический стенд для оценки затрат времени на формы мышления человека-оператора.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 18-08-00303.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шеридан Т.Б., Феррелл У.Р. *Системы человек — машина*. Москва, Машиностроение, 1980, 399 с.
- [2] Оболенский Ю.Г. *Управление полетом реактивных самолетов*. Москва, Воениздат, 2000, 320 с.
- [3] Пономаренко А.В., Василец В.М., Михайлов В.В. и др. *Интеллектуальные интерактивные учебно-тренировочные комплексы*. Москва, Воениздат, 2006, 255 с.
- [4] Федоров С.М., Драбкин В.В., Михайлов О.И. и др. *Автоматизированное управление самолетами и вертолетами*. Москва, Транспорт, 1977, 246 с.
- [5] Pupkoff K. The Optimization of Connection between Human Being and Techniques in Man-Machine Systems. *Preprint of the IFAC-IFORS Symposium (Warna, Bulgaria, 8–10 oct.)*, 1974, pp. 419–426.
- [6] Ustyuzhanin A.D., Sheridan T., Pupkov K.A., Mc. Ruer P., Krendel E. Limited Parameters of Dynamic Characteristics of a Human-Operator When Operating Objects of Different Types. *Proc. of European Conference for Sciences*. Moscow, Russia, July 4, 2005.
- [7] Устюжанин А.Д., Пупков К.А. *Динамическая идентификация и оценивание состояния человека-оператора в системах человек — машина*. Москва, РУДН, 2011, 180 с.
- [8] Пупков К.А. Экспериментальное оценивание интегральных показателей психофизиологического состояния операторов человекомашинных систем управления. *Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования*, 2015, № 4, с. 7–17.
- [9] Окс С. *Основы нейрофизиологии*. Москва, Мир, 1969, 448 с.
- [10] Пупков К.А., ред. *Основы кибернетики. Теория кибернетических систем*. Москва, Высш. шк., 1976, 408 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Пупков К.А., Левадко А.Д., Лукьянова Н.В., Новикова В.А., Нэй Зин Хтун, Полякова А.А., Садовников А.Е., Трифонов О.П., Устюжанин А.Д. Динамический стенд для оценки затрат времени на формы мышления человека-оператора.

*Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 9.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-9-1915>

**Пупков Константин Александрович** — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана; академик РАЕН. Область научных интересов: «Теория управления», «Моделирование интеллектуальных систем».  
e-mail: pupkov@iul.bmstu.ru

**Левадко Александра Дмитриевна** — студентка, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Лукьянова Наталья Викторовна** — доцент, канд. техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: модальное управление.

**Новикова Виктория Анатольевна** — студентка, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Нэй Зин Хтун** — аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Полякова Анастасия Алексеевна** — студентка, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Садовников Александр Евгеньевич** — студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Трифонов Олег Павлович** — студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Устюжанин Александр Дмитриевич** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: теория и техника управления.

## Dynamic stand for assessing the time spent on human operator thinking forms

© K.A. Pupkov, A.D. Levadko, N.V. Lukyanova, V.A. Novikova,  
Ney Zin Htun, A.A. Polyakova, A.E. Sadovnikov, O.P. Trifonov,  
A.D. Ustyuzhanin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The paper considers design features and functionality of the dynamic stand for assessing the time spent on human operator thinking forms during the hidden (latent) period as information passes through the brain according to experimental data working in Man-Machine Systems. This research is of interest as such a system is intellectual, so it is necessary to determine the pure delay time spent to implement thinking forms for assessing the quality of decisions made by a human operator in the control process. The study shows that a number of Wiener orthogonal G-functionals provides the most complete and rigorous human operator dynamics description and mathematical capabilities for calculating the necessary delay time.*

**Keywords:** intellectual system, human operator, Man-Machine Systems, latent period, form of cognition, quality of control

### REFERENCES

- [1] Sheridan T.B., Ferrell W.R. *Man-Machine Systems: Information, Control, and Decision Models of Human Performance*. MIT Press, 1981, 472 p. [In Russ.: Sheridan T.B., Ferrell W.R. *Sistemy «chelovek-mashina»*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 399 p.].
- [2] Obolensky Yu.G. *Upravlenie poletom reaktivnykh samoletov* [Jet flight control]. Moscow, Voenizdat Publ., 2000, 320 p.
- [3] Ponomarenko A.V., Vasilets V.M., Mikhaylov V.V., et al. *Intellektualnye interaktivnye uchebno-trenirovochnye komplekсы* [Intelligent interactive training complexes]. Moscow, Voenizdat Publ., 2006, 255 p.
- [4] Fedorova S.M., et al. *Avtomatizirovannoe upravlenie samoletami i vertoletami* [Automated control of airplanes and helicopters]. Moscow, Transport Publ., 1977, 246 p.
- [5] Pupkoff K. The Optimization of connection between Human being and techniques in Man-Machine Systems. *Preprint of the IFAC-IFORS Symposium* (Warna, Bulgaria, 8–10 Oct.), 1974, pp. 419–426.
- [6] Ustyuzhanin A.D., Sheridan T., Pupkov K.A., Mc. Ruer P., Krendel E. Limited parameters of dynamic characteristics of a Human-operator when operating objects of different types. *Proc. of European Conference for Sciences*. Moscow, Russia, July 4, 2005.
- [7] Ustyuzhanin A.D., Pupkov K.A. *Dinamicheskaya identifikatsiya i otsenivaniye sostoyaniya cheloveka-operatora v sistemakh chelovek — mashina* [Dynamic identification and assessment of the state of the human operator in human-machine systems]. Moscow, RUDN Publ., 2011, 180 p.
- [8] Pupkov K.A. *Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya — RUDN Journal of Engineering Researches*, 2015, no. 4 pp. 7–17.
- [9] Ochs S. *Elements of neurophysiology*. J. Wiley, 1965, 621 p. [In Russ.: S. Ochs. *Osnovy neyrofiziologii*. Moscow, Mir Publ., 1969, 448 p.].



- [10] Pupkov K.A., ed. *Osnovy kibernetiki. Teoriya kiberneticheskikh system* [The basics of cybernetics. Theory of Cybernetic Systems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976, 408 p.

**Pupkov K.A.**, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Thermal Physics, Bauman Moscow State Technical University, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (RANS). Research interests: control theory, modeling of intelligent systems.  
e-mail: pupkov@iul.bmstu.ru

**Levadko A.D.**, student, Bauman Moscow State Technical University.

**Lukyanova N.V.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: modal control.

**Novikova V.A.**, student, Bauman Moscow State Technical University.

**Ney Zin Htun**, post-graduate, Bauman Moscow State Technical University.

**Polyakova A.A.**, student, Bauman Moscow State Technical University.

**Sadovnikov A.E.**, student, Bauman Moscow State Technical University.

**Trifonov O.P.**, student, Bauman Moscow State Technical University.

**Ustyuzhanin A.D.**, Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Fellow, student, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: theory and control technology.