

УДК 621.311.2

П.Ф. Буданов<sup>1</sup>, Н.П. Буданов<sup>2</sup>, К.А. Самоляк<sup>1</sup>, Е.Ю. Самоляк<sup>1</sup><sup>1</sup> Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков<sup>2</sup> Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АСУ ТП ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Рассмотрена концепция использования интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами для контроля состояния безопасности АЭС во всех её состояниях и режимах на основании: расширения возможностей контроля безопасности на пунктах АЭС; учёта необходимых требований к средствам человеко-машинного интерфейса контроля безопасности; разработки принципов обеспечения постоянного, полного и надёжного контроля безопасности во всех состояниях АЭС; формирования специальных зон на АРМ персонала пунктов управления и контроля АЭС, с необходимыми средствами индикации безопасности; выделения событий угрозы нарушения функций безопасности, нарушения функций безопасности, отказа функции канала систем безопасности; создания необходимого программного обеспечения и рабочих зон на АРМ БПУ для контроля технологического процесса и безопасности при всех состояниях и различных режимах АЭС.

**Ключевые слова:** контроль безопасности АЭС, интегрированная АСУ ТП АЭС, программно-технический комплекс АЭС, система контроля параметров безопасности АЭС.

### Введение

#### Постановка задачи и анализ литературы.

Программно-технические средства и комплексы (ПТК), применяемые на АЭС, выполняют информационно-вычислительные, управляющие и вспомогательные функции по контролю состояния ядерной безопасности на АЭС и в районе её расположения в нормальном и аварийном режимах эксплуатации.

Применение цифровых принципов управления и контроля в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) на АЭС новых поколений расширило рамки возможностей по автоматизации информационного обеспечения задач управления технологическими процессами и информационной поддержки персонала пунктов управления АЭС при нарушениях условий нормальной эксплуатации.

Анализ публикаций [1 – 6] показал, что традиционные подходы к системе контроля параметров безопасности (СКПБ) требуют совершенствования. Возможности современных ПТК позволяют добавить в систему новые свойства.

Усовершенствованная СКПБ интегрируется в АСУ ТП, информация системы интегрируется в информационные поля автоматизированных рабочих мест в пунктах управления.

Система (по выполняемым функциям) трансформируется из «Системы контроля параметров безопасности» в интегрированную функцию АСУ ТП (или подсистему АСУ ТП) – функцию контроля безопасности АЭС, объединяющую как все традиционные функции СКПБ, так и новые функции

и свойства: – сигнализацию возникновения симптомов нарушений условий безопасной эксплуатации; – сигнализацию нарушений функций безопасности АЭС (при исходных событиях проектных аварий, части запроектных аварий, а также при угрозах невыполнения функции безопасности в условиях нормальной эксплуатации (НЭ)); – индикацию запасов до наступления события нарушения функции безопасности и сигнализацию о фактах недопустимой скорости развития процесса; – автоматизацию процедур диагностики нарушений НЭ, ПА, ЗПА; – автоматизацию представления соответствующих разделов аварийных инструкций, в зависимости от результатов диагностирования нарушений, анализа исходных событий и промежуточных событий развития нарушения; – резервирование функции контроля состояния безопасности с учетом возможных отказов средств верхнего уровня АСУ ТП, отказов ПТК; – автоматическое формирование аварийных протоколов, графиков, обеспечивающих эффективный анализ процесса нарушения и действий по управления им.

Исходя из вышесказанного, возникают новые требования и подходы к формированию человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) персонала пунктов управления АЭС, к кодированию функций и сигналов, относящихся к безопасности.

**Цель статьи:** Сформулировать возможности использования всех свойств программно-технического комплекса АЭС на основе разработки концепции интегрированной АСУ ТП АЭС для обеспечения контроля безопасности АЭС в режиме реального времени.

### Основной материал

Для обеспечения контроля состояния безопасности АЭС во всех её состояниях, необходимо ре-

шать следующие задачи создания интегрированной в АСУ ТП информационной структуры контроля безопасности (рис. 1.):

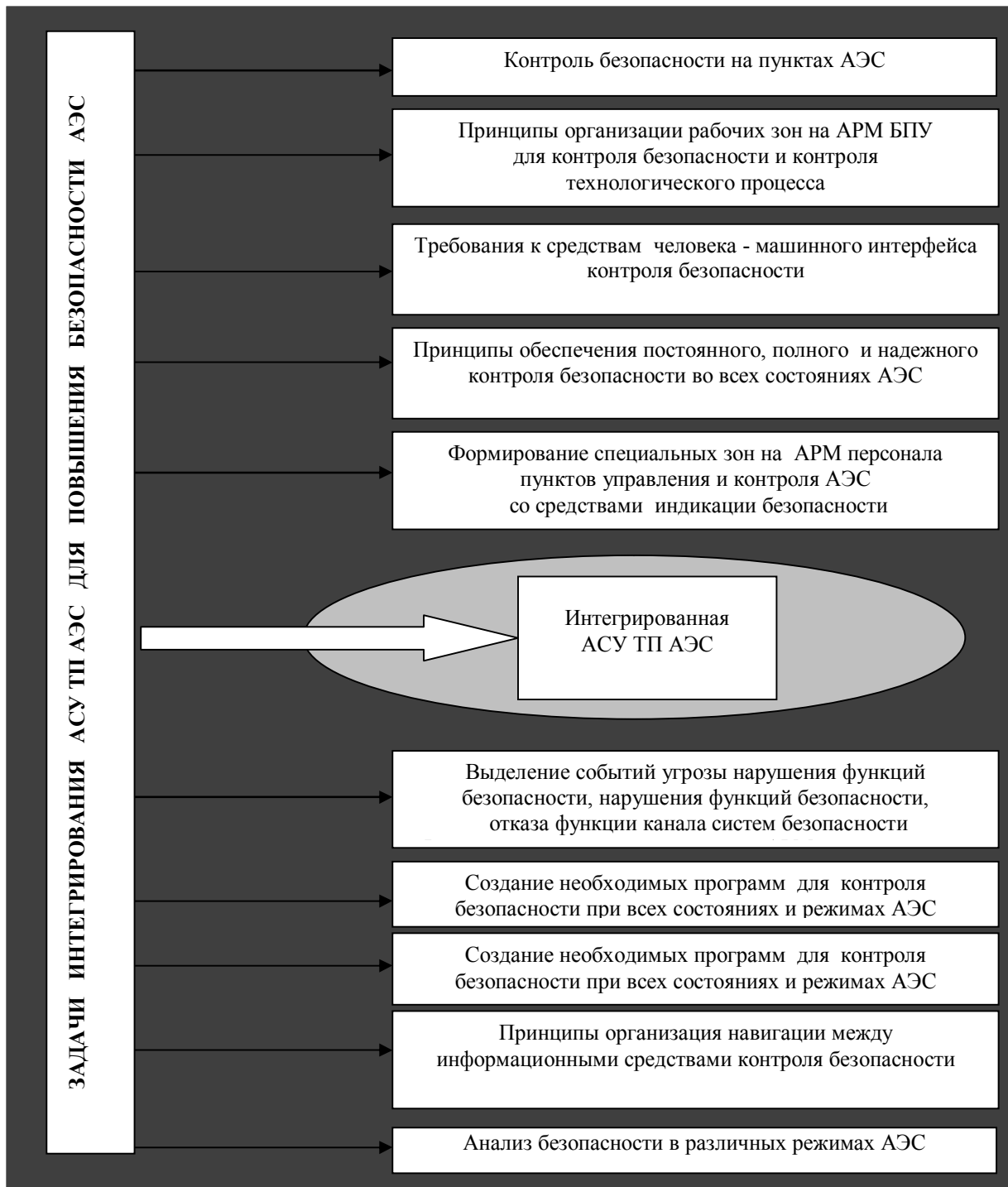


Рис. 1. Информационная структура задач создания интегрированной в АСУ ТП контроля безопасности АЭС в режиме реального времени

- учет международных требований (МАГАТЭ) по контролю безопасности АЭС;
- максимальное использование вычислительных и информационных возможностей современных ПТК в АСУ ТП и SCADA систем;

- выполнение однозначной идентификации событий для персонала пунктов управления АЭС;
- создание автоматизированной поддержки персонала для анализа безопасности во всех проектных состояниях АЭС.

Авторами отмечается, что для расширения возможностей контроля безопасности на пунктах АЭС необходимо применять цифровые принципы управления и контроля в АСУ ТП на АЭС новых поколений, это позволит расширить рамки возможностей автоматизации информационного обеспечения управления и информационной поддержки персонала пунктов управления как при режимах нормальной эксплуатации (НЭ), так и при нарушениях условий нормальной эксплуатации. Кроме того, традиционные подходы к системе контроля параметров

безопасности (СКПБ) требуют изменения статуса (не как системы, а как интегрированной структуры АСУ ТП АЭС), включения в эту структуру принципов и свойств, исходя из возможностей ПТК:

Авторами предложена такая структура (рис. 2), которая позволяет интегрироваться в АСУ ТП, в информационные поля автоматизированных рабочих мест пунктов управления, как одна из главных составляющих операционных зон операторов пунктов и включать все функции реализуемые в СКПБ, так и новые функции:

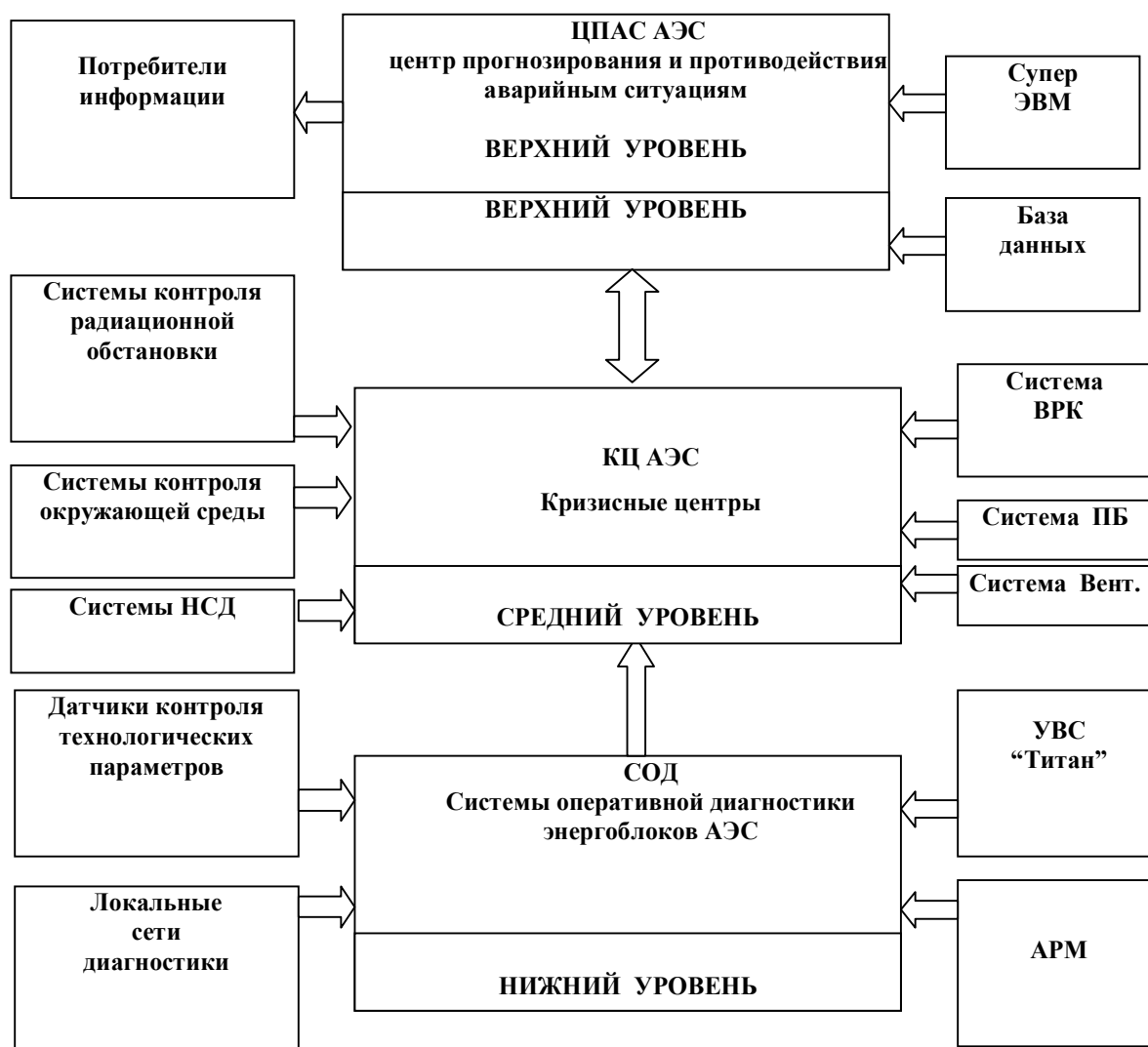


Рис. 2. Вариант построения структуры интегрированной АСУ ТП АЭС

- сигнализацию симптомов угрозы нарушения и нарушения функции безопасности;
- сигнализацию нарушения функции безопасности (при исходных событиях проектных аварий, для части запроектных, так и при угрозах невыполнения функции безопасности в условиях НЭ);
- индикацию запасов до наступления события нарушения функции безопасности и сигнализацию недопустимой скорости развития процесса;
- автоматизацию диагностических процедур

- нарушений, ПА, ЗПА;
- автоматизацию вывода соответствующих разделов аварийных инструкций, в зависимости от результатов диагностирования, исходных событий и промежуточных событий развития нарушения;
- резервирования функции контроля состояния безопасности при отказах средств верхнего уровня, ПТК;
- автоматического формирования аварийных протоколов, графиков параметров для анализа про-

цесса нарушения и управления при нарушении.

Авторами рассмотрены и выдвинуты новые и необходимые требования к средствам человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). Применение дисплейного управления и контроля, как основного способа управления, вызвало и необходимость разработки новых требований, таких как:

- обеспечение постоянного, полного и надежного контроля безопасности во всех состояниях АЭС в составе комплекта вычислительных средств;
- формирование специальных зон на АРМ персонала пунктов управления и контроля АЭС;
- кодирование сигналов, относящихся к безопасности на АРМ персонала пунктов управления и контроля АЭС;
- создание программ контроля безопасности при всех состояниях и режимах АЭС;
- организация навигации между информационными средствами структуры, подчиненной логике анализа функции безопасности;
- организации автоматического формирования аварийных протоколов по исходным событиям нарушения;
- организации автоматического вывода необходимой части информационной поддержки по исходному событию нарушения.

Авторами проведен анализ и рассмотрены требования обеспечения постоянного, полного и надежного контроля безопасности во всех состояниях и режимах функционирования АЭС:

- распределение средств контроля безопасности по оперативным зонам в соответствии с задачами пункта управления;
- навигация в информационные форматы в зоне уверенного контроля оператором;
- применение на каждом пункте управления и контроля АЭС средств индикации состояния безопасности, в зависимости от оперативной ответственности пункта и влияния на безопасность;
- введение новых, специальных классов сигнализации для выделения персоналу событий связанных с угрозой нарушения функций безопасности, нарушением функций безопасности, отказом функции канала систем безопасности;
- применение характеристик для размерного, цветового, текстового кодирования средств контроля безопасности отличного от аналогичного для контроля НЭ;
- организация навигации в средства анализа безопасности, исходя из исходного события нарушения;
- расположение средств контроля безопасности и управления навигацией в информационные форматы в специальных верхних зонах видеокладов АРМ;
- невозможность фильтрации сигналов и собы-

тий относящихся к функциям безопасности.

Авторами предложено формирование специальных зон на АРМ персонала пунктов управления и контроля АЭС, применение на них средств индикации безопасности, в зависимости от оперативной ответственности пункта и влияния на безопасность производить с выполнением следующих принципов:

Для персонала БПУ (ВИУР, ВИУТ, НСБ, ЦТП)

1. Контроль безопасности в основной оперативной зоне БПУ производится на следующих средствах, при нахождении оператора на штатном рабочем месте:

- экране (экранах) коллективного пользования как средстве вывода всего необходимого комплекта контроля;
- в главном меню на всех мониторах АРМ рабочих мест, как средстве обобщенного контроля безопасности;
- в поле видеокладра на мониторах АРМ, как средстве вывода всего необходимого комплекта контроля безопасности, в объеме оперативной ответственности оператора БПУ;
- в поле видеокладра СКУД в зоне ВИУРа, как резервного средства контроля состояния РУ и параметров безопасности.

2. Контроль безопасности в резервной оперативной зоне БПУ производится на следующих средствах, при нахождении оператора на рабочем месте у панельных щитов:

- экране (экранах) коллективного пользования как средстве вывода всего необходимого комплекта контроля;
- в поле видеокладра мониторов щитовых панелей, как средстве вывода необходимого комплекта контроля безопасности, в объеме решаемых функций с щитовых панелей;
- в поле видеокладра СКУД в зоне ВИУРа, как резервного средства контроля состояния РУ и параметров безопасности при управлении с панелей, при отказе средств АРМ операторов БПУ;
- на щитовых панелях, как средстве контроля и регистрации параметров безопасности и наличия исходных событий защит функций безопасности.

Для персонала блочного пункта радиационного контроля

Контроль безопасности на мониторах АРМ блочного пункта радиационного контроля производится в следующих информационных зонах:

- в поле видеокладра на мониторах АРМ, как средстве вывода всего необходимого комплекта контроля параметров безопасности, функций безопасности в объеме оперативной ответственности пункта;
- в главном меню на мониторах АРМ рабочих мест, как средстве обобщенного контроля безопасности в объеме оперативной ответственности.

Для НСС, Центра кризисных ситуаций АЭС

Контроль безопасности на мониторах АРМ НСС производится как в главном меню монитора (обобщенная информация), так и на поле видеокadra, как основном средстве контроля параметров безопасности, функций безопасности в полном объеме их контроля для каждого энергоблока.

Для выделения угрозы нарушения функций безопасности, нарушения функций безопасности, отказа функции канала систем безопасности авторами предложены классы сигнализации.

В цифровой АСУ ТП необходимо широкое применение расчетных и логических сигналов, которые становятся классом для выделения функций безопасности:

Сигнализация для выделения угрозы функции безопасности и нарушения условий безопасной эксплуатации может быть реализована с использованием новых классов сигналов и индикаторов, выделяющих сигналы на общем фоне сигналов НЭ.

Для контроля безопасности при всех состояниях и режимах АЭС предложены подходы для создания программного обеспечения. С этой целью для реализации всех функций контроля безопасности на АРМ необходимо создание программ:

Обобщенной сигнализации:

- инициализации события H,S,A,W,F,O;
- инициализации симптома нарушения функции безопасности (ветви дерева КФБ) для каждого состояния и режима ЭБ;
- угрозы невыполнения каждой функции безопасности для каждого состояния и режима энергоблока;
- формирования условий запуска защит функций безопасности в одном из диверситетов;
- выполнения программы защит функции безопасности и результатов выполнения параметрического анализа условий выполнения;
- отказа функции безопасности при запуске защитных программ;
- отказа функции канала системы безопасности;
- отказа программы выявления симптома КФБ (одной из ветвей).

Расчетных и логических сигналов и событий:

- образования условий перехода ПА в ЗПА;
- учета изменения режима энергоблока для введения логических ключей в обобщенную сигнализацию безопасности;
- учета изменения предельных значений параметров безопасности для введения логических ключей в защитные программы функций безопасности и сигнализацию безопасности;
- образования симптомов для раннего обнаружения нарушения функции безопасности на основании диагностических процедур;
- расчета запаса параметра до границ запуска

защит функций безопасности и запаса времени (при скорости развития в данный момент)

Для организации навигации между информационными средствами контроля безопасности, которая подчинена логике анализа нарушения функции безопасности, был проведен анализ и перечислен весь набор структуры контроля безопасности, которым оперирует персонал АЭС на АРМ пунктов управления и контроля и который входит в организацию навигации

Кроме того, принципы организации информационного поля на мониторах АРМ БПУ для контроля безопасности и контроля технологического процесса рассматривались с точки зрения их связи с конфигурированием как пульта управления в целом, в составе отдельных рабочих станций. Для определения необходимой зоны отображения информации, как для ведения технологического процесса, так и интегрированного контроля безопасности необходимо иметь следующую информацию:

- какой набор информации в конкретный момент времени эксплуатации потребует оператору для реализации управления, без потери контроля безопасности;
- как распределять информацию в пределах видеокadra;
- как организовать навигацию между видеокadрами, не теряя при этом контроль безопасности;
- какие средства используются для доступа к информации.

1. Для решения конкретной технологической задачи необходим набор информации в операционной зоне оператора РУ, выводимой на следующим по количеству (как минимум) мониторов:

- монитора с видеокadром управления и контроля конкретной технологической операции, так называемого технологического видеокadra ФТГ, ФТПГ;
- монитора с видеокadром режима, который обеспечивает необходимый объем информации (как минимум по перечню регламента безопасной эксплуатации и ОООб) для контроля качества выполнения режима и управления ФГУ технологическими задачами НЭ энергоблока;
- монитора обобщенной информации о состоянии технологического процесса ответственности оператора и безопасности (так называемого обобщенного видеокadra);
- зону с монитором протокола последовательных сообщений;
- монитор с обобщенным видеокadром СКУД, который является резервным местом контроля состояния безопасности (параметров безопасности) в случае перехода оператора РУ к месту управления ОР СУЗ или при отказе рабочих станций вышеперечисленных мониторов.

Все перечисленные операционные мониторы размещаются с обязательным выполнением требования уверенного считывания оператором информации с штатного его размещения.

Мониторы с видеокадрами режима, обобщенным видеокадром (называемые иногда как проблемно ориентированные видеокадры) обязательны на АРМ, т.к. выполняют требования постоянного контроля состояния безопасности, способствуют уменьшению общего количества видеомониторов, т.к. они объединяют необходимый объем информации в одном месте.

Управлении технологическим процессом АЭС требует оперирования большим объемом информации без потери контроля безопасности, отсутствие именно проблемно-ориентированных форматов усложняет работу оператора и повышает вероятность ошибочных действий.

2. Информация, относящаяся к безопасности, в пределах видеокadra располагается в верхней части видеокadra, с графическим выделением и пространственным выделением от остальной информации и с применением характерного кодирования сигнализации.

3. Навигация между видеокадрами, обеспечивающими контроль безопасности, должна реализовываться таким образом, чтобы не нарушить принцип постоянства контроля безопасности, поэтому с обобщенного видеокadra эти информационные видеокадры должны вызываться на монитор с видеокадром режима.

Организация анализа безопасности в различных режимах АЭС контролируется и анализируется на АРМ БПУ, АРМ НСС, АРМ ЧЯ и АРМ Кризисного центра АЭС в достаточно полном наборе средств анализа. На остальные пункты выводится обобщенная сигнализация и параметры безопасности, контроль которых входит в оперативные обязанности пункта.

В состояниях НЭ и при нарушениях условий безопасности основным местом анализа состояния безопасности является БПУ.

#### Анализ безопасности в состояниях режима НЭ.

В состояниях НЭ основным местом анализа состояния безопасности является БПУ. На новых поколениях АЭС возможна реализация сигнализации нарушений пределов и регламентных условий НЭ, характеризующих конкретное состояние (режим) и для условий процесса перехода из состояния в другое состояние.

Кроме контроля безопасности на ЭКП, на обобщенном видеокadre РУ, на информационном видеокadre режима организуется специальное поле сигнализации нарушений пределов и регламентных условий НЭ в необходимом составе. Состав сигнала

определяется требованиями ОООб и Регламента безопасной эксплуатации РУ (ТУ) для состояния (режима).

На основном поле режимного видеокadra размещены (в составе мнемосхемы) комбинации средств:

- индикации параметров безопасности и параметров, определяющие состояние НЭ;
- виртуальные кнопки вызова информационных и технологических видеокadров, оперирование которыми необходимо для реализации состояния или перехода в состояние НЭ;
- вызов электронных процедур, оперирование которыми необходимо для реализации состояния или перехода в состояние НЭ;
- вызов графиков параметров и видеокadров бар графов, скомпонованных при рабочем проектировании, необходимых для анализа безопасности и процесса перехода из состояния в состояние.

Организация рабочего оперативного поля на БПУ для анализа безопасности и технологического процесса в условиях НЭ, исходя из вышесказанных принципов контроля безопасности, состоит в следующем распределении на БПУ информации:

- на экранах коллективного пользования НСБ выведены обзорный видеокادر энергоблока и видеокادر графиков параметров безопасности;
- на мониторах СКУД – обобщенный видеокادر СКУД;
- на 1 монитор АРМ ВИУР – обобщенный видеокادر РУ;
- на 2 монитор АРМ ВИУР – видеокادر режима;
- на 3 монитор АРМ ВИУР – технологический видеокادر решаемой задачи;
- на 4 монитор АРМ ВИУР – протокол последовательных сообщений;
- на последующие мониторы АРМ ВИУР – технологические и информационные видеокадры активирующиеся при наличии сообщения на строках протокола (писк первопричины события).

Такая организация позволяет функционально объединить в один информационный комплекс анализа безопасности и технологического процесса для конкретной задачи НЭ.

#### Организация анализа безопасности при нарушении условий безопасной эксплуатации.

В состоянии нарушения условий безопасной эксплуатации основным местом контроля является БПУ и подключенный к персоналу БПУ АРМ ЦТП. Автоматизированный контроль также осуществляется НСС, Кризисным центром и на АРМ ЧЯ.

При возникновении исходного события нарушения инициируется сигнал угрозы КФБ на основании расчетных программ, исходя из положений диагностической процедуры ИЛА, и инициируется

сигнал образования условий запуска защит функций безопасности.

Автоматически запускается программа формирования аварийного протокола.

По выполнению программы защит функции безопасности и проверки выполнения параметрических условий (расход среды, давления среды и процесс прекращения изменения параметров безопасности) формируется сигнал выполнения функции или угрозы невыполнения функции. Пиктограмма КФБ меняет цвет фона и в дереве КФБ активизируется линия симптомов угрозы или нарушения ФБ.

В конце каждой линии дерева КФБ и на поле дерева защит функции безопасности выполнена кнопка навигации в соответствующую часть аварийной процедуры.

В поле видеокadres дерева КФБ и дерева защит функции безопасности выполняются кнопки навигации в видеокadres графиков или бар графиков параметров безопасности, характеризующих функцию безопасности.

При активизации пиктограммы КФБ, характеризующей угрозу следующего физического барьера безопасности, оператор переходит к ее анализу, из активного видеокadre дерева.

Для этого на видеокadres деревьев выведены кнопки навигации и соответствующие динамические пиктограммы.

плекса АЭС на основе разработки концепции интегрированной АСУ ТП АЭС для обеспечения контроля безопасности АЭС в режиме реального времени.

2. Рассмотрен вариант построения структуры интегрированной АСУ ТП АЭС, на основе новых свойств технических и программных средств ПТК.

## Список литературы

1. Состояние и перспективы развития концепций и программ эксплуатации ядерной энергетики Украины / Д.В. Билей, В.А. Комаров, В.И. Скалзубов, В.В. Урбанский // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля: научно-технический сборник. – Чернобыль, 2007. – Вып. 7. – С. 8-11.
2. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій НП 306.2.141-2008. – К., Державна адміністрація ядерного регулювання України, 2008. – 35 с.
3. Гордон Б.Г. Идеология безопасности / Б.Г. Гордон. – М. НТЦ ЯРБ, 2006. – 124 с.
4. Алексашин П.П. Регулирование безопасности – через 20 лет после Чернобыля / П.П. Алексашин, А.М. Букринский, Б.Г. Гордон // Атомная энергия. – 2006. – № 4. – С. 16-24.
5. Мальшиев А.Б. Анализ оценок безопасности атомных станций / А.Б. Мальшиев, Б.Г. Гордон // Вестник Росэнергоатома. – 2005. – № 10. – С. 144-152.
6. Гордон Б.Г. Правовые и нормативные основы регулирования ядерной и радиационной безопасности при использовании атомной энергии: Учебное пособие по курсу “Безопасность и надежность ЯЭУ” / Б.Г. Гордон; под ред. В.М. Баранова. – М.: МИФИ, 2000. – 282 с.

## Выводы

Поступила в редколлегию 30.03.2010

1. Сформулированы возможности использования всех свойств программно-технического ком-

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

### КОНЦЕПЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ АСУ ТП ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ АЕС

П.Ф. Буданов, М.П. Буданов, К.О. Самоляк, К.Ю. Самоляк

*Розглянута концепція використання інтегрованої автоматизованої системи управління технологічними процесами для контролю стану безпеки АЕС у всіх її станах і режимах на підставі: розширення можливостей контролю безпеки на пунктах АЕС; обліку необхідних вимог до засобів людино-машинного інтерфейсу контролю безпеки; розробки принципів забезпечення постійного, повного і надійного контролю безпеки у всіх станах АЕС; формування спеціальних зон на АРМ персоналу пунктів управління і контролю АЕС, з необхідними засобами індикації безпеки; виділення подій загрози порушення функцій безпеки, порушення функцій безпеки, відмови функції каналу систем безпеки; створення необхідного програмного забезпечення і робочих зон на АРМ БПУ для контролю технологічного процесу і безпеки при всіх станах і різних режимах АЕС.*

**Ключові слова:** контроль безпеки АЕС, інтегрована АСУ ТП АЕС, програмно технічний комплекс АЕС, система контролю параметрів безпеки АЕС.

### CONCEPTION OF THE USE OF INTEGRATED TO INDUSTRIAL CONTROL FOR PROVIDING OF CONTROL OF SAFETY APP

P.F. Budanov, N.P. Budanov, K.A. Samolyak, Ye.Yu. Samolyak

*Conception of the use of the integrated automated control of technological processes system is considered for control of the state of safety APP in all its being and modes in foundation: expansions of checking of safety features on the points of APP; account of necessary requirements to facilities of man-machine interface of control of safety; developments of principles of providing of permanent, complete and reliable control of safety are in all states of APP; formings of the special areas on workstation of personnel of points of management and control of APP, with necessary facilities of indication of safety; excretions of events of threat of violation of functions of safety, violation of functions of safety, refusal of function of channel of the systems of safety; creations of necessary software and workings areas on workstation for control of technological process and safety at all states and different modes of APP.*

**Keywords:** control of safety APP, integrated industrial control of APP, programmatic technical complex of APP, checking of parameters of safety of APP system.