

УДК 004.5

АДАПТИВНЫЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

А.Н. Анохин

*Обнинский институт атомной энергетики –
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*

Обсуждается проблема сложности АЭС и роль человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) в компенсации субъективного компонента этой сложности. Выполнена классификация типов ЧМИ по способу представления информации и принципу отбора информации. Рассмотрены различные стратегии управления энергоблоком АЭС. Предложена концепция адаптивного интерфейса, изменяющего содержание отображаемой информации и степень автоматизации в зависимости от эксплуатационного режима АЭС.

Введение

Атомные станции, как и многие другие крупномасштабные потенциально опасные промышленные объекты, являются чрезвычайно сложными системами. В качестве вкладчиков в сложность обычно рассматриваются такие факторы, как большое количество и разнообразная номенклатура оборудования, опасность и быстротечность процессов, разветвленные алгоритмы функционирования оборудования и процессов.

Наряду с этими факторами в последнее время при анализе сложности все большее внимание уделяется внутренним и внешним связям системы. Исследованию роли связей в образовании сложности и обеспечении самоорганизации системы посвящены многочисленные современные исследования. С одной стороны, многочисленные связи рассматриваются как положительный фактор. Благодаря образуемой с их помощью «сложности» [1] система становится адаптивной не только по поведению, но и даже способна изменить свою структуру, приспособившись к изменившимся обстоятельствам. Особую роль в такой адаптации играют «слабые» связи – именно они по утверждению автора [2] способны в критических ситуациях обеспечить необходимое разнообразие и стабильность сложной системы. С другой стороны, многочисленные связи способны сделать систему столь сложной и запутанной, что она перестанет поддаваться адекватному описанию и, следовательно, ее поведение в определенных ситуациях даже при небольших изменениях внешней среды окажется непредсказуемым.

Современный энергоблок АЭС – это система с самыми разнообразными связями. Очевидно, что системообразующими являются *технологические* связи, обеспечивающие переток вещества и энергии внутри системы, например, трубопроводы, соединяющие насосы, баки и т.п. Эти связи наиболее хорошо изучены, и именно они легли в основу моделей и системы управления АЭС. Другими хорошо описанными видами связей являются *функциональные*, когда изменение состояния одной системы влечет за собой изменение в другой, например, закрытие задвижки приводит к снижению расхода через трубу. Однако наряду с этим имеется потенциально большое число связей, трудно поддающихся выявлению и, тем более, описанию. Так, например, незначительная течь трубопровода, под которым расположена коробка с контактами и реле системы управления, может вызвать короткое замыкание и срабатывание блокировки или защиты.

Вибрация насоса может передаваться через железобетонную балку строительной конструкции, изменяя показания расположенных рядом стрелочных приборов. Аварии с катастрофическими последствиями на АЭС демонстрируют самые невероятные изобретательность и сочетания таких связей.

Наряду с «объективной» сложностью, идущей от конструкции АЭС, обилия функциональных связей и динамики протекающих процессов, ряд исследователей (например, [3]) выделяет так называемую «субъективную» сложность, то есть ту сложность, которую представляет себе человек. Эта сложность определяется целым рядом факторов, таких как подготовленность оператора, качество человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) и др. Так, грамотно спроектированный интерфейс способен «сузить» внимание оператора до уровня конкретной возникшей проблемы, уменьшая при этом воспринимаемую сложность системы. Хорошо обученный и опытный оператор способен по малейшим незначительным признакам предвидеть ситуацию, в результате чего она становится не столь сложной для разрешения. И наоборот, слабому оператору при непродуманном интерфейсе поведение системы может показаться абсолютно непонятным и даже невероятным.

Можно ли существующими средствами и технологиями довести субъективную сложность системы до того уровня, который будет адекватен человеческим возможностям и способностям, особенно в экстремальных ситуациях? В настоящей статье обсуждаются возможности человеко-машинного интерфейса на пути к этому.

Постановка цели и задач научного исследования

Очевидно, что создание интерфейса «раз и навсегда», практикуемое в настоящее время, приводит к положительному результату только в случае предсказуемого поведения системы. Так, на этапе проектирования энергоблока мы закладываем в проект возможность реализации определенного набора событий и, исходя из этого, планируем то окружение оператора, с помощью которого он заметит, идентифицирует и преодолет их. Для этого в проекте блочного щита (или «пункта» в соответствии с современной терминологией) управления (БЩУ) предусматриваются *сигнализация, интерфейс*, включающий в себя приборы, дисплеи и органы управления, и эксплуатационные инструкции (*процедуры*). Более того, значительная часть функций управления на современных энергоблоках автоматизирована и реализуется либо без участия человека, либо под его пассивным наблюдением. Для этого достаточно иметь простой ЧМИ, в котором отображаются основные технологические параметры и факты срабатывания оборудования и обеспечения функций. Но что делать, если ситуация или развитие событий оказались непредсказуемыми, а автоматика перестала справляться или вообще отказала? Современная философия эксплуатации возлагает в этом случае ответственность (и надежду) на человека, который, как известно, способен действовать в трудноформализуемых ситуациях. По существу, происходит мгновенное перераспределение ролей человека и машины. «Подхватывает» ли это распределение человеко-машинный интерфейс? Способен ли он подстроиться под изменившиеся роли и задачи?

Целью научной работы является рассмотрение возможностей адаптации человеко-машинного интерфейса к сложившимся ситуации и обстоятельствам работы операторов БЩУ АЭС. Для достижения данной цели в работе выполнена классификация существующих типов ЧМИ, применяемых на АЭС, классификация ситуаций и стратегий управления ими и предложена общая концепция адаптивного ЧМИ и гибкого распределения задач между человеком и автоматикой.

Стратегии и процедуры управления АЭС

Перед описанием существующих типов ЧМИ рассмотрим три сложившиеся стратегии (подходы) управления АЭС. Традиционный подход, на основе которого построено подавляющее большинство современных эксплуатационных процедур и выращено не одно поколение персонала – *событийно-ориентированный* (или событийный). Управление АЭС состоит в диагностировании и идентификации исходного события с последующим выбором и применением соответствующей процедуры. При таком подходе необходимо заранее постулировать набор исходных событий и для каждого из них разработать алгоритм действий оператора. Для современного энергоблока-тысячника обычно постулируются до сотни таких событий.

Слабой стороной событийного подхода является то, что он становится бесполезным в случае наложения друг на друга нескольких событий либо появления события, не предусмотренного заранее. В этих случаях применим *симптомно-ориентированный* (или симптомный) подход. Этот подход основан на алгоритме действий операторов, исходя из текущих значений важных параметров и состояния оборудования, без классификации наступившего события. Основной целью симптомного подхода является управление функциями безопасности и сохранение барьеров безопасности вне зависимости от того, что явилось исходной причиной угрозы.

Развитием симптомно-ориентированного управления является *функционально-ориентированный* (функциональный) подход. Его суть состоит в том, чтобы переместить внимание оператора с контроля состояния технологических систем и оборудования на контроль состояния функций, выполняемых этими системами и оборудованием. Отказ оборудования еще не означает, что соответствующая функция не исполняется. Так, отказ питательного насоса вызовет ввод в работу резервного насоса. Отказ резервного насоса приведет к вводу в работу системы аварийного питания, имеющей собственные резервуары и насосы. Во всех этих случаях функция снабжения питательной водой будет выполняться.

Перечисленные подходы лежат в основе применяемых операторами процедур, которые можно классифицировать не только по подходу к управлению, но и по тяжести и опасности эксплуатационного режима [4, 5]. В режимах нормальной эксплуатации операторы применяют инструкции по управлению технологическими системами и оборудованием (system operating procedures). В ответ на срабатывание технологической сигнализации используются процедуры реакции на сигнал (alarm response procedures). В случае дальнейшего развития ситуации операторы руководствуются событийными инструкциями по действиям при нарушениях нормальной эксплуатации (abnormal operating procedures). Если нарушение перерастает в аварийную ситуацию, то применяются как событийные, так и симптомные инструкции по ликвидации проектных аварий (emergency operating procedures) или руководства по управлению запроектными и тяжелыми авариями (severe accident guidelines).

Типы ЧМИ для управления АЭС

По способам представления информации ЧМИ, используемые или рассматриваемые к использованию на АЭС, можно разделить на пять типов [6].

1. В *приборном интерфейсе* информация представлена в виде аналоговых электромеханических и цифровых электронных приборов, индикаторных лампочек, табло и т.п. В качестве органов управления используются ключи и кнопки. Положительной

стороной является то, что все приборы одновременно доступны оператору, они содержат динамические движущиеся элементы и очень наглядны. Если приборы расположены рядом, то их показания легко визуальнo сопоставить, что позволяет снизить умственную нагрузку на человека. «Железные» органы управления удобны еще и тем, что они обеспечивают надежную тактильную обратную связь.

2. *Интерфейс, основанный на диаграммах или мнемосхемах*, также привычен для всех современных операторов. В нем значения технологических параметров «наложены» на мнемосхему технологической системы. Состояние оборудования отображается либо цветом, либо формой соответствующего символа мнемосхемы. Сильной стороной такого интерфейса является то, что вся релевантная информация по системе собрана в одно место и «привязана к карте», что облегчает ее визуальный поиск.

3. *Экологический интерфейс (ЭИ)* представляет информацию в виде наглядных образов, облегчающих не только ее восприятие, но и выполнение необходимых для ее обработки когнитивных операций. Первые практические реализации этой идеи для атомных станций появились во второй половине 1990-х гг. [7]. В различных работах в этой области предлагаются способы визуализации информации для облегчения сравнения параметра с уставками, слежения за отклонением параметра от заданного значения, сравнения суммы нескольких параметров с заданным значением, сопоставления (сравнения) двух и более параметров и др. Экологический интерфейс состоит не только из отдельных элементов, но и из образов более высокого порядка, отражающих, например, физические закономерности. Так, применительно к энергетическим объектам в [8] был предложен интерфейс, основанный на визуализации термодинамического цикла Ренкина, описывающего большинство процессов теплового контура электростанций. Визуализация термодинамических процессов является наиболее популярным применением идеи экологического интерфейса на АЭС.

4. *Функциональный интерфейс (ФИ)* основан на функционально-ориентированной философии управления. Впервые эта идея была реализована в системах представления параметров безопасности еще в 1980-х гг. В этих системах на верхнем уровне представляется информация о состоянии критических функций безопасности, таких как управление реактивностью или отвод тепла от активной зоны. Позднее функциональный интерфейс был расширен и на функции нормальной эксплуатации [9]. Сильной стороной функционального интерфейса является возможность быстро, не вдаваясь в детали, оценить конфигурацию технологического процесса и достаточность задействованного оборудования.

5. *Иммерсивный интерфейс (ИИ)* (immersion – погружение, англ.) – это максимально правдоподобное воспроизведение реального мира, называемое также виртуальной реальностью. Реализация таких интерфейсов стала возможной лишь в последнее десятилетие благодаря развитию технических возможностей. Одним из первых объектов атомной станции для трехмерного воспроизведения послужила активная зона реактора.

Для компьютеризованного интерфейса еще одной важной характеристикой является принцип отбора информации для наполнения одного видеокadra. На сегодняшний день существуют три основных принципа: ориентированный на систему (С), обзорный (О) и ориентированный на задачу (З):

1) видеокadры, *ориентированные на технологическую систему*, являются наиболее распространенными и предназначены для представления информации по выбранной системе. По существу, они повторяют принцип технологического деления АЭС и принцип структурирования БЩУ – каждая панель посвящена, в основном, одной системе. Видеокadры, ориентированные на систему, обычно основаны на мнемосхемах;

2) *обзорные* видеокadres интегрируют информацию обо всем энергоблоке для быстрой оценки его состояния в целом. Информация отбирается, исходя из ее важности для безопасности и для текущего эксплуатационного режима. Как правило, обзорные видеокadres выполняются в виде обобщенных мнемосхем или с помощью функционально-ориентированного представления;

3) видеокadres, *ориентированные на задачу*, содержат только ту информацию, которая релевантна решаемой в данный момент задаче. Эти видеокadres могут содержать информацию о нескольких системах, шагах процедур, сигнализацию и др. Для представления информации могут использоваться любые способы – мнемосхемы, экологический или функциональный подходы.

Принципы адаптивного интерфейса

В [10] предлагаются четыре параметра интерфейса, которые могут изменяться в зависимости от ситуации: содержание представляемой информации, форма ведения диалога, распределение задач между человеком и машиной (с точки зрения уровня автоматизации), скорость адаптации. В качестве факторов, инициирующих и влияющих на адаптацию, обычно рассматриваются следующие: текущая ситуация, решаемая задача и характеристики пользователя. Мы предполагаем, что адаптация под характеристики пользователя нерелевантна для лицензированных операторов АЭС, имеющих приблизительно равную квалификацию и одинаковые предпочтения (по крайней мере, в пределах одной станции).

Адаптация содержания

Способность адаптировать содержание информации в зависимости от текущей ситуации и, следовательно, задач операторов представляется наиболее значимым качеством, которым должен обладать ЧМИ. Наиболее правильной «системой координат» для такой адаптации представляется «линейка» эксплуатационных режимов АЭС, более подробно описанная в Руководстве МАГАТЭ [5]. Рассмотрим адаптационные возможности ЧМИ для режимов нормальной эксплуатации и нарушений (рис.).

Нормальная эксплуатация. Стационарные режимы нормальной эксплуатации занимают подавляющую часть жизненного цикла АЭС. Эти режимы охватывают широкий спектр состояний, таких как выработка электроэнергии на различных ступенях мощности, остановка, ремонт и др. В энергетических режимах станция остается в стабильном состоянии, а значения всех технологических параметров и состояние оборудования должны находиться в довольно узком «коридоре». Основная задача операторов состоит в наблюдении за станцией и выявлении даже незначительных локальных возмущений и отклонений от стационарного состояния. Для решения этой задачи представляется крайне полезным отображение состояния основных технологических функций и отображение конфигурации оборудования АЭС [11]. Если же отклонение произошло, то оператор и/или автоматика должны компенсировать его и вернуть соответствующую технологическую систему в предыдущее стационарное состояние.

Локальные возмущения. Если операторы упустили или не смогли компенсировать локальное возмущение, то технологические параметры продолжают двигаться в сторону уставок сигнализации. Сработавшая сигнализация привлекает внимание операторов к происшедшим событиям и побуждает их к выполнению действий в соответствии с релевантной процедурой реакции на сигнал (если таковая имеется). Задача ЧМИ в этом случае состоит в интеграции информации о сигнале, процедуре и затронутой технологической системе в форме видеокadres, ориентированного на задачу.

Пределы	Границы области стационарной эксплуатации		Уставки сигнализации	Эксплуатационные пределы	Уставки защиты	Уставки систем безопасности	Пределы безопасной эксплуатации
	Нормальная эксплуатация						
Класс режима	Нормальная эксплуатация						
Режимы	Штатные стационарные режимы	Штатные переходные режимы	Локальные возмущения	Предусмотренные и неожиданные аномальные переходные процессы, ведущие к снижению мощности или остановке	Остановка реактора и восстановление критических функций безопасности		
Процедуры		Инструкции по эксплуатации систем	Процедуры реакции на сигнал	Событийные процедуры для предусмотренных событий	Симптомно-ориентированные аварийные процедуры		
Сигнализация			Отображение сигнализации	Фильтрация сигналов, индикация первопричины	Назначение приоритетов сигнализации и индикация срабатывания систем защиты и безопасности		
ЭИ		Отображение динамики процесса	Отображение балансов в затронутых системах	Отображение балансов по АЭС в целом			
ФИ	Обзор состояния функций		Отображение деградированных функций и функций под угрозой	Отображение критических функций безопасности			
ИИ						3D-визуализация аварии	
Охват ЧМИ	О	О, С, З	С, З	О, С, З		О, С	
Задачи оператора	Выявление и компенсация незначительных отклонений		Предвидение развития и применение релевантной процедуры	Идентификация переходного процесса и причины, оценка исполнения функций и применение релевантной процедуры		Слежение и восстановление критических функций безопасности	
Распределение функций	Ч=A	Ч>A	Ч=A	Ч<A	Ч<<A	Ч<A	Ч=A

Рис. Информационное содержание ЧМИ в зависимости от эксплуатационного режима АЭС

Отклонение, которое привело к срабатыванию сигнализации, обычно является достаточно сильным, чтобы вызвать дальнейшее распространение локального возмущения. Для предотвращения глубокого возмущения операторы должны предугадать возможные угрозы и пути распространения. ЧМИ может помочь в этом, представляя операторам информацию о функциях, находящихся под угрозой. Некоторые отклонения могут вызвать переходный процесс во всем энергоблоке. В этом случае технологические параметры начинают меняться и могут выйти за пределы нормальной эксплуатации. Такую тенденцию можно выявить с помощью экологического интерфейса, отображающего балансные соотношения между этими параметрами.

Переходные процессы – плановые и вследствие отказов. Выход технологических параметров за пределы нормальной эксплуатации, как правило, влечет за собой снижение мощности. Для адекватного реагирования операторы должны выявить первопричину сложившейся ситуации и следовать соответствующей событийной процедуре. Функция ЧМИ при этом состоит в отборе из сработавшей сигнализации того сигнала, который наиболее четко отображает исходное событие. Данный сигнал (или сигналы) вместе с соответствующими шагами процедуры и релевантной технологической информацией могут быть сведены в видеокадр, ориентированный на задачу.

Снижение мощности (плановое или незапланированное, обычно до 40...70 %) – это переходный процесс, сопровождаемый существенными изменениями технологических параметров. В подобной ситуации для операторов важно отслеживать динамику и баланс между ключевыми параметрами. Эффективным средством для этого служит экологический интерфейс. Перечисленные функции ЧМИ полезны как для плановых, так и для нештатных переходных режимов.

Аварийная остановка и аварийные ситуации. Аварийная защита срабатывает в случае серьезных отклонений технологических параметров за соответствующие уставки. Эта защита приводит к остановке реактора и резкому переходному процессу, сопровождаемому очень глубокими изменениями ситуации. В таких условиях от операторов требуется внимание не только к технологическим аспектам, но и к безопасности. Это особенно важно, если существует угроза выхода параметров за пределы безопасной эксплуатации или за уставки срабатывания систем безопасности.

Задачей ЧМИ является концентрация внимания операторов на тех параметрах и оборудовании, которые ответственны за безопасную работу. Первая задача интерфейса состоит в индикации первопричины срабатывания защиты и расстановки приоритетов сигнализации в соответствии с ее важностью для безопасности. Вторая задача – отображение состояния критических функций безопасности. Наиболее удобным для представления этой информации является функциональный интерфейс.

Кроме того, любой резкий переходный процесс требует от операторов контролировать динамику энергоблока в целом. Для представления операторам обобщенной информации о балансах вещества и энергии следует использовать экологический подход к отображению. Он особенно полезен, если операторы сталкиваются с неизвестной (не встречавшейся ранее) ситуацией. В этом случае операторы должны, как правило, перейти к работе с симптомно-ориентированными процедурами, которые также должны быть отображены и представлены с помощью ЧМИ.

В аварийных условиях может оказаться полезным трехмерный обзор конструкции АЭС. Представление такой информации может помочь в анализе возможных повреждений, путей их распространения и способов восстановления поврежденного оборудования.

Адаптация распределения функций

Еще одним важным фактором, который нельзя упустить при рассмотрении роли ЧМИ, является степень автоматизации управления АЭС. Вся история техники сопровождается попытками автоматизировать функции управления с тем, чтобы облегчить труд человека. Сначала автоматика выполняла рутинные операции слежения и регулирования одного или нескольких параметров. В начале 1950-х гг., исходя из возможностей техники того времени, П. Фиттс сформулировал простой принцип распределения функций между человеком и машиной: отдать человеку все то, в чем он превосходит машину, и наоборот. Был сформирован список преимуществ машины и человека, получивший название «список Фиттса». В дальнейшем этот список разрастался и усложнял-

ся, однако его основная идея оставалась без изменений: человек силен в плохо формализованных, а компьютер – в хорошо формализованных случаях.

Затем появились программируемые компьютеры, выполнявшие расчеты на основе численных математических моделей, а также технологии искусственного интеллекта, позволившие вовлечь компьютер в сферу неформального мышления. Относительная простота программируемой логики позволила автоматизировать на современной АЭС десятки тысяч функций регулирования, блокировок, защит, логической обработки данных и т.п. Современный энергоблок является высокоавтоматизированным, а компьютеры способны надежно и быстро выполнять массу рутинной работы. Оператору остается лишь контролировать автоматику и инициировать лишь принципиальные команды. Хорошо ли это?

С одной стороны, да. Компьютер гораздо более точно и надежно выполнит ту работу, которую он может выполнить. С другой стороны, вывод человека из контура управления приводит к нескольким отрицательным последствиям. Первым из них является монотония, приводящая к существенному снижению внимания и скорости реакции. Вторая проблема состоит в том, что человек теряет мотивацию поддерживать свою вовлеченность в процесс, следить за параметрами и разбираться в ситуации. Давая лишь обобщенные команды, человек постепенно перестает «видеть» за ними сложное устройство энергоблока и его технологические связи.

Однако самым критическим моментом продвинутой автоматизации является следующее. Даже в самой высокоавтоматизированной системе никто не решается полностью исключить оператора. Считается, что в случае отказа автоматики или при наступлении таких событий, в которых автоматика бессильна, человек вмешается, разберется в физической сущности происходящего, выявит первопричину и нормализует ситуацию. Откуда такая уверенность? Существующий ЧМИ по-прежнему ориентирован на то, что у операторов имеются детальные алгоритмы действий и процедуры. Огромный объем информации представляется «россыпью», практически в необработанном виде. Параметры разбросаны по всему БЩУ, по разным видеокадрам и приборам. Может ли человек в таких обстоятельствах быстро аккумулировать нужную информацию и представить себе целостную физическую картину происходящего?

Чтобы разрешить перечисленные проблемы, еще в начале 70-х гг. в противовес *принципу преимущественных возможностей* появляется *принцип взаимного дополнения*: нужно не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины так, чтобы происходило взаимное усиление их возможностей [12]. Взаимная адаптация человека и машины подробно рассмотрена в монографии [13].

Таким образом, наиболее перспективным направлением организации совместной интеллектуальной деятельности человека (Ч) и автоматики (А) является динамическое «подстраивание» степени автоматизации под текущие задачи и ситуацию. Так, чтобы поддерживать вовлеченность человека в процесс и его осведомленность о ситуации, ЧМИ должен даже в штатных режимах делегировать ему часть функций контроля и управления (см. рис.). И наоборот, в случае резких переходных процессов наиболее срочные и важные действия должны выполняться автоматикой, так как в стрессогенных условиях внимание операторов сильно сужается, а скорость реакции падает. Если ситуация предусмотрена проектом, то основной задачей оператора становится контроль работы автоматики и срабатывания защиты и систем безопасности. Однако автоматика может оказаться неэффективной в случае запроектных событий или в условиях неопределенности. В таких условиях необходимо организовать совместную работу человека и автоматики, с контекстным представлением оператору информации, концентрирующей его внимание и усиливающей интеллектуальный потенциал путем активизации образного (т.н. «перцептуального») мышления.

Выводы

Существующие способы организации ЧМИ обеспечивают большие возможности для организации эффективной работы операторов. Однако их непродуманное применение может легко привести к информационной перегрузке операторов и, наоборот, к отсутствию нужной информации в нужный момент. В статье сделана попытка осмысления роли интерфейса в контексте различных ситуаций и режимов работы АЭС. Выполнена классификация типов ЧМИ, и сформулированы его задачи в различных эксплуатационных режимах АЭС с различными стратегиями управления. На основании этого сформулирована идея адаптивного ЧМИ, динамически изменяющего содержание представляемой информации и распределение задач между человеком и автоматикой. Очевидно, что для реализации этой идеи необходима дальнейшая детализация задач ЧМИ, которая должна стать частью функционального анализа АЭС.

АДАПТИВНИЙ ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ ОПЕРАТОРІВ АТОМНИХ СТАНЦІЙ

О.М. Анохін

Обговорюється проблема складності АЕС і роль людино-машинного інтерфейсу (ЧМИ) в компенсації суб'єктивного компонента цієї складності. Виконана класифікація типів ЧМИ за способом надання інформації і принципом відбору інформації. Розглянуто різні стратегії управління енергоблоком АЕС. Запропоновано концепцію адаптивного інтерфейсу, що змінює зміст інформації та ступінь автоматизації в залежності від експлуатаційного режиму АЕС.

ADAPTIVE MAN-MACHINE INTERFACE FOR NUCLEAR POWER PLANT OPERATORS

A. Anokhin

The NPP' complexity problem and the man-machine interface (MMI) role in the subjective component compensation of this complexity have been discussed. Various MMI types according to methods of information selection and representation were categorized. Different strategies of the NPP' plant control were considered. The adaptive interface concept changed the information content and the automation level depending on the current NP' operating condition was suggested.

Список использованных источников

1. *Пригожин И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
2. *Csermely P.* Weak links. The universal key to the stability of networks and complex systems / P. Csermely. – Heidelberg: Springer Verlag, 2009. – 404 p.
3. *Papin B.* The operational complexity index: a new method for the global assessment of the human factor impact on the safety of advanced reactors concepts / B. Papin, P. Quellien // Nuclear engineering and design. - 2006. – V. 236. – P. 1113 – 1121.
4. *Плешакова Н.В.* Анализ применения аварийных процедур оперативным персоналом БЩУ АС / Н.В. Плешакова // Ядерные измерительно-информационные технологии. - 2012. – № 3 (43). – С. 72 – 83.
5. NS-G-2.2. Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций. – Вена: МАГАТЭ, 2004. – 45 с. (Серия норм безопасности).
6. *Анохин А.Н.* Человеко-машинный интерфейс для поддержки когнитивной деятельности операторов АС / А.Н. Анохин, А.С. Ивкин // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2012. – №1 (41). – С. 57 – 66.

7. *Dinadis N.* Ecological interface design for a power plant feedwater subsystem / N. Dinadis, K.J. Vicente // IEEE Transactions on nuclear science. - 1996. – V. 43. – P. 266 – 277.
8. *Beltracchi L.* An OLE interface concept for Rankine cycle-based heat engines / L. Beltracchi // Computer-based human support systems: technology, methods and future: Proc. ANS topical meeting, Philadelphia, PA, 25 – 29 June 1995. – LaGrange Park, IL: ANS Inc., 1995. – P. 129 – 134.
9. *Pirus D.* Functional HSI for computerized operation / D. Pirus // Nuclear plant instrumentation, controls, and human-machine interface technologies: Proc. 4th International topical meeting NPIC & HMIT 2004, Columbus, HO, 19 – 22 Sept. 2004. – La Grange Park, IL: ANS Inc., 2004. – P. 1165 – 1172.
10. *Rothrock L.* Review and reappraisal of adaptive interfaces: toward biologically inspired paradigms / L. Rothrock [et al.] // Theoretical issues in ergonomics science. - 2002. – № 3 (1). – P. 47 – 84.
11. *Kuznetsov V.P.* Implementation of operator support system for equipment configuration monitoring / V.P. Kuznetsov, V.A. Stebenev, A.F. Terekhov // Nuclear plant instrumentation, controls and human-machine interface technologies: Proc. 7th International topical meeting on NPIC & HMIT 2009, Knoxville, TN, 5 – 9 Apr. 2009. – La Grange Park, IL: ANS Inc., 2009. – P. 2043 – 2052.
12. *Голиков Ю.А.* Психология автоматизации управления техникой / Ю.А. Голиков, А.Н. Костин. – М.: ИП РАН, 1996. – 160 с.
13. *Венда В.Ф.* Системы гибридного интеллекта: эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

Надійшла до редакції 03.06.2013 р.

УДК 621.039.536.2

РАЗРАБОТКА, РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ УДЕРЖАНИЯ РАСПЛАВА И ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА РЕАКТОРА ДЛЯ АЭС С РУ ВВЭР-600

**В.Я. Беркович, М.А. Быков, М.П. Никитенко, С.И. Пантюшин,
С.И. Асадский, Д.О. Веселов, Е.А. Фризен, Ю.А. Безруков, Е.В. Хорев,
Р.М. Следков, В.В. Пажетнов, А.Е. Четвериков, В.П. Семишкин, Н.В. Букин**

ОАО Опытное конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС», г. Подольск, Россия

Рассмотрены основные результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке, расчетному и экспериментальному обоснованию системы удержания расплава и охлаждения корпуса реактора при тяжелых запроектных авариях для базового проекта АЭС средней мощности – ВВЭР-600. Приведены основные проектные и конструкторские решения, с учетом которых выполнены расчетные исследования с использованием современных расчетных кодов и методик. Представлены основные результаты ранее выполненных экспериментальных работ, а также перспективные направления исследований.

Введение

Удержание расплава внутри корпуса реактора является важнейшей составляющей стратегии управления тяжелыми авариями как для эксплуатируемых, так и для вновь проектируемых реакторов с водой под давлением. За рубежом и в России была обоснована