

УДК 621.039.53

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА АСУ ТП АЭС

А.Н. АНОХИН

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования
НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Студгородок, 1, Обнинск, 249040, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Целью данной статьи является обозначение тех проблем, которые решаются или подлежат осмыслению при модернизации существующих или проектировании автоматизированных систем управления технологическим процессом АЭС нового поколения. Обсуждаются проблема распределения функций между человеком и автоматикой, проблема поддержки когнитивной деятельности, проблема больших объемов данных, проблема вторичной деятельности и навигации, проблема коммуникации и создания единой информационной модели, проблема управления вниманием и проблема виртуализации реальности.

Несмотря на существенный прогресс в области технических и программных средств создания автоматизированных систем управления технологическим процессом АЭС (АСУ ТП АЭС), проектирование человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) по-прежнему основано на принципах, сформировавшихся в эпоху приборных панелей с мнемосхемами и пультов управления с кнопками и ключами. Конечно, не следует отрицать огромное множество удачных решений и знаний, которые следует перенести на современную почву. Однако нужно понимать, что далеко не все они эффективно работают в современных условиях, характеризующихся возросшим объемом информации, увеличением сложности АЭС, повышением требований к их безопасности и эффективности, и, самое главное, появлением новых способов взаимодействия человека с машиной (компьютером). Для того, чтобы расставить приоритеты в решении задачи построения ЧМИ, в данной статье описываются основные проблемы, которые, на взгляд автора, существуют в данной области.

Проблема распределения функций между человеком и автоматикой

Сама постановка задачи автоматизации труда человека-оператора стимулирует разработчиков средств автоматизации передавать как можно больше функций техническим системам. Однако поначалу это стремление сдерживалось двумя факторами:

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

Считалось, что человек не очень надежен, зато может действовать в трудноформализуемых ситуациях, в то время как автоматика – наоборот. Это положение легло в основу принципа распределения функций, сформулированного Полом Фиттсом в 1950-х гг. Этот принцип предписывает назначение каждой функции тому субъекту управления, который наилучшим образом справится с данной функцией. На основе данного принципа в 1960–70-х гг разными авторами были созданы таблицы [1], описывающие достоинства человека и автоматики с точки зрения различных критериев, таких как:

- *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.

Как ни странно, практически ни в одной из работ того времени всерьез не обсуждается такой критерий, как экономическая целесообразность автоматизации той или иной функции. Со временем ситуация с техническими средствами и инструментами для проектирования изменилась, существенно расширив возможности автоматизации. Современная АСУ ТП может собирать и глубоко 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. Будучи «расслабленным», ему требуется время на оценку ситуации и подготовку решения. Поэтому все большее число современных работ акцентируют внимание на гармонизацию распределения функций с целью постоянного поддержания вовлеченности оператора в процесс управления. Таким образом, в противовес принципу «преимущественных возможностей» появляется принцип «взаимодополняемости»: нужно не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины так, чтобы происходило взаимное усиление их возможностей [2].

Продолжением этой идеи является обсуждаемый в литературе последнего десятилетия подход, предполагающий отход от фиксированного, раз и навсегда специфицированного назначения функций. Это назначение должно определяться динамически, в зависимости от ситуации, загруженности оператора и качества функционирования системы [3]. Такой подход получил название адаптивного, а его проекция на управление АЭС сделана в [4].

Автоматизация функций порождает еще одну психологическую проблему, которая еще серьезно не обсуждалась в отечественной научной периодике: доверие человека автоматике. Первыми эту проблему отметили исследователи в области искусственного интеллекта (например, как относиться к советам, генерируемым экспертными системами – беспрекословно следовать им или проверять их), в то время как разработчики стали говорить о ней лишь в сер. 2000-х гг. Совершенно очевидно, что крайние позиции – абсолютное доверие и абсолютное недоверие ни к чему хорошему привести не могут, хотя и возникают довольно часто. В то же время, принцип «доверяй, но проверяй» реализовать не так просто – он возлагает на человека дополнительную работу.

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 в отчете [5] сформулированы следующие критерии распределения функций:

- если существует требование некоторого нормативного документа, предписывающее назначение определенной функции человеку или машине (например, правило тридцати минут), то это требование должно быть выполнено;
- если выполнение функции требует высокой надежности ($P_{\text{ошибки}} < 0,01$), точности, быстрого исполнения (простая задача за несколько секунд, сложная за несколько минут или необходимое время выполнения сравнимо с имеющимся) или ее ручное выполнение может нанести вред здоровью, то она должна быть автоматизирована;
- если 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. К сожалению, в настоящее время в отрасли отсутствуют и/или не применяются процедуры обоснованного распределения функций. Действуют устоявшиеся традиции и принцип «автоматизировать все, что можно автоматизировать».

Проблема поддержки когнитивной деятельности

Несмотря на то, что работа операторов стала намного более формализованной, зарегламентированной и консервативной по сравнению, например, с 70–80-х гг., мы все же оставляем за ними функцию «интеллектуального агента», демонстрирующего поведение, основанное на знаниях [6]. Особая надежда возлагается на оператора в ситуациях, которые выходят за границы работы автоматики – это сложные аномалии с наложением событий, тяжелые аварии, задачи глобальной оптимизации работы АЭС (в противовес задачам локального регулирования процесса). В то же время, объем знаний и количество факторов, которые необходимо учитывать в таких ситуациях, велики, что ставит проблему поддержки интеллектуальной деятельности оператора.

Известны два способа такой поддержки. 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. 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. В нашей стране этот подход получил название «когнитивная графика», в то время как в западных странах он называется «экологический интерфейс».

Элементы такого подхода встречаются у разработчиков отечественных АСУ ТП АЭС (например, отображение «рабочей точки» в пространстве технологических параметров), однако системные исследования не ведутся. Аналогичная ситуация наблюдается и с интеллектуальными системами поддержки. После всплеска работ в 1980–90-е гг. активность в этой области угасла и сегодня, к сожалению, значимые достижения здесь отсутствуют.

Проблема больших объемов данных

Современные модульные аппаратные средства АСУ ТП, способы передачи и концентрации данных позволяют регистрировать и создавать огромные массивы. Это порождает соблазн «вывалить» всю собранную информацию на оператора. Однако принцип «информация лишней не бывает» в данном случае в корне неверен. Конечно, с одной стороны, в спокойной обстановке в стационарном режиме, оператор имеет возможность получить сведения обо всех системах. Однако при возникновении аномальных событий и быстром развертывании 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». Оператор видит одновременно только малую часть информации, уместяющуюся на двух-трех из нескольких десятков (а то и сотен) видеокладов [7]. Это вынуждает его постоянно перемещаться от одного видеоклада к другому, что порождает проблему навигации.

Проблема вторичной деятельности и навигации

Разработчики ЧМИ АСУ ТП уделяют много внимания мнемознакам, их динамике, проектированию окон для ввода управляющих воздействий, выбору и назначению цветов и другим важным вопросам отображения информации. Большие усилия тратятся на алгоритмы ввода управляющих воздействий, предотвращающие ошибочные или непреднамеренные действия. Как правило, это вынуждает человека выполнять дополнительные операции по активации окна управления, манипулированию виртуальными кнопками (и другими диалоговыми элементами), подтверждению действия, закрытию окна.

Однако оператора дополнительно загружают не только действия, связанные с вводом управляющих воздействий (т.е. с «первичной» деятельностью). 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 АЭС, в западной литературе называются «вторичной» деятельностью. Наиболее сложно дела обстоят с навигацией, несмотря на выработку нескольких довольно эффективных способов, таких как:

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

Тем не менее, объем представляемой информации и количество видеокадров пока растет быстрее, чем повышается (благодаря перечисленным способам) эффективность навигации. Об этом свидетельствуют результаты опросов операторов.

В настоящее время на зарубежных АЭС обсуждается вопрос использования носимых устройств для ввода информации. Это полезно для выполнения программ (бланков) переключений, в частности, для местных операторов, изменяющих состояние неконтролируемого с блочного щита управления (БЩУ) 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 можно отнести ко 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. Однако их внедрение должно происходить очень осторожно, т.к. это связано с проблемами калибровки, ввода числовой информации и особенно риском скелетно-мышечных расстройств.

Проблема коммуникации и создания единой информационной модели

Использование носимых устройств является одним из путей облегчения коммуникации, особенно между местными операторами и персоналом БЩУ и ЦЩУ. Другая проблема – коммуникация операторов БЩУ. Дисплейный способ управления дает полноценную индивидуальную информацию, однако разобщает операторов и не позволяет им общаться, используя общий визуальный образ. В этом плане, внедрение экранов коллективного пользования (ЭКП) облегчает работу, однако их необходимость и содержание до сих пор является предметом дискуссий. В то же время, ЭКП создает дополнительный «слой» информации (в терминах «многослойного» интерфейса [8]), проектирование которого должно быть результатом глубокого анализа и частью концепции управления, а не «побочным продуктом для красоты».

Проблема управления вниманием

В опросах операторов, проводимых автором в разное время, очень часто звучит замечание о перегруженности и бесполезности фрагментов (это отмечают более половины опрошенных операторов). 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.

Согласно [9] существуют два базовых подхода к управлению вниманием. 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», обсуждаемому ниже.

Второй подход к управлению вниманием – это формирование у человека побуждения обратить внимание на тот или иной объект или информацию. Наиболее простым примером может служить формирование автоматикой гипотезы о состоянии АЭС. Данный подход гораздо сложнее, но при этом гораздо более эффективнее, т.к. он основан на том, что человек обращается к информации предметно, с целью проверки определенной гипотезы, а не просто получает неизвестно к чему относящийся сигнал.

Достоинством сигнализации является простота ее реализации. Однако фактов, на которых следует концентрировать внимание оператора, становится все больше и больше, что

зачастую ведет к избыточности сигнализации и перегруженности оператора в сложных ситуациях. Определенным решением является фильтрация и назначение приоритетов сигнализации, однако полностью проблему это не решает.

Одним из наиболее перспективных современных подходов к оптимизации объема сигнализации является перенос акцента от привлечения внимания к событию (например, об отключении насоса или повышении давления) на привлечение внимания к состоянию технологической функции (например, функции обеспечения циркуляции или поддержания давления). Насос может отключиться, но циркуляция останется в норме за счет подключения резервного насоса или снижения мощности до уровня, соответствующего количеству оставшихся в работе насосов. Такой подход к контролю и управлению АЭС называется функциональным [10]. Его применение существенно меняет философию управления и больше соответствует концепции современной АСУ ТП, нежели традиционный подход, пришедший от больших приборных панелей.

Проблема виртуализации реальности

Сегодня виртуальная реальность стала термином, эмоционально окрашенным такими эпитетами, как современный, передовой, удобный и т.п. В то же время, воспроизводя с помощью компьютера различные объекты (неважно как – в виде мнемознака или 3D образа), мы теряем существенную часть информации о нем, такую как звук, реальный размер, тепло, вибрация. Если традиционные ключи управления сохраняют тактильные ощущения, имеют размер, фактурную поверхность, требуют усилий для поворота, то виртуальные органы и объекты управления превращают работу оператора в компьютерную игру. А этих условиях важно сохранить у оператора ощущение, что включая ГЦН, он управляет объектом размером с пятиэтажный дом. Конечно, путь любого оператора на БЩУ лежит через «полевую» работу, в ходе которой реальный образ оборудования навсегда укладывается в память. Особым опытом в этом плане обладает тот персонал, который застал период строительства и ввода блока в эксплуатацию. Однако благодаря тренажерам путь на БЩУ может сокращаться, а проблема виртуализации – становится более острой.

Список литературы

1. Кантович В., Соркин Р. Человеческий фактор. Т. 4. М., 1991.
2. Голиков Ю. А., Костин А. Н. Психология автоматизации управления техникой. М., 1996.
3. Inagaki T. Handbook on cognitive task design. Lawrence Erlbaum Associates, 2003.
4. Анохин А.Н. // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления: ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014. С. 6345–6356.
5. Guidance for the design and use of automation in nuclear power plants (EPRI 1011851). Washington DC, 2005.
6. Rasmussen J. The human as a system component. New York, 1980.
7. Анохин А. Н. // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2007. № 3. С. 18–23.
8. Nihlwing C. // Proceedings of the 7th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human-Machine Interface Technologies NPIC&HMIT 2010. Las Vegas, Nevada. November, 7–11, 2010. P. 459–471.
9. Wickens C. D McCarley L. S. Applied attention theory. FL, 2008.
10. Pirus D. // Proceedings of the 4th International Topical Meeting NPIC&HMIT 2004. Columbus, September, 19–22, 2004. P. 1165–1172.