

УДК 621.311.2:65.011.56

*Е. В. АЛЕКСАНДРОВ, Е. С. ЗОЛОТОВЕРХАЯ, О. А. ЛЕСКОВИЧ***ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Рассматриваются вопросы построения архитектуры информационного обеспечения автоматизированных систем управления, включающие в себя создание единой информационной базы, разработки типовой схемы обмена и хранения данных, обеспечения непрерывного наращивания емкости информационных баз данных. Предлагаются способы и виды представления информации оперативному персоналу о ходе технологического процесса и его нарушениях на блочном щите управления (БЩУ). Проводится анализ функций и условий работы оператора БЩУ в обеспечении приема, переработки и передачи информации для эффективного и безопасного функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами энергоблоков тепловых и атомных электростанций.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция, атомная электростанция, автоматизированная система управления, технологический процесс, информационное обеспечение, базы данных, представление информации, блочный щит управления, оператор.

*Е. В. АЛЕКСАНДРОВ, О. С. ЗОЛОТОВЕРХА, О. О. ЛЕСКОВИЧ***ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ТА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

Розглядаються питання розробки інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування, які включають в себе створення єдиної інформаційної бази, розробці типової схеми обміну та зберігання даних, забезпечення безперервного нарощування ємкості інформаційних баз даних. Пропонуються способи та види надання інформації оперативному персоналу на блочному щиті керування (БЩК). Проводиться аналіз функцій та умов роботи оператора БЩК у забезпеченні ефективного та безпечного функціонування автоматизованих систем керування технологічними процесами енергоблоків теплових та атомних електростанцій.

**Ключові слова:** тепла електростанція, атомна електростанція, автоматизована система керування, технологічний процес, інформаційне забезпечення, бази даних, надання інформації, блочний щит керування, оператор.

*E. V. ALEKSANDROV, E. S. ZOLOTOVERCHAJ, O. A. LESKOVICH***INFORMATION SUPPORT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR THERMAL AND NUCLEAR POWER PLANTS**

The issues of constructing an information support architecture for automated control systems, including the creation of a single information base, the development of standard scheme for the exchange and storage of data, the provision of a continuous increase in the capacity of information databases. The ways and types of information presentation to operational personnel on the progress of the technological process and its violations on the control panel of the control room. An analysis of the functions and operating conditions of the operator of the control panel in the provision of reception, processing and transmission of information for the effective and safe operation of automated control systems for technological processes of power units of thermal and nuclear power plants.

**Keywords:** thermal power plant, nuclear power plant, automated control system, technological processes, information support, database, presentation of information, block control panel, operator.

**Введение.** Современные мощные энергоблоки тепловых электростанций (ТЭС) и, особенно, атомных электростанций (АЭС) представляют собой взаимосвязанные комплексы таких агрегатов как парогенератор, реакторная установка, турбина, генератор, а также большого количества вспомогательного оборудования и, таким образом, являются достаточно сложными объектами управления.

Отечественный и зарубежный опыт убедительно подтверждают, что обеспечение существующих нормативных требований к эксплуатации таких многоуровневых, многофункциональных, и ответственных объектов невозможно без современных автоматизированных систем управления (АСУ)

Общеизвестно, что процесс автоматического (автоматизированного) управления производственным процессом или каким либо объектом требует для своей успешной реализации: получения необходимой динамической информации от объекта; её преобразования, обработки и хранения; выработки управляющих воздействий на объект на основе разработанных алгоритмов.

Поэтому создание технически-рационального и экономически-обоснованного информационного обеспечения (ИО), которое является одной из основополагающих частей АСУ, является не только достаточным, но и необходимым условием для обеспечения надежной, безопасной и экономичной эксплуатации энергоблоков ТЭС и АЭС.

**Особенности информации от энергоблоков, используемой в АСУ**

Одной из наиболее характерных особенностей развития энергетики является определяющий рост так называемой «информационной нагрузки» АСУ электростанций (ЭС) по сравнению с увеличением единичных мощностей энергоблоков ТЭС и, особенно, АЭС. Так, за период 1970-2011 гг. единичная мощность энергоблоков возросла от 100 МВт на ТЭС до 800-1000 МВт на ТЭС и АЭС, а объемы принимаемой и перерабатываемой информации в их системах управления возросли соответственно в среднем с 1000-1250 до 6000-7000 единиц на ТЭС и 17000-18000 единиц на АЭС

(табл. 1). Если ввести понятие удельного показателя «информационной нагрузки» на 1 МВт

© Е. В. Александров, Е. С. Золотоверхая, О. А. Лескович, 2018

установленной мощности ед.инф/МВт, то за рассматриваемый период он увеличился в несколько раз [1].

Для обеспечения надежной, маневренной и экономичной работы энергоблоков большой мощности необходимо контролировать и поддерживать в достаточно узких пределах с требуемой точностью тысячи технологических параметров, осуществлять воздействие на сотни регулирующих и запорных органов, а также исполняемых механизмов, предусматривать множество различных технологических защит, т.е. принимать, перерабатывать и использовать большие объемы разнообразной информации. Причем эти задачи должны решаться при различных режимах работы оборудования, а также при значительных внешних возмущениях и изменениях характеристик оборудования в процессе его эксплуатации.

Таблица 1 – Примерные объемы количества единиц информации в АСУ энергоблоками

Тип ЭС	Мощность энергоблока, МВт	Количество единиц, шт		
		Контролируемые параметры	Объекты дистанционного управления	Регулируемые параметры
ТЭС	200	600-750	250-300	80-120
	300	1000-1200	450-500	100-150
	800	~3600	~1250	260-270
	1200	~5000	~2100	~420
АЭС	1000	14500-15500	2600-2800	900-1000

Можно констатировать, что с использованием средств вычислительной техники в АСУ ЭС начался новый этап их построения и развития. Значительные потенциальные возможности АСУ ЭС позволяют охватить и контролировать огромное «информационное поле», ЭС с точки зрения движения потоков различной информации. Поэтому сегодня можно с полным основанием говорить об «информационном мониторинге», вкладывая в это понятие реализацию функций АСУ ЭС по сбору, переработке и оптимальному использованию потоков информации, циркулирующих на этом «информационном поле».

В этих условиях определяющая роль в обеспечении эффективного функционирования АСУ энергоблоком принадлежит её информационному обеспечению.

#### Построение архитектуры информационного обеспечения

Информационное обеспечение (ИО) — это совокупность решений по объемам, размещению и формам организации информации, циркулирующей в АСУ при ее функционировании. Основные принципы организации ИО это:

- создание единой информационной базы (ИБ);

- разработка типовой схемы обмена данными между системой управления и пользователями, включая формирование ИБ, внесение в нее изменений и выдачу данных;

- разработка единой общесистемной схемы хранения и обеспечения решаемых задач исходными данными;

- обеспечение возможности поэтапного и непрерывного наращивания емкости информационной базы;

- обеспечение одноразовости и независимости ввода данных от времени решения и количества решаемых задач.

Исходя из этих принципов, основными задачами информационного обеспечения являются:

- определение форм информационного представления объектов и процессов;

- определение структуры и состава информации и её увязка с решаемыми задачами;

- формирование нормального словаря для обозначения и описания объектов и их свойств.

В настоящее время, как правило, ИБ формируется в виде совокупности баз данных (БД). Это множество используемых при функционировании АСУ данных, организованное по определенным правилам, предусматривающим общие правила хранения, описания и манипулирования данными.

Способы хранения и передачи информации должны предусматривать её помехоустойчивое кодирование и защиту от разрушения и несанкционированного доступа. Для кодирования технологического оборудования, технических средств программно-технического комплекса (ПТК), алгоритмов и программ должна использоваться единая система кодирования.

ИО реализуется в составе базового и прикладного программного обеспечения.

Современная концепция управления энергоблоком базируется на централизованном контроле и управлении с центрального блочного щита управления (БЩУ). Для представления информации информационно-вычислительная система (ИВС) разбивается на подсистемы, каждая из которых обслуживает соответствующую часть энергоблока (парогенератор, реакторную установку, турбину, генератор и т.д.). В состав этой системы входят терминалы связи с объектом (ТСО) и центральные узлы сбора и обработки информации (вычислительные комплексы сбора и обработки (ВКО)). При непосредственном подключении ТСО к ВКО образуется два уровня иерархии обработки информации. Однако такое непосредственное подключение не всегда возможно из-за ограниченного числа интерфейсных мест в ВКО. В этом случае ТСО объединяются в группы, каждую из которых подключают к промежуточным вычислительным устройствам (концентраторам). При этом появляется возможность возложить на концентраторы ряд функций по обработке информации, поступающей от

подключенных к ним ТСО, и передаче её затем в ВКО.

Подобную трехуровневую распределенную структуру обычно имеет ИВС в составе АСУ технологическими процессами (ТП) энергоблоков современных ТЭС и АЭС.

На разных уровнях ИВС реализуются различные внутрисистемные и пользовательские функции. На уровне ТСО анализируется соотношение между текущим значением сигнала и заданными уставками; на уровне концентраторов формируются списки сигналов, характеризующих возникновение контролируемых событий на объекте; на уровне ВКО

выполняются основные функции представления информации оператору БЩУ.

На каждом уровне существует свое локальное представление информации: базы данных ТСО, концентраторов и ВКО (рис.1). На уровне ТСО в БД заносятся текущие значения контролируемых параметров. На уровне концентраторов, кроме текущих значений, получаемых из БД и подключенных к концентратору ТСО, в БД заносятся параметры, отклонившиеся от заданного нормального состояния или уставок. В ВКО кроме текущих значений, получаемых из БД концентраторов, БД содержит условно-постоянную информацию, необходимую для выполнения заданных функций.

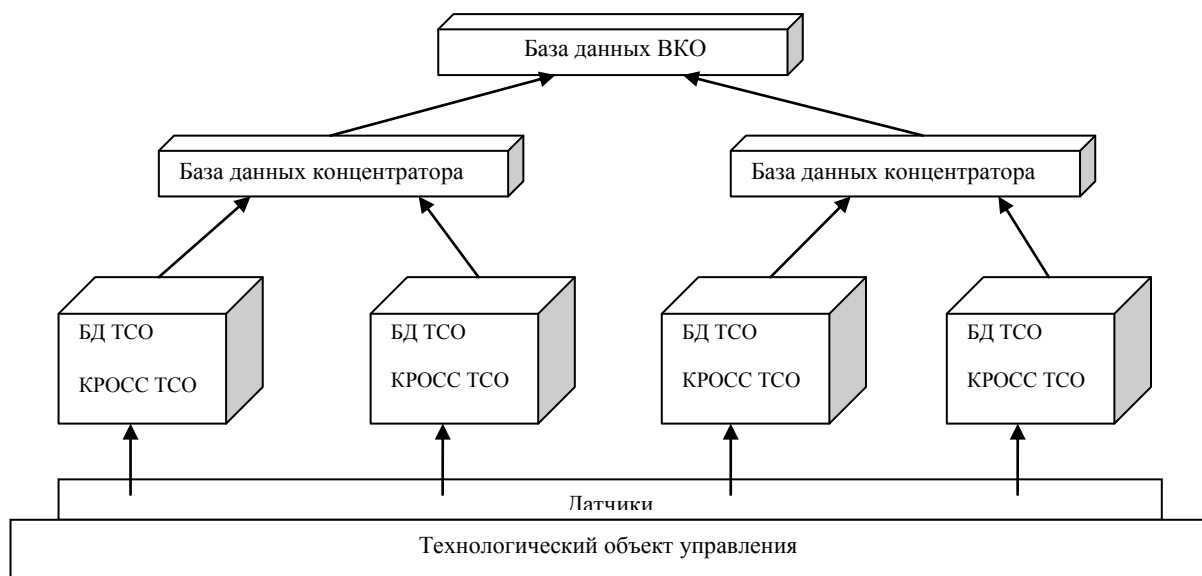


Рис. 1 – Структура информационной трассы

Эта информация организована в форме последовательных файлов (компонентов ИО). Совокупность БД всех уровней представляет собой внутримашинное ИО ИВС. Внешнее ИО - это набор различных форм документов, отражающих как проектные решения по ИВС, так и функциональные характеристики всех входных и выходных сигналов.

Более подробные сведения об архитектуре и разновидностях БД, применительно к ИВС в составе АСУ ТП энергоблоками ТЭС и АЭС, имеются в [2].

Кроме чрезвычайно большого объема разнообразной информации и нескольких уровней её переработки в структуре ИВС, необходимо отметить еще некоторые характерные особенности информационных потоков в АСУ ТП энергоблоком. Прежде всего, это концентрация информации на БЩУ. Например, для блока ТЭС мощностью 800 МВт представлению на БЩУ подлежат около 3500 аналоговых и примерно 1250 дискретных параметров. Для блоков АЭС мощностью 1000 МВт с реактором ВВЭР-1000 эти данные составляют соответственно ~5500-6000 и ~12000 единиц [3].

Поток информации, поступающий оператору на БЩУ, существенно меняется в зависимости от технологического режима энергоблока. Наименьшее значение он имеет в нормальном режиме, когда в работе находятся практически все автоматические устройства. Этот поток увеличивается в среднем в 4-5 раз во время проведения пусковых операций. В ненормальных технологических режимах, например на энергоблоках АЭС, наблюдается 10-20 кратный рост потока; в аварийных режимах всплески входной информации, резко возрастают по отношению к нормальному режиму, приобретают лавинный характер, увеличиваются по отношению к нему более чем в 100 раз. Анализ отказных ситуаций на энергоблоках показывает, что максимумы потоков событий в аварийных режимах по аналоговым и дискретным параметрам разновременны [1].

Всплески информации можно рассматривать как побочный эффект стремления при проектировании систем детализировано представить необходимую информацию в различных режимах, учесть различные аспекты ненормальных режимов и срабатывания так называемой «ждущей автоматики» (аварийных

защит), а также применяемых методов повышения надежности функционирования системы, состоянием датчиков дискретной информации, способам её ввода в систему и т.п. факторами. В настоящее время концепция системы отображения информации (СОИ) на БЩУ, исходя из отмеченных особенностей «информационного поля» АСУ ТП, базируется на глубокой компьютеризации управления энергоблоком во всех режимах, на использовании новейших средств и программ отображения информации (видеодисплеев, больших экранов). При этом используют методы фрагментации информации, редукции сигналов отклонений параметров и различных нарушений, а также другие методы, способствующие эффективному функционированию системы «оператор БЩУ-ИВС» в составе АСУ ТП энергоблока [4].

Необходимо отметить, что при разработке и реализации ИО АСУ энергоблоками должны быть учтены в максимальной степени психофизические возможности человека-оператора, а также все эргономические условия для обеспечения его ответственной работы.

Подробные сведения о ИО АСУ ТП энергоблока ми ТЭС и АЭС имеются в [2,3].

#### **Способы и виды представления информации оперативному персоналу на БЩУ**

В последнее время на ряде электростанций Украины была проведена модернизация АСУ ТП отдельных блоков: Запорожской АЭС, Угледорской ТЭС, Криворожской ТЭС, Трипольской ТЭС и, Харьковской ТЭЦ-5. Поскольку запланированы аналогичные работы на остальных блоках этих и других электростанциях, полученные результаты могут быть использованы для специализированных организаций и электростанций Украины. Далее приведены результаты совершенствования и развития информационного обеспечения в составе АСУ ТП отмеченных выше электростанций.

Представление оперативному персоналу энергоблока информации о ходе технологического процесса и его нарушениях осуществляется на дисплеях операторских станций, установленных в оперативном контуре БЩУ. Вызов информации на дисплей осуществляется оператором с помощью функциональных клавиатур и графических манипуляторов через системы меню [2].

Информация на дисплеях отображается в виде:

- видеокладов, представляющих собой фрагменты мнемосхем или таблиц, на которых индицируются значения аналоговых параметров, состояния дискретных параметров, состояния оборудования, признаки выбора арматуры и механизмов по избирательной системе управления (ИСУ), сигналы срабатывания защит и т.д.;
- аварийных и предупредительных сигналов индивидуальной и групповой сигнализации;
- графиков изменения технологических параметров, показывающих тенденцию их развития, включая предысторию;

- линейных диаграмм (гистограмм) для технологически взаимосвязанных параметров с указанием заданных и предельных значений;
- сообщения о важнейших событиях (экран сообщений);
- справочной информации о параметрах.

Операторские станции используются также для дистанционного управления исполнительными механизмами. Ввод команд управления осуществляется со специальных клавиатур операторских станций, также с видеокладов функционально группового управления (при помощи кнопок управления), а контроль исполнения команд обеспечивается стандартными средствами представления информации на видеокладах.

Основной формой представления информации оперативному персоналу являются различного вида видеоклады, на которых в графической, табличной либо другой форме предоставляется информация.

Видеоклады нормального режима представляются, как правило, в виде мнемосхем, являющихся наиболее удобной формой для ввода оперативной информации (рис.2 и 3).

На приведенных видеокладах представлено дистанционное управление блокировками ПНД и ТПН, переключатель ПЭН. Управление осуществляется непосредственно с видеоклада, после активации режима ДУ, при помощи кнопок управления Ввод/ Вывод, Сблок/Деблок.

Мнемосхема очень удобна тем, что на ней наглядно представлена взаимосвязь между технологическими элементами, указаны точки замеров и значения параметров, наименование элементов, узлов, приведены различные вспомогательные надписи. Для обеспечения более детального анализа мнемосхемы дополняются таблицами, графиками, гистограммами.

Пусковые видеоклады обычно выполняются в виде таблиц, графиков и гистограмм, привязанных к этапам пуска блока, а также детальных мнемосхем.

Для обобщенного контроля за технологическим процессом создаются обзорные видеоклады, охватывающие блок в целом. Они представляются в виде таблиц, либо укрупненных мнемосхем, на которых изображаются только контуры основного оборудования (реактор, турбина, генератор) и выводятся основные параметры блока.

Одной из наиболее важных задач представления информации оперативному персоналу является сигнализация о нарушениях и отклонениях в технологическом процессе объекта. Предусматриваются следующие виды сигнализаций:

- предупредительная сигнализация об отклонении параметров за регламентные предупредительные уставки;
- аварийная сигнализация об аварийных отклонениях параметров, срабатывания защит;
- сигнализация о срабатывании блокировок, АВР, автоматическом вводе-выводе защит, отключении автоматов питания и пр.



рода аварийные ситуации, связанные со срабатыванием защит, а также локальные отказы оборудования и т.д. тоже охватываются индивидуальной сигнализацией.

*Групповая сигнализация* предназначена для привлечения внимания оператора к нарушениям на видеокдрах, которые в данный момент не вызваны на отображение.

Групповая сигнализация предоставляется оператору в виде:

- сигнализации по группам параметров на клавиатурах операторских станций;
- сигнализации по группам параметров на видеокдрах;
- сигнализации по кнопкам выпадающего меню фрагментов.

Групповая сигнализация на клавиатурах заключается в подсветке клавиш вызова тех видеогрэм, на которых индицируются отклонившиеся от нормы параметры. Подсветка сопровождается миганием и подачей звукового сигнала. После квитации звуковой сигнал исчезает, а подсветка переходит на ровное свечение. Каждое новое нарушение вновь вызывает мигание и подачу звукового сигнала. Снимается групповой сигнал после исчезновения всех нарушений в данной группе.

Для представления динамики изменения параметров во времени используются графики, обеспечивающие наглядное восприятие оперативным персоналом тенденции изменения параметров, включая предысторию. В виде графиков может быть представлен как один, так и группа параметров. Состав группы параметров может быть определен предварительно, либо формироваться оперативно. При отображении кривая каждого параметра индицируется своим цветом. При вызове графиков задаются параметры настройки — количество временных отсчетов и интервал между ними. Графики, как правило, представляются в относительной шкале с возможностью вывода абсолютной шкалы одного из параметров. Обеспечивается оперативное изменение масштаба шкалы, а также получение справок по параметрам.

Одной из наиболее образных и наглядных форм представления взаимосвязанных аналоговых параметров являются гистограммы. Значения параметров представляются штриховыми площадками, длина которых изменяется пропорционально значениям параметров. Под каждой гистограммой располагается цветная линейка, указывающая границы контроля (уставки) и шкалу параметра. Гистограммы дополняются также текущими значениями параметров в цифровом виде и справочной информацией по каждому параметру. На одном экране могут одновременно отображаться значения не более 8-10 параметров. Аналогично графикам группы параметров группы параметров могут быть подготовлены заранее, либо формироваться оперативно. Выбор группы осуществляется при помощи меню. Выполняются как вертикальные, так и горизонтальные гистограммы.

Оператор может получить справочную информацию по любому аналоговому и дискретному параметру, введенному в систему. Получение справочной информации по параметру обеспечивается маркерной операцией или специальной директивой. Справка содержит полную информацию о параметре, включая его текущее значение.

На рабочих местах оператора также применяют журналы нарушений, для сигнализации отклонений параметров от нормы и фиксации нарушений в хронологическом порядке.

Журналы нарушений позволяет оператору просматривать события по ограниченному количеству важнейших параметров на экране оперативной станции. Сообщения появляются на экране в хронологической последовательности с указанием времени события. Сообщения по мере их появления движутся роллингом снизу вверх. Кроме этого обеспечивается ретроспективный просмотр (листание) событий, ушедших с экрана. Сообщения о событиях выводятся на экран на подложках соответствующего цвета в зависимости от их важности (аварийные - красного, предупредительные - желтого цвета). При квитировании подложка исчезает, и сообщение индицируется в инверсном виде. Новые сообщения вновь индицируются на подложках.

Появление каждого нового события по параметру входящему в состав журнала нарушений сигнализируется оператору мигающим спецсимволом, выводимым на основной панели управления.

Дистанционное управление (индивидуальное и избирательное) обеспечивает выполнение операций с технологическим оборудованием по командам с рабочего места оператора-технолога на БЩУ. Объект управления (кроме индивидуально управляемых) выбирается с помощью избирательной системы управления (ИСУ), которая реализуется в виде полей номеронабирателей на функциональных клавиатурах или через экран дисплея. В последнем случае объект отмечается на соответствующем видеокдре с помощью рамки управления и имеет соответствующие кнопки управления механизмом.

В нормальных режимах работы энергоблока предусматриваются следующие виды регистрации:

- значений важных аналоговых параметров;
- событий по отклонениям аналоговых параметров, дискретным и формируемым сигналам;
- аналоговой информации для суточной ведомости;
- аналоговой информации по запросу оператора;
- текущих состояний дискретных объектов и текущих значений аналоговых параметров.

Регистрация аварийных ситуаций обеспечивает в хронологической последовательности фиксацию срабатывания технологических защит, событий и значений параметров энергоблока в аварийных ситуациях.

Обеспечивается проведение анализа аварийных ситуаций для установления их первопричины на

основе достаточно полной и достоверной информации в предаварийные периоды.

Регистрация аварийных ситуаций включает в себя следующие задачи:

- идентификацию аварии;
- фиксацию и архивацию аварийной информации;
- вывод на печать информации из аварийных архивов;

В аварийных ситуациях фиксируется следующая информация:

- последовательность срабатывания защит;
- состояние всех дискретных сигналов на момент начала аварии;
- значение важных аналоговых параметров за предварительный, аварийный и послеаварийный периоды.

Регистрация значений важных аналоговых параметров осуществляется по жесткому списку с циклом 2 с. Информация по всем видам аварийной регистрации распечатывается в соответствующих бланках печати аналогично печати нормального режима.

Для анализа зафиксированной информации представляются средства просмотра архивов на экране одной из рабочих станций. При этом обеспечивается вывод аналоговых параметров в виде графиков, совмещение их по времени с соответствующими им дискретными событиями и получение твердых копий за требуемые интервалы времени.

На инженерной станции устанавливаются специализированные программные пакеты, обеспечивающие выполнение:

- функций системного сервера печати;
- функций контроля и диагностики;
- генерация настроек информационных задач;
- проектирование и наладка алгоритмов управления.

### **Роль, функции и условия работы оператора БЩУ в обеспечении эффективного функционирования АСУ**

Одной из центральных проблем построения АСУ энергоблоком является реализация оптимального взаимодействия в системе «человек-машина», т.е. такая организация потоков информации к человеку и командной информации от него, при которой обеспечивается наилучшее, наиболее полное использование всех его творческих возможностей. Поэтому при разработке АСУ ТП и соответствующих технических средств взаимодействия системы «человек-машина» для таких систем управления необходимо учитывать психофизические особенности и возможности человека. А те конструктивные элементы, через которые осуществляется это взаимодействие (индикаторы показывающих устройств для передачи информации человеку, органы управления командных устройств для передачи управляющих воздействий от него и т.д.), должны быть удобны человеку, т.е. должны быть такими, чтоб

от человека не требовалось чрезмерного напряжения внимания или физических усилий, лишних утомительных операций по настройке или эксплуатации и т.д. К этому же перечню нужно отнести и требования комфорта для оптимальной жизнедеятельности человека на рабочем месте.

Человек чаще всего выполняет функции такого элемента АСУ, который включен последовательно между ее техническими звеньями, и через него, т.е. оператора автоматизированной системы, замыкается контур управления. Если же на человека возложены только функции контроля и резервирования параллельно действующей системы и через него не происходит замыкания контура управления, то человек в этом случае является оператором автоматической системы. В обоих случаях человек должен рассматриваться в качестве некоторого специфического звена, обеспечивающего прием, переработку и передачу информации.

Для того чтобы подобные сложные цепи нормально функционировали, необходима максимальная согласованность характеристик технических звеньев системы с возможностями и особенностями человека-оператора [3].

По надежности человек формально также значительно уступает техническим средствам. Он довольно быстро утомляется, качество его работы существенно зависит от большого числа внешних, в том числе сугубо психологических факторов. Однако, при благоприятных условиях работы из-за ряда существенных преимуществ перед неодушевленными техническими устройствами (возможность контроля обстановки своими органами чувств, прогнозирование событий, способность к обучению и анализу, высокая приспособляемость к изменению условий и др.) работа человека в системе управления коренным образом улучшает ее надежность. Созданию таких условий способствует специальная подготовка персонала, обеспечение оптимальных режимов и условий труда, разгрузка оператора от второстепенных операций и передача их техническим средствам и т.д.

Высокая работоспособность оператора устойчиво обеспечивается лишь при определенной комфортабельности среды, в которой он работает. Поэтому вопросам освещенности помещения, оформлению его интерьера, конструированию БЩУ, расположению на нем органов контроля и управления, подбору цветовых гамм окраски и соблюдению других правил эргономики при создании АСУ ТП должно уделяться самое серьезное внимание.

Взаимодействие человека и техники может быть организовано по-разному в зависимости от задач, поставленных перед системой, возможностей выбранных аппаратных средств и роли, возложенной на человека в данной системе управления [1,3,7].

По способу представления информации для восприятия ее человеком системы условно делятся следующим образом:

- в которых информация выдается человеку

в абстрактной форме (в виде цифр, формул, показаний стрелочных контрольно-измерительных приборов и т.д.)

- в которых информация воспроизводится в графической форме (в виде графических функциональных зависимостей, диаграмм на регистрирующих приборах и т.п.)

- с представлением информации в изобразительной форме (в виде мнемосхем, схем территориального расположения и т.п.)

- в которых информация выдается в виде буквенно-цифровых обозначений, текстов (на световых табло, электронно-лучевых трубках, лентах автоматических печатающих устройств и т.д.)

Заметим, что в большинстве реальных АСУ ТП энергоблоками используют не одну, а две-три или даже все четыре формы представления информации человеку.

Общая эффективность функционирования АСУ технологическим процессом или производством, как известно, зависит от совершенства технологического оборудования и системы автоматизации; уровня профессионального мастерства оператора; взаимной приспособленности человека и машины как звеньев единой системы управления. Последнее означает, в частности, что информацию о состоянии управляемого объекта следует представлять оператору в такой форме, которая наиболее полно соответствует закономерностям восприятия и дальнейшей переработки ее человеком. В связи с этим конструирование средств представления информации на основе только технических предпосылок, как это еще нередко бывает, не может обеспечить надежной и высокоэффективной работы оператора. Здесь необходимо привлечение данных инженерной психологии, эргономики, физиологии, гигиены. Немаловажное значение имеет также применение специальных методов художественного конструирования и технической эстетики.

При частых отказах информационно-управляющих функций ИСУ решение о возможном режиме работы энергоблока принимается в зависимости от характера отказа.

Роль человеческого фактора в обеспечении безопасности, особенно, АЭС чрезвычайно велика. Даже тогда, когда управление энергоблоком может быть полностью автоматизировано, оператор может умышленно отключить автоматическую систему обеспечения безопасности, как это имело место, например, на Чернобыльской АЭС и АЭС Тримайл-Айленд (США). С другой стороны, когда по какой-либо причине автоматическая система обеспечения безопасности окажется не в состоянии управлять процессом, вмешательство оператора может решить проблему безопасности.

Велика роль оператора также в предотвращении перехода объекта из нормального эксплуатационного режима в аварийный.

Как показали исследования хронобиологов и статистические материалы, большинство аварий на

АЭС, происходят по вине операторов в предутренние часы из-за нарушения биологического суточного ритма организма оператора, работающего в ночную смену. Установлено, что свет и темнота оказывают основное воздействие на суточный ритм организма, на его биологические часы. С наступлением темноты специальная железа выделяет в кровь снотворный гормон мелатонин и при этом организм бодрствует, так как биологические часы переведены в дневной режим. Людей обычно больше всего клонит ко сну между 4 и 5 часов утра, когда наступает низшая точка суточного ритма и температура тела падает до самого низкого уровня. Установлено, что за счет сеансов яркого освещения определенной длительности при помощи мощной лампы дневного света можно сдвинуть низшую точку суточного ритма (4-5 ч утра) на другое время. Яркое освещение пульта лампы дневного света в течении 4 ч ночной смены оказывается достаточным, чтобы сдвинуть низшую точку суточного ритма на дневные часы и стабилизировать её до тех пор, пока оператор не перейдет в дневную смену. Такие сеансы яркого освещения в ночное время исключают сонное состояние и, следовательно, уменьшают ошибки сидящих или стоящих у пультов управления операторов, от которых во многом зависит быть или не быть авариям на АЭС.

В зависимости от уровня автоматизации, информационной поддержки оператора, соответствующего технологического процесса, изменяются обязанности оператора и круг вопросов, решение которых возлагается на оперативный персонал. Однако, имеется ряд базисных процессов, общих для всех видов энергоблоков, за которыми должен следить оператор при возникновении аварийно опасной ситуации: контроль за системой безопасности; определение возможности возникновения и развития аварийной ситуации и степени безотказности станции, оценка последствий аварии; перевод энергоблока в безопасное состояние; вмешательство в работу систем контроля и управления системы безопасности при отказе технических средств и систем безопасности; включение системы нормальной эксплуатации (если это возможно) при аварийных ситуациях; использование технологических схем и режимов, допускаемых проектом, но не применяемых при эксплуатации; определение инструкции, которой следует пользоваться на основании информации о состоянии станции.

Оперативный персонал при нормальном режиме эксплуатации обязан:

- следить за работой энергоблока и обнаруживать даже малые отклонения в режиме работы энергоблока;

- оценивать последствия, которые могут возникать при любых отклонениях режимов;

- уметь анализировать работу отдельных систем, систем контроля и управления и, в первую очередь, систем безопасности, технологических



процессов, тепловой баланс энергоблока, энергетический баланс станции и др.

Известно, что большая часть аварийных ситуаций на АЭС происходит из-за ошибок оперативного персонала (табл. 2). В связи с этим становится задача уменьшения зависимости обеспечения безопасности работы АЭС от человеческого фактора на стадиях разработки, проектирования, изготовления и эксплуатации АСУ; за счет совершенствования программных и технических средств и введения интеллектуальных систем поддержки оператора возможно снижение уровня требований к оператору [5,7].

Во многих странах мира (США, Германия и др.) принято правило, по которому после начала аварии первые 30 мин исключаются действия (вмешательства) оперативного персонала. Однако в 1987 г. В Лондонской конференции МАГАТЭ по проблемам надежности человека в ядерной энергетике обсуждался вопрос о целесообразности применения данного правила. Правило было подвергнуто критике из-за уникального характера большинства аварийных ситуаций, несмотря на возрастание вероятности ошибок оператора после начала аварии.

Таблица 2 Сравнительный анализ аварийных ситуаций

	МАГАТЭ	Институт INPO (США)
Ошибки персонала	17.5%	46%
Недостатки проектирования	18.5%	33%
Недостатки эксплуатации	18.3%	12%
Отказы оборудования (по разным причинам)	19.5%	-
Ошибки при монтаже	8%	-
Внешние причины	8%	-

Анализ инцидентов, имевших место при эксплуатации зарубежных АЭС с реакторами ВВЭР, и вероятностный анализ безопасности по данным МАГАТЭ и института США INPO подтверждают большую роль оперативного персонала в возникновении инцидентов на АЭС и наиболее опасных исходных событий аварийных ситуаций.

Ниже приведены обобщенные оценки, %, инцидентов, произошедших по различным причинам [6]. Из приведенных данных видно, что ошибки персонала по данным МАГАТЭ и INPO составляют 17.5 и 46 % соответственно.

В отчете INPO подчеркнута, что 80 % ошибок допущено обученным персоналом. Ошибки персонала специалисты INPO делят на ошибки в действиях (47 %), недостатках в обучении (11 %), неспособность следовать установленной инструкции (11 %), а также

неспособность выполнять не предусмотренные инструкцией задачи.

Анализ инцидентов на зарубежных АЭС с реакторами ВВЭР показал, что типичными причинами возникновения инцидентов являются: течи различных сред, которые, как правило, приводят к остановке энергоблока; нарушения работы систем энергоснабжения вызывающие тяжелые последствия, например, разгерметизацию корпуса реактора; нарушения в объединенной системе управления - вплоть до единичных отказов (для операторов существенным оказывается то обстоятельство, что отказы, которые не обнаруживаются сразу, могут быть квалифицированы как обычная неисправность); нарушение оперативным персоналом режима эксплуатации и технических предписаний и др..

Следует отметить, что одним из факторов повышения безопасности АЭС являются широко используемые на зарубежных АЭС автоматизированные системы информационной поддержки операторов энергоблоков [6].

#### Выводы:

1. Эксплуатирующиеся АСУ энергоблоками ТЭС и АЭС Украины получают, перерабатывают и используют очень большие объемы различной информации, а тенденции и перспективы их развития обуславливают дальнейшее увеличение объема получения и обработки этой информации в интегрированных АСУ (ИАСУ) энергоблоков и в дальнейшем ИАСУ электростанций. Необходима разработка методологии оценки эффективности использования информации в ИАСУ энергообъектами, во-первых, для исключения субъективных решений этой задачи и, во-вторых, для построения АСУ и ИАСУ, создаваемых на основе имеющихся сейчас научно-технической и экономических методик.

2. При разработке и проектировании ИО АСУ энергоблоком ТЭС или АЭС должны быть в максимальной степени учтены психофизиологические особенности человека-оператора и обеспечены все эргономические условия для его плодотворной и ответственной работы.

3. Оптимальное взаимодействие оперативного персонала с техническими средствами АСУ энергоблока обеспечивает наиболее полное использование творческого потенциала человека, что существенно повышает надежность и технико-экономическую эффективность эксплуатации этих многофункциональных и ответственных энергообъектов.

4. Оптимальное воздействие в системе «человек-средства управления» может быть реализовано как с учетом требований эргономики, так и с максимальным учетом психофизических особенностей и возможностей человека.

5. Человек оператор в структуре АСУ ТП энергоблоками ТЭС и АЭС является одним из основных компонент, определяющих надежность, безопасность и экономичность функционирования энергоблоков.

6. Опыт построения и эксплуатации мощных энергоблоков ТЭС и, особенно, АЭС на зарубежных объектах убедительно подтверждает необходимость наличия в АСУ ТП энергоблоками автоматизированных систем интеллектуальной поддержки операторов БЩУ, что существенно повышает надежность и безопасность эксплуатации таких сложных и ответственных объектов.

7. Необходимо максимально использовать имеющийся опыт создания автоматизированных систем интеллектуальной поддержки оперативного персонала в аварийных ситуациях, когда поток информации возрастает по сравнению с нормальной эксплуатацией энергоблока в десятки раз и приобретает «лавиный» характер.

#### Список литературы

1. Горелик А.Х. Характеристика потоков событий в нормальных и аварийных режимах атомного энергоблока с реактором ВВЭР-1000. Вестник ХГНПУ, - Харьков, 1999, - С. 38-43.
2. Елисеев В.В., Ларгин В.А., Пивоваров Г.Ю. Программно-технические комплексы для АСУ ТП (учебное пособие)- Киев, Киевский университет, ВГУ.- 2003.- 429 с.
3. Дуэль М.А. Автоматизированное управление объектами и технологическими процессами тепловых и атомных электростанций, - Харьков, ЧП “КиК”, - 2010,- 448 с
4. Дуэль М.А. Концептуальные основы построения интегрированной (ИАСУ) электростанцией. Энергетика и электростанция, - 2007, - №10, - С.35-41.
5. Орловский В.А., Шаталов В.М., Горбатов Н.С. Центр технической поддержки операторов в аварийных ситуациях энергоблоков № 1,2 ХАЭС и № 3,4 РАЭС. Энергетика и электрификация, -2010, -№ 12, - С.58-64.
6. Орловский В.А., Шаталов В.М., Розенбаум И.Д., Симкин Б.Е., Лаврич Л.Л., Кизиль А.П., Соколов А.Т. Критерии выбора программно-технического комплекса для восстановления систем контроля и управления энергоблоков первой очереди Угледорской ТЭС. Энергетика и электрификация. -2015. - № 9.- С. 16-21
7. Ястребенецкий М.А. Информационные и управляющие системы АЭС Украины, Сборник научных трудов. – Одесса, Астропринт, - 2010, - 264 с.

#### References (transliterated)

1. Gorelik A.X. Charakteristika potokov sobytij v normalnux i avarijnux regimax atomnogo energobloka s reaktorom VVER-1000 [Characteristic of the event flows in the normal and emergency modes of the nuclear power unit with the WWPR-1000 reaktor]. Vest. Khar'k gosyd. Nauchno-pedagog. Inst. [Bulletin of the Kharkov state Scientific and Pedagogical University] , - Kharkov, 1999, pp. 38-43.
2. Eliseev V.V., Largin V.A., Pivovarov G.J. Programno-texnicheskie kompleksi dlj ASU TP (yчебное пособие).[Software and hard ware complexes for automated control systems for technological processes (tutorial)]. Kiev, Kiev University, VGU. 2003, 429 p.
3. Duell M.A. Avtomatizirovanoe upravlenie objektami i texnologicheskimi processami teplovux i atomnux elektrostancij [Automated management of objects and technological processes of thermal and nuclear power plants]. Kharkov, Private enterprise “K and K”. 2010, 448 p.
4. Duell M.A. Conceptualnye osnovy postroenij integrirovanoj avtomatizirovannoj systemy upravlenij (IASU) elektrostanciej.[Conceptual basis for building an integrated automated power plant management system]. Energetika i elektrostancij. Power engineering and power station]. 2007, No.10, pp. 35-41.
5. Orlovskij V.A., Chatalov V.M., Gorbatov N.S. Centr texnicheskij podderzki operatorov v avarijnoj situacix energoblokov №1,2 ХАЭС и № 3,4 RAES. [The center of technical support of operators in emergency situations of power units of 1,2 Khmelnytsky nuclear power plant and 3,4 of Rivne nuclear power plant]. Energetika i elektrifikacij.[Power and electrification]. 2010, No.12, pp. 58-64.
6. Orlovskij V.A., Chatalov V.M., Rosenbaum I.D., Simkin B.E., Lavriv L.L., Kizil A.P., Sokolov A.T. Kriterii vubora programno-texnicheskogo kompleksa dlj vosstanovlenij system kontrolj i upravlenija energoblokov pervoj ocheredi Uglegorskoj TES [Criteria for selecting a software and hardware complex for the restoration of control and management systems for the first-stage power units of the Uglegorsk Heat Power Plant]. Power and Electrification, 2015, No. 9, pp. 16-21
7. Jastrebenecij M.A. Informacionnue i upravljuchie sistemu AES Ukrainy. [Information and control systems of nuclear power plants (NPP) Ukraine]. Collection of scientific papers, Odessa, Astroprint, 2010, 264 p.

Поступила (received) 05.07.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Александров Євгеній Вікторович ( Александров Евгений Викторович, Aleksandrov Evgenij Viktorovich )** - головний фахівець з автоматизованих систем керування, державне підприємство “Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації, м. Харків, (0572) 731-61-17, e-mail: xika@ukrpost.net.

**Золотоверха Олена Сергіївна (Золотоверхая Елена Сергеевна, Zolotoverchaj Elena Sergeevna )** - головний фахівець з енергоблоків ТЕС та АЕС, державне підприємство “Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації, м. Харків, (0572) 731-61-17, e-mail: xika@ukrpost.net.

**Лескович Оксана Олександрівна (Лескович Оксана Александровна, Leskovich Oksana Aleksandrovna )** – завідувача лабораторією, державне підприємство “Харківський науково-дослідний інститут комплексної автоматизації, м. Харків, (0572) 731-61-17, e-mail: xika@ukrpost.net.