

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.3.4>

УДК: 331.101.1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ И ЭРГОНОМИКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.И. Макаренко

**Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39**

Статья поступила в редакцию 15 марта 2022 г.

Аннотация. В условиях перехода информационно-управляющих систем к сетецентрической архитектуре и созданию сетецентрических информационно-управляющих систем (СЦИУС) возрастает актуальность обеспечения интероперабельности в таких системах. В соответствии с ГОСТ Р 55062-2012 интероперабельность обеспечивается на трех уровнях: техническом, семантическом и организационном. В данной работе на основе SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment) рассматривается техническая интероперабельность человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ). Рассмотрены особенности проектирования ЧМИ и обеспечения их эргономики – основные подходы, методики, принципы и метафоры. Представлены основные типы ЧМИ, сформулированы основные параметры оценки их эргономики, а также эффективности взаимодействия системы «человек – машина» в целом.

Ключевые слова: интероперабельность, техническая интероперабельность, сетецентрическая система, человеко-машинное взаимодействие, человеко-машинный интерфейс, пользовательский интерфейс, эргономика.

Abstract. In the situation of transition from information and control systems to a net-centric architecture and development of net-centric information and control system, the relevance of interoperability assurance in such systems is increasing. Interoperability has to be provided at three levels: technical, semantic and organizational in accordance with Russia's state standard no. 55062-2012. This paper is focused on the technical interoperability of human-machine interfaces (HMI) on basis the systems, capabilities, operations, programs, and enterprises model for interoperability assessment (SCOPE model). HMI design features and ergonomics factors: the main approaches, techniques, principles and metaphors are considered in paper. The main parameters for assessing HMI ergonomics, as well as the effectiveness of the interaction in the "human – machine" system for different types of HMI are formulated.

Key words: interoperability, technical interoperability, netcentric system, human-machine interaction, human-machine interface, user interface, ergonomics.

Финансирование: результаты, представленные в данной работе, получены в рамках госбюджетной темы НИР FFZF-2022-0004.

Автор для переписки: Макаренко Сергей Иванович, mak-serg@yandex.ru

Введение

В настоящее время развитие информационных систем ведется в направлении их интеграции и глобализации. Первостепенным, можно сказать ключевым, свойством на основе которого объединяются информационные системы является интероперабельность. Согласно общепринятому определению, данному организациями по стандартизации [1, 2]: «интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена».

Следует отметить, что в отечественной литературе достаточно большое число публикаций посвящено вопросам технической интероперабельности информационных систем [3-38], в том числе – информационно-управляющих систем специального назначения [33-38] и робототехнических систем [26-30].

При этом наиболее системные исследования по тематике интероперабельности ведутся в Институте радиоэлектроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук – работы [3, 7, 16, 17, 20, 23, 26, 27, 30, 36-38]. Однако подавляющая часть всех вышеуказанных работ посвящена исследованию различных вопросов совместимости процессов формирования, передачи, хранения и обработки данных в технических системах. В этих работах не рассматриваются вопросы создания высокоэффективных человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ) для обмена данными между человеком-пользователем и технической системы, хотя, например, для дистанционно управляемых робототехнических систем, таких как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [26-30], создание таких ЧМИ является отдельной важной задачей, решение которой существенно влияет на эффективность управления БПЛА. То же самое можно сказать и про ЧМИ автоматизированных систем управления (АСУ) войсками и оружием [33-38]. В таких системах эргономичность ЧМИ, определяющая актуальность и полноту представляемой пользователю информации, безошибочность и оперативность ввода пользователем команд управления, существенно влияет на эффективность функционирования системы в целом.

В последнее время наметилась тенденция перехода информационно-управляющих систем к сетцентрическому принципу построения, в соответствии с которым все органы управления, датчики окружающей обстановки и исполнительные силы и средства, объединяются в рамках единого информационного пространства. Такие системы получили наименование сетцентрических информационно-управляющих систем (СЦИУС). Их особенностью является то, что они являются организационно-техническими системами т.е. системами, в которых люди (операторы технических систем; лица, принимающие решения; члены исполнительных подразделений) активно взаимодействуют с техническими подсистемами и средствами СЦИУС, а также взаимодействуют между собой посредством технических средств связи. В связи с этим вопросы эргономики ЧМИ играют существенную роль в обмене

информацией в СЦИУС, а значит имеют важное значение для обеспечения интероперабельности таких систем.

В работе [38] представлена обобщенная модель интероперабельности СЦИУС, разработанная международным консорциумом NCOIC – «Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment» (SCOPE-модель). В то же время в Российской Федерации (РФ) имеется действующий стандарт ГОСТ Р 55062-2012 [2], содержащий трехуровневую эталонную модель интероперабельности и методику ее достижения. В работе [17] обоснован вариант декомпозиции параметров SCOPE-модели и их адаптации к эталонной модели, представленной в ГОСТ Р 55062-2012 (рис. 1). В работах [6, 18, 24] автором проведено подробное исследование тех аспектов технической интероперабельности СЦИУС, которые соответствует блокам 3.2, 3.4 и 3.5 на рис. 1. При этом, к настоящему времени непроработанными остались вопросы эргономики ЧМИ (блок 3.6 на рис. 1). Ранее, в рамках исследований по интероперабельности автор уже обращался к тематике ЧМИ в работе [40]. Однако в этой работе рассматривались не технические, а семантические аспекты интероперабельности ЧМИ в СЦИУС.



Рис. 1. Место и роль рассматриваемых вопросов технической интероперабельности ЧМИ в общей структуре интероперабельности в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012

1. Используемые термины и определения

Вопросы, относящиеся к технической интероперабельности, тесно связаны с некоторыми понятиями, которые следует четко определить до рассмотрения последующего материала статьи.

Взаимодействие – процессы воздействия различных объектов друг на друг посредством обмена информацией.

Графический интерфейс – совокупность средств для взаимодействия пользователя с технической системой, основанная на представлении всех доступных пользователю объектов взаимодействия и функций в виде графических компонентов экрана: окон, значков, меню, кнопок, списков и т.п.

Данные – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованной знаково-символьной форме, пригодной для

сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах [39].

Дизайн – совокупность функциональности, внешнего вида и удобства использования.

Доступность использования – свойство систем, сред или оборудования, при наличии которого они могут быть использованы людьми с самым широким диапазоном возможностей для достижения установленных целей в определенных условиях использования [41].

Интерактивная система – сочетание компонентов аппаратного и программного обеспечения, которое получает информацию, вводимую пользователем, и сообщает ему свой ответ, помогая пользователю в работе или выполнении задачи.

Интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена [1, 2].

Интерфейс – совокупность средств и правил взаимодействия отдельных систем и объектов.

Интерфейс командной строки – разновидность текстового интерфейса, в котором управление технической системой пользователь осуществляет путём ввода с клавиатуры текстовых команд и их параметров, а сообщения системы представляются пользователю в виде текстовых сообщений на экране.

Информация – сведения, независимо от формы их представления, относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определенном контексте имеют конкретный смысл (семантическое значение) и интерпретацию. В обобщенном виде можно записать: «информация» = «данные» + «смысл».

Канал восприятия информации – путь получения информации человеком с использованием одного из своих органов чувств: зрения, слуха, осязания, вкуса или обоняния.

Машина – техническое средство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации [50].

Метафора интерфейса – концептуальный подход к вопросу организации взаимодействия человека и технической системы, который определяет суть основных принципов о том, как интерфейс взаимодействует с пользователем, обеспечивает представление диалоговых объектов и определяет набор манипуляций пользователя с ними.

Организационно-техническая система – множество взаимосвязанных технических средств и персонала, организованных и функционирующих для достижения одной или нескольких поставленных целей.

Пользователь – лицо или организация, которое использует техническую систему для выполнения конкретных функций или достижения определенной цели [50].

Пользовательский интерфейс – компоненты интерактивной системы (программное обеспечение и аппаратное обеспечение), которые предоставляют пользователю информацию и возможность управления для выполнения производственных заданий [41].

Пригодность использования – свойство человеко-машинного или пользовательского интерфейса, при наличии которого пользователь может применять его в определенных условиях использования для достижения установленных целей с необходимой результативностью, эффективностью и удовлетворенностью [41].

Результативность использования – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов [41].

Совместимость – способность двух или более объектов взаимодействовать друг с другом.

Сообщение – конечный набор данных, содержащий информацию о каком-либо отдельном факте, явлении или событии, который является базовой семантически-неделимой частью процесса передачи информации.

Техническая интероперабельность – способность к обмену данными между участвующими в обмене системами с использованием технических средств.

Техническая система – комбинация взаимодействующих устройств, механизмов, технических подсистем и средств, предназначенных для достижения одной или нескольких поставленных целей.

Технический интерфейс – совокупность унифицированных технических, программных и конструктивных средств, реализующих взаимодействие различных функциональных элементов в технической системе, обеспечивающих информационную, электрическую и конструктивную совместимость этих элементов.

Техническое средство – электронная или механическая часть некоторой системы, предназначенная для выполнения определенной функции [50].

Человеко-машинный интерфейс – интерфейс, обеспечивающий передачу информации между человеком и технической системой (машиной).

Эргономика – это наука, рассматривающая вопросы взаимодействия человека с другими элементами системы. Теория, принципы, данные и методы эргономики применяются в процессе проектирования организационно- и человеко-технических систем для обеспечения сохранности здоровья человека и оптимизации общей производительности системы [41].

Эргономичность – свойство оборудования, учитывающее взаимодействие «человек – машина», позволяющее снизить вероятность ошибки пользователя, повысить производительность и комфортность его работы.

2. Параметры эргономики человеко-машинных интерфейсов

2.1. Основные сервисы взаимодействия в СЦИУС. Универсальный человеко-машинный интерфейс и его эргономика

Технической основой СЦИУС является единая сетевая среда или, как еще ее называют, единое информационное пространство. Организация взаимодействия в рамках единой сетевой среды в СЦИУС возможно посредством использования следующих основных сервисов связи:

- голосовая связь;
- видеосвязь;

- электронные личные сообщения (включая электронную почту);
- веб-сайты и порталы;
- инфраструктура сетевых услуг;
- инструменты онлайн-взаимодействия и обмена информацией;
- инфраструктура удаленного доступа к сети;
- мобильные сетевые устройства.

Каждая из вышеуказанных технологий взаимодействия, как правило, обладает собственным пользовательским интерфейсом. Однако в общем случае большинство этих интерфейсов реализуется через ЧМИ в виде типовых оконных форм на экране, с которыми пользователь взаимодействует посредством «мыши» и клавиатуры. Такая унификация ЧМИ позволяет сформировать единые требования к реализации элементов пользовательского интерфейса, к их стандартизации и гармонизации между собой. При этом одним из основных требований к ЧМИ является его эргономичность.

Эргономичность – свойство оборудования, учитывающее взаимодействие «человек – машина», позволяющее снизить вероятность ошибки пользователя, повысить производительность и комфортность его работы.

Таким образом в понятие эргономичный ЧМИ вкладывается смысл, что такой ЧМИ позволяет оптимизировать общую производительность человеко-машинной системы, повысить эффективность взаимодействия человека с техническими средствами обработки информации и управления.

В предыдущей работе автора [40] рассмотрены семантические аспекты получения информации человеком через ЧМИ по каналам восприятия, а также вопросы правильной интерпретации смысла поступающей информации. В этой же работе хотелось бы остановиться на конкретных технических показателях, которыми можно охарактеризовать степень эргономичности (эргономики) ЧМИ.

2.2. Основные параметры эффективности системы, на которые влияет эргономика человеко-машинных интерфейсов

Наиболее общим показателем качества ЧМИ является эффективность организационно-технической системы, составной частью которой является ЧМИ. Показатель эффективности системы определяет насколько достигнута цель ее функционирования. В соответствии с работой [42], оценка эффективности организационно-технической системы может осуществляться по частным показателям достижения цели – временным показателям и показателям продуктивности. При этом эти показатели характеризуют эффективность системы в целом, с учетом вклада как человека, так и технических средств. Показателями продуктивности являются: отсутствие отказов в работе системы; правильность (безошибочность) и точность достижения требуемой цели или результата. При этом показатель безотказности связан с характеристиками надежности технической части системы (далее не рассматривается), а правильность и точность – с характеристиками действий пользователя. Показателями оперативности являются: оперативность решения, быстроедействие, своевременность решения. Рассмотрим эти частные показатели подробнее, в соответствии с материалами работы [42].

Безошибочность (правильность) решения – оценивается вероятностью $P_{\text{пр}}$ правильного решения задачи или безошибочного достижения цели:

$$P_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{N},$$

где $P_{\text{пр}}$ – вероятность правильного решения; $N_{\text{пр}}$ – количество случаев правильного решения задачи; N – общее количество решенных задач.

Точность решения – определяется вероятностью $P_{\text{точ}}$ случаев N отклонения результатов решения задачи от допустимых погрешностей к общему числу решенных задач N :

$$P_{\text{точ}} = \frac{N_{\text{точ}}}{N}$$

где $P_{\text{точ}}$ – вероятность точного решения; $N_{\text{точ}}$ – количество случаев решения задачи, при котором полученное значение ключевого параметра x результата

решения задачи соответствует интервалу допустимых погрешностей $x_{\min}^{\text{доп}} \leq x \leq x_{\max}^{\text{доп}}$; N – общее количество решенных задач.

В работе пользователя на показатель точности дополнительно могут влиять погрешности измерений ключевого параметра, погрешность его вывода посредством ЧМИ, погрешность ввода ключевого параметра через ЧМИ и т.д.

Погрешность – оценивается величиной δ расхождения номинального значения (выводимого прибором, измеряемого чем-либо или регулируемого оператором) ключевого параметра x_n и его реального значения x_p :

$$\delta = x_n - x_p,$$

где x_n – номинальное значение параметра; x_p – реальное значение параметра.

Оперативность решения – время $T_{\text{реш}}$ за которое с требуемой вероятностью $P_{\text{реш}}$ будет достигнута цель функционирования системы или решена целевая задача. При включении человека в контур управления, показатели $T_{\text{реш}}$ и $P_{\text{реш}}$ зависят от длительности уяснения ситуации человеком посредством ЧМИ, принятия решения человеком и ввода этого решения через ЧМИ в систему.

Быстродействие – характеризуется временем $T_{\text{цикл}}$, необходимым для прохождения информации по замкнутому циклу управления. Время $T_{\text{цикл}}$ складывается из времени осуществления операций в цикле и задержек на регулирование:

$$T_{\text{цикл}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{оп}}} T_{\text{оп } i} + \sum_{j=1}^{N_{\text{рег}}} T_{\text{рег } j},$$

где $T_{\text{оп } i}$ – длительность i -ой операции; $T_{\text{рег } j}$ – длительность j -го процесса регулирования; $N_{\text{оп}}$ – количество операций в цикле управления; $N_{\text{рег}}$ – количество процессов регулирования в цикле управления.

При фиксированном времени выполнения каждой операции $T_{\text{оп } i}$, включенной в контур управления, быстродействие $T_{\text{цикл}}$ зависит только от длительности процессов регулирования $T_{\text{рег } j}$, которые, в случае включения человека в контур регулирования, зависят от ЧМИ и времени реакции человека-оператора.

Своевременность решения – оценивается вероятностью $P_{\text{св}}$ решения N задач за время, не дольше требуемого $T_{\text{реш}} \leq T_{\text{реш}}^{\text{треб}}$ вне зависимости от типа задач, режима функционирования и причин несвоевременного решения:

$$P_{\text{св}} = \frac{N_{\text{св}}}{N},$$

где $P_{\text{св}}$ – вероятность своевременного решения; $N_{\text{св}}$ – количество случаев решения задачи, при котором длительность решения задачи не превысило требуемое время $T_{\text{реш}} \leq T_{\text{реш}}^{\text{треб}}$; N – общее количество решенных задач.

Свертка показателей безошибочности (правильности) и своевременности решения задач, может являться обобщённым интегральным показателем эффективности системы так как оценивает не только правильность формируемых решений, но и вероятность их формирования за требуемое время:

$$P = P_{\text{пр}} P_{\text{св}}$$

При включения человека в контур управления, безошибочности (правильности) и своевременности решения задач зависят от длительности и качества уяснения человеком целевой задачи и складывающейся обстановки посредством ЧМИ, скорости и точности принятия человеком решения и ввода этого решения через ЧМИ в систему, а также от правильности принятого решения и количества задач N . Таким образом эргономика ЧМИ играет важную роль в обеспечении качества функционирования организационно-технических систем, которыми являются СЦИУС.

2.3. Основные параметры оценки эргономики человеко-машинных интерфейсов и способы их улучшения

Существует 4-е основных показателя качества эргономики ЧМИ [43]:

- 1) скорость работы пользователей;
- 2) количество ошибок, допускаемых пользователем;
- 3) длительность обучения пользователей;
- 4) степень субъективного удовлетворения пользователей.

Рассмотрим данные основные показатели более подробно, в соответствии с материалами работы [43].

Скорость работы пользователей определяется суммой следующих частных временных показателей, которые совместно образуют цикл действий пользователя $T_{\text{польз}}$:

- длительности восприятия информации $T_{\text{восп}}$ через ЧМИ, определяющей исходные данные решаемой задачи и скалывающуюся обстановку;
- длительности принятия решения $T_{\text{реш}}$;
- длительности физических действий пользователя $T_{\text{физ.д}}$ по вводу принятого решения посредством ЧМИ в систему;
- длительности реакции системы $T_{\text{реак.с}}$
(как правило $T_{\text{реак.с}} \ll T_{\text{восп}} + T_{\text{реш}} + T_{\text{физ.д}}$).

Чтобы уменьшить влияние негативных факторов, усложняющих и, соответственно, замедляющих процессы восприятия информации, принятия решений и ввода принятого решения в систему, могут использоваться следующие способы:

- непосредственное манипулирование визуальными объектами в ЧМИ;
- фокусирование внимания на важных аспектах;
- объектное или визуальное восприятие целевого процесса;
- возможность отмены ранее отданных команд или исправления ранее введенных исходных данных.

Количество человеческих ошибок являются важным показателем эргономичности ЧМИ. В некоторых случаях ошибки пользователя в отданных командах или в вводе исходных данных относительно легко исправляются. Однако довольно часто минимальная ошибка в отданных командах приводит к совершенно катастрофическим последствиям для системы в целом. Под понятием «человеческая ошибка» в контексте эргономики ЧМИ следует понимать такое действие пользователя, которое не совпадает с его целью.

Выделяют 4-е основных типа человеческих ошибок:

- ошибки, вызванные недостаточным знанием тех процессов или предметной области, в которой пользователь осуществляет процессы управления;
- опечатки в вводимых командах или данных;
- игнорирование или неправильное считывание показаний ЧМИ о состоянии системы;
- моторные ошибки, возникающие вследствие недостаточной точности действий с механическими средствами ввода информации (манипуляторами, рычагами, регуляторами и проч.).

Для снижения вероятности возникновения человеческих ошибок разработчикам ЧМИ нужно направлять усилия на:

- обучение пользователей в процессе работы;
- снижение требований к внимательности пользователя;
- повышение разборчивости и заметности индикаторов ЧМИ;
- снижение чувствительности системы к ошибкам пользователя.

Длительность обучения пользователя работе с ЧМИ можно оценить временем по прошествии которого пользователь перестает совершать «человеческие ошибки» при работе с ЧМИ своевременно вводя через него правильно принятые решения. Считается, что в случае работы с ЧМИ есть два основных способа снизить длительность обучения пользователей:

- повысить общую «ясность» ЧМИ;
- внедрить в ЧМИ обучающие и справочные материалы.

Для повышения степени субъективного удовлетворения пользователей по отношению к ЧМИ целесообразно при его проектировании применить основные принципы современного дизайна. Для субъективной визуальной гармонизации экранного ЧМИ, можно использовать следующие принципы дизайна:

- избегать развязности форм, ярких цветов, острых углов;
- добиваться контраста не сменой насыщенности элементов, а расположением пустот;

- интерфейс должен соответствовать визуальными закономерностями – необходимо привязывать все элементы ЧМИ к узлам воображаемой сетки, а пропорции элементов диалоговых окон ЧМИ к золотому сечению.

Повышение субъективной скорости действий при работе с ЧМИ можно реализовать двумя способами:

- заполнение пауз между событиями путем вывода промежуточной информации;
- разделение крупных действий пользователей на более мелкие, при этом количество работы увеличивается, но зато субъективная длительность этой работы снижается.

3. Основные стандарты, определяющие проектирование эргономичных человеко-машинных интерфейсов

3.1. Группа стандартов ISO 9241

Применительно к задачам проектирования ЧМИ важными являются следующие стандарты из группы стандартов ISO 9241.

Стандарт ISO 9241-210 определяет руководство по проектированию компьютерных интерактивных систем. Стандарт ориентирован на разработчиков таких систем и применим как к аппаратному обеспечению, так и к программному обеспечению.

Стандарты ISO 9241-13, ISO 9241-130 ... ISO 9241-139 ориентированы на регламентацию процессов изучения пользователем ЧМИ и справочной поддержки его работы.

В стандарте ISO 9241-13 приведены рекомендации по составлению руководства пользователя системы в составе ЧМИ и его оценке. Руководство пользователя помогает пользователям выполнять свои задачи в системе. Руководство пользователя должно быть достаточно подробным, чтобы пользователь мог выполнить поддерживаемую системой задачу без приложения чрезмерных усилий.

В группе стандартов ISO 9241-130 ... ISO 9241-139 приведены рекомендации по формированию и проектированию элементов ЧМИ, которые помогают пользователю в изучении и использовании интерактивного интерфейса:

- руководство пользователя;
- поддержка обучения.

Стандарт ISO 9241-20 определяет рекомендации по доступности оборудования и услуг в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). В этом стандарте приведена информация об условиях использования и рекомендации по повышению доступности ИКТ-услуг. Показано, что доступность ИКТ возрастает с расширением диапазона условий, в которых могут быть использованы оборудование и услуги. При этом условия использования состоят из различных компонентов, включая: характеристики пользователя, характеристики ИКТ-задач, характеристики оборудования (аппаратного обеспечения, программного обеспечения и материалов) и характеристики физической и социальной сред. Даны рекомендации как условия использования должны быть использованы при планировании, разработке, приобретении и оценке оборудования и услуг в области ИКТ. С учетом ориентированности ISO 9241-20 на сетевые системы обмена информацией именно этот стандарт может стать основой для разработки доступного оборудования и ИКТ-систем в составе территориально-распределенных ОТС. ISO 9241-20 является стандартом высокого уровня, применимым ко всему оборудованию и услугам в области ИКТ, и не содержит детальных описаний для оборудования или услуги.

Стандарт ISO 9241-11 вводит понятие «пригодность использования» и определяет информацию, необходимую для разработки требований к системе или оценки пригодности его использования на основе критериев производительности работы и удовлетворенности пользователей.

Помимо рассмотренных стандартов, в проектировании ЧМИ следует ориентироваться на стандарты ISO 9241-120 ... ISO 9241-129, ISO 9241-14 ...

ISO 9241-17, ISO 9241-140 ... ISO 9241-14, ISO 9241-920, ISO 14915-1, ISO 14915-2 и ISO 14915-3, которые были рассмотрены ранее в работе автора [40], посвященной семантической интероперабельности ЧМИ.

3.2. Стандарт ISO/TS 18152

Стандарт ISO/TS 18152 определяет модель зрелости организации с точки зрения взаимодействия «человек – система», а также позволяющая оценить пригодность использования, полезность и безопасность. Этот стандарт описывает способы преодоления проблем взаимодействия между человеком и технической системой.

3.3. Группа стандартов ISO/IEC TR 25060

В группе ISO/IEC TR 25060 описано семейство стандартов, устанавливающих требования и оценку интерактивных систем, называемое «общим промышленным форматом». Целью ISO/IEC TR 25060 является общий обзор структуры и содержания общим промышленным форматом, определение элементов его структуры и их взаимосвязи. Установлены предполагаемые пользователи общего промышленного формата и условия его использования.

3.4. Стандарт ISO/TR 18529

Международный стандарт ISO/TR 18529, основан на ISO 9241-210 и содержит модель, основанную на процессах человеко-ориентированного проектирования, описанных в ISO 9241-210. Документ может быть использован для составления спецификаций, оценки и усовершенствования процессов разработки и эксплуатации системы. Модель, представленная в ISO/TR 18529, описывает процессы, которые должны быть выполнены организацией для достижения ее целей. Несмотря на то, что модель в основном используется для оценки того, насколько хорошо организация выполняет процессы, описываемые моделью, она также может быть использована для описания того, что требуется для разработки эффективных организационных и проектных процессов.

Эксперты в области эргономики и в области психологии труда могут использовать эту модель для формирования действий по человеко-ориентированному проектированию продуктов с гарантированным качеством эргономики.

4. Основные подходы и методики разработки эргономичных человеко-машинных интерфейсов

В настоящее время известно несколько методик, обеспечивающих разработку эргономичных ЧМИ. Рассмотрим наиболее известные из них по материалам работ [44, 45].

4.1. Проблемно-центрированный подход к разработке человеко-машинного интерфейса

Одним из наиболее эффективных подходов к разработке ЧМИ, является проблемно-центрированный подход, в основу которого положена ориентация на специфику задач, которые нужно будет решать пользователю в системе. Эти задачи, как правило, уже известны на самой ранней стадии разработки системы, и они могут использоваться для формирования требований к ЧМИ. Основными этапами проблемно-центрированного подхода разработки ЧМИ являются [44]:

- анализ целей и задач системы;
- анализ задач, решаемых пользователем и действий которые требуются от них;
- анализ навыков, возможностей и уровня компетенции пользователей;
- выбор наиболее типовых задач;
- заимствование наиболее удачных элементов и возможностей взаимодействия из других ЧМИ для решения сходных типовых задач;
- предварительное формирование эскизного проекта по дизайну ЧМИ;
- анализ эргономики эскизного проекта дизайна ЧМИ;
- создание макета или прототипа ЧМИ;
- тестирование ЧМИ с пользователями;

- итерационный процесс улучшения эргономики ЧМИ на основе результатов его тестирования пользователями;
- формирование окончательной версии ЧМИ, встраивание его в систему;
- отслеживание эргономики ЧМИ в процессе эксплуатации, выявление проблемных аспектов или возможностей по улучшению;
- улучшение и доработка ЧМИ.

В более полном виде проблемно-центрированный подход к разработке ЧМИ изложен в работе [44].

4.2. Каскадная методика (методика «водопад»)

Каскадная методика (или как ее еще называют «водопад») разработки ЧМИ основывается на довольно старой, но хорошо себя зарекомендовавшей методике последовательного прохождения основных этапов проектирования технических систем. Особенностью этой методики является жесткая иерархия этапов разработки, четкая постановка задачи, а также то, что каждый из этапов должен полностью завершиться до начала следующего этапа. Основными этапами каскадной методики разработки ЧМИ являются:

- определение требований к ЧМИ;
- формирование эскизного проекта по дизайну ЧМИ;
- проектирование ЧМИ;
- реализация ЧМИ;
- тестирование и отладка ЧМИ;
- интеграция ЧМИ в систему;
- поддержка эксплуатации ЧМИ: внесение новой функциональности и устранение ошибок.

4.3. Методика SWT-анализа

Название этой методики образовано от английских слов Cognitive Walkthrough (познавательный сквозной контроль). SWT-анализ – это формализованный способ представления мыслей и действий пользователей,

когда они пользуются ЧМИ в первый раз. Основные рекомендации по проведению SWT-анализа сводятся к оценкам ответов на следующие вопросы:

- будут ли пользователи пытаться достичь того или иного целевого эффекта, с помощью выполнения определенных действий?
- найдут ли пользователи элемент управления (кнопку, меню, переключатель и т.д.) для осуществления требуемого действия?
- если пользователи нашли элемент управления, поймут ли они, что он производит тот эффект, который им нужен?
- после того как действие произведено, будет ли понятен пользователям отклик системы, который они получают, чтобы быть уверенным что они осуществили именно то действие, которое привело к требуемому целевому эффекту?

SWT-анализ фокусируется в основном на проблемных аспектах, которые возникают у пользователей при первом взаимодействии с ЧМИ, без предварительного обучения или предварительных тренировок. Такая постановка вопроса чрезвычайно важна для таких систем как банкоматы или терминалы оплаты. Однако, сходные ситуации могут возникнуть при необходимости пользователя взаимодействовать с уже знакомым ЧМИ в новой ситуации. Примером этого может быть взаимодействие пилота с ЧМИ самолета при управлении самолетом в нештатной критической ситуации.

4.4. Методика GOMS-анализа

Аббревиатура GOMS означает «Goals, Operations, Methods, Selections rules» – цели, операции, методы, правила выбора. В отличие от SWT-анализа, GOMS-анализ ориентирован на оценку эффективности работы пользователя с уже знакомым ЧМИ по показателям трудоемкости выполнения типовых задач. GOMS-анализ состоит из формального описания задач (goals) пользователя, необходимых для достижения цели функционирования системы. Задачи представляются последовательностями действий с ЧМИ (в терминологии GOMS-анализа – methods), состоящих из отдельных элементарных операций

(operations), которые выполняет пользователь. Задачи, действия и операции образуют иерархическую структуру достижения цели. Если существует более одного пути в этой структуре, то целью GOMS-анализ является выработка правил выбора (selections rules) наименее трудоемкого пути достижения цели.

Общая последовательность проведения GOMS-анализа следующая:

- цель перевода системы в требуемое состояние разбивается на задачи (goals), которые должен выполнить пользователь путем взаимодействия с ЧМИ;
- для каждой задачи описываются действия (methods) пользователя;
- сложные действия, могут описываться через последовательности более простых действий;
- для каждого действия формируется конечная последовательность элементарных операций (operations);
- добавляются паузы на мыслительную подготовку пользователя к совершению операций и на ожидание отклика ЧМИ на уже совершенные операции;
- считается общее время в секундах, затрачиваемое пользователем на достижение цели или решения конкретной задачи.

GOMS-анализ позволяет оценить, сколько времени и элементарных операций потребуется опытному пользователю для достижения заданной цели при использовании данной модели интерфейса. Более подробные сведения о GOMS-анализе можно найти в работах [44, 45].

5. Основные принципы разработки эргономичного человеко-машинного интерфейса

Сформулируем основные принципы, т.е. так называемые «главные правила», которыми должен руководствоваться разработчик для формирования эргономичного ЧМИ. Эти принципы формулируются по результатам обобщения материалов работ [44-47].

5.1 Базовые принципы дизайна человеко-машинного интерфейса

Базовыми принципами дизайна ЧМИ являются [44]:

- естественность и интуитивная понятность;
- непротиворечивость;
- отсутствие избыточности;
- наличие и доступ к системе помощи;
- гибкость.

5.2 Принципы Нильсона-Молича

В 1990 г. Якоб Нильсен (Jakob Nielsen), известный консультант по веб-дизайну и его партнер Рольф Молик (Rolf Molich), еще один выдающийся эксперт по вопросам использования продуктов, обнародовали основные принципы, которые могут помочь в разработке удобного пользовательского интерфейса [46, 48]:

- обеспечьте простое и естественное взаимодействие;
- покажите статус и процессы системы;
- нужно взаимодействовать на языке пользователя;
- пользователь должен узнавать, а не вспоминать;
- будьте последовательны, используйте унификацию и стандартизацию;
- пользователь должен контролировать систему и ему должна быть обеспечена разумная свобода действий;
- обеспечьте гибкость и удобство использования;
- интерфейс должен быть эстетичным и иметь минималистический дизайн;
- для пользователя должна быть обеспечена помощь в распознавании, диагностике и исправлении ошибок;
- создайте интерактивную систему помощи и документации.

5.3 Принципы Константине-Локвуд-Раскина

Согласно подходу Ларри Константине (Larry L. Constantine) и Л. Локвуд (Lucy A. D. Lockwood) [52], при проектировании дизайна ЧМИ следует руководствоваться следующими принципами:

- принцип структуры – нужно структурировать ЧМИ помещая связанные элементы интерфейса вместе и разделять элементы, несвязанные между собой при решении целевых задачи, при этом сходные задачи должны достигаться сходными действиями с похожими элементами интерфейса;
- принцип простоты;
- принцип наглядности;
- принцип обратной связи;
- принцип толерантности – ЧМИ должен быть гибким и толерантным к пользователю, снижая риски человеческих ошибок и неправильного использования системы, позволяя отменять и повторять действия, а также предотвращать ошибки, где это возможно;
- принцип повторного использования – ЧМИ должен повторно использовать внутренние и внешние элементы и их поведение, тем самым уменьшая необходимость переосмысления и запоминания пользователем новых элементов интерфейса и действий с ними.

Согласно подходу Дж. Раскина [52], дополнительно к вышеуказанным принципам, следует добавить еще три принципа.

- принцип безвредности – ЧМИ не должен причинять вред работе пользователя или своим бездействием допускать, чтобы этой работе наносился вред;
- принцип минимизации работы пользователя;

- принцип монотонности – именно пользователи должны задавать удобный для них темп взаимодействия с системой.

6. Основные метафоры человеко-машинного интерфейса

Под метафорой ЧМИ понимают концептуальный подход к вопросу организации взаимодействия человека и технической системы. Метафора интерфейса определяет суть основных принципов о том, как интерфейс взаимодействует с пользователем. Основная роль метафоры интерфейса заключается в том, что она способствует лучшему пониманию семантики взаимодействия, а также обеспечивает визуальное представление диалоговых объектов и определяет набор манипуляций пользователя с ними.

Далее представлено обобщение наиболее широко распространённых метафорах интерфейса, по материалам работ [44, 49].

6.1. Метафора «слуга»

Основная идея метафоры интерфейса-слуги – фактически полное отсутствие этого интерфейса, точнее, его абсолютная незаметность для пользователя. Основные характеристики хорошего слуги: исполнительный, ненавязчивый, недорогой, всегда сопровождающий своего хозяина. В соответствии с этими канонами сформировано и это направление развития ЧМИ. Однако, до сегодняшнего дня эта метафора интерфейса широкого распространения в реальных ЧМИ технических систем не получила, несмотря на явно присутствующую в названии историческую подоплеку.

Примером такого интерфейса может служить технология «умный дом»: будильник, зазвонив утром, оповещает кофеварку о «побудке» хозяина, кофеварка спрашивает, хотите ли вы кофе, в это время на настенную графическую панель выводятся новости с учетом ваших интересов и вкусов, устанавливается любимая вами температура воды в ванне и т.д.

При реализации интерфейса-слуги сложной технической системы возникают непреодолимые сложности в управлении сервисами, реализующими отдельные функции, и просто катастрофический рост количества сервисов по мере развития как потребностей пользователя и целей функционирования системы. Пока речь идет об управлении простыми бытовыми процессами, она смотрится вполне презентабельно, однако применительно к управлению сложными техническими процессами, в которых человек является ключевым лицом, принимающим решения, данная метафора слабо применима.

6.2. Метафора «ускоритель»

Интерфейс, проектированный в соответствии с метафорой «ускоритель», ориентирован, прежде всего, на интенсификацию информационного обмена технической системы с пользователем, сокращение количества необходимых операций для постановки задач, облегчение восприятия и осознания результатов выполнения целевых задач пользователем.

Эта метафора в той или иной форме используется в качестве концептуальной основы для всех существующих ЧМИ. Широкое применение она получила в специализированных ЧМИ управления критическими техническими системами, предназначенными для работы в реальном времени и высоко требовательных к надежности. Для таких ЧМИ разработчиками делается все чтобы довести до минимума управляющие органы интерфейса и операции с ними: одна-две кнопки, многопозиционный рычаг (аналог джойстика), системы позиционирования головы, зрачков глаз и т.д.

6.3. Языковая метафора

Языковая метафора предполагает общение пользователя с технической системой посредством языкового ввода команд и данных, а также получения отклика от системы в виде аналогичных языковых сообщений. Команды, данные и сообщения могут отображаться на устройстве визуализации в знаково-символьной форме или воспроизводиться в виде речи. При этом языковые

команды и сообщения могут быть частью специально разработанного языка или представлять собой псевдо-естественную речь.

Реализация языковой метафоры в виде ЧМИ «командной строки», в которых ввод команд и данных, а также сообщения обратной связи от системы последовательно вводятся/выводятся в знаково-символьной форме уже давно реализованы в виде одного из наиболее эффективных и старейших компьютерных интерфейсов.

ЧМИ на основе естественно-языкового акустического диалога с пользователем в настоящее время реализован в виде отдельных экспериментальных интерфейсов типа Google-помощника или ассистента «Сири» в смартфонах. Вместе с тем, применительно к ЧМИ управления сложными техническими системами естественно-языковой вербальный интерфейс не только не реализован, но и по всей видимости и не целесообразен ввиду того, что в критической ситуации подготовленному пользователю проще быстро нажать нужные кнопки, нежели сформулировать, громко и четко произнести сложную вербальную акустическую команду.

6.4. Метафора «рабочий стол»

Метафора «рабочий стол» является самой распространенной из метафор современных интерфейсов. В соответствии с этой метафорой визуальное пространство ЧМИ организовано в виде виртуального рабочего стола, на котором размещаются виртуальные окна, папки, документы, инструменты для выполнения отдельных функций и т.д. Существенным недостатком этой метафоры является так называемая проблема «четырех сам»: выбирай сам; вспоминай сам; знай сам; догадывайся сам; а также ограниченность представления виртуальных объектов понятием иерархии документов. Удобство манипуляций с виртуальными окнами в данной метафоре накладывается на недостаточно продуманные механизмы ассоциирования виртуального объекта (файла или документа) со множеством доступных функций или выполняемых задач.

6.5. Метафора «виртуальная реальность»

Метафора «виртуальная реальность» ориентирована на представление интерфейса в виде виртуальных 3D объектов, максимально приближенных к «среде обитания» человека, с которыми пользователь взаимодействует с использованием естественных жестов.

Самые серьезные трудности, связанные с внедрением интерфейсов, основанных на этой метафоре, связаны с необходимостью создания трехмерных натуралистических моделей для абсолютно абстрактных объектов (например, тех же виртуальных окон, папок, документов) и функциональных инструментов. Например, существует ряд реализаций виртуального пространства как для систем Windows, так и для Unix в котором пользователь совершает путешествия по виртуальным коридорам файловой системы или посещает комнаты виртуальных менеджеров различных устройств. В связи с отсутствием общепринятого подхода к визуализации виртуальных объектов, а также невысокой эргономики таких 3D интерфейсов относительно своих 2D аналогов, они не получили широкого распространения несмотря на то, что производительность практически любого современного компьютера позволяет реализовать если не сугубо трехмерные, то хотя бы псевдотрехмерные модели подобных интерфейсов.

В будущем интерфейсы на основе метафоры «виртуальная реальность» по всей видимости займут свое место, но в узкоспециализированных системах – системах управления удаленными робототехническими системами, в системах автоматизированного проектирования, в удаленной хирургии и в других областях, где пользователю важен эффект присутствия.

6.6. Метафора «дополненная реальность»

Даная метафора появилась несколько позже метафоры «виртуальная реальность» и предполагала не полное замещение реального мира на виртуальный, а дополнение реального окружения виртуальными элементами, которые бы предоставляли пользователю дополнительную функциональность.

Метафора «дополненная реальность» ориентирована на представление объектов интерфейса «поверх» воспринимаемой реальности, когда виртуальные объекты или элементы интерфейса «монтируются» в поле восприятия человека, привязываясь к реальным объектам, предоставляя по ним дополнительную информацию пользователю. В работе [56] предложено определение дополненной реальности как совмещения виртуального и реального пространств, которые взаимодействуют в режиме реального времени и работают в режиме отображения 3D объектов.

В настоящее время ряд компаний разработали устройства дополненной реальности (например: Google Glass, Microsoft HoloLens, Epson Moverio и др.), а интерфейсы на основе этой метафоры широко используются в пилотировании самолётов, поддержки сложных технических или сборочных операций, для информационного сопровождения экскурсий в музеях, проведения хирургических операций, в военной области и т.д.

6.7. Теоретико-множественная метафора

Теоретико-множественная метафора в формализованном виде может быть представлена как двумерный граф (матрица), в строках которого размещены объекты-данные, а в столбцах – инструменты их обработки и преобразования. В этом случае путь в графе по отдельным вершинам (каждая вершина расположена на пересечении соответствующей строки и столбца) будет соответствовать последовательности выбора нужных объектов с данными и применению к ним требуемых инструментов обработки в целях достижения пользователю требуемого результата.

К сожалению, интерфейсов общего назначения, использующих подобную метафору в качестве основы, не существует, хотя очень близкие по характеру идеи заложены в успешно эксплуатируемых системах управления производственными процессами и технологическим оборудованием реального времени.

7. Основные типы широко-распространенных человеко-машинных интерфейсов

Разработчики технических систем зачастую рассматривают ЧМИ отдельно от функциональности системы, как некоторое дополнение. Пользователи же систем, как правило, не разделяют функциональность системы и функциональность ЧМИ. Если какие-то функции не отражены в ЧМИ, то для пользователя такой функциональности самой системы тоже как бы не существует.

Достаточно часто под ЧМИ понимают внешний вид пульта управления или виртуального рабочего стола, отображаемого на экране. Однако на практике именно через ЧМИ пользователь воспринимает всю систему в целом, а значит, понимание ЧМИ как внешнего вида является слишком узким. В действительности для пользователя ЧМИ олицетворяет саму техническую систему – те данные, которые не предоставляются пользователю посредством ЧМИ, для пользователя как бы отсутствуют в системе, как и те функции системы, которые не могут быть вызваны пользователем посредством ввода команд через ЧМИ.

ЧМИ включает в себя все аспекты дизайна, которые оказывают влияние на взаимодействие пользователя и системы. Это не только экран, на котором отображается информация для пользователя. ЧМИ состоит из следующего множества составляющих:

- набор задач пользователя, которые он решает при помощи системы;
- используемая ЧМИ метафора (например, рабочий стол или языковая метафора в виде командной строки т.п.);
- элементы управления системой;
- элементы навигации между элементами, подсистемами и функциями системы;
- визуальный дизайн внешнего вида элементов ЧМИ.

7.1. Структура и классификация интерфейсов

В структуре ЧМИ можно условно выделить [44]:

- 1) декоративная составляющая (внешний вид и компоновка элементов интерфейса);
- 2) активная составляющая (логика работы с элементами интерфейса, реакция на действия пользователя, предоставление динамической информации пользователю о состоянии системы и т.д.):
 - операционные и информационные образы моделей вычислений;
 - управляющие средства интерфейса.

Управляющие средства интерфейсов различных систем и изделий могут существенно различаться. В связи с этим целесообразно провести хотя бы предварительную классификацию как интерфейсов, так и их управляющих средств.

На первом уровне такой классификации можно выделить классы интерфейсов, декомпозиция на которые основана на использовании тех или иных базовых технических средств человеко-машинного взаимодействия. Исторически появление таких средств вызывает возникновение новых классов пользовательского интерфейса. Впрочем, с появлением новых средств использование интерфейсов старых классов не обязательно полностью прекращается. Класс интерфейса является довольно широким понятием. Классы, определяемые базовыми средствами человеко-машинного взаимодействия, целесообразно разбить на подклассы, например, в пределах графического класса различаются подклассы: двухмерные и трехмерные интерфейсы. По этой классификации широко распространенный интерфейс WIMP (Windows – Icons – Menus – Pointing device) относится к первому из указанных подклассов. Сегодня развиваются такие новые классы интерфейсов, как SILK (речевой), биометрический (мимический) и семантический (общественный) [51]. Не претендуя на полноту классификации интерфейсов, приведем схему, отражающую соотношение классов, видов и типов пользовательского интерфейса (таблица 1).

Таблица 1. Классификация ЧМИ [44, 51]

Классы интерфейса	Подклассы	Примеры типов управляющих средств
Тактильный	Традиционный пульт	Переключатели, кнопки, регуляторы
	Манипуляторный	Рычаги, джойстики, манипуляторы
	Копирование движений	Система копирования движений человека
Символьный	Командный интерфейс	«Вопрос-ответ»
		Командная строка
Графический	Простой графический	Экранные формы
		Управляющие клавиши
	Графический, двухмерный	Меню
		Графические элементы управления
		Прямое манипулирование указателем
Трехмерный	Конические деревья	

Наиболее старейшим ЧМИ, но до сих пор широко используемым в механических и технических системах является тактильный ЧМИ. Управляющими средствами такого ЧМИ являются переключатели, кнопки, рычаги, манипуляторы, системы копирования движения и проч.

Применительно к экранным ЧМИ, средства управления в которых представляются в виде визуальных интерактивных элементов, в настоящее время оформилось два принципиально различных подхода. Первый, исторически более ранний подход состоит в предоставлении пользователю некоторого командного языка, в котором последовательность действий пользователя подразумевает необходимость ввода отдельных команд. Этот подход известен как интерфейс командной строки (Command Line Interface – CLI). Другой подход состоит в символическом изображении доступных действий в виде картинок – иконок (icons) на экране и предоставление пользователю возможности выбирать

действия при помощи «мыши» или другого манипуляторного устройства ввода. Этот подход известен как графический пользовательский интерфейс (Graphical User Interface – GUI). При этом один из подклассов двумерных GUI принято обозначать аббревиатурой WIMP (Windows – Icons – Menus – Pointing device), что отражает основные элементы такого интерфейса: окна, иконки/пиктограммы, меню и манипуляторное устройства типа «мышь». Интерфейсы типа WIMP, завоевавшие популярность вместе с компьютерами Macintosh в 1984 г. и позднее скопированные, в частности, в операционной системе Windows для персональных компьютеров, доминируют в широком спектре технических систем и по сей день.

Рассмотрим особенности этих, наиболее широко распространённых ЧМИ, более подробно.

7.2. Тактильный интерфейс

Тактильные интерфейсы являются традиционным типом ЧМИ, и по степени реализации управляющих средств, его можно декомпозировать следующим образом:

- традиционный пульт управления механическим или техническим средством, в котором управляющими средствами являются механические тумблеры, переключатели, кнопки, а средствами обратной связи и представления пользователю информации – сигнальные лампочки, стрелочные и электронные приборы и т.д.;
- ЧМИ, основанный на преобразовании действий пользователя с рычагами, манипуляторами в эквивалентные движения и действия управляемой технической системы (например, рычаги управления экскаватором, краном или штурвал управления самолетом);
- ЧМИ, основанный на системе точного копирования действий пользователя, применяется для дистанционных действий с радиоактивными или опасными веществами, в дистанционной хирургии и проч.

Тактильные средства управления, в отличие от виртуальных интерактивных средств в виде экранных форм, способны как бы «чувствовать» усилие и «направление» действий пользователя и через подсистему преобразователей ретранслировать это усилие и направление движения в соответствующие действия управляемой системы.

7.3. Интерфейс командной строки

Как уже отмечено выше, в настоящее время самое широкое распространение получили универсальные ЧМИ в виде совокупности экрана, клавиатуры и указателя типа «мышь». Традиционно, первым способом взаимодействия с такими ЧМИ компьютерных систем являлось использование командной строки.

Интерфейс командной строки (CLI – Command line interface) – разновидность текстового ЧМИ, в котором управление технической системой пользователь осуществляет путём ввода с клавиатуры текстовых команд и их параметров, а сообщения системы представляются пользователю в виде текстовых сообщений на экране. Такой интерфейс также известен под наименованиями «консоль» и «терминал» [53, 54].

Стандартный способ работы с интерфейсом командной строки заключается в том, что пользователь в ответ на приглашение системы вводит некоторую команду или группу команд и их параметры, подтверждая ввод нажатием соответствующей управляющей клавиши (как правило «Enter»). Затем ЧМИ интерпретирует команды и выполняет необходимые действия, сопровождая работу выводом на экран в текстовом режиме информации о производимых действиях. При этом ЧМИ может предлагать пользователю ввести дополнительные параметры, выводя запрос и ожидая ввода. Выполнение команды обычно завершается сообщением статуса (успешное или ошибочное завершение) и новым приглашением на ввод команды [53, 54].

7.4. Графический интерфейс

Командные языки требуют от пользователя существенных затрат времени и усилий для изучения. Первое негативное впечатление может создать устойчивый страх перед интерфейсом командной строки, затрудняя его эффективное использование и изучение. Напротив, графический интерфейс предоставляет новому пользователю возможность быстро ознакомиться с доступными возможностями и выбрать желаемые действия. Во многих случаях наглядность вариантов в графическом интерфейсе оказывается важнее богатства возможностей интерфейса командной строки.

Графический интерфейс (GUI – Graphical User Interface) – совокупность средств для взаимодействия пользователя с технической системой, основанная на представлении всех доступных пользователю объектов взаимодействия и функций в виде графических компонентов экрана: окон, значков, меню, кнопок, списков и т.п.

В отличие от интерфейса командной строки, в GUI пользователь имеет произвольный доступ (с помощью устройств ввода – клавиатуры и «мыши») ко всем видимым на экране объектам и осуществляет непосредственные действия с ними, что в свою очередь, позволяет осуществлять действия с соответствующими типами данных, которые хранят эти объекты [55].

Чаще всего элементы интерфейса в GUI реализованы на основе метафоры «рабочий стол» и отображают интерактивную справку о назначении и свойствах каждого элемента интерфейса, что облегчает понимание и освоение такого ЧМИ неподготовленными пользователями. Важнейшие положительные свойства GUI интерфейса [55]:

- возможность непосредственного манипулирования элементами интерфейса и визуализируемыми на экране объектами;
- поддержка «мыши» или другого указателя на экране;
- использование активных графических объектов для интуитивного обозначения элементов интерфейса, а также для вывода данных о состоянии системы;

- наличие областей для ввода команд и данных для работы.

Достоинства GUI интерфейса [55]:

- графический интерфейс является интуитивно понятным для большого числа «средних» пользователей, не прошедших специального обучения;
- графический интерфейс позволит визуализировать работу и результат в большом количестве приложений связанных с обработкой видео и изображений.

Недостатки GUI интерфейса [55]:

- удалённая работа с GUI интерфейсом требует высокоскоростных каналов связи и специального программного обеспечения как на передающей, так и на приемной стороне;
- в таких ЧМИ сложнее автоматизировать рутинные действия пользователя, если это не предусмотрено в самой технической системе;
- чем более сложным является система, тем труднее осваивать его GUI интерфейс, причем эти трудности возрастают нелинейно.

Можно выделить следующие виды GUI интерфейса [55]:

- простой: типовые экранные формы и стандартные элементы интерфейса, визуализируемые непосредственно самой подсистемой GUI;
- истинно-графический, двумерный: нестандартные элементы интерфейса и оригинальные метафоры, реализованные собственными средствами приложения или сторонней библиотекой;
- трёхмерный.

Таким образом, общем случае GUI-интерфейс может двухмерным и трехмерным, а элементы интерфейса могут обозначаться различными объектами. Однако на практике, наиболее широко распространенным подклассом двухмерных GUI является так называемый WIMP (Windows – Icons – Menus – Pointing device) интерфейс.

Название WIMP интерфейс (Windows – Icons – Menus – Pointing device) отражает основные элементы такого интерфейса: окна, иконки/пиктограммы,

меню и манипуляторное устройства типа «мышь». В WIMP интерфейсах все эти элементы на основе метафоры «рабочий стол» формируют визуальный образ, называемый средой рабочего стола.

Заключение

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

1. Одним из основных уровней, составляющих интероперабельность в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012, служит уровень технической интероперабельности, который является наиболее важным с точки зрения практического достижения информационной совместимости реальных информационных систем.
2. Одним из важных процессов информационного взаимодействия в СЦИУС является обмен информацией между пользователями и техническими компонентами системы, осуществляемой посредством ЧМИ. В свете этого можно сделать вывод, что ЧМИ является важнейшим компонентом обеспечения интероперабельности СЦИУС, которому, однако, в известных исследованиях практически не уделено должного внимания.
3. Сформулированы основные параметры оценки эргономики ЧМИ, а также параметры эффективности взаимодействия системы «человек – машина» в целом, на которые влияет эргономика ЧМИ.
4. Рассмотрены особенности проектирования эргономичных ЧМИ – основные подходы, методики, принципы и метафоры разработки. Представлены основные типы ЧМИ, получившие широкое распространение в существующих системах СЦИУС.

Материалы по технической интероперабельности ЧМИ целесообразно в дальнейшем использовать при разработке модели интероперабельности СЦИУС, развивающей и дополняющей материалы проекта ГОСТ Р «Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность».

Финансирование: результаты, представленные в данной работе, получены в рамках госбюджетной темы НИР FFZF-2022-0004.

Автор для переписки: Макаренко Сергей Иванович, mak-serg@yandex.ru

Литература

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. *Systems and software engineering. Vocabulary*. ISO, 2017. 522 p.
2. ГОСТ Р 55062-2012. *Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения*. Москва, Стандартинформ, 2014. 12 с.
3. Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Черницкая Т.Е. Проблема интероперабельности в сетевых системах управления. *Журнал радиоэлектроники*. 2019. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.12.4>
4. Франгулова Е.В. Классификация подходов к интеграции и интероперабельности информационных систем. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2010. №2. С.176-180.
5. Трубникова Е.И. Стратегии интероперабельности продукции в условиях интеграции производителей. *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2010. №12(74). С.84-89.
6. Черницкая Т.Е., Макаренко С.И., Растягаев Д.В. Аспекты информационной безопасности в рамках оценки интероперабельности сетевых систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №4. С.113-121. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.04.P.113>
7. Макаренко С.И., Олейников А.Я., Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем. *Системы управления, связи и безопасности*. 2019. №4. С.215-245. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10408>

8. Маслобоев А.В. Средства поддержки интероперабельности сетевых систем управления региональной безопасностью. *Надежность и качество сложных систем*. 2020. №1(29). С.91-105. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-1-11>
9. Маслобоев А.В. Проблемы и технологии обеспечения интероперабельности информационных систем региональных ситуационных центров. *Информационно-технологический вестник*. 2020. №2(24). С.107-119.
10. Аристов А.В. Обеспечение интероперабельности систем формирования стандартизированных профилей. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2015. Т.11. №4. С.40-43.
11. Аникин Д.В. Критерии оценки применения интероперабельности, заданные условиями принятия решения. *Вестник МГСУ*. 2013. №10. С.249-257.
12. Мальшаков Г.В. Комплекс программ достижения интероперабельности прикладного программного обеспечения. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2019. Т.8. №4(48). С.83-88.
13. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г., Дукельский К.В. Метод численной оценки технической интероперабельности. *Кибернетика и программирование*. 2017. №3. С.23-38. <https://doi.org/10.25136/2306-4196.2017.3.23540>
14. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Средства интероперабельности в распределенных геоинформационных системах. *Журнал радиоэлектроники*. 2015. №3. <http://jre.cplire.ru/win/mar15/7/text.pdf>
15. Головин С.А., Андрианова Е.Г., Гудкова О.К., Лаптев А.Н. Методика формирования профилей стандартов информационных технологий в интересах обеспечения интероперабельности сложных распределенных систем. *Журнал радиоэлектроники*. 2014. №12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html>

16. Гуляев Ю.В., Журавлев Е.Е., Олейников А.Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор. *Журнал радиоэлектроники*. 2012. №3. <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf>
17. Башлыкова А.А., Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Фомин И.А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления. *Журнал радиоэлектроники*. 2020. №6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.6.13>
18. Черницкая Т.Е., Макаренко С.И., Растягаев Д.В. Аспекты автоматизации функций управления, принятия решений и сетевого взаимодействия в рамках оценки интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №3. С.138-145. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.138>
19. Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Фомин И.А. Основные положения концепции обеспечения интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №3. С.122-131. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.122>
20. Олейников А.Я. Актуальное состояние проблемы интероперабельности. *ИТ-Стандарт*. 2020. №2(23). С.37-42.
21. Козлов С.В. Научно-методические проблемы обеспечения интероперабельности сетевых систем на основе комплексного применения методов процессного и проектного управления. *ИТ-Стандарт*. 2020. №1(22). С.17-24.
22. Козлов С.В., Кубанков А.Н. Процессные основы интеграции и комплексного развития информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем. *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2020. Т.12. №1. С.23-31. <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2020-12-1-23-31>

23. Башлыкова А.А., Зацаринный А.А., Каменщиков А.А., Козлов С.В., Олейников А.Я., Чусов И.И. Интероперабельность как научно-методическая и нормативная основа бесшовной интеграции информационно-телекоммуникационных систем. *Системы и средства информатики*. 2018. Т.28. №4. С.61-72. <https://doi.org/10.14357/08696527180407>
24. Макаренко С.И., Черницкая Т.Е. Аспекты совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках оценки интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. *Журнал радиоэлектроники*. 2020. №10. С.7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.4>
25. Макаренко С.И., Карутин А.Н. Перспективы и проблемные вопросы обеспечения интероперабельности интегрированных космических систем. *Системы управления, связи и безопасности*. 2021. №4. С.228-247. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2021-4-228-247>
26. Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности авиационных беспилотных летательных аппаратов. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2021. №4. С.3-11. <https://doi.org/10.14357/20718632210401>
27. Белов С.Г., Олейников А.Я., Якименко Е.Е. Вопросы обеспечения интероперабельности в группировках авиационных беспилотных летательных аппаратов в РФ. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2020. №4. С.3-16. <https://doi.org/10.14357/20718632200401>
28. Башлыкова А.А., Растягаев Д.В. Интероперабельность репозитория версий инструментального программного обеспечения вычислительных комплексов. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2021. №1. С.136-142. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.21.01.P.136>
29. Якименко Е.Е. Применение единого подхода к решению проблемы интероперабельности беспилотников. *ИТ-Стандарт*. 2020. №2(23). С.58-63.

30. Каменщиков А.А. Проблема интероперабельности в области беспилотников. *ИТ-Стандарт*. 2019. №3(20). С.42-49.
31. Kubankov A.N., Kozlov S.V. Theoretical aspects of process synchronization in ensuring the interoperability of integrated control systems. *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings*. 2021. <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488382>
32. Зацаринный А.А., Козлов С.В. Процессные аспекты нормативного регулирования работ по комплексному обеспечению информационной безопасности и интероперабельности интегрированных систем управления. *Информатика: проблемы, методы, технологии. Материалы XXI Международной научно-методической конференции*. Воронеж, Вэлборн, 2021. С.1167-1176.
33. Куприянов А.А. Аспекты интероперабельности автоматизированных систем. *Автоматизация процессов управления*. 2009. №4. С.40-49.
34. Куприянов А.А. Сетецентрические военные действия и вопросы интероперабельности автоматизированных систем. *Автоматизация процессов управления*. 2011. №3. С.82-97.
35. Осипенков М.Н., Узякаев И.Н. Основные проблемы достижения интероперабельности информационных систем органов государственного и военного управления при решении задач обороны. *Военная мысль*. 2020. №5. С.143-149.
36. Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Чусов И.И., Широбокова Т.Д. Проблема интероперабельности в информационных системах военного назначения. *Журнал радиоэлектроники*. 2016. №11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/8/text.pdf>
37. Башлыкова А.А., Олейников А.Я. Интероперабельность и информационное противоборство в военной сфере. *Журнал радиоэлектроники*. 2016. №12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec16/14/text.pdf>

38. Башлыкова А.А., Каменщиков А.А., Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности как средства бесшовной интеграции функциональных подсистем в составе перспективных автоматизированных систем военного назначения. *Журнал радиоэлектроники*. 2018. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2018.9.11>
39. *Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment*. Version 1.0. NCOIC. 2008. 154 p.
40. Макаренко С.И. Семантическая интероперабельность человеко-машинных интерфейсов в сетевых системах. *Журнал радиоэлектроники*. 2022. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.2.4>
41. ГОСТ Р 55241.1-2012 / ISO / TR 9241-100:2010. *Эргономика взаимодействия человек-система*. Москва, Стандартинформ. 2018. 39 с.
42. Климов Е.А. Характеристики систем «человек - машина». *Инженерная психология и эргономика*. 2018. https://studme.org/202868/menedzhment/harakteristiki_sistem_mashina
43. Яковина И.Н. Основы человеко-машинного взаимодействия [WEB]. *Fandom*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: https://gos-it.fandom.com/wiki/Основы_человеко-машинного_взаимодействия
44. Мерзлякова Е.Ю. *Человеко-машинное взаимодействие*. Новосибирск, СибГУТИ. 2009. 49 с.
45. Раскин Дж. *Интерфейс. Новые направления в проектировании компьютерных систем*. Москва, Символ-Плюс. 2005. 69 с.
46. Мерзлякова Е.Ю. *Человеко-машинное взаимодействие*. Учебно-методическое пособие. Новосибирск, СибГУТИ, 2015. 34 с.
47. Сергеев С.Ф. *Инженерная психология и эргономика*. Учебное пособие. Москва, НИИ школьных технологий. 2008. 176 с.
48. Эвристики Нильсена для решения проблем пользовательского интерфейса [WEB]. *Askusers*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: <https://askusers.ru/blog/pravila/evristiki-nilsena-kak-ikh-ispolzovat/>

49. Метафоры пользовательского интерфейса [WEB]. *IT для бизнеса*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: https://ko.com.ua/metafory_polzovatel'skogo_interfejsa_129360
50. Макаренко С.И. *Справочник научных терминов и обозначений*. Санкт-Петербург, Научное издание, 2019. 254 с.
51. Волченков Е. Стандартизация пользовательского интерфейса. *Открытые системы*. 2002. №04. <https://www.osp.ru/os/2002/04/181312>
52. Constantine L.L., Lockwood L.A.D. *Software for Use: A Practical Guide to the Models and Methods of Usage-Centered Design*. Addison-Wesley Professional. 1999.
53. Командный интерфейс пользователя [WEB]. *Mognovse.ru*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: <https://mognovse.ru/tv-komandnij-interfejs-polezovatelya-interfejs-komandnoj-stro.html>
54. Пользовательский интерфейс [WEB]. *Информатика. Информация и ее свойства*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: <http://ivansamarin.blogspot.com/2013/02/blog-post.html>
55. GUI Графический интерфейс пользователя [WEB]. *Intellect.icu*. Дата обращения: 09.04.2022. URL: <https://intellect.icu/gui-graficheskij-interfejs-polzovatelya-9531>
56. Azuma R. A Survey of Augmented Reality. *Wayback Machine Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997. P. 355-385.

Для цитирования:

Макаренко С.И. Техническая интероперабельность и эргономика человеко-машинных интерфейсов сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.3.4>