

УДК 681.84/.85

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_77

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ПЕРЕХОДА ОТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ «ВИРТУАЛЬНЫЙ ОПЕРАТОР»

А.И. ТихоновORCID: 0000-0002-6402-2036 e-mail: TihonovAI@nvnp1.rosenergoatom.ru

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская АЭС

*Нововоронеж, Россия***М.Ю. Тучков**ORCID: 0000-0002-5752-7757 e-mail: TuchkovMU@nvnp1.rosenergoatom.ru

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская АЭС

*Нововоронеж, Россия***П.В. Поваров**ORCID: 0000-0002-6370-545X e-mail: povarovvp@nvnp1.rosenergoatom.ru

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская АЭС

*Нововоронеж, Россия***М.М. Литвак**ORCID: 0000-0002-2293-5734 e-mail: litvak_mm@sniip-atom.ru

ООО «Инновационная фирма СНИИП АТОМ»

Москва, Россия

Рассматриваются требования к разработке цифровой системы «Виртуальный оператор» как следующего этапа развития информационных систем поддержки оператора. Обоснованы выводы о необходимости создания условий для поэтапного повышения уровня автоматизации управления энергоблоком, а также ускорения сложных технологических процессов путем внедрения системы «Виртуальный оператор», позволяющей снизить вероятность ошибочного решения оператора блочного пульта управления (БПУ) при выборе альтернативных вариантов для несогласованностей при проведении параллельных процессов.

Ключевые слова: система информационной поддержки оператора, функционально-групповое управление, информация, параллельное исполнение операций, виртуальный оператор, автоматизированное устранение несогласованностей, автоматический анализ).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тихонов, А.И. Разработка требований для перехода от автоматизированного функционально-группового управления к автоматической цифровой системе «Виртуальный оператор» / А.И. Тихонов, М.Ю. Тучков, В.П. Поваров, М.М. Литвак // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1. С. 77-85.
DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_77

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR TRANSITION FROM AUTOMATED FUNCTIONAL GROUP MANAGEMENT TO «VIRTUAL OPERATOR» AUTOMATIC DIGITAL SYSTEM

A.I. TikhonovORCID: 0000-0002-6402-2036 e-mail: TihonovAI@nvnp1.rosenergoatom.ru

Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» Novovoronezh NPP

Novovoronezh, Russia

M.Yu. Tuchkov

ORCID: **0000-0002-5752-7757** e-mail: **TuchkovMU@nvnpp1.rosenergoatom.ru**
Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» Novovoronezh NPP
Novovoronezh, Russia

P.V. Povarov

ORCID: **0000-0002-6370-545X** e-mail: **povarovvp@nvnpp1.rosenergoatom.ru**
Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» Novovoronezh NPP
Novovoronezh, Russia

M.M. Litvak

ORCID: **0000-0002-2293-5734** e-mail: **litvak_mm@sniip-atom.ru**
JSC «SNIIP»
Moscow, Russia

Abstract. Requirements for development of a «Virtual operator» digital system as the next stage in operator support information systems development, are considered. Conclusions are substantiated about the need to create conditions for a step-by-step increase in power unit control automation level, as well as speedup of complex technological processes by way of implementation of «Virtual Operator» system, which reduces the likelihood of an erroneous decision by the control panel module (CPM) operator when choosing alternative options for inconsistencies during parallel processes.

Key words: operator information support system, functional group management, information, parallel execution of operations, virtual operator, automated elimination of inconsistencies, automatic analysis).

FOR CITATION: A.I. Tikhonov, M.Yu. Tuchkov, V.P. Povarov, M.M. Litvak. Development of requirements for transition from automated functional group management to «virtual operator» automatic digital system. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 1. Pp. 77-85. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_77

Введение

В настоящей статье рассматриваются подходы дальнейшего развития функционально-группового управления (ФГУ) в сторону интеллектуального параллельного исполнения операций и вводится термин «Виртуальный оператор» (ВО). В соответствии с требованиями ПБЯ РУ АС (НП-082-07) [1], в составе управляющих систем нормальной эксплуатации и управляющих систем безопасности должна быть реализована системы информационной поддержки оператора. Аналогичное требование приведено в п. 3.4.1.1. НП-001-15 [2]. Согласно п. 3.4.5.1. НП-001-15, система информационной поддержки оператора должна представлять персоналу БПУ обобщенную информацию о параметрах АЭС, характеризующих состояние функций безопасности. В рамках плана реализации НИОКР АО «Концерн Росэнергоатом» ведется формирование требований и основных решений по созданию системы информационной поддержки оператора (СИПО). Определение системы поддержки оператора, приведенное в ГОСТ Р МЭК 60964-2012 [3] представляет явную отсылку работы данной системы с получаемой информацией и интерпретаций ее персоналу БПУ в наиболее удобном, для оператора, виде.

Принятая в настоящий момент концепция предусматривает управление с автоматических рабочих мест (далее – АРМ). Как правило, она представляет собой два дисплея и манипулятор-мышь, которым и производятся управляющие воздействия на арматуру и агрегаты. Опыт эксплуатации показал, что для качественного контроля технологического процесса и прогнозирования дальнейших действий оператору необходимо иметь перед глазами ряд графиков, трендов, гистограмм, объем которых нигде не регламентирован и определяется лишь текущей необходимостью. Отслеживание проходящей сигнализации также осуществляется в отдельном окне. Таким образом, один дисплей оператора занят графиками и сигнализацией. Кроме того, часть информации дублируется на панелях и пультах. При этом база данных си-

стемы верхнего блочного уровня (далее СВБУ) содержит порядка 170 000 сигналов, которые выводятся оператору на более чем 1 500 видеокадров, а количество сигнализаций на панелях БПУ более 700. Совокупность информационной и психологической перегрузки оператора может привести в конечном итоге к эмоциональному истощению и ошибке при выполнении работ [4]. Ниже представлена схема учета психофизических особенностей оператора (рис. 1) [5].

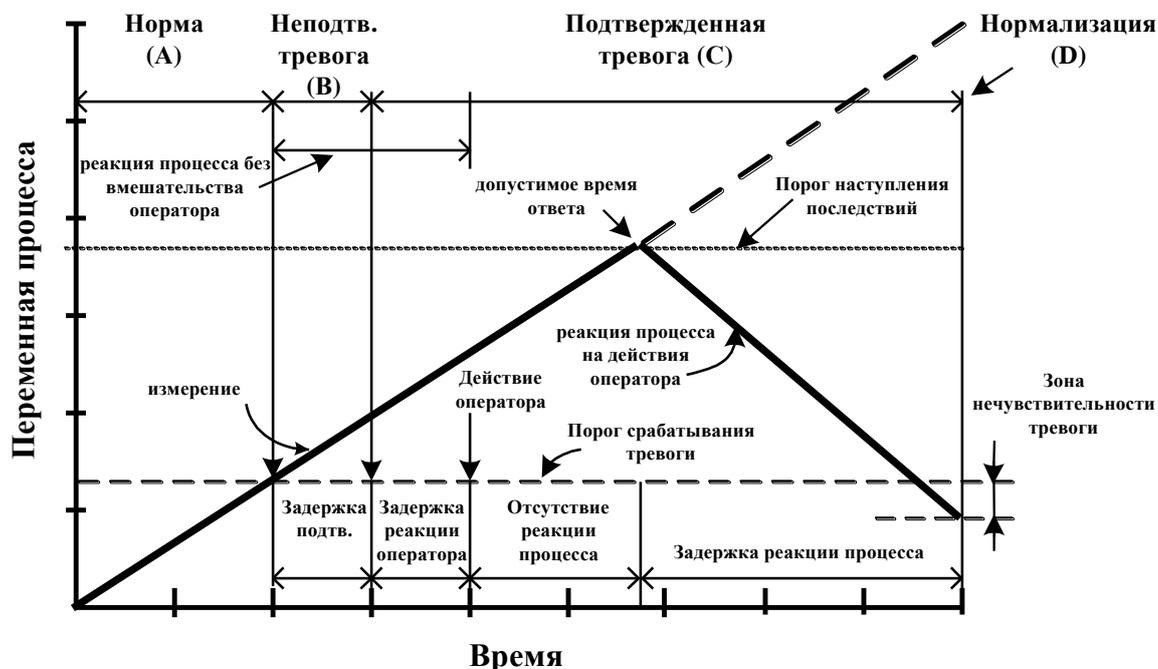


Рис. 1. Схема учета психофизических особенностей оператора

Fig. 1. Operator psychophysical characteristics accounting scheme

В ситуациях с дефицитом времени для принятия решения нужен один достоверный источник информации адаптированный для выполнения конкретной задачи, выдающий отфильтрованную, сжатую информацию в доступном и удобном виде [6]. Указанные проблемы наиболее актуальны для современных проектов АЭС, так как количество параметров, необходимых для анализа работы оборудования, кратно увеличилось с момента перехода от аналого-релейных преобразователей к цифровому формату (рис. 2).

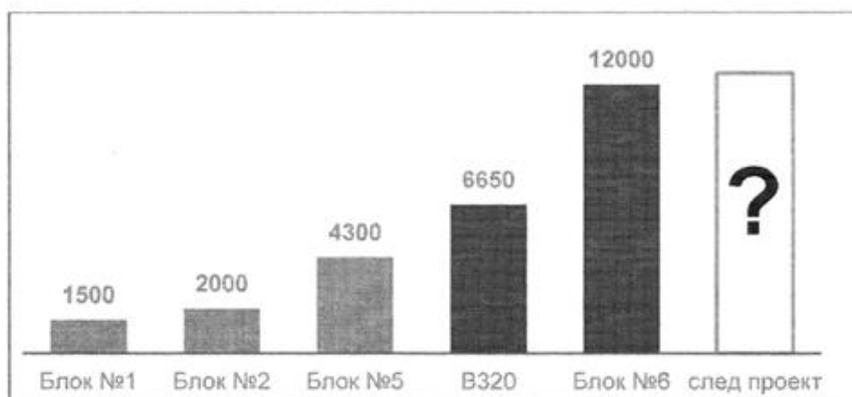


Рис.2 Рост числа измерительных каналов в зависимости от проекта.

Fig. 2. Increase in number of measuring channels depending on the project

ООО «ИФ СНИИП АТОМ» в инициативном порядке при активной поддержке Нововоронежской АЭС разработан макет СИПО (далее – МкСИПО); в составе программного обеспечения которого реализованы, в том числе, программная модель энергоблока и интерактивные процедуры. Первая версия макета с целью накопления архивов эксплуатационных данных для валидации функций СИПО функционирует на блоке № 1 НВАЭС-2 с момента пуска энергоблока. В МкСИПО можно выделить блок интерактивных приложений для контроля безопасного выполнения работ, помощи при принятии решений по управлению и устранению информационной перегрузки оператора. Интерактивные процедуры – приложения, предназначенные для поддержки оператора в пошаговом проведении программ пуска/останова блока и других многоэтапных мероприятий. Исходя из опыта эксплуатации, наибольшее количество переключений выполняется в период проведения операций по пуску/останову энергоблока.

В рамках работы над СИПО, выполнена разработка и валидация ряда интерактивных пошаговых процедур, в том числе, программ пуска/останова энергоблока. По результатам выполненной работы определилась возможность сокращения времени пуска/останова путем уменьшения количества ручных действий за счет дальнейшего развития ФГУ в сторону автоматического исполнения. Реализованные в рамках проекта АЭС-2006 модели ФГУ выполняют локальную автоматизацию, имеют недостаточную диагностику состояния автоматизируемых процессов и оборудования как перед их вводом в работу, так и в ходе их выполнения, не учитывают современный уровень развития технологических возможностей по автоматизации процессов, требуют актуализации для сокращения нагрузки на оперативный персонал БПУ. Согласованных концепции и алгоритмов, позволяющих объединить ФГУ в единую систему, обеспечивающую автоматическое управление энергоблоком в режимах нормальной эксплуатации в российских проектах на данный момент не представлено.

Для создания с учетом требований НП-082-07 (п.2.4.15), НП-001-15 (п.1.2.7, 1.2.21, 3.1.16) на основе прогнозной и аналитической функций СИПО поэтапно – автоматическую систему функционально-группового управления, были разработаны требования к макету цифровой системы «Виртуальный оператор». По мере возможности данная система должна быть интегрирована в общий проект БПУ.

Описание существующего состояния и преимуществ ВО

В существующем проекте АЭС-2006 ФГУ энергоблока имеются существенные (с точки зрения операторов) недостатки:

- автоматизированным управлением охвачены не все технологические процессы, вследствие этого невозможно выполнить полностью автоматизированный пуск/останов энергоблока;
- недостаточный объем диагностирования автоматизируемого процесса, вследствие чего часть аналитической работы по оценке готовности оборудования и процессов к включению в работу функциональных групп (ФГ) и обеспечению (прогнозированию) готовности оборудования в процессе их работы выполняется оператором, что требует значительного времени и высокой квалификации, чем зачастую сводит на нет преимущества автоматического управления.

На рис. 3 схематично представлен текущий процесс действий оператора БПУ при определении оптимальной последовательности выполнения операций, а также поиске решения для несогласованности в технологическом процессе. Отдельно стоит отметить, что оператор может одновременно выполнять ограниченное количество действий по анализу текущих процессов с последовательной реализацией принятых решений.



Рис.3 Текущий процесс, выполняемый оператором БПУ

Fig. 3. Current process performed by CPM operator

При использовании системы ВО (рис. 4), основными преимуществами должна являться способность системы:

- автоматически анализировать и выполнять возможные параллельные технологические процессы, определять и представлять оператору их оптимальную последовательность, заранее выявлять возникновение несогласованностей при проведении параллельных процессов, если они являются взаимоисключающими;
- автоматически (в автоматизированном режиме) устранять несогласованности при ведении параллельных процессов самостоятельно, посредством выбора иного варианта выполнения или, в случае отсутствия таковых, предлагать оператору БПУ оптимальные варианты последовательности выполнения процессов, вызывающих затруднение.

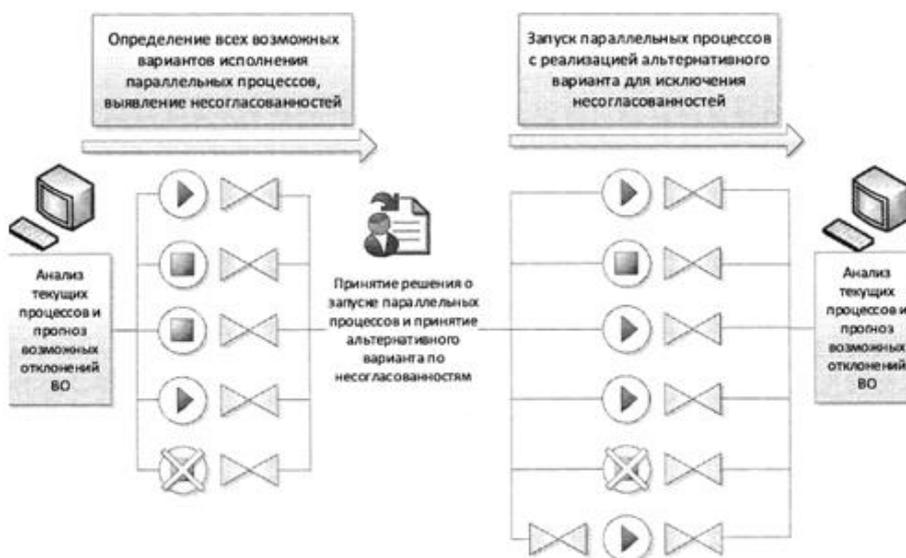


Рис. 4. Процесс, выполняемый с помощью ВО

Fig. 4. Process performed by use of VO

Очевидно, что «оптимальную последовательность» и «оптимальные варианты» будет определять основной критерий – безопасность выполнения совмещенных операций. Еще на стадии их формирования должен автоматически выполняться анализ возможности выполнения этих операций, исключающий нарушение технологических и регламентных ограничений. При выполнении спланированных операций, также должен выполняться непрерывный

автоматический контроль и прогноз состояния процессов, для исключения нарушений технологических и регламентных ограничений, и принятие автоматических действий, не допускающих этих нарушений.

Результаты анализа возможных вариантов исполнения параллельных процессов, а также альтернативные варианты решения выявленных несогласованностей, ВО предоставляет оператору БПУ для принятия решения о начале выполнения данных операций. В дальнейшем, ВО отслеживает выполнение согласованных операций и выполняет анализ с учетом уже изменившегося состояния технологического процесса.

Взаимодействие СИПО и ВО

СИПО предназначена для предоставления оперативному персоналу информации, необходимой для принятия оптимального решения по управляющим действиям во всех режимах от нормальной эксплуатации до тяжелой аварии (рис. 5).

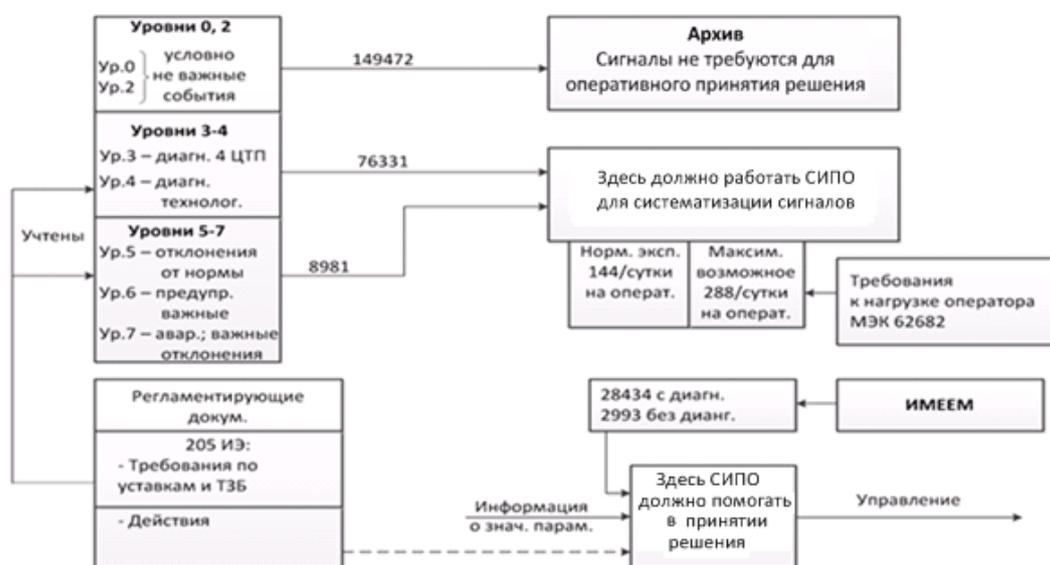


Рис. 5. Распределение потоков информации при участии СИПО

Fig. 5. Distribution of information flows with participation of OISS

Функции СИПО обеспечивают выполнение нереализованных в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока №1 НВАЭС-2 требований ГОСТ Р МЭК 60964- 2012 [3] к поддержке оператора, включая требование интеллектуальной обработки информации для разгрузки оперативного персонала БПУ во всех режимах работы энергоблока. Основой функционирования интеллектуальной части СИПО в задачах управления технологическим процессом является модель энергоблока, позволяющая проводить моделирование различных режимов эксплуатации.

Для проведения прогнозного расчета необходима инициализация начального состояния модели энергоблока. Для инициализации используются пакеты данных, формируемые системой верхнего блочного уровня (СВБУ). В качестве инициализирующего может использоваться как последний поступивший от СВБУ пакет данных, так и один из пакетов, записанных в архив. Пакеты данных формируются в СВБУ и поступают в МЭ с периодичностью 1 раз в секунду и записываются в архив, поэтому запуск расчета с помощью МЭ может быть произведен с состояния энергоблока на произвольную дату и время с точностью до секунды, на которую имеются архивы эксплуатационных данных.

Быстродействие математической модели зависит от производительности оборудования, на котором реализована модель энергоблока, однако, в любом случае обеспечивается быстродействие на порядок выше реального времени. В настоящее время на энергоблоке №1 НВАЭС-2 функционирует разработанный, в рамках научно-исследовательской работы, макет программно-технического комплекса моделирования энергоблока, в состав которого входит программная модель энергоблока, включающая нейтронно-физическую модель активной зоны, теплогидравлическую модель основного технологического процесса энергоблока, модель АСУ ТП энергоблока (рис. 6).

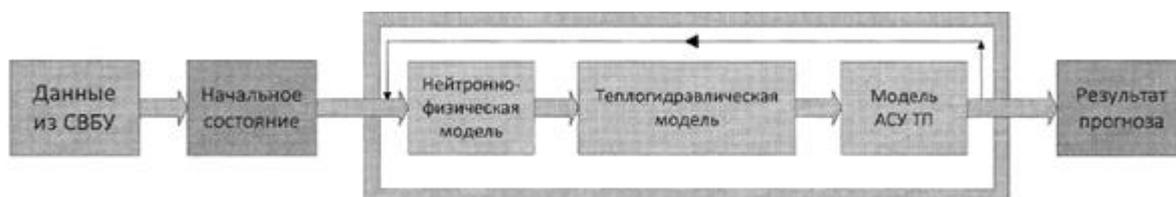


Рис. 6. Блок-схема основного расчетного цикла

Fig. 6. Block diagram of the main calculation cycle

ФГУ в макете программно-технического комплекса модели энергоблока (МкПТК МЭ) реализовано в объеме регулярно используемых в настоящее время при эксплуатации блока алгоритмов [7].

Основными функциями СИПО осуществляющими взаимодействие с ВО, являются:

- функция «Контроль автоматического управления оборудованием» предназначенная для выявления нарушений в работе систем автоматического управления оборудованием; в случае выявления различий между реальным и смоделированным срабатыванием указанных алгоритмов проводится дополнительный анализ на допустимость рассогласования с учетом погрешности изменений и рассинхронизации данных;
- функция «Прогнозирование состояния с помощью модели энергоблока», предназначенная для прогнозирования состояния энергоблока при отсутствии действий оператора и при планируемых оператором управляющих воздействиях на базе динамической модели энергоблока с предоставлением прогноза вперед на 15-30 мин и на порядок быстрее реального времени;
- функции «Мониторинг состояния основного оборудования энергоблока» и «Мониторинг систем безопасности», предназначенные для раннего выявления нарушений в работе основного оборудования энергоблока и систем контроля, которые, в отличие от задач прогнозирования состояния энергоблока, в процессе расчета получают информацию о текущем состоянии объекта контроля в виде пакетов данных от СВБУ;
- функции, осуществляющие контроль эксплуатационных пределов и условий, а также пределов и условий безопасной эксплуатации, осуществляющие непрерывный контроль и предупреждающие оператора о нарушении пределов и условий безопасной эксплуатации.

Требования, предъявляемые к разрабатываемой цифровой системе ВО

Для достижения целей по автоматическому управлению технологическими процессами обеспечивающий последовательную (до полностью автоматического) автоматизацию пуска / останова и нормальной эксплуатации систем энергоблока цифровая система ВО должна решать следующие задачи:

1) контролировать соблюдение готовности к выполнению функций и определение приоритетов по вводу в работу оборудования к очередному состоянию энергоблока;

2) отслеживать требования, предъявляемые к любому допустимому состоянию энергоблока, из которого можно начинать выполнение операций по пуску / останову энергоблока, с учетом текущего состояния отключенного оборудования;

3) выполнять анализ существующего состояния энергоблока в сравнении с требуемыми условиями для последующего состояния и в автоматическом (автоматизированном) режиме приводить его в требуемое состояние (с выдачей вариантов выполнения оператору БПУ по вводу в работу оборудования в случае невозможности ввода в автоматическом режиме, с учетом общего количества выполняемых работ и способности персонала обрабатывать информацию при выполнении одномоментных действий);

4) автоматически анализировать и выполнять возможные параллельные технологические процессы, определять и представлять оператору их оптимальную последовательность (без учета отсутствующей в системе информации), заранее выявлять возникновение несогласованностей при проведении параллельных процессов, если они являются взаимоисключающими;

5) автоматически (в автоматизированном режиме) устранять несогласованности при ведении параллельных процессов: самостоятельно посредством выбора иного варианта выполнения или, в случае отсутствия таковых, предлагать оператору БПУ оптимальные варианты последовательности выполнения процессов вызывающих затруднение;

6) осуществлять проверку готовности оборудования перед началом выполнения и в процессе работы ФГУ;

7) внешнюю – готовность оборудования АСУ ТП (включая контроль линий связи и наличия имитаций), анализ протекающих технологических процессов и их готовность к выполнению ФГУ;

8) внутреннюю - параметры и состояние готовности технологического оборудования к вводу в работу, с учетом проводившихся ремонтных мероприятий.

9) определять, в случае выявления неготовности оборудования/процесса, к какому времени должно быть устранено замечание, чтобы исключить остановку промежуточного этапа ФГУ и/или процесса пуска / остановки блока, перевода в допустимое состояние, с учетом параллельности выполнения и взаимосвязанности процессов;

10) автоматически (в автоматизированном режиме) отслеживать и приводить в исходное состояние, оборудование/процессы на промежуточных этапах ФГУ, до начала их выполнения;

11) самостоятельно выполнять проверку готовности/неготовности оборудования с предоставлением полученной информации о выполненных действиях оператору БПУ - система должна представить расчет до начала промежуточного этапа, с учетом времени на устранение причины неготовности;

12) выполнять обмен информацией с СИПО в части контроля автоматического управления;

13) обеспечивать возможность управления энергоблоком с разной (по выбору оператора БПУ) степенью автоматизации процессов (от ручного управления с запуском отдельных алгоритмов ФГУ до автоматического выполнения сложных процессов).

Заключение

Рассмотрены требования, необходимые для последовательного перехода от информационной поддержки к автоматическому управлению переключениями под контролем оператора БПУ. В качестве основы для дальнейшего этапа развития систем поддержки оператора рассматривается система информационной поддержки оператора, реализация функций которой в настоящее время отрабатывается с использованием установленного на энергоблоке №1 Нововоронежской АЭС-2 макета СИПО. Системообразующими компонентами макета СИПО

являются специально разработанная для использования в составе АСУ ТП программная модель энергоблока и пошаговые интерактивные процедуры.

Внедрение ВО на действующих и строящихся энергоблоках нового поколения позволит:

- снизить информационную нагрузку на оперативный персонал БПУ;
- создать условия для поэтапного повышения уровня автоматизации управления энергоблоком;
- ускорить выполнение сложных технологических процессов за счет безопасного параллельного исполнения переключений;
- повысить достоверность контроля и диагностирования основного технологического процесса энергоблока с использованием программной модели энергоблока;
- снизить вероятность ошибочного решения оператора БПУ при выборе альтернативных вариантов для несогласованностей при проведении параллельных процессов;
- осуществлять прогноз развития технологического процесса для раннего предупреждения оператора о возможных нарушениях в работе энергоблока;
- предоставлять оперативному персоналу информацию, необходимую для принятия оптимального решения по управлению технологическим процессом.

Библиографический список

1. НП-082-07. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. – М.: Ростехнадзор, 2007. – С. 67.
2. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – М.: Ростехнадзор, 2015. С. 28, 33.
3. ГОСТ Р МЭК 60964-2012. Атомные станции. Пункты управления. Проектирование. – М.: Стандартинформ, 2014. С. 4, 21.
4. **Куликова, Е.А.** Стрессы в профессиональной деятельности: причины возникновения и пути преодоления / Е.А. Куликова // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2019. № 10 (октябрь).
5. IEC 62682:2014. Management of alarms systems for the process industries. IEC, 15 October 2014. 159 p.
6. **Анохин, А.Н.** Адаптивный интерфейс для операторов сложных систем / А.Н. Анохин // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-214. Москва, 16-19 июня 2014 г. С. 6345-6256.
2. **Гусев, И.Н.** Использование результатов пусконаладочных работ для создания, настройки и валидации системы интеллектуальной поддержки оператора на блоке №1 Нооворонежской АЭС-2. / И.Н. Гусев, Б.Л. Соловьев, В.П. Поваров, А.С. Кужиль, С.П. Падун // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2017. № 3. С. 45-54.

*Дата поступления
в редакцию: 29.11.2021*