

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/79TVN317.pdf>

Статья опубликована 04.07.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Горячкин Б.С. Эргономический анализ систем обработки информации и управления // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/79TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 05.13

Горячкин Борис Сергеевич¹

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, Москва
Доцент кафедры «Системы обработки информации и управления»
Кандидат технических наук
E-mail: bsgor@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=683449

Эргономический анализ систем обработки информации и управления

Аннотация. Статья посвящена вопросам эффективности работы человека-оператора в контуре управления «систем человек-машина» и, в частности, автоматизированных систем обработки информации и управления. Актуальность данной статьи обусловлена тем, что по сравнению, скажем, с подобными системами прошлого века, изменилось слабое место систем, их критичный компонент, что кардинально изменяет представление о первопричинах возможной неэффективности систем. Акцент «проблемности» систем «человек-машина» сместился в сторону оператора и человеческий фактор при проектировании автоматизированных систем требует совершенно иного отношения и иных подходов.

В статье описывается эргономический анализ автоматизированных систем обработки информации и управления, основанный на системно-деятельностном подходе к проектированию эргатических систем. Он базируется на оценке эргономических параметров, сопряженных с инженерно-психологическими характеристиками зрительной системы человека, четко структурирован и затрагивает все компоненты систем человек-машина.

Автор утверждает, что человеческий фактор, равно как и технический компонент систем, требует полномасштабного проектирования с использованием системного подхода. Причем в качестве последнего рекомендован системно-деятельностный подход, целью которого является первичное проектирование деятельности человека-оператора и разработка идущих от человека требований к его внешним средствам. Первичность проектирования человеческого фактора как таковую, безусловно, нельзя считать прорывной идеей, однако тщательный анализ «возможностей и потребностей» всех компонентов автоматизированных систем, основываясь на функциональном подходе, дает возможность провести эргономическую оптимизацию и повысить эффективность систем подобного класса.

¹ 127254, г. Москва, ул. Гончарова, д. 19, кв. 14

Ключевые слова: эргономическое обеспечение; система человек-машина; человек-оператор; информационная модель; контур управления; зрительная система; зрительный анализатор

Введение

В настоящее время проблемам систем «человек-машина» (СЧМ), а, именно, к этому классу систем относятся автоматизированные системы обработки информации и управления (АСОИУ), эффективности работы этих систем, распределению функций между компонентами системы придается очень большое значение. Это внимание определено тем, что по сравнению, скажем, с подобными системами прошлого века, изменилось слабое место систем, их критичный компонент, что кардинально изменяет представление о первопричинах возможной неэффективности систем, порой слабого «КПД». Если еще 20-30 лет назад технические средства зачастую не справлялись с поставленными задачами, требующими больших и очень больших объемов памяти, ограниченного времени и пространства, и поэтому приходилось «хитрить», подстраиваться, выискивать резервы и ресурсы, то сейчас в этом вопросе сделан огромный шаг вперед. Сегодняшние машины разрабатываются на основе больших интегральных схем повышенной степени интеграции, использования оптоэлектронных принципов (лазеры, голография). Развитие идет также по пути «интеллектуализации» компьютеров, устранения барьера между человеком и компьютером. Компьютеры способны воспринимать информацию с рукописного или печатного текста, с бланков, с человеческого голоса, узнавать пользователя по голосу, осуществлять перевод с одного языка на другой. В компьютерах произошёл качественный переход от обработки данных к обработке знаний. Все это, в том числе, позволяет по-иному посмотреть и на распределение функционала СЧМ.

Справедливости ради надо сказать, что часто критичной оказывается и рабочая операционная среда, которая должна отвечать целому ряду параметров, таких как освещенность, шум, электромагнитное излучение и много других параметров. Однако стратегически акцент «проблемности» сместился в сторону человека-оператора (ЧО) и человеческий фактор при проектировании эргатических систем [1] требует совершенно иного отношения и иных подходов.

Создание максимально комфортных условий высокоэффективной и безошибочной деятельности человека в контуре управления (КУ) автоматизированной системы обработки информации и управления представляет собой совокупность методов и средств, используемых на разных этапах разработки и функционирования системы. Эта совокупность есть не что иное как взаимосвязанные требования и проектные решения, направленные на согласование психологических, психофизических, антропометрических, физиологических характеристик и возможностей человека в структуре АСОИУ и ее комплекса технических средств. Нахождению этих решений и посвящена настоящая статья.

Некоторые аспекты системного подхода к проектированию эргатических систем

Решение проблемных вопросов при создании автоматизированных систем обработки информации и управления, максимально отвечающих всем требованиям, возможно в той или иной степени при использовании системного подхода к проектированию [7]. В рамках системного подхода возможно несколько вариаций, включая такие известные как системотехнический и человеко-системный. Но вопрос об учете человеческого фактора в этих подходах, пусть и первичного учета, не приносят желаемого результата при функционировании систем. Этого оказывается мало. Человеческий фактор, равно как и

другой компонент СЧМ, требует полномасштабного проектирования. Такой подход получил название системно-деятельностный подход [2]. Целью данного подхода является первичное проектирование деятельности человека-оператора и разработка идущих от человека требований к его внешним средствам.

Этот подход по существу сформировал новую ветвь эргономики, которую назвали функциономикой, или функциональной эргономикой. Основной задачей функциономики является анализ и исследование алгоритмов, динамики и надежности функционирования человеческого звена в системе, а также оптимизация взаимодействия между ЧО и ее компонентами. Но прежде чем разрабатывать алгоритмы деятельности оператора в контуре управления, необходимо провести тщательный анализ «возможностей и потребностей» всех компонентов АСОИУ.

Оценка эргономичности - это комплексная процедура, которая должна, безусловно, затрагивать все три коммуниканты СЧМ, а, следовательно, и АСОИУ. Принимая во внимание, что в структуре системы присутствует видеотерминальное устройство, в вопросах приема критичной будет зрительная информация - методы ее формирования, способы представления и условия ее восприятия. Не будем забывать при этом, что 90% операторского информационного потока идет через зрительный канал.

Объем информации, который вынужден пропускать через себя человек, работающий с автоматизированной системой или внутри ее, огромен. И неважно какой функционал он выполняет; является пользователем или создателем системы. Требуется регулировка процесса приема информации и, как правило, выработка способов переработки, представления и передачи информации.

Представленная информация должна быть удобна человеку, ее параметры должны позволять ЧО принять ее, идентифицировать и если нужно предпринять те или иные ответные действия.

Для работы в контуре управления АСОИУ работа человека-оператора требует концентрации внимания, умелых управленческих действий, возможно предварительной подготовки и обучения. Но даже выполнение всех вышеперечисленных факторов может быть недостаточно для эффективного выполнения поставленной задачи. Таким образом, эргономическому анализу подлежат и:

- активный оператор, который должен соответствовать поставленным целям АСОИУ. Здесь уместно говорить о базовых знаниях, специализированной подготовке, об адаптированном обучении (например, на тренажерах), о соответствующем психо-физиологическом состоянии, целом ряде инженерно-психологических характеристик. Безусловно, критичными параметрами являются граничные возможности зрительной системы человека, характеристики зрительного анализатора (ЗА) ЧО;
- техническое средство, представляющее собой, кроме мощного вычислительного комплекса, в качестве конечного элемента систему обработки и отображения информации, которое должно позволять в отведенное время (возможно и реальное) формировать и представлять информационную модель. В вопросах формирования ключевыми являются задачи времени и степени детализации и точности получаемого изображения. В вопросах представления на первый план выходят характеристики средства отображения;
- среда обитания или рабочая операционная среда, которая должна отвечать целому ряду параметров, многие из которых стандартизуемы. Однако есть

характеристики, которые могут подвергаться только экспертной оценке или адаптированной экспертной оценке, которая по своей сути субъективна.

Эргономический анализ системы, основанный на системно-деятельностном подходе к проектированию, заставляет более детально рассмотреть инженерно-психологические возможности ЧО, оценить первоначальную подготовку оператора, его адаптацию к системе и к условиям работы. Представленные информационные модели (ИМ), их параметры, характеристики зрительной системы человека и зрительного анализатора, должны «вписываться», быть максимально согласованы с параметрами технических средств и рабочей среды КУ. Эти аспекты могут и должны лечь в основу оценочных методов и решений.

Анализ характеристик эргономического обеспечения системы обработки информации и управления

Информационные модели, как выходные экранные формы АСОИУ должны постоянно адаптироваться к уровню знаний и действиям пользователя [3]. То есть мы вправе формировать «умные» «подстраивающиеся» модели и это, безусловно, повысит эффективность эргономического обеспечения системы, но сначала, как отмечалось ранее, необходим анализ «базового» уровня восприятия, сопряженного с характеристиками ЗА человека.

При оценке энергетических характеристик следует учесть не только технические параметры выбранных средств отображения (например, световой поток генерируемого средством отображения излучения), но и специфические условия функционирования, в частности, внешнюю освещенность и, следовательно, внешний световой поток, а также операционную обстановку в контуре управления.

Анализ показывает, что для расчетов значение предельно малых ощущаемых потоков можно принять равным $16.7 \cdot 10^{-13}$ лм, а при разработке систем, требующих повышенной чувствительности глаза к свету - $9 \cdot 10^{-15}$ лм [6].

С учетом внешней засветки яркость изображения определится следующим образом:

$$L = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{2\pi(1 - \cos(\sigma)) \cdot S \cdot \cos(\alpha)} + \frac{I_{\text{вн}} \cos(\varepsilon) \cdot \rho}{\pi \cdot r^2}, \quad (1)$$

где: $\Phi_{\text{изл}}$ - световой поток, генерируемый выбранным средством отображения; σ - плоский угол, соответствующий телесному углу обзора ИМ; S - площадь светящейся поверхности экрана; α - угол наблюдения; $I_{\text{вн}}$ - сила света внешнего источника; ε - угол между линией визирования и падающими лучами внешнего источника света; ρ - коэффициент отражения поверхности экрана монитора; r - расстояние от внешнего источника до центра экрана.

При оценке яркостных характеристик решается вопрос о работе в диапазоне чувствительности зрительного анализатора (данный диапазон лежит в пределах от 10^{-6} до 10^6 кд/м²). В случае восприятия в сложных условиях функционирования, а также при насыщенной и сложноструктурированной отображаемой информации, следует сузить диапазон до уровня яркости адаптации (от 10 до 10^3 кд/м²) [8].

Оценка яркости фона (собственный яркостный фон) характеризует часть поверхности экрана, которая окружает элементы информационной модели, а также элементы, не входящие в данный момент в состав отображаемых данных. С учетом используемого диапазона яркости изображения и предпочтительных уровней яркостного контраста, диапазон допустимых значений яркости фона составит для прямого контраста

$$L_{\text{фона}}^{\text{прям}} \rightarrow \text{от } 25 \text{ кд/м}^2 \text{ до } 2 \cdot 10^4 \text{ кд/м}^2, \quad (2)$$

а для обратного контраста

$$L_{\text{фона}}^{\text{обр}} \rightarrow \text{от } 0.5 \text{ кд/м}^2 \text{ до } 400 \text{ кд/м}^2. \quad (3)$$

Наряду с яркостью фона критичным показателем для определения эффективных условий работы ЧО с монитором видеотерминального устройства, характеризующихся, в первую очередь, скоростью и точностью восприятия информации, является яркостный контраст [4].

Яркость фона и яркостный контраст - характеристики взаимозависимые. Предметы с различной яркостью либо часть поверхности светящегося экрана, не несущая смысловой нагрузки, но входящая в информационную модель и требующая соответствующей оценки, будут восприниматься эффективно при значительной разности величин яркости объекта и фона. Наиболее оптимальной считается величина контраста равная в пределах:

$$0.85 \leq K \leq 0.9. \quad (4)$$

При повышении яркости или увеличении контраста острота зрения увеличивается, а при их понижении - уменьшается. Исключение составляет обратный контраст (светлые знаки на темном фоне), для которого повышение уровня контраста выше 0.85 - 0.95 приводит к снижению разрешающей способности и зрительному дискомфорту.

На втором этапе оцениваются пространственные характеристики зрительного восприятия ИМ и расположение видеотерминальных устройств в операционном пространстве.

Для индивидуальных средств отображения, принимая во внимание, что размеры поля зрения влияют на качество выполнения операций, например, поиск цели, а также с учетом работы в реальном времени, целесообразно угловые параметры средства отображения как по вертикали, так и по горизонтали установить в рамках поля ясного зрения.

$$\gamma^{\text{вер}} = \gamma_{\text{яз}}; \gamma^{\text{гор}} = \gamma_{\text{яз}}; \quad (5)$$

Такой выбор оправдан, исходя из того, что в зону периферического зрения могут попадать другие предметы и объекты (информационные средства и системы, другие операторы и пр.), а в зоне центрального зрения как правило располагается объект управления.

Эффективное расстояние наблюдения при работе составляет от 40 см до 80 см. При этом наиболее рациональной точкой размещения ИМ считается $l = 65 \text{ см}$ от ЧО.

Третьим блоком оценки будет анализ времени работы со сформированной информационной моделью. Здесь нас интересует, именно, время работы с ИМ, то есть восприятие на уровне ощущения (попадания светового импульса в глаз), идентификация объектов и картин, выполнение ответных осознанных действий. При этом надо иметь ввиду все временные характеристики зрительной системы, которые в основном оценивают первый из представленных этапов временной работы.

Время экспозиции $t_{\text{эк}}$ конкретной экранной формы будет зависеть от структуры, сложности, содержательности и технических характеристик изображения таких как четкость, контраст, яркость.

Определяющим параметром будет информативность ИМ. Каждый элемент модели имеет свой объем, который составляет один или два байта. Для восприятия насыщенных моделей (а они таковыми и бывают, даже порой излишне) количество информации, которое необходимо воспринять и переработать оператору в единицу времени, будет весьма большим, а пропускная способность зрительного анализатора при режиме ответного действия крайне ограничена. Поэтому будет справедлива зависимость

$$t_{\text{эк}} = f(I, A, \lambda_{nc}) \quad (6)$$

где: I - информативность модели, A - информационная емкость ИМ; λ_{nc} - пропускная способность зрительного анализатора.

подавляющую часть времени работы с экранной формой оператор тратит на поиск нужных символов, элементов, сложных объектов. Процесс выделения и преобразования информации, составляющий основу информационного поиска, представляет случайное сканирование по полю экрана. Время информационного поиска зависит от ряда параметров [5].

$$t_{un} = f(E, a, H_{\alpha}, t_{фик}), \quad (7)$$

где: E - общий объем элементов ИМ (максимальное значение будет достигаться при абсолютно максимальной насыщенности информационного поля); a - объем зрительного восприятия (характеристика зрительного анализатора), ограниченный объемом оперативной памяти ЧО и пространственными характеристиками зрения; H_{α} - число элементов ИМ с заданным для поиска набором характеристических параметров - α ; $t_{фик}$ - продолжительность зрительной фиксации.

Определить время информационного поиска можно следующим образом:

$$M_{tun} = \frac{E+a}{a*(1+MH\alpha)} * t_{\phi} \quad (8)$$

где: M_{tun} - математическое ожидание времени поиска.

Заключительный этап анализа - оценка информационных характеристик и их корреляция с возможностями ЧО.

Информационные характеристики частных (конкретных) информационных моделей такие как, информативность I , насыщенность Ψ , коэффициент заполнения экрана KS можно выразить следующим образом:

$$\Psi = I / S \quad (9)$$

$$A = I / KS \quad (10)$$

При этом имея в качестве выходных данных информационной системы некоторое множество частных ИМ - n , каждая k -ая из которых по-своему насыщена и информативна, необходимо выполнения неравенства

$$I_k \leq A \quad (11)$$

Тогда, зная информационную емкость ИМ, а значит и экрана, можно осуществить разумный выбор средства отображения АСОИУ и повлиять на выбор всего комплекса технических средств системы.

Если не брать интегральных информационных характеристик ИМ, внимания заслуживают пороговые значения элементов. Для буквенно-цифровых и проблемно-ориентированных символов с учетом оптимальных значений яркости, освещенности, контраста угловые размеры данной величины будут составлять 15' - 18' для простых знаков, 21' - 26' для средних знаков и 35' - 40' для сложных знаков. Градация на простые и сложные знаки во многом условна.

Тогда пороговые значения будут равны

$$h_{nop} = 2 * I * tg(\beta/2) \quad (12)$$

где: β - угловой размер элемента ИМ, l - расстояние от экрана монитора до ЧО.

Таким образом, проведенный структурированный анализ соответствует характеристикам зрительного анализатора человека и позволяет выбрать или определить параметры системы, полностью отражающие возможности ЧО при работе в контуре управления АСОИУ.

Заключение

Представленный эргономический анализ, основанный на системно-деятельностном подходе к проектированию эргатических систем и базирующийся на оценке эргономических параметров АСОИУ, сопряженных с инженерно-психологическими характеристиками зрительной системы человека, способен повысить эффективность и качество деятельности человека в системе «человек-машина-среда». Одновременно он направлен на сохранение здоровья человека и создание предпосылок для развития его личности, что собственно и является целью эргономического обеспечения автоматизированной системы.

Описанный подход к проектированию АСОИУ, сущность и структура эргономического анализа, некоторые другие аспекты проектирования систем подобного класса, приведенные в настоящей статье, нашли отражение в учебном процессе кафедры, включая подготовку и регламентные документы выпускных квалификационных работ студентов, в том числе и дипломных работ, а также в научно-исследовательской работе кафедры «Системы обработки информации и управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана в ее многолетней деятельности по созданию автоматизированных систем и подготовке высококвалифицированных специалистов данного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисюк А.А. Эргономика в приборостроении. - К.: Техника, 1985.
2. Гасов В.М., Горячкин Б.С. Системно-деятельностный подход проектирования АСУ реального времени // Сборник науч. трудов Ленингр. ин-т информатики и автоматизации АН СССР. - Л., 1989.
3. Гасов В.М., Горячкин Б.С. Методика оценки информационных моделей систем отображения и обработки информации // Современные проблемы автоматического управления. Сборник докладов. - М., 1987.
4. Горячкин Б.С. Шкала для оценки эргономичности способов отображения информации // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2014. - № 5 <http://technomag.bmstu.ru/doc/711864.html> (Дата обращения 15.08.2016). DOI: 10.7463/0514.0711864.
5. Горячкин Б.С. Эргономические проблемы в автоматизированной системе обработки информации и управления // Международный научно-технический журнал «Информационно-измерительные и управляющие системы»: Издательство «Радиотехника» - Москва, 2016. - № 12, т. 14. С. 38-48.
6. Ломов Б.Ф. Справочник по инженерной психологии. - М.: Машиностроение, 1982. - 368 с., ил.
7. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: в 7 т. / под ред. В.Н. Четверикова. - М.: Высшая школа, 1990. - Т. 7: Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами / В.М. Гасов, А.В. Меньков, Л.А. Соломонов, А.В. Шигин. - 1990. - 142 с., ил.
8. Основы инженерной психологии / Б.А. Душков и др.; под ред. Б.Ф. Ломова. - М.: Высшая школа, 1986. - 448 с., ил.

Goryachkin Boris Sergeevich

Bauman Moscow state technical university (national research university of technology), Russian, Moscow
E-mail: bsgor@mail.ru

Ergonomic analysis of information processing systems and management

Abstract. The article is devoted to the efficiency of the human operator in the control loop "systems man-machine" and, in particular, automated systems of information processing and management. The relevance of this article due to the fact that in comparison, say, with similar systems of the last century, changed the weak point of the systems, a critical component that dramatically changes the view of the root causes of the possible failure of systems. The emphasis of "problematic" systems "man-machine" has shifted to the operator and human factors in the design of automated systems requires a completely different attitude and different approaches.

The article describes the ergonomic analysis of automated systems of information processing and management, based on the system-activity approach to the design of ergatic systems. It is based on the evaluation of ergonomic parameters associated with the engineering-psychological characteristics of the human visual system, is clearly structured and involves all components of the system man-machine.

The author argues that the human factor, as well as the technical component of the system, requires the full design using a systematic approach. Moreover, as recently recommended a system-activity approach, the purpose of which is the primary design activities of the human operator and the development coming from the person of requirements of the external funds. The primary design of the human factor as such certainly cannot be considered a breakthrough idea, however, a careful analysis of "opportunities and needs" of all automation components based on the functional approach provides the opportunity to undertake ergonomic optimization and to increase efficiency of systems of this class.

Keywords: ergonomic support; man-machine; human operator; information model; management circuit; visual system; visual analyzer