УДК

**Назаренко Н.А., Падерно П.И., Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет /ЛЭТИ/ им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Учет напряженности деятельности оператора при оценке качества пользовательского интерфейса**

С развитием современных технологий, а также с повышением степени автоматизации рабочих мест возрастает функциональная нагрузка на оператора занимающегося в любой сфере деятельности будь то управление экскаватором или пилотирование сверхзвукового истребителя. На данный момент техническое оснащение современных рабочих мест требует от представителей разных профессий освоения компьютерных программ как основных средств труда. Решаемые группами профессионалов задачи изменяются таким образом, что взаимодействие с компьютером становится неотъемлемой частью их работы. И чем выше степень ответственности оператора, тем больше ложится на его плечи нагрузка.

На качество работы человеко-машинного комплекса влияет множество факторов как объективных со стороны окружающей среды, в которой находится система, так и субъективных – исходящих от самой системы в целом. Такие факторы можно разделить на две составляющие исходя из природы их возникновения: первые относятся к человеку – оператору, вторые к самой «машине». Человеческие факторы, положительно влияющие на функционирование системы в целом, это: адаптивность оператора, относительно быстрая обучаемость, избирательность, высокие компенсаторные возможности человеческого организма, самонастраиваемость, эвристичность, способность к работе в конфликтных ситуациях и самоконтролируемость. К отрицательным факторам относятся: стохастичность психофизиологических свойств, ошибочность в выполнении операций, утомляемость, возрастные изменения, напряженность, чувствительность к изменениям окружающей среды, возможность потери работоспособности при стрессовых ситуациях. Все представленные факторы, как положительные, так и отрицательные можно отнести к психофизиологическому состоянию оператора и его индивидуальным особенностям, также на качество функционирования системы со стороны оператора влияет уровень его подготовленности. Со стороны «машины» факторы, влияющие на качество функционирования системы, можно разделить на две составляющие: техническую или аппаратную и программную или информационную часть.

И если с технической составляющей все более-менее просто и понятно, существует множество стандартов и рекомендаций по их проектированию и при правильном учете данных факторов уже на стадии проектирования могут быть обеспечены условия достижения заданной эффективности, то с информационной составляющей дела обстоят несколько сложнее. На данный момент существует недостаточное количество стандартов по разработке интерфейсов и информационных моделей.

Сегодня значительная часть разрабатываемых программных продуктов предназначена для выполнения трудовой деятельности профессионалами в различных областях. Неотъемлемой частью программного продукта является его пользовательский интерфейс (ПИ). Очевидно, что от ПИ всецело зависят функциональные возможности контроля и управления системой, эффективность и в значительной мере надежность деятельности человека. Кроме того, ПИ может существенно влиять на функциональное и эмоциональное состояние человека, вызывая удовлетворение работой или, наоборот, являясь источником стресса и психологического дискомфорта. Негативное влияние ПИ на состояние человека объясняется такими факторами, как неоптимальное распределение функций между человеком и машиной, навязывание неадекватной нагрузки или темпа выполнения трудовой деятельности без учета человеческих возможностей или особенностей решаемых задач, неудобная организация взаимодействия между пользователем и системой. Так, например, слишком медленный темп трудовой деятельности оператора или длительное отсутствие задач может привести к монотонии и, как следствие, к утомляемости и сонливости, что отрицательно скажется не только на эффективности функционирования всей системы, но и на здоровье оператора [1].

Проектирование ПИ – одна из наиболее ответственных задач эргономического обеспечения функционирования сложных человеко-машинных комплексов различного назначения. Беря свое начало от создания пультов управления с традиционными «железными» приборами, сегодня проектирование ПИ – это чрезвычайно широкая сфера, охватывающая огромный спектр цифровых электронных устройств, таких как обычные и карманные компьютеры, различные гаджеты, смартфоны, навигаторы и др.

Очевидно, что эффективный ПИ должен обеспечивать всестороннее использование потенциальных возможностей человека-оператора, технических и программных средств, высокую безошибочность и быстродействие оператора в процессе применения программного обеспечения по назначению. Хорошо спроектированный ПИ должен обеспечивать максимальный комфорт деятельности оператора, в том числе не должен приводить к неоправданному повышению напряженности деятельности, снижению уровня психологических, психофизиологических и физиологических способностей и возможностей, необходимых для эффективного и комфортного выполнения профессиональной деятельности.

Проектирование ПИ условно делится на две части: функциональное проектирование и визуальное проектирование. Целью функционального проектирования является определение набора возможностей, которые должен предоставлять интерфейс человеку для эффективного и качественного выполнения своей профессиональной деятельности. Основой функционального проектирования ПИ является функциональный анализ, в ходе которого строится иерархия функций управления системой [2]. Для этого работа системы представляется как совокупность взаимодействующих функций, описываемых на различных уровнях абстракции – абстрактном, обобщенном, физическом и др. Например, на абстрактном уровне функционирование системы, такой как электростанция, представляется как совокупность процессов преобразования и передачи вещества и энергии. На физическом уровне эти же функции рассматриваются в привязке к конкретному оборудованию – парогенератору, турбине, насосу и т.п.

На следующем этапе определяются функции управления системой, после тщательного анализа которых выполняется распределение этих функций между человеком и автоматикой. Функции, назначенные человеку, детализируются до отдельных задач и операций, которые подвергаются исследованию одним из многочисленных известных методов, например, таких как, метод иерархического анализа задач (HTA – Hierarchical Task Analysis), обобщенный структурный метод и др [3, 4]. В результате анализа задач вырабатываются требования к точности, надежности и быстродействию человека, а также выявляются потенциальные ошибки и ограничения на его работу.

Очевидно, что функциональный анализ призван в итоге предоставить оператору наиболее полный спектр функциональных возможностей, а анализ задач позволяет учесть когнитивные и деятельностные компоненты выполнения операций, что в свою очередь влечет за собой эмоциональную разгрузку, снижение затраченного времени на выполнение профессиональных задач, и как правило, снижение вероятности возникновения различных ошибок.

Целью *визуального проектирования* является кодирование и представление информационной модели системы в виде, пригодном для ее эффективного восприятия с помощью зрительного анализатора человека. В современных ЧМС человек-оператор, как правило, не соприкасается непосредственно с объектом управления и работает лишь с его *информационной моделью*, т.е. с организованной по определенным правилам совокупностью информации о состоянии и функционировании объекта управления и внешней среды. Информационная модель является для оператора «заменителем» объекта и источником информации, на основании которой он формирует конкретную задачу управления, проводит анализ и оценку сложившейся ситуации, принимает решения, планирует управляющие воздействия и оценивает результаты их реализации. Вообще для кодирования информации могут использоваться не только визуальная, но и другие модальности, например слуховая и вибротактильная, однако в данном разделе мы подробно остановимся лишь на зрительной.

Из анализа можно сделать вывод, что наибольшее влияние на напряженность деятельности оператора оказывает визуальная составляющая. С помощью визуального дизайна можно управлять вниманием, выделяя при этом доминирующие элементы, и последовательностью восприятия информации человеком, определяя направление движение зрачков. Исследования в данной области показывают, что движение глаз у разных людей происходит по практически одинаковым траекториям, т.к. это движение бессознательно и инстинктивно. Если компоновка интерфейса удачна, то траектория движения взгляда обладает двумя важными характеристиками: во-первых, она плавная, во-вторых, она обеспечивает пользователю своего рода «экскурсию» по ПИ, раскрывая имеющиеся возможности и, при этом, не перегружая его подробностями. Соответственно, неудачные компоновочные решения приведут к скачкообразному движению глаз, что в свою очередь вызовет быстрое утомление глаз, снижение работоспособности оператора и различные заболевания глаз.

Компоновка предоставляемой оператору информации и элементов управления служит механизмом уменьшения нагрузки на память пользователя. Интерфейс должен защищать память от излишней загруженности. При этом учет перцептивных и когнитивных закономерностей восприятия и переработки информации позволил сформулировать правила графического расположения информации, адекватного структуре действий субъекта труда [5]. Снижение нагрузки на память происходит с помощью механизмов распознавания, использования долговременной памяти вместо кратковременной, ассоциаций и структурирования объектов понятным для пользователя способом.

При неудачном визуальном представлении информации зачастую вместо ожидаемого облегчения трудовой деятельности ПИ увеличивает психологическую напряженность труда, что является причиной возникновения ошибок, снижения скорости выполнения задач, низкой удовлетворенности пользователя своим трудом.

Анализ тенденций развития сложных информационных систем и технологий показывает, что разрыв между возможностями человека и возрастающими потребностями системы увеличивается. Возрастает интенсивность информационных потоков, повышаются требования к оператору по точности управления, значительно увеличивается цена ошибки.

На данный момент существует ряд методов, позволяющих оценить качество разработанного ПИ, но, ни один из них не рассматривает в комплексе человека, деятельность и сам ПИ. Для более точной и объективной оценки качества ПИ необходимо комплексировать четыре вида информации: напряженность оператора, зрительные маршруты, зоны внимания, а также процессы и операции, происходящие в ЧМС. Комплексирование этих данных и последующий их анализ позволяет наиболее объективно оценить качество ПИ и выявить проблемы в нем.

Зрительные маршруты оператора, можно наблюдать как в реальном времени эксперимента, так и в ходе последующего анализа. Каждая фиксация взгляда отображается в виде точки, диаметр которой напрямую связан с величиной длительности фиксации. Анализ зрительных маршрутов позволяет выделить последовательность обращения человека к тем или иным элементам интерфейса, а также оценить, в какой момент времени зафиксирован определенный элемент интерфейса.

Если обозначить $K\_{Пi}$ за коэффициент полезности $i$ задачи, решаемой с помощью ПИ системы, а $T\_{i}$ за время выполнения $i$ задачи, то абсолютный коэффициент полезности всего ПИ равен: $K\_{П}=\frac{\sum\_{}^{}K\_{Пi}\*T\_{i}}{\sum\_{}^{}T\_{i}}$, при этом коэффициент полезности $i$ задачи вычисляется по формуле $K\_{пi}=\frac{\sum\_{}^{}S\_{i}^{''}}{\sum\_{}^{}S\_{i}^{'}+\sum\_{}^{}S\_{i}^{''}}$, где $S\_{i}^{'}$– площадь точки взгляда, входящей в траекторию движения взгляда при решении $i$-й задачи, а $S\_{i}^{''}$– площадь ключевой точки взгляда, входящей в траекторию движения взгляда при решении $i$-й задачи.

Зная абсолютный коэффициент того или иного варианта ПИ можно выбрать оптимальный вариант ПИ по необходимым критериям, таким как, например, время выполнения той или иной задачи.

Зоны внимания представляют собой суммарную длительность фиксаций взгляда человека за определенный период времени на наблюдаемой картине. Тем самым можно определить, какие визуальные элементы привлекли внимание человека, а какие нет.

Напряженность деятельности оператора является одной из количественных характеристик качества ПИ. Она может возникнуть вследствие неудобного графического интерфейса, а также ряда других причин, и повлиять на эффективность функционирования ЧМС. Чем больше в ПИ ошибок, тем больше время выполнения определенной задачи, соответственно больше напряженность пользователя и менее эффективна работа системы «человек-машина». И, наоборот, чем меньше напряженность пользователя, тем меньше он затрачивает времени на выполнения конкретных задач и тем меньше вероятность возникновения ошибок, но данная цепочка не всегда верна. Можно предположить, что при минимальной вероятности возникновения ошибок, пользователю может потребоваться больше времени для завершения той или иной задачи вследствие, большей напряженности пользователя. Поэтому, хотя данные взаимосвязи и вполне логичны, но не обязательны, поэтому можно рассматривать каждый фактор в отдельности друг от друга.

Неэффективность деятельности оператора в большинстве ситуаций обусловлена не только жесткими требованиями к оператору и информационным наполнением деятельности, но и видом и способом предъявления информации, т.е. во многом зависит от личностных особенностей оператора и интерфейса. Возникающая при работе оператора напряженность деятельности является субъективной для данного оператора.

Возникающая при работе оператора напряженность деятельности объективно может быть оценена на основе постоянного измерения изменений различных физиологических параметров, таких как давление, кожно-гальваническая реакция (КГР), частота пульса и др. показатели [1, 7]. Но подобные методы уже сами по себе создают некоторую напряженность для оператора, отвлекая его от работы присутствием датчиков с которыми он вынужден мириться, следовательно, такие методы непригодны при оценке качества интерфейса. Кроме этого, в подавляющем большинстве случаев, отсутствует информация о том, какие значения показателей для данного оператора (пользователя) являются нормой, поэтому в тех случаях, когда речь идет о влиянии ПИ на напряженность деятельности необходимо использовать субъективную оценку оператором напряженности его деятельности.

Введем следующие обозначения:

$μ(t)$ – мгновенное значение напряженности деятельности $μ(t)\geq 0;$

$M(t\_{1}, t\_{2})$ – интегральное значение напряженности на интервале $[a, b]$;



$m(t\_{1}, t\_{2})$ – среднее значение напряженности на интервале $[a, b]$

.

Отсюда следует $M(t\_{1},t\_{2})=(t\_{2}-t\_{1})\*m(t\_{2},t\_{1})$. Из определения интегрального значения напряженности следует, что функция $M(X, Y)$ является аддитивной, то есть выполняется следующее соотношение $M(X, Z)=M(X,Y)+M(Y,Z)$, где X<Y<Z. Тогда выполняется равенство

,

которое позволяет оценивать такую важную характеристику деятельности, как среднее значение напряженности оператора при выполнении некоторого алгоритма (при решении конкретной задачи).

Заметим, что хотя истинное значение напряженности деятельности неизвестно, но её субъективная оценка оператором в конкретные моменты времени может быть как пессимистической, так и оптимистической, т.е. зависит от некоторых предпочтений оператора [6].

Для оценки напряженности деятельности оператора был разработан автоматизированный модуль оценки напряженности деятельности. При эксплуатации модуля реализованы методика определения моментов предъявления информации и методика обработки результатов [6].

Модуль оценки напряженности деятельности, позволяющий, параллельно с основной деятельностью оператора, фиксировать самооценку напряженности деятельности оператора в конкретные моменты времени.

Назначение модуля: оценка напряженности деятельности оператора при работе с информационно-программными средствами на основе параллельного опроса (получения самооценки) оператора и последующей обработки результатов.

**Решаемые задачи:**

* предъявление опросной информации пользователю (изображений специального вида) в виде всплывающих картинок через определенные интервалы времени;
* фиксирование мнений оператора (кликов по соответствующей картинке);
* обработка полученных результатов и их представление пользователю.

**Преимущества модуля:**

* не вызывает негативных ощущений у оператора;
* не влияет на напряженность и результативность деятельности оператора;
* позволяет без использования специальных технических средств (датчиков и др. аппаратуры) получить среднюю оценку напряженности деятельности оператора в течение произвольного интервала времени;
* хорошо адаптирован за счет эргономичного интерфейса (изображений специального вида);
* достаточно прост в использовании и не требует специальных знаний (среднее время ознакомления оператора с опросником – 1 - 2 минуты).

Сопоставление карт зон внимания и зрительных маршрутов, оценок напряженности во времени создает возможность не только дополнительной объективизации получаемых данных, но и устанавливать зависимости между результатами работы пользователя и переживаемыми им функциональными состояниями. Это позволяет выявлять затруднения пользователя не заметные на первый взгляд.

Данный подход был использован для создания программно-аппаратного комплекса оценки качества пользовательского интерфейса на основе анализа напряженности деятельности оператора и траектории движения глаз. Комплекс предназначен для оценки качества разрабатываемых информационно-программных средств на этапах проектирования и реинжиниринга, а также оценке удобства и совершенствование создаваемых тренажеров, электронных учебников, учебных пособий и др. обучающих материалов и технологий.

**Список литературы**

1. Падерно П.И., Попечителев Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем / Под общ. ред. проф. Е.П. Попечителева. – СПб.: Элмор, 2007. – 264 с.
2. IEC 61839. Nuclear power plants. Design of control rooms. Functional analysis and assignment. – Geneva, Switzerland: IEC, 2000.
3. Stanton N.A. Hierarchical task analysis: development, applications, and extensions // Applied Ergonomics. – 2006. – №1 (37). p. 55-79.
4. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
5. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. – СПб.: Символ-Плюс, 2009. – 688 с.
6. Балхарет А.А., Назаренко Н.А., Падерно П.И. Программный модуль – инструмент для автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора. Человеческий фактор. Сер. Проблемы психологии и эргономики. – Тверь, 2009. – №3/2.
7. Адаменко А.Н., Ашеров А.Т., Бердников И.Л. и др. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания. Справочник под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова.
– М.: Машиностроение, 1993. – 528 c.