

УДК 007.51

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ

Д.Н. Чаусов<sup>1</sup>, И.В. Петухов<sup>2</sup>, В.В. Беляев<sup>1</sup>, К.А. Богачев<sup>3</sup>, П.А. Курасов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный областной университет,  
105005, Москва, ул. Радио, 10а.

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3.

<sup>3</sup>Московский институт электроники и математики,  
109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., д.3.

*Аннотация.* В работе реализован аппаратно-программный комплекс для оценки работоспособности и эффективности операторской деятельности при монотонном зрительно-моторном слежении за движущимся объектом. Получены новые данные о механизмах утомления человека-оператора в процессе слежения с использованием электронных дисплеев. Приведен обобщенный график работоспособности оператора в зависимости от времени работы.

*Ключевые слова:* аппаратно-программный комплекс, электронный дисплей, зрительно-моторное слежение, утомление.

### Введение

Исследование состояние организма оператора рабочего места ЭВМ является актуальной задачей для оценки трудоемкости выполняемых работ, утомления работников офисов, школьников и студентов. Особый интерес вызывают такие исследования, выполняемые с помощью самой ЭВМ и ее периферийных средств. Целью настоящей работы является разработка аппаратно-программного испытательного комплекса оценки зрительной работоспособности при работе со средствами отображения информации в составе компьютерных и телевизионных систем.

Поскольку при информационном взаимодействии происходит непрерывное изменение состояния организма, методика определения состояния должна быть объективной и гибкой. Стандартными подходами к решению данной проблемы являются контроль некоторых физиологических параметров, таких как давление, кожно-гальваническая реакция, тремор и т.д.

Зарубежные и отечественные научные публикации [1-2] результатов физиологических, медицинских и эргономических исследований, посвященных проблеме «человек-компьютер», а также многолетний собственный опыт изучения влияния видеотерминальных средств отображения информации на состояние здоровья пользователей, убеждает в том, что особую важность при обеспечении эффективной операторской деятельности, представляет исследование зрительной работоспособности оператора, а также функционального состояния его центральной нервной системы, обеспечивающей работоспособность всего организма.

Современные подходы к гигиеническому регламентированию той или иной деятельности требуют не только констатации сдвигов функционального состояния организма (ФСО) под влиянием данной деятельности, но и учета этих изменений в динамике. Поэтому гигиеническое изучение различной по характеру деятельности

будет более информативно, если наблюдения за изменением ФСО проводится не только до и после, но и непосредственно в процессе этой деятельности.

Таким образом, встает задача исследования работоспособности и эффективности деятельности оператора, учитывающего эффективность решения операторских задач, динамику функционального состояния отдельных подсистем организма человека.

#### Методика исследования и анализ результатов

Для разработки критериев и моделей оценки эффективности оператора эргатических систем управления (ЭСУ) представим в первую очередь классификацию операторов в зависимости от объекта управления, как показано на рис.1.



Рис. 1. Классификация операторов в зависимости от объекта управления.

Аналогичным образом может быть предложена классификация методов оценки эффективности операторов ЭСУ, позволяющая определить уровень требуемых функциональных возможностей программно-аппаратного комплекса оценки.

С точки зрения классификации методов исследования эффективности по инструментарию, очевидно, что большими функциональными возможностями обладают аппаратные и компьютерные методы.

В соответствии с поставленной задачей исследования работоспособности и эффективности деятельности оператора, а также формированию рекомендаций по ее улучшению целесообразно выбрать использование интегральных критериев, основанных на лабораторном эксперименте, что позволяет исследовать операторскую деятельность в различных условиях, в том числе и при риске возникновения критической ситуации, что обеспечивает большую информативность и достоверность оценки.

В качестве операторской задачи была выбрана задача зрительно-моторного слежения за движущимся на экране дисплея объектом, как наиболее типичная для диспетчеров железнодорожного транспорта, авиадиспетчеров, операторов РЛС. При этом зрительное слежение за движущимся объектом характеризуется, как зрительно напряженный труд, а использование видеотерминальных средств отображения информации выступает негативным фактором влияния на зрительную систему пользователя.

Тестирование зрительно-моторного слежения предложено осуществлять методом определения времени реакции на движущийся объект (РДО), который позволяет оценить точность восприятия времени и пространства, оценить способность к решению операторских задач [3]. Обобщенная схема реализации способа РДО представлена на рис.2.

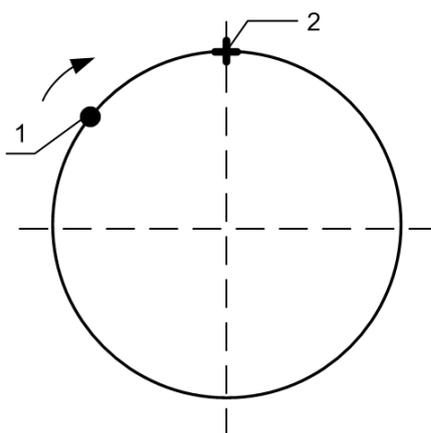


Рис. 2. Схема тестирования способом РДО

Испытуемому предъявляют на экране видеомонитора окружность, на которой помещена метка 2 и точечный объект 1, движущийся по окружности [4]. Точечный объект, передвигаясь по окружности, за заданное время исчезает с экрана видеомонитора. Испытуемый, наблюдая за движением точечного объекта до момента его исчезновения, в момент предполагаемого совпадения положения движущегося точечного объекта с меткой нажатием кнопки «Стоп» останавливает движение точечного объекта по окружности, который после нажатия кнопки «Стоп» снова появляется на экране монитора, в том месте, где было остановлено его движение.

Затем вычисляют ошибку не совпадения точечного объекта и метки – время ошибки запаздывания или упреждения, и через заданное время возобновляют движение точечного объекта по окружности.

При этом действия испытуемого соответствуют типичной схеме последовательности операторских действий, представленных на рис.3.

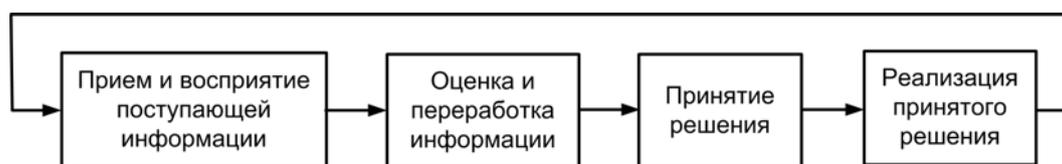


Рис.3. Схема последовательности операторских действий

Испытуемый воспринимает динамичный зрительный образ на экране, оценивает скорость движения объекта по траектории, прогнозирует момент совмещения движущегося объекта и метки, принимает решение о моменте нажатия кнопки «Стоп», формирует и реализует моторную программу по нажатию кнопки «Стоп».

При выполнении измерений времени РДО для обеспечения повторяемости результатов экспериментов скорость движения объекта по окружности принималась постоянной и равной 2 рад/сек, диаметр окружности – 200 мм. В качестве основного фона был принят фон серого цвета, цвет окружности, по которой движется объект, был выбран белым, цвет движущегося объекта – желтым, цвет метки – зеленым.

В качестве испытуемых были выбраны практически здоровые люди 17-23 лет с нормальным или скорректированным зрением. Перед измерениями все испытуемые проходили предварительное обучение.

Для технической реализации оценки времени РДО был разработан аппаратно-программный комплекс, структура которого представлена на рис.4.

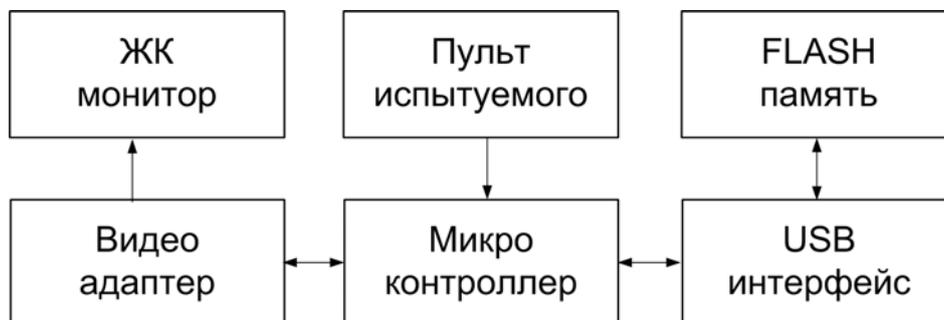


Рис.4. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Целесообразность разработки аппаратно-программного комплекса была обусловлена необходимостью изменения параметров тестовых объектов в широких пределах и автоматизацией обработки данных.

В основе прибора лежит микроконтроллер, обладающий разрядностью не менее 8 бит, быстродействием не менее 10 МГц, имеющий не менее 1024 байт программной памяти и 68 байт памяти данных, порты ввода/вывода.

Тестовое изображение в виде движущегося по окружности точечного объекта и метки предъявляется испытуемому с помощью внешнего ЖК монитора или ЖК-панели, подключаемого через стандартный видео-выход.

Для останова движущегося объекта испытуемый нажимает кнопку пульта испытуемого «Стоп». Сигнал с пульта испытуемого поступает на микроконтроллер, где производится вычисление значения времени ошибки упреждения или запаздывания. Результаты значений ошибок упреждения и запаздывания записываются с использованием USB интерфейса на внешнюю флэш-память.

В эксперименте были использованы дисплеи: Dell, BenQ T705 (60 Гц), Hp mini 110-4100, Hp mini 110-4100, LG 566LM, Acer Aspire V5-171, BenQ FP557, BenQ FP557, Hp mini 110-4100, BenQ FP557.

Эксперимент проводился в течении 150 минут с шагом в 0,5 часа при следующих внешних условиях:

1. Освещенность рабочих мест в пределах действующих норм (300-500 лк).
2. Температура в помещении: 23°C.
3. Атмосферное давление: 743 Торр.
4. Возраст операторов: 20±2 года.

В качестве оценки эффективности операторской деятельности при зрительно-моторном слежении использовали значение времени РДО, для чего каждый из испытуемых выполнил серию тестов. Значение времени РДО вычислялось по формуле:

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

где  $t_i$  –  $i$ -я ошибка запаздывания с положительным знаком или упреждения с отрицательным знаком, мс;  $n$  – число остановок точечного объекта в области положения метки.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что работоспособность оператора и эффективность его деятельности имеет явную зависимость от его утомления, которое, в свою очередь, выражается в изменении ФСО.

Типичный график динамики значения времени РДО одного из испытуемых представлен на рис.5.

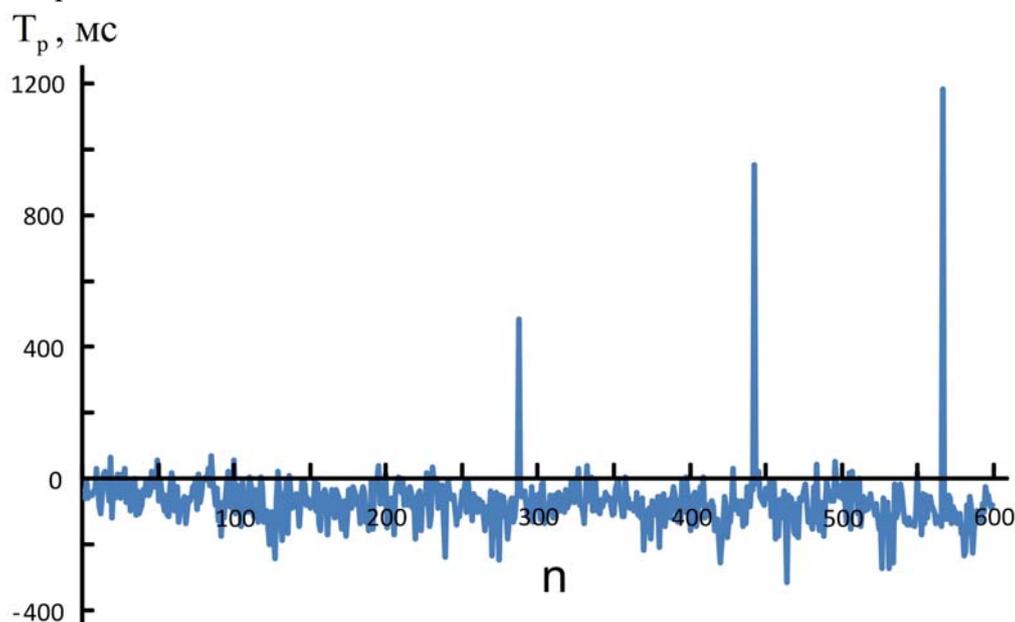


Рис.5. График динамики значения времени РДО одного из испытуемых

На основе анализ графика динамики времени РДО можно сделать ряд выводов.

Так, установлено, что с течением времени, в процессе монотонной деятельности, эффективность решения операторской задачи уменьшается. Это подтверждается увеличением среднего квадратического отклонения значения времени РДО, являющейся оценкой стабильности решения операторской задачи, и отклонением линии тренда значения времени РДО от нулевой отметки, являющейся оценкой точности решения операторской задачи.

Кроме того, по мере наступления утомления увеличивается вероятность грубых ошибок оператора, что выражается в единичных выбросах 289-го, 446-го и 562-го измерений.

В результате исследования и статистической обработки данных эксперимента был получен обобщенный график работоспособности оператора в зависимости от времени работы рис.6.

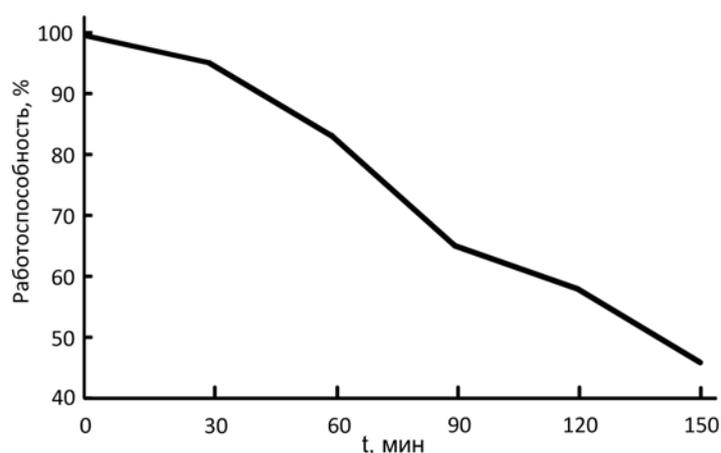


Рис.6. Зависимость состояния работоспособности оператора от времени работы

Таким образом, очевидно, что для обеспечения эффективности операторского труда необходимо тщательно учитывать основные воздействующие факторы, влияющие на работоспособность оператора, обеспечить контроль не только продолжительности операторской работы, но также и контроля функционального состояния организма оператора за время работы.

#### **Выводы**

На основании экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- исследование утомления человека в процессе решения операторских задач, основанных на зрительно-моторном слежении, позволяет выявить индивидуумов в наибольшей степени устойчивых к утомлению при выполнении данного типа работы, что является одним из критериев профессиональной пригодности;

- учет индивидуальных особенностей утомления при зрительно-моторном слежении позволяет своевременно внести коррективы объема и (или) интенсивности нагрузки, правильно организовать время и длительность рабочих перерывов и снизить уровень утомления. Это, в свою очередь, повлечет уменьшение количества ошибок оператора и приведет к повышению эффективности его профессиональной деятельности.

Результаты данной работы могут быть практически без ограничений использованы в приложении к системам телевидения, технического зрения, а также любым радиотехническим системам, использующим устройства визуального отображения информации, с целью оптимизации процессов отображения и восприятия информации, и повышения качества и надежности работы комплексов в целом.

*Работа была выполнена при поддержке по гранту РФФИ № 13-07-00339\_a.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Estimating the Perceptual Limits of Mobile Displays, Fahad Zafar, Mina Choi, Aldo Badano. Center for Devices and Radiological Health, FDA, Silver Spring, MD. Department of Bioengineering, The George Washington University, Washington, DC. Department of Computer Science and Engineering, University of Maryland, Baltimore County, Baltimore, MD, 2008.

2. *S.B. Lee*. Emotional image quality evaluation technology for display devices. The Korean Institute of Illuminating & Electrical Installation Engineers, Vol. 21, No. 5 pp.13-20 (Korean) (2007).
3. *Петухов, И.В.* Исследование деятельности человека-оператора в режиме слежения / И.В. Петухов // Системы управления и информационные технологии. 2011. № 2. (44). С. 39–44.
4. Эргатические системы: техногенная безопасность / И. В. Петухов, Л. А. Стешина // Воронеж: Научная книга, 2012. – 280 с.

### **HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR EVALUATION OF OPERATOR'S ACTIVITY**

**D. Chausov<sup>1</sup>, I. Petukhov<sup>2</sup>, V. Belyaev<sup>1</sup>, K. Bogachyov<sup>3</sup>, P. Kurasov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow Region State University*

*10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

<sup>2</sup>*Volga State University of Technology*

*Ploshchad' Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Respublika Mariy El 424000, Russia*

<sup>3</sup>*Moscow Institute of electronics and Mathematics*

*3, Bolshoy Trekhsvyatitelskiy per., Moscow, 109028, Russia*

*Abstract.* In this paper, implemented in hardware-software system to evaluate the health and efficiency of the monotonic operator activity of visual-motor tracking a moving object. New data on the mechanisms of fatigue in the human operator tracking process using electronic displays. Health is a generalized graph operator depending on the time of work.  
*Keywords:* hardware-software complex, electronic displays, visual-motor tracking.