

УДК 004.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ С УЧЕТОМ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Хрусталеv В.И.

*ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: khsukhsu@mail.ru*

Выполнено исследование процесса проектирования и реализации эффективных и качественных человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ). Показана необходимость применения результатноориентированного подхода и методов качественной оценки ЧМИ (аналитические методы, дающие возможность проводить анализ и моделировать процесс выполнения поставленных задач оператором-человеком; экспериментальные методы, основная задача которых заключается в получении количественных и качественных оценок в процессе реализации задач оператором-человеком при помощи ЧМИ; методы анкетирования, позволяющие давать корректную оценку отношения оператора-человека к ЧМИ; экспертные методы, применяемые в процессе исследования и анализа ЧМИ для определения экспертами слабых сторон разрабатываемой информационной системы) в процессе разработки ЧМИ. Рассматриваются основные этапы и подходы реализации полноценно и эффективно функционирующего ЧМИ, общие эргономические требования применяемые при проектировании ЧМИ, а также их комбинация для достижения наиболее качественного результата. Применение метода GOMS для разработки ЧМИ на начальном этапе их проектирования. Описывается структура алгоритма реализации ЧМИ с возможностью проведения последовательной оптимизации качества разрабатываемых ЧМИ с использованием закона Хика (расчет времени выбора одного решения из многообразия предложенных), а также закона Фиттса (расчет времени при достижении одного из объектов на дисплее). Проводится определение степени воздействия на субъективные ощущения оператора-человека интенсивности весовых раздражителей в процессе взаимодействия оператора-человека и ЧМИ.

Ключевые слова: человеко-машинные интерфейсы, результатноориентированный подход, закон Хика, закон Фиттса, закон Стивенса, GOMS

DESIGN OF HUMAN-MACHINE INTERFACES TAKING INTO ACCOUNT ERGONOMIC ASPECTS OF SOFTWARE DEVELOPMENT

Khrustalev V.I.

*Federal State Institution of Higher Education Khakass State University named after Katanov, Abakan,
e-mail: khsukhsu@mail.ru*

The study of the process of designing and implementing effective and high-quality human-machine interfaces (HMI). The necessity of application of the result-oriented approach and methods of qualitative assessment of PMI is shown (analytical methods that make it possible to analyze and simulate the process of performing tasks by a human operator; experimental methods, the main task of which is to obtain quantitative and qualitative estimates in the process of implementing tasks by a human operator using PMI; methods of questioning, allowing to give a correct assessment of the relationship of the human operator to the PMI; expert methods used in the process of research and analysis of the PMI to determine the weaknesses of the developed information system by experts) in the process of developing the PMI. The main stages and approaches to the implementation of a fully and effectively functioning HMI, the General ergonomic requirements used in the design of HMI, as well as their combination to achieve the highest quality result are considered. Application of the GOMS method for the development of PMIS at the initial stage of their design. Describes the structure of the algorithm the implementation of the HMI with the possibility of sequential optimization of the quality of the developed HMI using Hick's law (calculation of time selecting one solution from the variety offered), as well as the law Fitts (calculation time, while achieving one of the objects on display). The degree of influence on the subjective feelings of the human operator of the intensity of weight stimuli in the process of interaction between the human operator and PMIS is determined.

Keywords: human-machine interfaces, result-oriented approach, Hick's law, Fitts 'law, Stevens' law, GOMS

В XXI в. широкое распространение получили информационные технологии. На сегодняшний день именно информационные технологии развиваются и активно внедряются во все сферы жизни и деятельности людей. Качественное и полнофункциональное внедрение невозможно без тщательно продуманного и спроектированного человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). От этого зависит эффективность взаимодействия человека-оператора с информационной системой. Качественный синтез

человека и информационных устройств/систем гарантирует эффективное решение поставленных задач и реализацию различного рода проектов. Тесная интеграция человека-оператора с информационной системой сокращает время на выполнение операций различного рода и сложности, что напрямую влияет на время принятия решения и сроки реализации каких-либо проектов. Вопрос эффективного проектирования человеко-машинных интерфейсов в мобильных устройствах (смартфонах, планшетах

и т.д.), а также в профессиональных или закрытых (военных, космических) системах является актуальным и перспективным. Удобство использования информационных систем через средства манипулирования ускоряет и делает более качественным взаимодействие с ними и позволяет решать задачи эффективно и за короткий промежуток времени. Такой человеко-машинный интерфейс снимает в первом случае психологические накладки, а в крупных системах позволяет избегать критических ошибок и производить экономию средств. На сегодняшний день это является одной из первоочередных задач при проектировании и реализации ИТ-проектов, задач и т.д.

В процессе проектирования и реализации программного обеспечения (ПО) не всегда разработчики уделяют должное внимание подходам проектирования ЧМИ, которые позволяют использовать систематические и эффективные данные, полученные экспериментальным путем, в полноценную завершённую структуру интерфейса. Такая ситуация возникает ввиду того, что алгоритм разработки ПО не включает в себя результаты экспериментальных исследований, а находится в прямой зависимости от мнения консультантов-маркетологов.

Приведенное в данной статье исследование было проведено с целью изучения возможностей проектирования ЧМИ с учетом эргономических аспектов разработки программного обеспечения.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим требования и нормы эргономики, необходимые для проектирования и реализации качественных ЧМИ.

Общие эргономические требования и нормы описаны в следующих государственных стандартах [1]:

– ГОСТ 21829-76: Система «человек – машина». Кодирование зрительной информации;

– ГОСТ 23000-78: Система «человек – машина». Пульты управления;

– ГОСТ 26387-84: Система «человек – машина». Термины и определения;

– ГОСТ 21480-76: Система «человек – машина». Мнемосхемы;

– ГОСТ 22902-78: Система «Человек – машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных;

– ГОСТ 20.39.108-85: Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике.

Набор правил реализации ЧМИ регламентирован в следующих документах:

– ГОСТ Р 50923-96: Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;

– ГОСТ Р 50949-2001: Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

– ГОСТ Р МЭК 60073-2000: Маркировка и обозначение органов управления, кодирование информации;

– ГОСТ Р 50948-2001: Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;

– ГОСТ Р 52324-2005: Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями.

Корректное взаимодействие и влияние оператора-человека на технологические процессы находится в прямой зависимости с правильным выбором ЧМИ и его конфигураций, это является важным моментом в вопросе диагностики и профилактического обслуживания технологических процессов для минимизации времени простоя. Данная задача может быть эффективно решена с использованием результатноориентированного подхода. Использование результатноориентированного подхода дает возможность реализовать в себе: методы опроса, проводимые с конечными пользователями, использующими ЧМИ для взаимодействия с программным обеспечением; перечень результатов исследования маркетологов; разнообразие дизайнерских решений в виде экспериментального компьютерного моделирования; применение сценариев в процессе проектирования; применение эффективного набора принципов и шаблонов компьютерного моделирования приоритетных процессов взаимодействия оператора-человека с человеко-машинным интерфейсом. В структуру результатноориентированного подхода включено шесть основных блоков: исследование, моделирование, выработка требований, определение общей инфраструктуры, детализация и сопровождение, которые необходимо пройти для достижения конечного результата [2, 3].

В дополнение к результатноориентированному подходу в процессе разработки ЧМИ на начальном этапе проектирования корректно будет использовать возможности, реализуемые в методе GOMS (Goals, Operators, Methods, and Selection Rules – цели, операторы, методы и правила их выбора), впервые предложенном широкой общественности в 1983 г. С.К. Кардом, Т.П. Мораном и А. Ньюэллом.

Основной идеей метода является представление пошаговых действий оператора-пользователя в виде алгоритма последовательных шагов и наборов типовых составляющих. В самом простом случае, благодаря этому методу возможно провести измерение времени выполнения функциональной нагрузки типовых составляющих и в результате получить статистические показатели времени исполнения элементарных действий. Оценить качество ЧМИ возможно за счет разложения исполняемой задачи на составляющие, и расчета среднего времени, затрачиваемое оператором-человеком в ходе выполнения этой задачи.

Качественно спроектированный ЧМИ позволяет оператору-человеку затрачивать минимальное время на реализацию решаемых задач, возникающих в рабочем процессе.

На начальной стадии разработки ЧМИ, являющихся частью информационной системы, увеличение показателя точности расчетов оценки времени исполнения задач, возможно за счет объединения метода GOMS, закона Хика (расчет времени выбора одного решения из многообразия предложенных) и Фиттса (расчет времени при достижении одного из объектов на дисплее).

Суть закона Фиттса заключается в том, что время достижения определенного объекта прямо пропорционально расстоянию до объекта с которым взаимодействует оператор-человек и обратно пропорционально размерам объекта. Если объект располагается

на продолжительном расстоянии от оператора-человека, время затраченное на взаимодействие с ним будет стремиться к максимуму, и наоборот. В случае, когда объект является по своим габаритам миниатюрным, это также приводит к увеличению времени взаимодействия с этим объектом.

В одномерном случае, закономерность представляется в виде формулы

$$T = a + b \log_2 \left(\frac{D}{S} + 1 \right),$$

где T – среднее время в мс, затраченное на окончание движения, a – среднее время начала/завершения движения, b – величина, находящаяся в прямой зависимости от среднестатистической скорости работы, D – расстояние от точки начала до центра объекта, S – ширина объекта, проходящая вдоль траектории движения курсора, a, b являются константами и могут быть заданы экспериментально, опираясь на параметры производительности оператора-человека или введены, основываясь на мнении экспертов. Но закон Фиттса имеет ограничение, зависящее от линейного движением курсора и манипулятора, а также непрерывным перемещением.

Основной идеей закона Хика является расчет времени выбора альтернативы из предложенных вариантов, которое пропорционально двоичному логарифму числа вариантов, увеличенного на единицу. Этот закон показывает корректные расчеты при условии, что все рассматриваемые варианты являются равновероятными [4]:

$$T = a + b \log_2(n + 1),$$

где T – среднее время затраченное на выбор одной из альтернатив в мс, n – количество альтернатив, из которых производится выбор, a и b – коэффициенты пропорциональности, имеющие зависимость от многих факторов. В случае когда альтернативы представлены без какой-либо системы, понятной оператору-человеку, тогда коэффициенты a и b увеличиваются. При наличии у оператора-человека опыта работы с системой снижается значение коэффициента b . Используя положительные значения a и b из закона Хика следует, что предоставление оператору-человеку одновременно нескольких альтернатив, как правило, является более эффективным и рациональным, чем реализация этих альтернатив в группы иерархического типа.

Когда вероятности выбора каждой из альтернатив являются известными – $p(i)$, то выражение примет вид

$$\sum_i p(i) \log_2 \left(\frac{1}{p(i)} + 1 \right).$$

В процессе проектирования и реализации ЧМИ, пройдя начальные этапы, помимо расчета времени реализации каждой из поставленных задач, возможно применение обобщенного структурного метода, рассчитать вероятность безошибочного решения задач [5].

Оценивая многообразие ЧМИ, уместно рассмотрение расчетных данных на основе законов Фиттса и Хика и их использование.

Качественная оценка многообразия вариантов ЧМИ и комплексное решение задачи предъявления информации и тестирования алгоритмов взаимодействия оператора-человека возможны через применение следующего подхода.

Проходя стадию эскизного проекта ЧМИ, работники учитывают среднее значение времени выполнения задач, рассчитанное по одному из способов (закон Фиттса и Хика). Учитывая эту информацию, в виде расчетных данных, возможно выделить определенную группу ЧМИ, которая может быть исключена из дальнейшего процесса реализации ЧМИ. Это может быть реализовано за счет сравнения векторов

$$\bar{t}_j = (t_{1j}, t_{2j}, \dots, t_{nj}),$$

а также в виде суммы соответствующих общих временных показателей работы оператора-человека

$$T_j = \sum_{i=1}^n t_{ij},$$

по каждому из рассматриваемых вариантов ЧМИ, в связи с этим, на следующем шаге после эскизного проекта, получается множество вариантов ЧМИ

$$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m_1} \in A_1 \subseteq A, m_1 \leq m.$$

Далее, проходя стадию технического проекта, возможно появление дополнительной информации расчетных показателей, таких как:

- вероятности (p_{ij}) безошибочного решения задачи s_j с взаимодействием интерфейса a_j , полученные по приведенным данным;
- результаты компонентов векторов приоритетностей задач $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$;
- периодичность возникновения необходимости решения задач $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$.

Возможны такие варианты, что эта информация может содержать определенную погрешность, так как она получена по не совсем точным данным

$$p_{ij}, j = 1, 2, \dots, m_1,$$

или просто экспертной (вектора $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ и $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$), она может послужить для следующего сокращения множества неприемлемых вариантов ЧМИ. Реализация этого может быть сформулирована за счет решения многокритериальной задачи выбора оптимального ЧМИ или через получение сумм соответствующих общих времен работы оператора-человека.

Еще одним весомым, расчетным показателем, на который следует обратить внимание в процессе разработки ЧМИ, является определение степени воздействия на субъективные ощущения оператора-человека интенсивности весовых раздражителей в процессе взаимодействия, возможно использование закона Стивенса [6]:

$$Y = kS^n,$$

где Y – сила субъективного ощущения оператора-человека; k – коэффициент пропорциональности для множества видов раздражителей; S – интенсивность раздражителя; n – показатель степенной функции, находящийся в зависимости от вида раздражителя.

Качественную составляющую ЧМИ для оператора-человека возможно оценить с помощью методов оценки качества, которые можно группировать в 4 категории [7–9]:

1. Аналитические методы, дают возможность смоделировать и провести анализ процессов выполнения поставленных задач оператором-человеком, в результате получают данные, на основании которых возможно сделать оценку качества ЧМИ.

2. Экспериментальные методы, основная идея которых заключается в получении количественных и качественных оценок в процессе реализации задач оператором-человеком при помощи ЧМИ. Использование экспериментальных методов возможно в экспериментальных условиях (лабораторных) или в реальном рабочем процессе (натуральных). Максимальный эффект от использования экспериментальных методов можно получить на этапе технического проекта и опытной эксплуатации, так как идет выявление «узких мест» с последующим незамедлительным устранением уязвимостей проектируемых специализированных систем.

3. Методы анкетирования, позволяющие давать корректную оценку отношения оператора-человека к ЧМИ в целом, либо к его составным частям, а также дающие возможность определить значимые проблемы, которые возникают у оператора-человека в процессе эксплуатации системы.

4. Экспертные методы, применяемые в процессе исследования и анализа ЧМИ, позволяют экспертам определить слабые стороны, которые впоследствии следует откорректировать и устранить.

Результаты исследования и их обсуждение

Проходя все этапы разработки ЧМИ в специализированных системах для реализации максимально качественного ЧМИ, необходимо использование синтеза всех четырех методов.

Учет эргономических аспектов (времени затраченного на получение информации от приборов, силы субъективного ощущения, скорости обработки информации эргономических составляющих, коэффициента временной напряженности, времени затраченного на решение задач оператором-человеком) необходимо принимать во внимание в процессе реализации интуитивно-понятных и функциональных ЧМИ, а также в процессе согласования характеристик оператора-человека и средств визуализации информации.

Корректное и комфортное взаимодействие оператора-человека и ЧМИ через взаимосвязь с формами на экране электронного устройства, реализуется с учетом показателя скорости реагирования на изменчивость интерактивного процесса и ряда других факторов (восприятие зрительной информации и размер поля зрения опера-

тора-человека, а также цветовое восприятие, рябь в глазах, плохое самочувствие). В SCADA-системах вопросы оповещения о любых внештатных ситуациях решаются разработчиками с помощью аудиальных сигналов в увязке с весовыми раздражителями, так как они, по сравнению с тактильными, передаются.

Заключение

Таким образом, при проектировании и реализации ЧМИ применение результатноориентированного подхода с учетом методов качественной оценки ЧМИ, законов Фиттса, Хика и Стивенса позволит реализовать профессионально спроектированное с точки зрения эргономических требований, протестированное и эффективное программное обеспечение, ориентированное на взаимодействие с оператором-человеком через интерактивные возможности ЧМИ.

Список литературы

1. Гришина Е.А., Власенко О.М. Эргономические аспекты проектирования человеко-машинного интерфейса: сборник научных трудов кафедры автоматизации и промышленной электроники с участием зарубежных партнеров. М., 2018. С. 7–13.
2. Исследование методов построения пользовательских интерфейсов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=515584> (дата обращения: 20.10.2019).
3. Проектирование пользовательского интерфейса. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.williamspublishing.com/PDF/5-8459-0276-2/part7.pdf> (дата обращения: 21.10.2019).
4. Назаренко Н.А., Никулин М.Н. Оценка пользовательского интерфейса проектируемых специализированных систем. XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 (Москва, 16–19 июня 2014 г.). М., 2014. С. 6402–6407.
5. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука, 1987. 270 с.
6. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учебник. М.: Логос, 2001. 356 с.
7. Зайченко К.В., Краснова А.И., Назаренко Н.А., Падерно П.И., Пахарьков Г.Н. Методы оценки качества биомедицинских систем и технологий. СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2011. 150 с.
8. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ-Плюс, 2009. 688 с.
9. Сергеев С.Ф., Падерно П.И., Назаренко Н.А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 108 с.