

УДК 62-519:004.5

**ОСОБЕННОСТИ РЕЗЕРВНОГО УПРАВЛЕНИЯ, РЕАЛИЗОВАННОГО ДЛЯ  
ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА БЕЛОРУССКОЙ АЭС**

ГРИГОРЬЕВ М.С., МАСЛОВА К.А., СЕРГЕЕВА И.Н.

*ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»,**(Сосновый Бор Ленинградской области, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В статье описаны основные особенности человеко-машинного интерфейса резервных средств контроля и управления оперативного персонала Белорусской АЭС, рассмотрены их функции в части предоставления информации и организации управления. Представлены примеры компоновок и назначение различных типов панелей резервного управления. Даны краткие сведения об объеме реализованного человеко-машинного интерфейса и автоматизации рассматриваемого проекта в целом.

**Ключевые слова:** автоматизированное рабочее место; блочный пункт управления; мозаичная панель; резервное управление; человеко-машинный интерфейс.

**MAIN FEATURES OF STANDBY CONTROL AND MONITORING OF BELORUSSIAN NPP  
OPERATING PERSONNEL**

M. GRIGOREV, K. MASLOVA, I. SERGEEVA

*Federal State Unitary Enterprise Alexandrov Research Institute of Technology**(Sosnovy Bor, Russian Federation)*

**Abstract.** The article describes the main features of human-machine interface of standby control and monitoring devices of Belorussian NPP operating personnel, their functions regarding providing information and the organization of management are considered. Examples of configurations and assignment of various types of backup control panels are presented. Information about the scope of developed human-machine interface and automation of the project is supplied.

**Keywords:** automated workstation; main control room; mosaic panel; backup control; human-machine interface.

**Введение**

Проекты пунктов управления первых АЭС включали большое количество электромеханических приборов, табло и ключей, распределенных на большой площади панелей и пультов. Пункты управления первых серийных АЭС добавили в компоновку панелей активные мнемосхемы, отражающие состояние оборудования в динамике, и стали больше ориентироваться на технологическую структуру. Световая индикация в статических мнемознаках оборудования проектов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 «малой» серии, использование специальных люминесцентных панелей с фрагментами мнемосхемы для РБМК и совмещение мнемосхемы с приборами и средствами управления (ключами, кнопками) в проекте ВВЭР-1000 «большой» серии значительно повысили качество человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

С 70-х гг. началось консервативное внедрение компьютерных дисплеев как вспомогательного средства для отображения информации, не связанной с безопасностью, что привело к постепенному вытеснению традиционных аналоговых приборов и ключей из компоновки блочных пунктов управления (БПУ) и заменой их на компьютеризированные средства управления и отображения информации. В результате в некоторых проектах, например, фирмы Mitsubishi [1], от традиционных приборов и ключей отказались практически полностью.

В качестве основного средства управления технологическим процессом в проекте Белорусской АЭС (а также референтной для нее Ленинградской АЭС-2) также используются автоматизированные рабочие места (АРМ) с дисплейным способом управления. Однако традиционным пультам и панелям отводится важная роль. В данной статье, в основном, будут рассмотрены особенности резервирования контроля и управления с БПУ как основного места, обеспечивающего достижение основных целей эксплуатации АЭС: управляемой выработки электроэнергии и предотвращения выброса радиоактивности в окружающую среду [2].

### **О необходимости резервного управления**

Особенностью деятельности оперативного персонала современных АЭС является отсутствие непосредственного контакта с управляемым технологическим оборудованием и удаленность от него, что, с учетом сложности объекта управления, требует передачи и обработки большого объема информации на блочный, резервный (РПУ), центральный (ЦПУ) и местные пункты управления.

Предусмотрены следующие места, предназначенные для автоматизированного дистанционного управления:

1. Дисплейные рабочие станции АРМ;
2. Панельные секции с малогабаритными мозаичными элементами управления и контроля (далее – «мозаичные панели»);
3. Технические средства контроля и управления, расположенные по месту (размещенные в непосредственной близости от оборудования).

Управление по месту, как правило, используется для оборудования, используемого в период технического обслуживания и ремонта и не предназначенного для оперативного управления, расположенного в местах с условиями окружающей среды и доступностью, обеспечивающими возможность управления персоналом по месту.

Необходимость управления с панелей обуславливается следующими факторами:

1. Согласно позиции Европейских ядерных регуляторов [3] по ограничениям по заявляемой надежности, высокая надежность программных средств не может быть доказана современными методами и к показателям надежности компьютерных систем выше  $10^{-4}$  следует относиться с большой осторожностью, а значит требуется сочетание программируемых и непрограммируемых технических средств;

2. Отказ систем сбора и обработки данных (например, системы верхнего блочного уровня (СВБУ), обеспечивающей работу компьютеризированных АРМ) не должен приводить к угрозе безопасности или неоправданным экономическим потерям в работе станции [2];

3. Для удовлетворения нормативных требований [4] (по классам оборудования), управление системами безопасности (СБ) в зависимости от режима эксплуатации производится:

- автоматически при помощи управляющих систем безопасности (УСБ);
- дистанционно с мозаичных панелей при отказе иницилирующей части системы управления и защиты (СУЗ) и УСБ или при необходимости индивидуального управления отдельным оборудованием после истечения времени запрета на управление, возникающего при запуске соответствующей функции безопасности (ФБ);
- дистанционно с АРМ для регламентных работ (например, периодических испытаний, наладки) при нормальной эксплуатации (НЭ). При этом, команды от СВБУ проходят через модули приоритетного управления, на которые также подаются сигналы от панелей резервного управления и иницилирующей части СУЗ-УСБ по проводным связям, что гарантирует выполнение защитных команд с большим приоритетом.

Непосредственно отказ СВБУ не вызывает отклонений технологических параметров, но приводит к потере нерезервированных функций контроля и управления оборудованием. Рассмотрим организацию пунктов управления (на примере БПУ как основного места контроля и управления задачами выработки электроэнергии и обеспечения безопасности), чтобы выявить основные случаи, которые требуют использования резервных средств.

### **Об организации пунктов управления**

БПУ предназначен для обеспечения эффективного и безопасного централизованного автоматизированного управления оборудованием систем НЭ (включая контроль эксплуатационных пределов и условий), СБ и специальными техническими средствами управления запроектными авариями (ЗПА) при НЭ и нарушениях нормальных условий эксплуатации (ННУЭ), включая проектные аварии [4].

В принятой организации АРМ, мозаичных панелей и экрана коллективного пользования (ЭКП), а также в объеме возможностей, представляемых системой контроля и управления, для всех режимов эксплуатации образуются основная, вспомогательная и резервная зоны контроля и управления. Компонировка БПУ представлена на рис. 1 (подробнее в [5]).

- Основная оперативная зона предназначена для:
- контроля и управления основным оборудованием реакторной установки (РУ) и турбинной установки (ТУ), предназначенным для надежной выработки электроэнергии;
  - контроля безопасности;
  - информационной поддержки персонала.
- Вспомогательная оперативная зона предназначена для:
- контроля и управления вспомогательным оборудованием РУ и ТУ;
  - контроля и управления средствами пожаротушения.

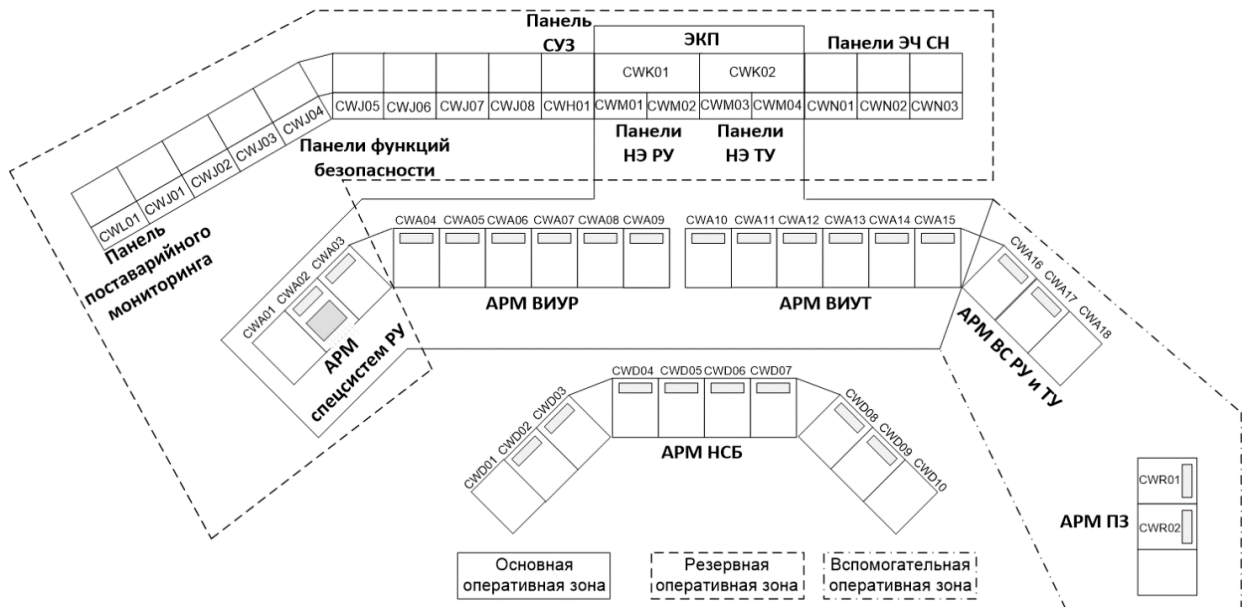


Рис. 1. Компоновка БПУ

- Резервная оперативная зона управления предназначена для:
- контроля и управления минимально необходимым объемом оборудования НЭ РУ, ТУ и электроснабжения собственных нужд при переводе энергоблока в состояние «Холодный останов» при полном отказе средств основной оперативной зоны управления и возникновении переходных режимов или невозможности восстановления СВБУ в течение установленного периода времени (как правило, 2 часов при условии поддержания стационарного режима и введении запрета на технологические переключения);
  - контроля выполнения защитных программ ФБ и их резервного дистанционного запуска при отказе автоматического запуска;
  - индивидуального управления оборудованием СБ, задействованного при работе ФБ, в связи с наличием приоритетов различных способов управления (низкий приоритет дистанционного автоматизированного управления с АРМ по сравнению с высоким приоритетом команд УСБ и команд от мозаичных панелей), а также исходя из организационно-технических ограничений при работе в условиях ННУЭ после завершения времени невмешательства, обеспечиваемого УСБ.

Резервная оперативная зона включает АРМ спецсистем, ЭКП и мозаичные панели.

Компоновка БПУ является несимметричной относительно центральной оси. Центральным элементом является ЭКП, состоящий из 8 экранов. Слева от ЭКП расположены панель управления ЗПА, панели управления СБ и ФБ (по 2 на канал безопасности с обеспечением физического и гальванического разделения каналов) и панель контроля положения групп органов регулирования СУЗ и нейтронно- физических параметров реакторной установки, справа – панели ЭЧ СН, под ЭКП – резервного управления оборудованием НЭ РУ и ТУ. Рассмотрим подробнее особенности организации и применения панелей резервного управления.

### Организация мозаичных панелей

В основном панели применяются на блочном и резервном пунктах управления, однако также традиционно используются для управления выдачей электроэнергии в сеть с ЦПУ.

Для панелей используются следующие конструктивы:

- секции управления и контроля с размером вертикальной части - 800×1250мм, пультовой части - 800×625мм. Подобные секции используются для панелей СБ, СУЗ, ЗПА, электрической части (ЭЧ) собственных нужд (СН);

- секции управления и контроля «рояльного» типа с размером вертикальной части - 1000×250мм, пультовой части - 1000×625мм для размещения панелей НЭ (под ЭКП);

- секции управления и контроля с размером вертикальной части - 1700×1250мм, без пультовой части. Подобные секции используются для панелей ЦПУ.

В ячейки панелей устанавливаются малогабаритные (25х50мм, 25х100мм, 50х50мм, 50х100мм, 100х100 мм) табло, приборы и динамические элементы сигнализации и управления, таким образом, рабочее поле набирается как мозаика из небольших стандартных элементов. Часть мозаичных ячеек панелей заполняются мнемоническими символами («линиями» трубопроводов, изображениями оборудования и т.п.) и текстовыми надписями (надписи на табло представляют собой краткое текстовое сообщение, позволяющее идентифицировать событие или отклонение). Общий объем активных элементов контроля и управления, размещенных на панелях БПУ, РПУ и ЦПУ составляет более 6000 единиц. Подробная информация о количестве панелей и различных видов приборов, размещенных на панелях, на примере референтного 1 блока Ленинградской АЭС-2 представлена в таблице ниже.

**Таблица. Общий объем элементов мозаичных панелей**

Тип панели	Количество БПУ/РПУ					
	Панели	Табло	Приборы	Управление	Сигнализация	Итого
Панели ЗПА	1/0	51/-	100/-	57/-	22/-	230/-
Панели ФБ	8/8	536/484	251/251	930/890	40/40	1757/1665
Панель СУЗ	1/1	78/71	22/16	12/10	-/-	112/97
Панели НЭ	4/4	9/14	111/116	191/194	19/19	330/343
Панели ЭЧ СН	3/0	186/-	107/-	128/-	20/-	441/-
Итого БПУ/РПУ	17/13	860/569	591/383	1318/1094	101/59	2870/2105
Панели ЦПУ	6	482	241	424	23	1170
Всего	36	1911	1215	2846	183	<b>6155</b>

При этом следует отметить, что элементы управления также предоставляют информацию о состоянии (Закрыт/Остановлен/Отказ/Открыт/Пущен/и т.п. для исполнительных механизмов, а также дополнительные сигналы режима (ручной или автоматический) для группового управления) управляемого оборудования, а приборы отображают предусмотренные для параметра уставки. Для сравнения, на БПУ энергоблоков ВВЭР-1000 «большой» серии оперативный контур содержит около 300 показывающих приборов, 700 сигналов о положении арматуры, 1600 табло сигнализации [6]. Таким образом, несмотря на «резервный» статус, современные панели предоставляют значительный объем информации.

Секции резервного управления оборудованием НЭ РУ и ТУ (рис. 2) содержат минимально необходимое оборудование вспомогательных систем РУ, а также оборудование конденсатно-питательного тракта, байпаса турбины и свежего пара для управления переводом энергоблока в «Холодное состояние» при полном отказе «дисплейных» средств управления.

Секции управления ФБ (компоновка представлена на рис. 3) предназначены для:

- контроля запуска защитных программ ФБ;
- контроля выполнения защитных программ ФБ;
- контроля сигнализации о неисправности оборудования;
- дистанционного запуска защитных программ ФБ;
- управления оборудованием СБ при наличии постулируемого исходного события в случае отказа защитных программ ФБ и по истечении времени невмешательства;

- управления переводом энергоблока в состояние «Холодный останов» при отказе СВБУ.

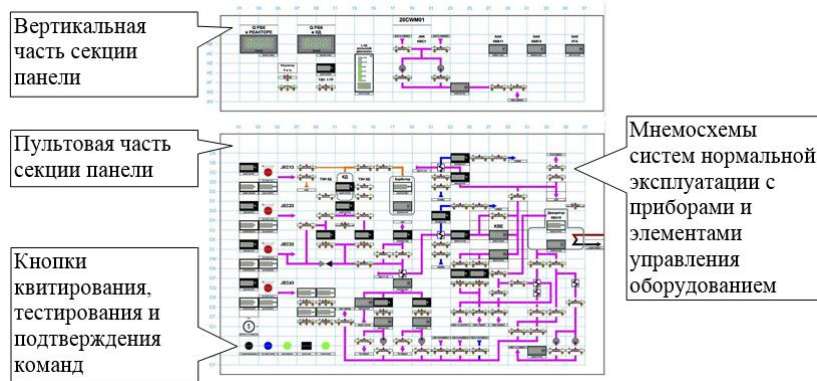


Рис. 2. Компоновка панели систем нормальной эксплуатации

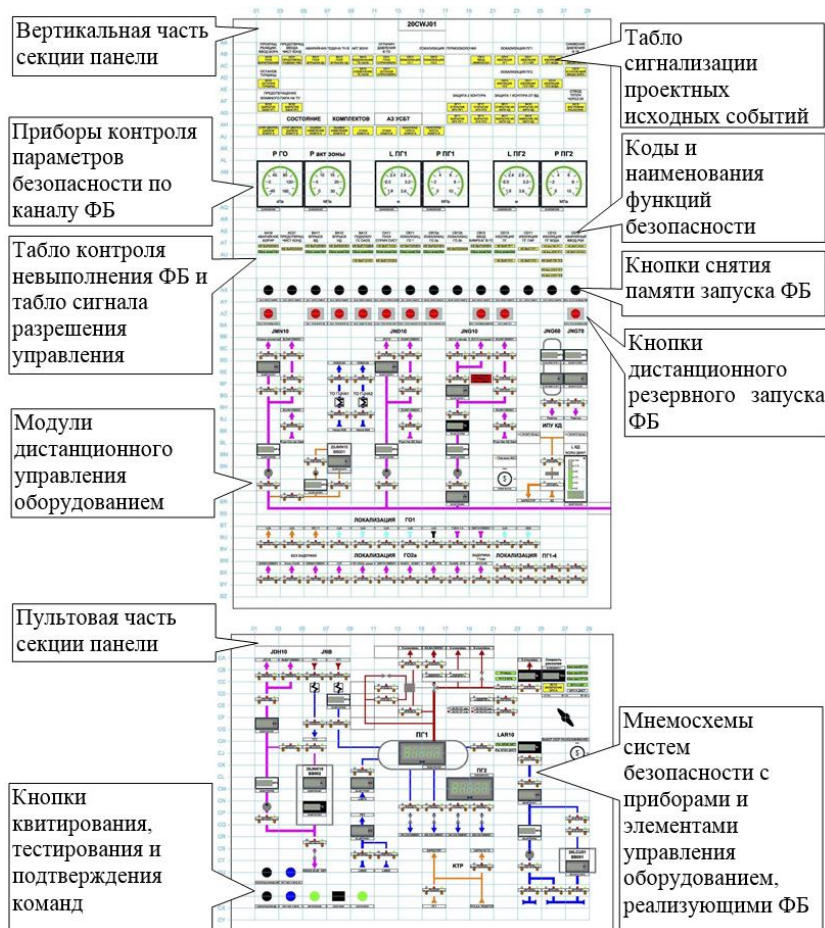


Рис. 3. Компоновка секции панели ФБ

Секция управления ЗПА предназначена для:

- контроля предельных значений водородной взрывобезопасности, активности воздуха в ГО;
- контроля параметров ловушки расплава и управления оборудованием поддержания условий отвода тепла от реактора и ловушки;
- контроля и снижения давления в реакторе при расплавлении активной зоны;
- управления пассивным отводом тепла от активной зоны и гермооболочки при обесточивании.

Секция системы управления и защиты реактора предназначена для:

- сигнализации о формировании условий срабатывания защиты реактора в каждом комплекте;
- индикации положения групп органов регулирования СУЗ;
- индикации нейтронно- физических параметров реакторной установки;
- оптико-акустической сигнализации контроля процесса перегрузки;
- инициализации аварийной защиты реактора;
- контроля готовности и периодической проверки функций СУЗ.

Расположение информации и органов управления на панелях выполняется с соблюдением эргономических требований и компоновкой информации по важности (сверху вниз) и по решаемой задаче с унификацией мозаичных элементов по виду, свойствам и принципам кодирования состояния и приоритета. Для кодирования используются комбинированный избыточный подход на основе изменения формы (размера), расположения, цвета, частоты мигания, а также звуковое и символьное (текстовое) кодирование. Предусмотрен как минимум двухступенчатый алгоритм ввода управляющих воздействий: одновременным нажатием кнопки выбора команды на мозаичном элементе и кнопки подтверждения, либо за счет использования ключей или кнопок с откидывающимися крышками. Выполнение подобных дополнительных действий (по заданию и подтверждению команд), непосредственно связанных с управлением технологическим процессом (т.е. «первичной» деятельностью), предотвращает ошибочные и/или непреднамеренные действия.

Снижение рассеивания внимания и утомляемости также достигается принципом «приглушенного экрана», который подразумевает использование пастельных цветов с низким контрастом для НЭ и применение ярких и контрастных цветов для визуализации отклонений.

Говоря о резервном управлении, также следует отметить необходимость организации РПУ, обеспечивающего возможность непрерывного контроля состояния реактора, его перевода в подкритическое состояние, расхолаживания и поддержания сколь угодно долгое время в подкритическом и расхолаженном состоянии, а также управления теплоотводом от бассейна выдержки при невозможности управления с БПУ [4], например, в результате пожара, затопления и других событий, вынуждающих оперативный персонал покинуть БПУ. Физическое разделение и проектные меры по автономности и пожарной безопасности исключают одновременную потерю БПУ и РПУ по общей причине, а решения, принятые в УСБ, обеспечивают контроль и управление с одного из постов при потере другого. При нормальном функционировании БПУ управление с РПУ заблокировано, а после выполнения процедуры перевода управления на РПУ исключается возможность прохождения ложных сигналов с БПУ. Распределение функций между автоматикой и оператором для РПУ аналогичны решениям, принятым для БПУ, а ЧМИ идентичен с точностью до отсутствующих в РПУ функций.

### **Заключение**

Структура и состав аппаратно-реализованных мозаичных панелей, физически, гальванически и функционально отделенных от основного ЧМИ, реализованного на АРМ, позволяет контролировать состояние параметров безопасности и состояние оборудования, влияющего на основной технологический процесс и на безопасность блока, а также управлять оборудованием СБ при отказе их автоматического запуска или после истечения времени запрета на управление после запуска, на одном информационном поле при полном отказе средств дисплейного управления или переходе к проектным авариям.

Старая проблема громоздкости и унификации элементов панелей были решены с помощью перехода на «мозаичную» технологию, основные проблемы которой (малые размеры элементов, не позволяющие надежно считывать показания на расстоянии, перегруженность приборами и органами управления) нивелируются режимом их использования: панели выступают в качестве резервных средств управления при авариях и/или невозможности управления средствами СВБУ.

В дальнейшем необходимо рассмотреть возможность применения принципа «тёмной панели» («*dark-board*») [7] при котором предусматривается отсутствие индикации на панелях в условиях НЭ без сбоев.

### Список литературы

1. X. Satoshi Hanada, Koji Ito, Kenji Mashio. The Human Factors Engineering Process and Human System Interface Design of the US-APWR.– Proceedings of ICAPP.– Nice, France, 2011.– P. 101-108.
2. IEC 60964:2009 Nuclear Power Plants - Control Rooms - Design (International Electrochemical Commission) (Атомные электростанции. Комнаты управления. Конструкция).
3. Licensing of safety critical software for nuclear reactors. Common position of international nuclear regulators and authorized technical support organizations. Revision 2015. 4. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».
5. Григорьев М.С. Разработка комплекса видеокадров системы представления параметров безопасности Ленинградской АЭС-2 / М.С. Григорьев, Ю.Н. Кудицкий // Сборник трудов международной научно-технической конференции «55 лет безопасной эксплуатации АЭС с ВВЭР в России и за рубежом», Нововоронеж, 2019. - С. 364-376.
6. Анохин А. Н., Острейковский В. А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 344 с.
7. IEC 61227:2008 Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls.