

## УТВЕРЖДЕНЫ

Решением Электроэнергетического Совета СНГ

Протокол № 56 от 25 августа 2020 года

### **Методические рекомендации по обеспечению эргономических условий управления антропогенными рисками в электроэнергетике государств - участников СНГ**

#### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. Настоящие Методические рекомендации по обеспечению эргономических условий управления антропогенными рисками в энергетике государств-участников СНГ (далее – Методические рекомендации) разработаны в целях повышения уровня производительности труда, безопасности, надежности и эффективности профессиональной деятельности персонала. В них определены методические и организационные рекомендации к эргономическим условиям функционирования персонала.

1.2. Методические рекомендации носят исключительно рекомендательный характер и предназначены для подразделений и специалистов, осуществляющих свою производственную деятельность в сфере проектирования энергообъектов, обеспечения безопасности энергетического производства, применения эргономических методов и технологий при выполнении персоналом своих производственных функций. Настоящие Методические рекомендации не заменяют требований национальных нормативных правовых актов по эргономике, действующих в государствах-участниках СНГ.

1.3. Вопросы безопасности производства и минимизации антропогенных рисков в электроэнергетике государств-участников СНГ являются приоритетными в Методических рекомендациях.

1.4. Положения настоящих Методических рекомендаций могут учитываться в инструкциях и положениях, а также организационно-распорядительных документах, действующих в электроэнергетике государств-участников СНГ.

#### **2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ\***

*Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)* – группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях.

*Адаптивность интерфейса* – изменение содержания и формы представления информации в зависимости от ситуации и задач оператора. В сложных ситуациях необходимо сфокусировать внимание оператора на важной информации и отобразить эту информацию так, чтобы оператор увидел именно то, что является значимым в данный момент.

**Антропометрия** – один из основных методов антропологического исследования, заключающийся в измерении тела человека и его частей с целью установления возрастных, половых, расовых и других особенностей физического строения, позволяющий дать количественную характеристику их изменчивости.

**Валидация** – доказательство того, что требования конкретного пользователя, продукта, услуги или системы удовлетворены.

**Декомпозиция** – научный метод, использующий структуру задачи и позволяющий заменить решение одной большой задачи решением серии меньших задач, пусть и взаимосвязанных, но более простых.

**Дисперсионный анализ** – метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях.

**Инженерная психология** – научная дисциплина, которая изучает объективные закономерности процессов информационного взаимодействия человека и техники для использования их в практике проектирования, создания и эксплуатации систем «человек-машина».

**Когнитивная эргономика** – раздел эргономики, в котором изучаются и проектируются интерфейсы «человек и другие компоненты рабочей системы» (особенно программное обеспечение) на основе изучения деятельности человека (его мышления, памяти, восприятия и др.).

**Монотония** – функциональное состояние сниженной работоспособности, возникающее в ситуациях однообразной работы с частым повторением стереотипных действий в обедненной внешней среде.

**Прототипирование** – быстрая «черновая» реализация базовой функциональности для анализа работы системы в целом.

**Профессиональная адаптация** – социально направленный и управляемый многоуровневый процесс приспособительных изменений организма и личности работающего человека под воздействием совокупности условий и факторов среды жизнедеятельности (климатических, социальных, гигиенических, производственных, бытовых и прочих) и собственных ценностей, целей, установок, мотивации и др., который обеспечивает заданные уровни эффективности и надежности деятельности человека и сводит к минимуму вероятность возникновения психосоматических и других профессионально обусловленных заболеваний.

**Психология труда** – раздел психологии, который изучает психологические аспекты и закономерности трудовой деятельности человека.

**Традиционный интерфейс** – приборная панель и пульт для контроля и управления системой.

**Физическая эргономика** – раздел эргономики, который рассматривает анатомические, антропометрические, физиологические и биомеханические характеристики и их влияние на физическую деятельность человека.

**Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ)** – инженерные решения, обеспечивающие взаимодействие человека-оператора с управляемыми им машинами.

**Экологический интерфейс** – компьютерный видеокادر, облегчающий контроль, оценку ситуации и управление системой.

**Энергопредприятие** – самостоятельный хозяйствующий субъект, созданный в порядке, установленном законодательством для производства продукции, выполнения работ и оказания услуг в целях удовлетворения общественных потребностей и получения прибыли.

**Эргономика** – дисциплина, занимающаяся изучением взаимодействия между людьми и другими элементами систем, которая использует теорию, законы, данные и методы проектирования в целях обеспечения здоровья человека и оптимизации общего функционирования системы.

**Юзабилити** – степень, с которой продукт может использоваться определенными пользователями для достижения заданных целей в определенных ситуациях и с необходимой производительностью, эффективностью и степенью удовлетворения ожиданий пользователя.

*\* В случае несовпадения формулировок терминов и определений государственных участников СНГ принимается формулировка в соответствии с национальным законодательством.*

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Методические рекомендации разработаны с целью гармонизации взаимодействия человека и технологических систем, включая разработку программного обеспечения и пользовательского интерфейса аппаратно-программных средств, используемых в энергетике.

3.2. Требования эргономики носят антропогенный характер (Приложение) и включают два направления:

- моделирование деятельности, формирование пользовательских интерфейсов, изучающие и описывающие действия пользователя с помощью эмпирических и эвристических методов,

- эргономическую экспертизу, служащую одним из основных инструментов проверки эргономичности изделий, рабочих мест и интерфейсов.

3.3. Требования эргономики должны обеспечивать:

- методологическое обеспечение эргономических характеристик производственных систем;

- организационные и психологические факторы производства;

- факторы рабочей среды (физические, химические и др.);

- анализ надежности и антропогенных рисков производства, безопасность труда;

- психофизиологию, антропометрию и биомеханику;

- восприятие информации, офтальмоэргономика (приспособление условий труда к возможностям зрительной системы человека и максимальное использование этих возможностей в конкретном трудовом процессе);

- когнитивные аспекты: память, мышление, принятие решений в человеко-машинных системах;

- моделирование и анализ деятельности и задач, включая UX-исследования (исследования дизайна);

- эргономические измерения;

- эргономическую оценку и экспертизу.

#### 3.4. Объекты и задачи, решаемые в эргономике:

- организация помещения (освещение, мебель, интерьер, компоновка, обитаемость);

- организация рабочего места (в офисе, на производстве и др.);

- разработка интерфейсов (компьютерных, приборных и др.);

- проектирование средств отображения информации и органов управления;

- конструирование производственного оборудования с учетом характеристик человека;

- организационное проектирование (режимы труда и отдыха, организационные процедуры, профотбор, обучение);

- проектирование одежды, персональных защитных приспособлений;

- тренажеры и алгоритмы деятельности операторов.

#### 3.5. В качестве источников профессиональной информации, используются:

- отечественные и зарубежные издания научная периодика, труды отечественных и зарубежных конференций;

- веб-ресурсы;

- служебная литература (отчеты, документация);

- отечественные и зарубежные стандарты и руководства.

3.6. Настоящие Методические рекомендации направлены на разрешение возникающих проблем для системной междисциплинарной эргономики:

- необходимость комплексного исследования психологии, физиологии и биологии человека,

- осмысление взаимосвязи эргономики с другими науками,

- применение системного подхода к проектированию всей системы труда человека (начиная от интерфейса и заканчивая бизнес-процессом), а не отдельных ее элементов.

3.7. Основные рекомендации по решению эргономических проблем энергетического производства государств-участников СНГ.

3.7.1. Пропаганда возможностей и примеров успешного применения эргономики, особенно среди руководителей энергопредприятий.

3.7.2. Государственное регулирование эргономических вопросов включает:

- государственное финансирование эргономической деятельности, в частности, эргономического сопровождения всех разработок, выполняемых в рамках целевых программ;

- создание правовой базы, поддерживающей эргономику и вводящей ответственность руководителей за несоблюдение эргономических требований и непроведение эргономических обоснований и экспертиз, особенно на ранних стадиях проектирования и при принятии нового энергооборудования;

- государственная поддержка эргономического обеспечения безопасности энергетического производства;

- обеспечение системного и комплексного образования специалистов и гармоничного сочетания инженерной, психологической и психофизиологической составляющих в образовательных программах.

3.7.3. Совершенствование системы патентования эргономических решений. Развитие и обязательность применения системы эргономических стандартов.

3.8. В качестве способов повышения заинтересованности в эргономике со стороны руководителей энергопредприятий могут использоваться:

- демонстрация уже случившихся печальных последствий невыполнения эргономических требований;

- определение изменения количественных характеристик объекта с учетом требований эргономики и без них;

- наглядная демонстрация экономического эффекта от конкретных эргономических улучшений на местах.

3.9. Перспективные направления в развитии эргономики.

3.9.1. Человеко-машинный интерфейс во всех его проявлениях – от взаимодействия человека со сложными технологическими объектами до повседневных гаджетов и аппаратов массового обслуживания, а именно:

- жестовые интерфейсы;

- нейрокомпьютерные интерфейсы (взаимодействие мозг-компьютер);

- интерфейс компьютера с центром двигательной активности человека;

- мультимодальные интерфейсы.

3.9.2. Новые способы отображения информации – образных интерфейсов и дополненной реальности, обеспечения обратной связи при управлении с экранов дисплеев, в том числе, зрительного контроля при выборе органа управления и «очувствления» виртуальных средств управления.

3.9.3. В области когнитивной сферы эргономики:

- моделирование когнитивных процессов,

- разрешение проблемы информационной и умственной перегрузки (в частности, операторов ответственных производств),

- разработка экспертных систем поддержки разработки и принятия решений (в сфере промышленной автоматизации) и систем с искусственным интеллектом,
- исследования восприятия и переработки информации при взаимодействии с техническими средствами нового поколения.

3.9.4. В области контроля и управления функциональным состоянием человека:

- контроль функционального состояния оператора по голосу;
- инструментальная количественная оценка психофизиологического состояния человека в процессе выполнения им своих функциональных обязанностей;
- профилактика монотонии и особенно засыпания;
- поддержание работоспособности в условиях отчуждения человека от непосредственного управления техникой;
- создание релаксационных центров и оборудования;
- снижение шума и психологической безопасности.

3.9.5. В области моделирования деятельности человека:

- моделирование и оценка надежности действий оператора в экстремальной ситуации;
- создание имитаторов и моделей тонких манипуляторных моторных действий персонала.

3.9.6. В области моделирования объектов управления:

- моделирование нештатных (опасных) ситуаций для обучения персонала быстрому распознаванию источников угрозы и правильному выбору действий для их парирования;
- моделирование на тренажере не только производственных условий, но и факторов, влияющих на функциональное психофизиологическое состояние человека при выполнении им своих трудовых функций.

3.9.7. Разработка моделей расчета экономической выгоды при применении определенных эргономических решений и методов получения объективных численных оценок эргономического качества оборудования.

3.9.8. Новым направлением эргономического анализа и проектирования является адаптивная эргономика, которая включает:

- возможность трансформации эргономических параметров промышленной продукции пользователем в процессе эксплуатации;
- разработку систем обеспечения жизнедеятельности, адаптируемых к функциональному состоянию оператора.

3.9.9. Среда обитания и повседневные вещи, окружающие человека, являются наиболее массовым объектом для эргономических усовершенствований и разработок, поэтому необходимо обратить внимание на задачах дизайна повседневных вещей (предметного дизайна).

Большое количество оснащенных процессором мобильных устройств, используемых человеком, уже сегодня образует новую среду (повсеместное использование компьютера). Однако вопросы интеграции этих устройств, их эргономичности и функциональности остаются открытыми.

3.10. Для продвижения эргономических подходов предполагаются следующие организационные меры:

- развитие подготовки специалистов в области эргономики, создание эффективных научно-педагогических школ;
- ликвидация эргономической неграмотности, внедрение в сознание чиновников, конструкторов и менеджеров значимости эргономики для обеспечения эффективности, безопасности и удобства, просвещение населения в сфере эргономики;
- создание общедоступных баз данных в области эргономики;
- распространение эргономических требований на любую профессиональную производственную деятельность человека, с формулировкой вида ответственности за опасность, некачественность и ненадежность работы из-за невыполнения официальных эргономических требований.

#### **4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРОВ**

4.1. Человеко-машинный интерфейс может стать как источником функциональных расстройств, так и источником ошибок операторов.

4.2. Направления оценки человеко-машинного интерфейса:

- привлечение специалистов эргономики к процессу проектирования, либо к оценке проектных решений на каждом этапе жизненного цикла проекта;
- обеспечение проектантов соответствующими нормами и рекомендациями в виде стандартов, руководств и справочников;
- указание на ошибки, по нормам, прописанным в стандартах и справочниках.

4.3. Эмпирической оценкой ЧМИ для управления технологическим процессом можно получить реалистичные значения показателей качества выполнения задач управления.

4.4. Основным инструментом оценки качества интерфейса служит эргономическая экспертиза, проводимая как по формализованным критериям (например, угловые и физические размеры элементов, их взаимная компоновка, досягаемость и др.), так и по качественным характеристикам, таким как соответствие профессиональным стереотипам, удобство и предпочтения (опыт и анализ эксплуатации оборудования).

4.5. Другим способом оценки интерфейса являются его натурные испытания, для проведения которых используют различные симуляторы, модели и другие средства, воспроизводящие работу оператора и объекта управления. В отличие от эргономической экспертизы натурные испытания позволяют оценивать конечную надежность и эффективность работы оператора, а также выявлять реальные величины

факторов, влияющих на деятельность оператора при работе с тем или иным вариантом ЧМИ.

4.6. Экспериментальная оценка основана на сравнительном анализе проекта ЧМИ и существующего интерфейса, находящегося в промышленной эксплуатации. В качестве оцениваемых (измеряемых в ходе эксперимента) мер качества интерфейса используются:

- степень осведомленности оператора о ситуации;
- правильность выполнения задачи;
- рабочая нагрузка;
- время выполнения задачи;
- частота успешного выполнения задачи;
- количество управляющих действий, совершенных оператором;
- точность диагностики ситуации;
- время обнаружения и диагностики ситуации.

Эти показатели рассчитываются для каждого типа решаемых задач, что позволяет сделать вывод о зависимости эффективности интерфейса от типа сценария.

## **5. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПИСАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С СИСТЕМОЙ В ЗАДАЧАХ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ**

5.1. Применяются различные методы взаимодействия человека с системой при решении задач эргономической экспертизы.

Определены следующие методы моделирования взаимодействия (деятельности) человека с системой:

- обобщенный структурный метод,
- метод иерархического и табличного анализа задач,
- функционально-ориентированный метод.

5.1.1. Обобщенный структурный метод.

5.1.1.1. Основная цель этого метода – количественная оценка времени и вероятности правильного выполнения анализируемой задачи.

5.1.1.2. Метод структурного функционального анализа обладает большим потенциалом при решении эргономических задач. Ослабление степени формализации метода позволяет решать в ходе экспертизы творческие задачи, однако при этом существенно повышается зависимость результатов от квалификации и опыта специалиста в области эргономики или/и эксперта предметной области.

5.1.1.3. Хорошие эргономические показатели изделия, ЧМИ или системы – результат совместного действия трех факторов, а именно наличия:

- базы эргономических стандартов, руководств, учебников, удачной практики и др.;

- высококвалифицированных разработчиков или конструкторов, мотивированных и способных выполнить качественный проект;

- потребности в хорошей эргономике (высоких требований к безопасности или эффективности системы и др.).

5.1.2. Метод иерархического анализа задач.

5.1.2.1. Применение метода иерархического анализа задач начинается с построения иерархии операций.

Верхний уровень обычно отражает типовые фазы выполнения задачи. Это могут быть, например, обнаружение - диагностика - планирование - выполнение - отслеживание или подготовка - завершение.

На следующем этапе выполняется табличный анализ задач, в ходе которого эргономист оценивает каждую операцию по ряду факторов, которые являются наиболее значимыми для каждого конкретного случая. Такими факторами являются безопасность, ЧМИ, антропометрические, тактильные и биомеханические аспекты (факторы физической эргономики), а также возможности совершения человеком ошибки.

5.1.2.2. Табличный анализ включает в себя и верификацию требований – проектных и нормативных, и экспертную оценку.

5.1.2.3. Анализ задач – простой, гибкий, не ресурсоемкий метод с большими возможностями. Однако отсутствие четкой формализации и строгости обуславливает большую долю субъективизма в применение этого метода, и делает его всецело зависящим от квалификации аналитика-эргономиста и/или привлекаемого эксперта предметной области. Эффективность анализа задач определяется факторами, выбранными для анализа.

5.1.2.4. Задачно-ориентированные методы дают адекватные результаты при наличии исчерпывающего или репрезентативного перечня событий/задач.

5.1.3. Функционально-ориентированный метод.

5.1.3.1. Основная особенность такого описания состоит в том, что функционирование объекта управления представляется как совокупность взаимодействующих задач (технологических и управляющих) без привязки к оборудованию или человеку, выполняющим эти функции.

5.1.3.2. Анализируя такое описание, эргономист рассматривает не просто рукоятку или кнопку, а то, как реализуется некоторая функция этой рукояткой или кнопкой.

5.1.3.3. Функция управления рассматривается без привязки к предлагаемому техническому решению, при этом решается вопрос, почему не использованы другие способы управления (например, сенсорная панель, нажимная кнопка с возвратом или дистанционное управление).

5.2. В целях описания взаимодействия человека с системой в задачах эргономической оценки проводится эргономическая экспертиза ЧМИ.

5.2.1. Самая простая цель эргономической оценки – подтверждение того, что исследуемая система отвечает существующим эргономическим требованиям (нормам). При наличии соответствующих руководств по эргономике (устанавливающих, например, что контраст должен быть не ниже определенного значения) и измерительных средств такая оценка является рутинной процедурой. Простейший способ решения этой задачи – использование контрольных листов. Примером более сложной процедуры является соматографический анализ, позволяющий на чертеже проверить соответствие размеров рабочего места антропометрическим характеристикам человека.

5.2.2. Вторая цель – сравнение двух и более вариантов исполнения системы. Для решения этой задачи используются методы формирования комплексного интегрального показателя на основе частных измерений, в качестве измерительного инструмента выступают эксперты.

5.2.3. Третья цель – выяснение того, насколько надежно, своевременно, эффективно, безопасно и качественно сможет человек выполнять свои функции. Наиболее затратным способом достижения этой цели является экспериментальная валидация системы, что вполне возможно выполнить с помощью виртуальных или полномасштабных тренажеров, натурального прототипирования и других средств. Менее затратный и потому более распространенный подход – моделирование работы человека в системе. Большинство методов анализа надежности человека основаны на интеграции данных о надежности выполнения отдельных операций, поэтому первый шаг анализа заключается в декомпозиции деятельности до того уровня детализации, для которого имеются справочные или экспериментальные данные о надежности.

5.2.4. Четвертая цель заключается в поиске и формулировании возможных усовершенствований, улучшающих эргономические и потребительские качества системы. Как следствие, очень сложно назвать устоявшиеся формализованные подходы к такой экспертизе, дающие гарантированный результат. Полезными в этом случае признаются методы анализа задач, а также комплекс методов, получивших название «когнитивный анализ работы». Большинство этих методов основаны на структурной декомпозиции и описании не только деятельности человека, но и функционирования системы.

5.3. Принципы классификации методов описания и анализа операторской деятельности:

- узкоантропоцентрические, рассматривающие человека без учета техники;
- человеко-системные, в которых основным звеном является человек, а техника – подчиненное ему средство труда;
- равноэлементные, рассматривающие человека и технику как равноценные элементы;
- системотехнические, рассматривающие человека как фактор внешней среды;
- узкотехнические, в которых человека не принимают во внимание.

5.4. Вторая классификация разделяет методы в зависимости от применяемого в них аппарата описания. Данная классификация является общей для всех методов

моделирования (не только операторской деятельности), однако в эргономике используются лишь некоторые из них, в частности:

- методы теории информации, рассматривающие деятельность человека как работу канала переработки и передачи данных;

- методы теории автоматического управления, рассматривающие деятельность человека как работу системы регулирования с обратной связью и запаздыванием;

- методы теории массового обслуживания, рассматривающие деятельность человека как работу канала обслуживания;

- методы, основанные на дискретной логике, например, теории автоматов, теории алгоритмов, исчисления предикатов и др., рассматривающих человека как запрограммированный автомат.

5.5. Любой анализ деятельности начинается с декомпозиции работы человека (или машины) до необходимой степени детализации, то есть со структурного моделирования, которое может применяться как отдельно, так и совместно с перечисленными выше подходами. В качестве инструмента при этом используются:

- функциональные сети, в вершинах которых показаны действия (функции), выполняемые человеком или системой;

- сети переходов состояний, где в вершинах представлены состояния системы или человека;

- семантические сети, вершины которых изображают как объекты, так и события, соединенные между собой отношениями.

5.6. Используются методы, ориентированные на событие или событийно-ориентированные. Большинство известных методов описания взаимодействия человека с системой, в частности, упомянутые выше иерархический и табличный анализ задач, обобщенный структурный метод, THERP и др., являются событийно-ориентированными или ориентированными на задачу. С ориентацией на задачу строится большинство инструкций по эксплуатации или по устранению нежелательных ситуаций. Такие инструкции считаются тем лучше, чем они более «привязаны» к объекту управления, к его индикации, органам управления и маркировке.

Основным недостатком, связываемым с использованием этих методов, является необходимость заранее постулировать все исходные события, которые могут произойти в системе. Каждое из этих событий требует от человека (или автоматики) совершения определенных действий, совокупность которых и образует задачу, подлежащую описанию.

5.7. В современной практике используется альтернативный подход – функционально-ориентированный. Он основан на том, что человек управляет функциями системы без привязки к какими-либо событиям.

Прикладным результатом такого подхода стала концепция «экологического интерфейса». В отличие от «традиционного» человеко-машинного интерфейса, ориентированного на поддержку оператора при решении конкретных заранее определенных задач, цель экологического интерфейса состоит в том, чтобы

сформировать у человека глубинное понимание явлений, происходящих в объекте управления.

## **6. ОРГАНИЗАЦИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА АСУ ТП**

6.1. При организации ЧМИ АСУ ТП рассматриваются следующие проблемы:

- распределения функций между человеком и автоматикой;
- поддержки когнитивной деятельности;
- больших объемов данных;
- вторичной деятельности и навигации;
- коммуникации и создания единой информационной модели;
- управления вниманием и проблема виртуализации реальности.

6.2. Проектирование ЧМИ основано на принципах, сформировавшихся в эпоху приборных панелей с мнемосхемами и пультов управления с кнопками и ключами, однако современные условия характеризуются возросшим объемом информации, увеличением сложности, повышением требований к их безопасности и эффективности, появлением новых способов взаимодействия человека с машиной (компьютером).

6.3. Распределение функций между человеком и автоматикой.

6.3.1. Задача автоматизации труда человека-оператора стимулирует разработчиков средств автоматизации передавать как можно больше функций техническим системам, которая сдерживалась двумя факторами:

- относительно слабыми вычислительными ресурсами и высокой трудоемкостью и стоимостью реализации систем автоматизации;
- отсутствием адекватных моделей сложных систем и средств их верификации.

6.3.2. Принцип распределения функций предписывает назначение каждой функции тому субъекту управления, который наилучшим образом справится с данной функцией.

6.3.2.1. Описание достоинств человека и автоматики с точки зрения различных критериев:

- уровень сложности системы, степень неопределенности и наличие формализованных моделей управления;
- уровень помех, шумов и сигналов, несущих полезную информацию;
- уровень надежности и восстанавливаемости человека и машины;
- ресурсные характеристики и характеристики производительности человека и машины, возможности многозадачных процессов, перегрузок,
- стоимость эксплуатации и поддержания работоспособности.

6.3.2.2. Современная АСУ ТП может собирать и обрабатывать огромные объемы данных, что позволяет перенести часть функций контроля и управления от человека к машине. Однако это приводит к уменьшению вовлеченности оператора в процесс управления, что негативно сказывается, когда от человека требуется принятие

сложных и быстрых решений. Акцентируется внимание на гармонизацию распределения функций с целью постоянного поддержания вовлеченности оператора в процесс управления. Таким образом, в противовес принципу «преимущественных возможностей» появляется принцип «взаимодополняемости», и необходимо не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины так, чтобы происходило взаимное усиление их возможностей.

6.3.2.3. Еще один фактор, влияющий на распределение функций, является значимым для потенциально опасных технических объектов. Здесь возникает задача обеспечения безопасности, которая требует высокой надежности субъекта управления и выполнения четких и хорошо формализованных алгоритмов. В этой связи определяются следующие критерии распределения функций, а именно если:

- существует требование некоторого нормативного документа, предписывающее назначение определенной функции человеку или машине, то это требование должно быть выполнено;

- выполнение функции требует высокой надежности, точности, быстрого исполнения или ее ручное выполнение может нанести вред здоровью, то она должна быть автоматизирована;

- функция требует логического вывода, предполагает множество повторяющихся действий, создает высокую когнитивную нагрузку, содержит длительные периоды безделья, вызывает утомление или должна выполняться в мультизадачном режиме, то ее следует полностью или частично автоматизировать.

#### 6.4. Поддержка когнитивной деятельности оператора.

6.4.1. Деятельность оператора в ситуациях, которые выходят за границы работы автоматике – это сложные аномалии с наложением событий, тяжелые аварии, задачи глобальной оптимизации работы (в противовес задачам локального регулирования процесса).

6.4.2. Существуют два способа поддержки деятельности оператора в сложных ситуациях.

6.4.2.1. Первый заключается в компьютерной имитации рассуждений человека и выдаче ему возможного решения. На этом подходе базируются большинство существующих систем поддержки операторов, основанных на принципах искусственного интеллекта.

6.4.2.2. Второй способ – активизация и ускорение мышления за счет перевода части когнитивной деятельности на уровень восприятия. Этот способ состоит в проектировании таких визуальных образов, которые отображают не просто информацию, но некоторые операции ее ментальной обработки, такие как сложение, сопоставление, сравнение, выявление зависимостей и др.

#### 6.5. Большие объемы данных.

Модульные аппаратные средства АСУ ТП, способы передачи и концентрации данных позволяют регистрировать и создавать огромные массивы. При возникновении аномальных событий и быстром разворачивании переходного режима

подавляющая часть информации становится нерелевантной и, по существу, «зашумляет» полезные данные.

Другим последствием больших объемов данных является то, что автоматизированные рабочие места оператора – это всего лишь несколько мониторов, образующих так называемую «замочную скважину».

## 6.6. Вторичная деятельность и навигация.

6.6.1. Проекты ЧМИ АСУ ТП должны содержать поле мнемознаков, их динамики, окна для ввода управляющих воздействий, выбор и назначение цветов и других важных вопросов отображения информации, а также алгоритмы ввода управляющих воздействий, предотвращающие ошибочные или непреднамеренные действия.

6.6.2. Другой существенной составляющей является работа с экраном (прокрутка, если таковая имеется, позиционирование курсора) и навигация. Все дополнительные действия, не связанные напрямую с контролем и управлением называются «вторичной» деятельностью.

### 6.6.2.1. Способы навигации:

- представление на видеокадре ссылок на смежные системы;
- контекстная генерация «горячих» ссылок на системы, релевантные ситуации или вводимому управляющему воздействию;
- обобщенная сигнализация, выводящая оператора на нужный видеокадр.

6.6.2.2. Использование «носимых» устройств для ввода информации полезно для выполнения программ (бланков) переключений, в частности, для местных операторов, изменяющих состояние неконтролируемого оборудования. Отметка действия на планшете позволяет, с одной стороны, зафиксировать факт, что действие выполнено и, с другой стороны, информирует всех пользователей сети об этом, облегчая коммуникацию. Использование таких устройств также относится к вторичной деятельности, а организация удобного взаимодействия с оператором, особенно в «полевых» условиях – серьезная задача. Одним из способов облегчения вторичной деятельности является использование сенсорных устройств ввода.

6.6.2.3. Дисплейный способ управления дает полноценную индивидуальную информацию, однако разобщает операторов и не позволяет им общаться, используя общий визуальный образ. В то же время, применение экранов коллективного пользования создает дополнительный «слой» информации (в терминах «многослойного» интерфейса), проектирование которого должно быть результатом глубокого анализа и частью концепции управления.

## 6.7. Управление вниманием.

6.7.1. Большой объем информации порождает проблему управления вниманием оператора с целью его концентрации на наиболее важных фактах и процессах. На сегодняшний день управление вниманием осуществляется лишь одним способом – сигнализацией.

6.7.2. Существуют два базовых подхода к управлению вниманием.

6.7.2.1. Первый состоит в «физическом» привлечении внимания к определенному объекту, воздействуя на анализаторы человека. Именно это и делает традиционная сигнализация, направляя взгляд человека с помощью указателей или наделяя объект различными привлекающими внимание признаками, такими как мигание, изменение яркости, выделение цветом, сопровождение звуковым сигналом и др. Получая информацию, оператор начинает делать выводы и может таким образом выйти на идентификацию ситуации и ее причин. Такой способ логического рассуждения в искусственном интеллекте принято называть «прямым» в противовес «обратному».

Определенным решением является фильтрация и назначение приоритетов сигнализации.

6.7.2.2. Второй подход к управлению вниманием – это формирование у человека побуждения обратить внимание на тот или иной объект или информацию.

Одним из наиболее перспективных подходов к оптимизации объема сигнализации является перенос акцента от привлечения внимания к событию на привлечение внимания к состоянию технологической функции.

## **7. ОРГАНИЗАЦИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

7.1. Рост сложности технологических объектов управления, а также увеличение потоков информации в автоматизированную систему управления ведут к усложнению ЧМИ, что чревато информационными перегрузками операторов. Одним из возможных путей решения данной проблемы является дозированное представление информации оператору, осуществляемое с учетом сложившейся ситуации. Для реализации этого подхода предлагается концепция адаптивного многослойного интерфейса, в котором состав и форма представления информации изменяются в зависимости от задач оператора. Предложенный интерфейс включает три слоя: структурный, аналитический и функциональный, которые могут визуализироваться в зависимости от ситуации. В качестве критериев визуализации того или иного слоя выступают привычность ситуации, необходимость выполнения ментальных операций, наличие динамики в поведении объекта управления, необходимость оценки эффективности выполнения функций и др. Проектирование слоев такого интерфейса основано на функциональном анализе, в ходе которого технологический процесс описывается в виде взаимодействия технологических функций, для каждой из которых определяются критерии их эффективности.

7.2. При дисплейном ЧМИ весь контроль и управление объектом ведутся через экран дисплея посредством мыши, трекбола и других манипуляторов. Преобладающим направлением в дисплейном ЧМИ является отображение мнемосхем, на которые наложена динамическая информация – текущее состояние оборудования и значения технологических параметров. Важным качеством такого ЧМИ является демонстрация технологических взаимосвязей оборудования, полностью совпадающая с информационной моделью объекта, сложившейся и у операторов, и у технологов. Подобное представление информации не облегчает отслеживание динамики, анализ балансных соотношений, учет функциональных и причинно-следственных отношений

и другой информации, необходимой для глубокого понимания состояния объекта управления.

7.3. Процесс управления сложными человеко-машинными системами является сложной, многоуровневой и многогранной деятельностью. Основными факторами, свидетельствующими об этом, являются:

- разнородность задач, методов и способов управления, включая разнородность используемых математических методов, методов моделирования и принципов автоматизации;

- растущие требования к экономической эффективности, повышению производительности, снижению затрат, повышению коэффициента использования установленной мощности и, одновременно, ужесточение требований к безопасности.

7.4. Эти факторы приводят, в свою очередь, к высокой разнородности деятельности оперативного персонала, связанной с управлением объектом. Диапазон характеристик этой деятельности простирается от привычных многократно отработанных действий в хорошо известных эксплуатационных режимах до управления малоизвестными и неожиданными ситуациями, от рутинного выполнения элементарных ручных операций до контроля за полностью автоматическими срабатываниями, от периодов безделья до запредельной нагрузки, от малоответственных операций до действий, способных нанести значительный ущерб системе и окружающей среде. В разных ситуациях в ходе работы могут изменяться не только задачи, но и цели и приоритеты управления, уровни мышления и типы поведения операторов.

7.5. Классификация разновидностей управления, реализуемого оператором для определения круга задач, на поддержку которых должен быть нацелен ЧМИ по:

- удаленности оператора от объекта управления (управляемого оборудования) подразделяется на местное и дистанционное (удаленное);

- степени автоматизации управления – обычно выделяются ручное, автоматизированное, автоматическое; автоматизированное управление, которое, в свою очередь, также может иметь множество градаций в зависимости от исполняемой человеком роли;

- цели управления – возможно управление, направленное на достижение результата функционирования системы независимо от цены и качества, на повышение коэффициентов использования и готовности, на повышение качества функционирования и качества продукции, на минимизацию временных и материальных затрат, на обеспечение безопасности; цели могут меняться и дополнять друг друга в зависимости от ситуации;

- характеру целевой функции – различаются стабилизация (минимизация расхождения между заданным и текущим значениями состояния объекта), слежение, достижение экстремума определенной функции (параметра, показателя), недопущение достижения определенного состояния, оптимальное управление, адаптивное управление, программное управление;

- уровню агрегированности управляемого оборудования – возможно управление отдельным оборудованием, управление группой (функциональной или

технологической) оборудования, управление технологической системой, управление всем объектом целиком;

- уровню абстракции функционального управления – можно выделить управление технологической средой, управление технологической функцией и управления целями функционирования объекта;

- стратегии управления – известны событийно-ориентированный и симптомно-ориентированный подходы к управлению;

- типам поведения человека в ходе управления – можно выделить действия, выполняемые на уровне навыков, правил и знаний.

7.6. Анализ упомянутого выше разнообразия задач оператора и видов управления, выявили три основные направления ЧМИ, эффективно «покрывающие» большинство операторских задач:

- интерфейс, облегчающий анализ ситуации, – такой ЧМИ основан на представлении технологической информации в виде графических образов, переносящих мыслительный процесс на уровень восприятия (ЧМИ данного типа получил название «экологический интерфейс», «когнитивная графика», «высокопроизводительный интерфейс»);

- функционально-ориентированный интерфейс – представляет работу объекта в виде совокупности обобщенных высокоуровневых индикаторов, каждый из которых характеризует состояние технологической функции вместо традиционного представления состояния технологических сред;

- интерфейс, ориентированный на задачу, – когда на один экран сводится разнородная информация (процедуры, мнемосхема, технологические параметры, графики и др.), релевантная выполняемой задаче.

7.7. Эффективность каждого способа представления информации зависит от массы факторов: от эксплуатационного режима, от типа решаемой задачи, от уровня управления и др. Возможным решением в данной ситуации является создание адаптивного интерфейса, предлагающего оператору наиболее эффективные в данных условиях способы визуализации информации. В качестве инструмента для реализации такого интерфейса может послужить концепция многослойного представления информации, состоящая в том, что одна и та же технологическая информация может быть по-разному представлена на разных слоях, которые могут быть видимыми или невидимыми в зависимости от обстоятельств – адаптивный многослойный интерфейс.

#### 7.8. Структура многослойного ЧМИ.

Под многослойным интерфейсом понимается такая конструкция, которая позволяет пользователю управлять набором возможностей, доступных в данный момент на экране. В качестве возможностей понимается визуализация трех слоев, а именно:

- *структурного*, предназначенного для отображения структуры объекта управления, как правило, в виде технологической схемы (мнемосхемы) с наложенными на нее технологическими параметрами;

- *аналитического*, накладываемого на структурный и предназначенного для поддержки когнитивных действий, выполняемых оператором;

- *функционального*, визуализирующего состояние технологических функций, выполняемых оборудованием.

Слои могут проектироваться таким образом, чтобы, будучи наложенными друг на друга, они образовывали целостную картину, не перекрывая и не мешая друг другу. В этом случае адаптивность ЧМИ состоит в отображении или скрытии того или иного слоя в зависимости от определенных факторов. Каждый слой может находиться в одном из четырех состояний:

- не отображаться;

- быть непрозрачным - в этом случае слои, находящиеся под ним, не видны;

- быть прозрачным, когда, наряду с данным слоем, видны слои, находящиеся под ним;

- быть в полупрозрачном состоянии, когда слои, находящиеся под ним, видны в неконтрастном исполнении, что позволяет визуально акцентировать необходимую информацию и управлять вниманием оператора.

Если верхний слой полностью прозрачен, то присутствующая на нем информация объединяется с информацией нижнего (фоновое) слоя. Иными словами, к информации нижнего слоя добавляется информация верхнего слоя. Если верхний слой непрозрачен, то на экране видна информация только этого слоя.

Перевод слоя из одного состояния в другое может осуществляться как вручную, так и автоматически, в соответствии с заданным алгоритмом, например, в результате изменения эксплуатационного режима, ситуации или перехода на очередной уровень глубокоэшелонированной защиты.

Процесс проектирования адаптивного интерфейса включает в себя:

- проектирование базового структурного слоя с использованием схем технологических систем, разработанных в ходе проектирования технологического процесса управления;

- проектирование функционального слоя на основе результатов анализа технологических функций, проведенного в рамках общего функционального анализа технологического процесса управления;

- проектирование аналитического слоя на основе анализа задач управления;

- разработку алгоритма адаптации ЧМИ, то есть сценария и критериев активации различных слоев.

Структурный слой основан на мнемосхеме технологического объекта.

Функциональный слой формируется в результате функционального анализа технологического процесса управления – общепринятой методологии, позволяющей выполнять системное проектирование сложного технологического объекта.

Методика построения слоев состоит в построении четырехуровневой иерархии. На верхнем уровне иерархии представлена цель (одна или несколько) системы. Второй уровень состоит из абстрактных функций, описывающих цель в терминах

физических процессов, таких как преобразование или транспортировка энергии. На следующем уровне представлены технологические функции, с помощью которых выполняются абстрактные функции. Эти функции формулируются в терминах конкретных процессов, происходящих с технологическими средами. Технологический процесс – это, по существу, взаимодействие технологических функций.

Эффективность и безопасность технологического процесса зависят от состояния и результативности выполнения каждой из этих функций. В результате анализа технологических функций, для каждой из них определены критерии, свидетельствующие о ее результативности.

Функциональный слой представляет собой совокупность геометрических фигур, визуально «покрывающих» соответствующую функциональную группу оборудования. Состояние функции кодируется специальным маркером, пиктограммой, цветом заливки, цветом контура фигуры или другим способом.

#### 7.9. Алгоритм адаптации.

Адаптивность многослойного ЧМИ состоит в визуализации и скрывании того или иного слоя в зависимости от типа и когнитивной сложности выполняемой задачи, от роли оператора в решении задачи и других факторов.

Структурный слой является базовым и существенно облегчает операторам привязку любой дополнительной информации к технологическому оборудованию и технологическим участкам. Структурный слой служит своего рода «географической картой» для оператора и его отображение является желательным в большинстве случаев.

Аналитический слой должен облегчать оценку состояния системы и, прежде всего, оценку состояния функций.

Аналитический слой необходим в следующих случаях:

- ситуация малознакома и непривычна для операторов, а эксплуатационная процедура является неполной или неэффективной; операторам приходится самостоятельно разбираться в причинах происшедшего;

- для понимания ситуации и принятия решения операторам необходимо выполнять большой объем ментальных операций, таких как сопоставление нескольких параметров друг с другом и с уставками, сложение и вычитание величин и др.;

- ситуация является динамичной и в процессе отслеживания этой динамики операторам необходимо быстро оценить, насколько скоординированно развивается процесс в различных частях системы;

- в текущей ситуации важно отслеживать материальные и энергетические балансы, а также имеющиеся запасы технологических сред и энергии.

Функциональный слой эффективен в случаях, если:

- операторы должны отслеживать, достигается ли цель функционирования технологической системы или группы оборудования;

- для оценки эффективности работы оборудования и систем необходимо не только проанализировать значения технологических параметров, но и учесть несколько логических условий, таких как режим работы и состояние оборудования;

- существуют альтернативные способы выполнения технологических функций высокого уровня, и оператор должен учитывать это в процессе принятия решения.

7.10. Функциональный и экологический подходы к представлению информации эффективны также для оценки состояния системы в целом, особенно в случае серьезных нарушений, связанных с глубокими материальными и энергетическими дисбалансами.

Выявление ситуаций и задач, в которых операторы сталкиваются с перечисленными выше факторами, осуществляется в ходе функционального анализа и анализа задач.

7.11. Для повышения строгости процесса проектирования рассматривается функционирование технологического объекта как совокупность функций, обеспечивающих достижение цели и соблюдение материальных и энергетических балансов. Появление в технологическом процессе некоторой функции, нарушающей баланс, требует внедрения другой, «ответной» функции, восстанавливающей баланс, нарушаемый исходной функцией.

7.12. Предложенная структура многослойного интерфейса включает сочетание структурного, аналитического и функционального слоев, которые могут визуализироваться в зависимости от ситуации. Это существенно повышает гибкость ЧМИ и расширяет число задач оператора, которые этот ЧМИ способен поддерживать. Однако, смена картинки в самый ответственный и сложный момент может запутать оператора вместо того, чтобы облегчить его работу. Оператор привыкает к той компоновке информации, с которой он работает подавляющую часть времени. Замена привычной картинки новым, даже самым эффективным представлением может потребовать от оператора вызова совершенно другой ментальной модели, что в стрессовых условиях чревато потерей времени и ошибками.

7.13. Необходимо, чтобы операторский интерфейс имел некоторый стабильный неизменный образ (например, использование привычных мнемосхем, на которые при необходимости накладывается дополнительная информация).

В качестве направления дальнейшего исследования концепции многослойного ЧМИ предлагается создание библиотеки унифицированных решений, позволяющих разработчику легко и быстро выбирать нужные формы представления и компоновать видеокادر, а также экспериментальная оценка эффективности интерфейса такого рода и востребованности различных слоев.

## **Эргономика, как система прикладных знаний**

### **1. Эргономика и смежные науки.**

Эргономика базируется на знаниях, полученных антропологическими науками (то есть науками, изучающими человека) – медициной, биомеханикой, антропометрией, психологией, физиологией, биохимией. Эргономика основана на математике, кибернетике, различных инженерных технологиях, технологиях и методах проектирования и дизайна и др.

Эргономику больше рассматривают как проектировочную дисциплину, в то время как человеческий фактор – как более широкую и универсальную область.

### **2. Эргономика и юзабилити.**

Определение юзабилити позволяет интерпретировать его как функциональность, пригодность или полезность. Более простая интерпретация термина «юзабилити» сводится к удобству использования или к дружелюбности по отношению к пользователю.

Исходя из определения, можно утверждать, что юзабилити является синонимом эргономичности, а проанализировав методы юзабилити-проектирования и тестирования, следует вывод об идентичности используемого инструментария и методик – анализ задач, анализ движений, когнитивный анализ и др.

### **3. Эргономика и инженерная психология.**

Инженерная психология – часть эргономики, ответственная за ментальную деятельность человека как части системы «человек-машина».

### **4. Эргономика и психология труда.**

Психология труда касается психосоциальных качеств рабочих мест, оказывающих влияние на физическое и умственное здоровье работников. Исходя из этого, можно провести условную границу между психологией труда и эргономикой: задача психологии труда – не допустить вред здоровью человека, в то время как задача эргономики – сделать работу человека возможной и эффективной.

Психология труда сфокусирована на профотборе, мотивации, профессиональной подготовке, организации режима труда, что достаточно четко отличает ее от эргономики.

### **5. Границы эргономики.**

Эргономика нацелена на сохранение здоровья персонала и повышение эффективности системы.

### **6. Эргономика и стереотипы.**

В эргономике есть место эксперименту, в ходе которого собирается внушительная статистика, и теоретическим обобщением в содружестве с антропологическими науками, объясняющими выявленные зависимости. Например, особенности различных рабочих поз, обнаруженные в ходе экспериментов или наблюдений за трудовым процессом, можно объяснить законами биомеханики, а

зрительное восприятие различных образов и возникающие при этом ассоциации – с помощью офтальмологии и гештальтпсихологии.

К ним относятся знания о здоровом смысле, стереотипах и привычках, наработанных человечеством, профессиональными, возрастными и другими группами населения.

Эргономисты фиксируют стереотипы различных профессиональных и социальных групп и формируют на их основе нормы и рекомендации.

Стереотипы – это явление, ограниченное определенной группой людей. Как пример стереотипов, сложившихся в электроэнергетике – использование цвета для изображения состояния коммутационного оборудования, а именно, что красный цвет ассоциируется с открытым состоянием коммутационного оборудования, а зеленый – с закрытым.

Большинство стереотипов однозначны. Однако, по возможности, их следует избегать или, по крайней мере, знать о тех возможных противоречиях, с которыми может столкнуться пользователь.