

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА НА ЭНЕРГОБЛОКЕ № 1 НВАЭС-2

И.Н. Гусев*, Б.Л. Соловьев*, С. П. Падун, М. М. Майорова****

* Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
396072, Воронежская обл., г. Нововоронеж, Промышленная зона Южная, 1

** ООО «Инновационная фирма СНИИП АТОМ»
123060, Москва, ул. Расплетина, д. 5, стр. 1



В 2014 г. НВАЭС, ВНИИАЭС и ООО «Инновационная фирма СНИИП-Атом» приняли решение о разработке системы интеллектуальной поддержки оператора (СИПО). Основная задача СИПО – реализация важной для безопасной и надежной эксплуатации оборудования АЭС функции – возможности анализа протекания технологического процесса в реальном времени и в перспективе, позволяющего дать рекомендации оператору по оптимальному управлению технологическим процессом, особенно, в ситуациях с ограниченным временем принятия решения.

В рамках разработки СИПО в составе системы верхнего уровня (СВБУ) энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 создана программная модель энергоблока, ведется разработка пошаговых интерактивных процедур (ИП) по управлению технологическим процессом энергоблока.

Для снижения нагрузки на оператора при выполнении сложных переключений на оборудовании СИПО с помощью ИП должна обеспечить – непрерывную передачу информации, принятую от автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока, о состоянии АЭС, динамике переменных, важных для безопасности и работоспособности оборудования;

– выдачу в удобном виде проанализированной информации оператору для принятия управленческого решения при управлении технологическим процессом;

– незамедлительное уведомление всех участников процесса о текущем состоянии энергоблока и планируемых работах.

В качестве иллюстрации возможностей интерактивных процедур и вариантов решения проблем снижения нагрузки на оператора рассматривается ИП пуска блока № 1 Нововоронежской АЭС-2. ИП позволяет в on-line режиме производить контроль и управление процессом пуска энергоблока АЭС, и разработана впервые. Ранее энергоблоки российских АЭС пускались только на основании утвержденной бумажной программы пуска блока, имеющей ряд существенных недостатков.

В 2018 г. АО «Концерн Росэнергоатом» принял решение о выборе энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 «площадкой» для разработки пилотного образца СИПО с целью дальнейшего использования результатов выполненных работ на других энергоблоках проекта АЭС-2006 и АЭС ВВЭР-ТОИ.

Ключевые слова: СИПО, технологический процесс, интерактивная процедура, оптимизация управления, анализ технического состояния, модель энергоблока, пределы и условия эксплуатации, многопользовательская программа, операции пуска.

ВВЕДЕНИЕ

Современные энергоблоки являются объектами с высокой степенью автоматизации. Они оснащаются развитыми системами автоматического регулирования, широким перечнем измеряемых параметров. Несмотря на это, роль человека-оператора остается достаточно значимой, так как ошибочные действия при осуществлении управляющих воздействий, определяемых эксплуатационными и противоаварийными инструкциями, могут привести к негативным последствиям [1, 3, 5].

Ошибки оперативного персонала зачастую проявляются в ситуациях, когда

- информационный поток достигает уровня, значительно превышающего возможности восприятия и реакции оператора;
- стрессовая ситуация или длительная монотонная работа приводят к пропускам или, наоборот, к избыточным действиям при осуществлении управления технологическим процессом [1, 3].

Таким образом, в любых состояниях энергоблока АЭС важно обеспечить оператора достоверной, сжатой и полной информацией о состоянии объекта для своевременного диагностирования аномальной ситуации и выдачи рекомендаций по оптимальному решению проблемы. Остро встает вопрос о наличии у оператора инструмента, дающего возможность анализа протекания технологического процесса в реальном времени и в перспективе, рекомендации ему по оптимальному управлению технологическим процессом, особенно в ситуациях с ограниченным временем принятия решения [2, 4, 8].

Для решения этой задачи предназначена система интеллектуальной поддержки операторов (СИПО), которая позволит ограничить нагрузки на них до уровня, соответствующего возможности адекватной оценки возникшей ситуации.

В 2014 г. НВАЭС и ООО «Инновационная фирма СНИИП-Атом» приняли решение о разработке в инициативном порядке системы интеллектуальной поддержки оперативного персонала БПУ (СИПО) в составе системы верхнего блочного уровня (СВБУ) энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2. В рамках этой работы создана функционирующая в составе СИПО программная модель энергоблока. С целью использования эксплуатационной информации с головного энергоблока проекта АЭС-2006 для валидации модели энергоблока до начала пуско-наладочных испытаний на энергоблоке № 1 Нововоронежской АЭС-2 установлен сервер СИПО, который принимает от СВБУ и архивирует необходимые данные о технологическом процессе.

Программная модель энергоблока, состоящая из

- нейтронно-физической модели активной зоны реактора,
- теплогидравлической модели первого и второго контуров энергоблока,
- модели генератора и основного электрооборудования энергоблока,
- модели системы контроля и управления

имеет значительный уровень детализации и отличается высоким быстродействием, что дает возможность адекватно описывать и прогнозировать изменение состояния энергоблока.

Своевременная установка комплекса на энергоблок позволила накопить большой объем эксплуатационных данных за время проведения пуско-наладочных испытаний, которые в дальнейшем были использованы для адаптации программной модели к энергоблоку № 1 НВАЭС-2. В процессе адаптации и сбора данных было

проверено взаимное влияние оборудования СИПО и СВБУ.

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА

По мнению разработчиков, СИПО должна функционировать во всех режимах работы энергоблока, начиная с нормальной эксплуатации (НЭ) и заканчивая запроектными авариями. Реализацию всего объема работ соответственно необходимо начинать с режима НЭ как наиболее длительного из режимов работы оборудования.

Среди функционала СИПО реализуются в первую очередь

- режимы работы оборудования во всем диапазоне НЭ;
- уставки сигнализации, параметры оборудования и технологических систем;
- технологические и организационные ограничения для работы оборудования и систем;
- интерактивные процедуры по пуску (останову) энергоблока, ввода (вывода) оборудования, регламентных проверок, опробований и испытаний;
- рекомендации по оптимизации управления технологическим процессом;
- автоматизированные оперативные журналы и протоколы приема-сдачи смены [6, 7, 12].

Более подробно остановимся на целях и задачах разработки интерактивных процедур как средства контроля безопасного выполнения работ и оптимизации временных затрат.

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ БЕЗОПАСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ СИПО

Интерактивные процедуры (ИП) – приложение ПО «Круиз», предназначенное для поддержки оператора в пошаговом проведении программ пуска (останова) блока и других многоэтапных мероприятий.

ИП используются в качестве замены бумажной версии документации и позволяют

- снизить информационную нагрузку на оператора при контроле технологического процесса;
- ускорить сбор достоверной информации о состоянии оборудования и технологических систем;
- производить автоматическую обработку информации о состоянии энергоблока и систем с выдачей заключения о готовности к производству переключений;
- получать достоверную информацию о ходе выполнения работ, ответственных за выполнение этапов, и замечаниях, препятствующих продолжению работ.

ИП дают решение нескольких задач, которые ставились разработчиками перед СИПО. Проводится постоянный контроль действий оператора на предмет соответствия инструкциям по эксплуатации и регламентам безопасности. В процессе работы в удобном и доступном виде оператору предоставляется информация о несоответствии состояния оборудования требованиям ИЭ, об отклонениях от НЭ и необходимых действиях для устранения отклонения [9 – 11, 15]. Информация может быть представлена в виде графиков – при изменении параметров в большом временном диапазоне, в виде таблиц – при одновременном контроле и сравнении большого количества параметров, в виде всплывающих окон с текстовой информацией, содержащей требования ИЭ и регламента безопасности.

ИП полностью соответствуют утвержденной бумажной версии, но при этом позволяют оперативному персоналу сократить время на проверку соответствия технологических параметров условиям для данного состояния энергоблока.

Пуск энергоблока АЭС – это сложный трудоемкий процесс, в котором задей-

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ствовано большое количество исполнителей. Сложность заключается в том, что в процессе пуска задействовано более 200 технологических либо электротехнических систем. Трудоемкость заключается в том, что пуск блока – это процесс непрерывный и круглосуточный, где важно постоянно иметь полную и достоверную информацию обо всех операциях, проводившихся ранее и проводимых на данный момент.

В настоящее время все энергоблоки страны пускаются по процедурам пуска в бумажном варианте, которые имеют ряд недостатков:

- отсутствует возможность указать все ограничения по оборудованию, поэтому руководствуются ссылками на ИЭ и руководящие документы;
- сложность быстрого получения информации по выполненным этапам пуска блока;
- невозможность быстро и доброкачественно проверить соответствие состояния оборудования текущему этапу работ;
- невозможность оперативно внести изменения, ввиду большого количества подписантов;
- необходимость личного визирования важных этапов работ большим количеством административно-технического персонала;
- невозможность удаленного контроля выполнения работ;
- наличие большого количества сопутствующей документации.

Задача ИП пуска блока – предоставить оператору и всем заинтересованным лицам удобный, гибкий инструмент получения информации, дающий полную картину о состоянии оборудования, действиях операторов и соответствии работ графику пуска энергоблока [14, 15]. Задача разработчиков ИП – устранить недостатки, свойственные бумажным версиям.

В качестве иллюстрации далее представлены рисунки с кратким описанием возможностей действующей ИП пуска энергоблока № 1 НВАЭС-2.

ИНТЕРАКТИВНАЯ ПРОЦЕДУРА ПУСКА БЛОКА № 1 НВАЭС-2

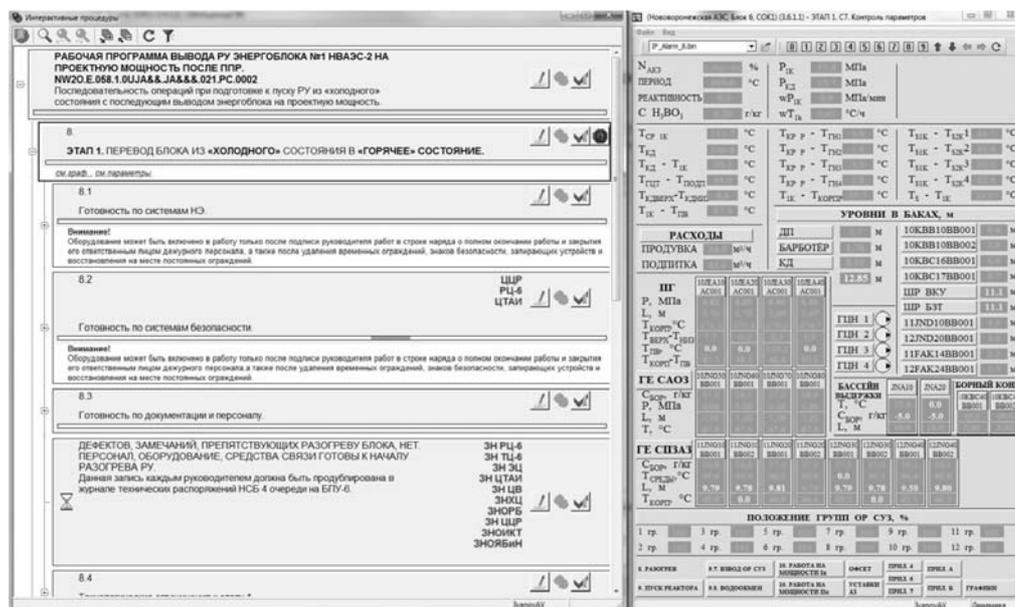


Рис.1. Общий вид ИП пуска блока

Программное приложение ИП пуска блока устанавливается на рабочих местах

всего персонала, участвующего в процессе пуска энергоблока. Каждый пользователь ИП имеет свой логин. Отображение информации о состоянии энергоблока, выполняемых операциях происходит в реальном времени [1, 4, 13].

ИП пуска блока представляет собой многоуровневую последовательность действий, которая делится на этапы, а этапы состоят из шагов (рис. 1).

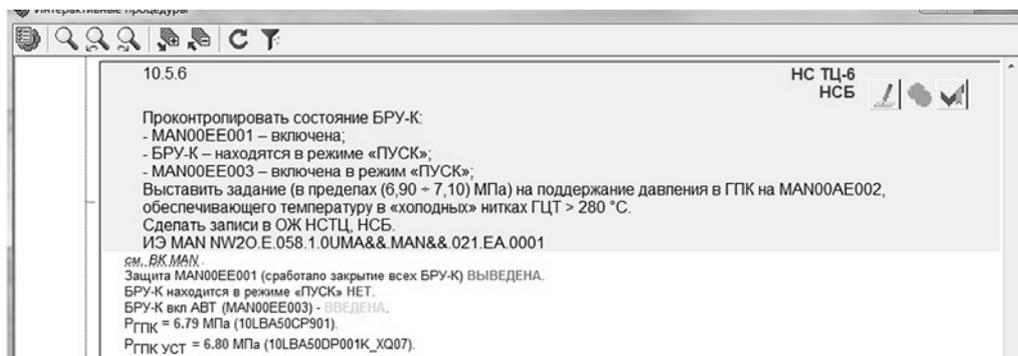


Рис. 2. Дополнительная информация, предоставляемая ИП по выполняемому шагу

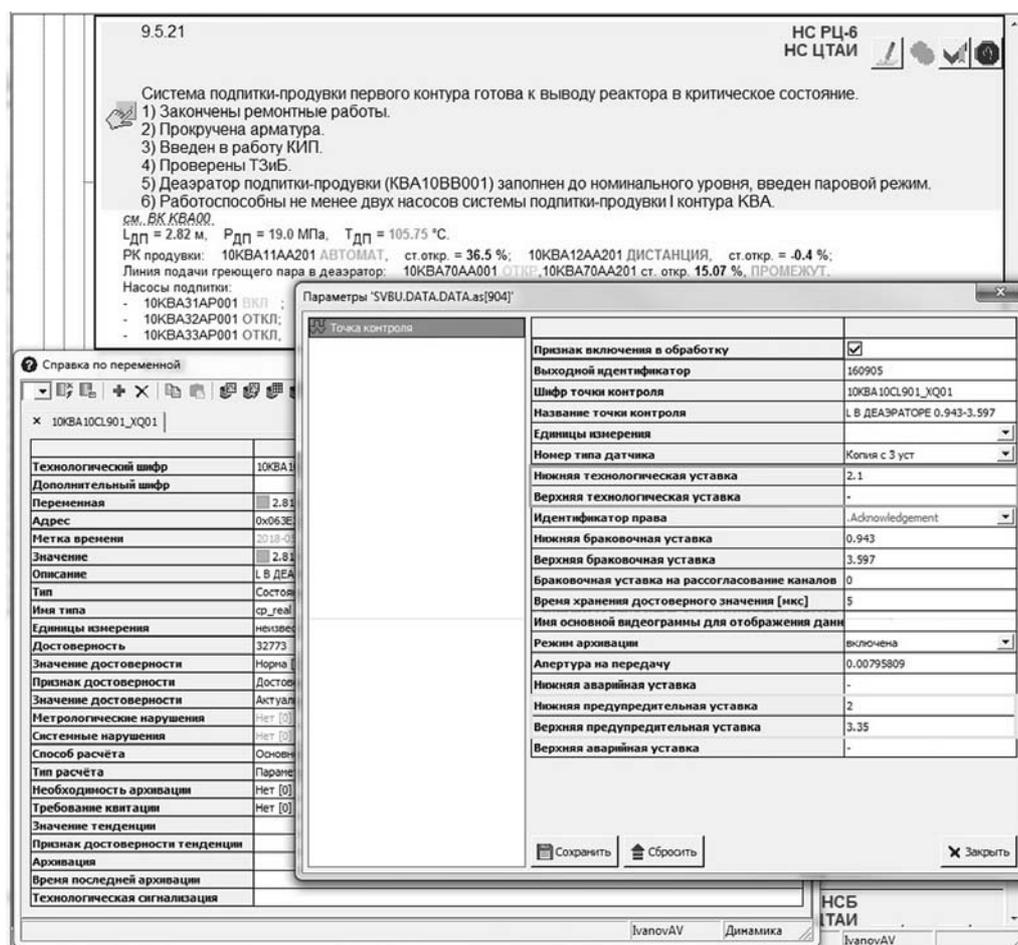


Рис. 3. Предоставление справочной информации по контролю параметров

ИП автоматически проверяет выполнение предыдущих шагов, препятствующих на-

чалу выполнения операций текущего шага, и выдает предупреждение, если есть незавершенные шаги (этапы). При наведении курсора на значок предупреждения оператором открывается полный список невыполненных (незавершенных) операций.

В помощь оператору в поле шага может выводиться дополнительная информация – значения контролируемых параметров, ссылки на видеокadres, инструкции и др. (рис. 2).

Если выполнение шага можно проконтролировать по датчикам, то введены функции автоматической проверки выполнения шагов. Об успешно проведенных проверках программа сообщает изменением значка состояния шага.

Шаг считается выполненным, если оператор, ответственный за выполнение, нажал кнопку подтверждения. При подтверждении отображается логин пользователя, выполнившего действие, дата и время подтверждения. По нажатии на кнопку манипулятора можно вывести справку по точке контроля любого параметра (рис. 3), которая содержит уставочные значения требуемой переменной, или построить график изменения параметра во времени.

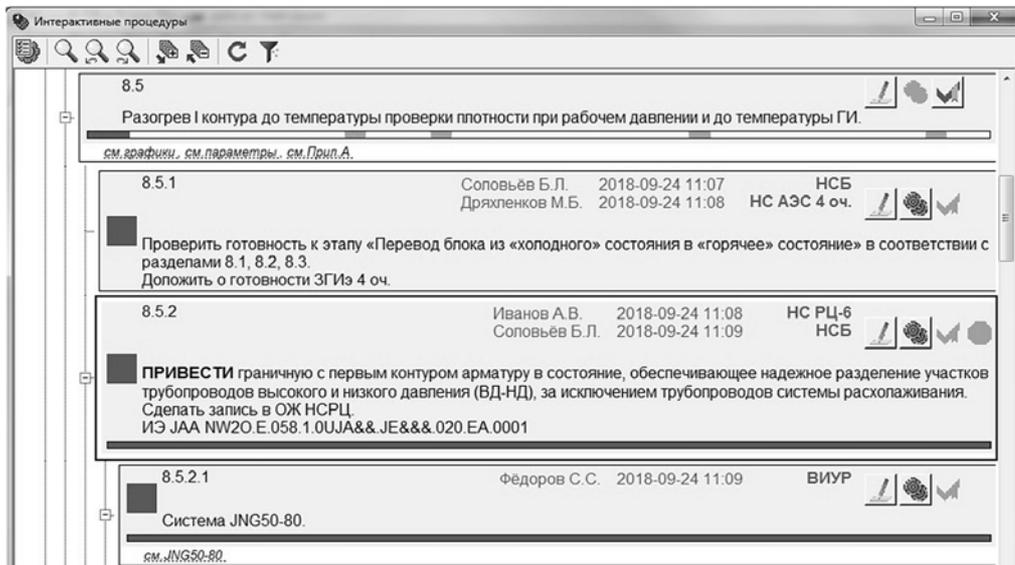


Рис. 4. Многопользовательская структура ИП пуска блока

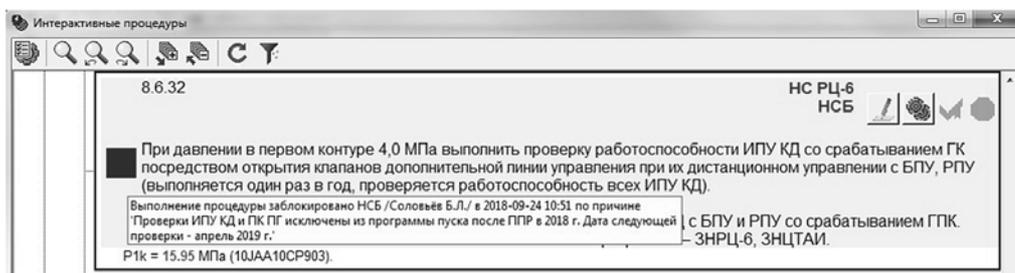


Рис. 5. Возможность оперативной блокировки (исключения) шага из ИП

Программа является многопользовательской, она может быть выведена одновременно на рабочих местах разных категорий персонала, участвующих в операциях пуска (останова) (рис. 4). Со своего рабочего места каждый участник процесса может наблюдать за ходом выполнения процедуры и подтверждать этапы, за которые он несет ответственность.

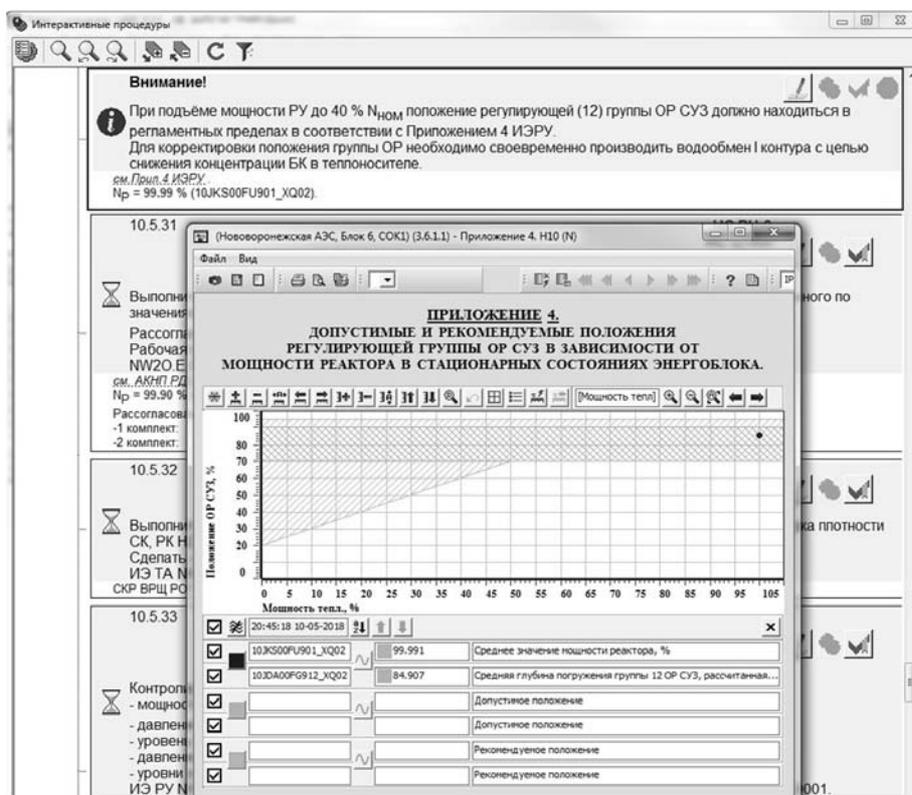


Рис. 6. Возможность быстрого обращения к требованиям документации (ИЭРУ)

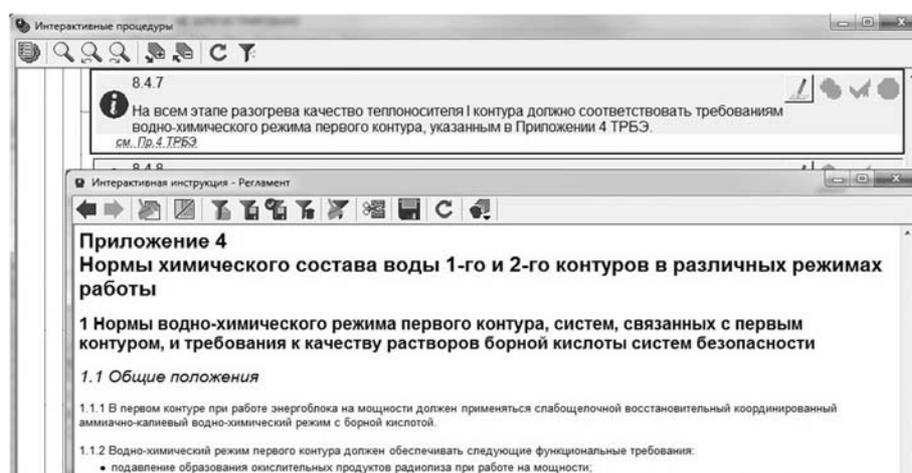


Рис. 7. Возможность быстрого обращения к требованиям документации (ТРБЭ)

ИП дают возможность исключить шаг из хода выполнения программы (рис. 5) или заблокировать его в процессе выполнения процедуры по причине неисправности оборудования или отсутствия необходимости проверок с указанием причины и лица, выполнившего данное действие.

Для каждого шага можно оставить заметку с указанием номера составленного акта, протокола испытаний и т.д.

Для контроля основных параметров на протяжении длительных этапов пуска энергоблока в правой части экрана предусмотрено окно с заготовленными под

каждый этап значениями необходимых технологических параметров. Окраска параметров соответствует положению параметра относительно уставок сигнализации с учетом текущего состояния энергоблока. Для удобства визуального восприятия введена принятая в проекте цветовая индикация состояния механизмов и технологических параметров.

ИП содержит активные ссылки на инструкции по эксплуатации (ИЭ), инструкцию по эксплуатации реакторной установки (ИЭ РУ) и на технологический регламент безопасной эксплуатации (ТРБЭ) с указанием ограничений и требований (рис. 6, 7).

Для каждого состояния энергоблока, каждого этапа пуска были выявлены и сгруппированы в графики или таблицы наиболее важные параметры энергоблока, отражающие полную картину его состояния. ИП содержит ссылки для перехода на заранее скомпонованные актуальные графики.

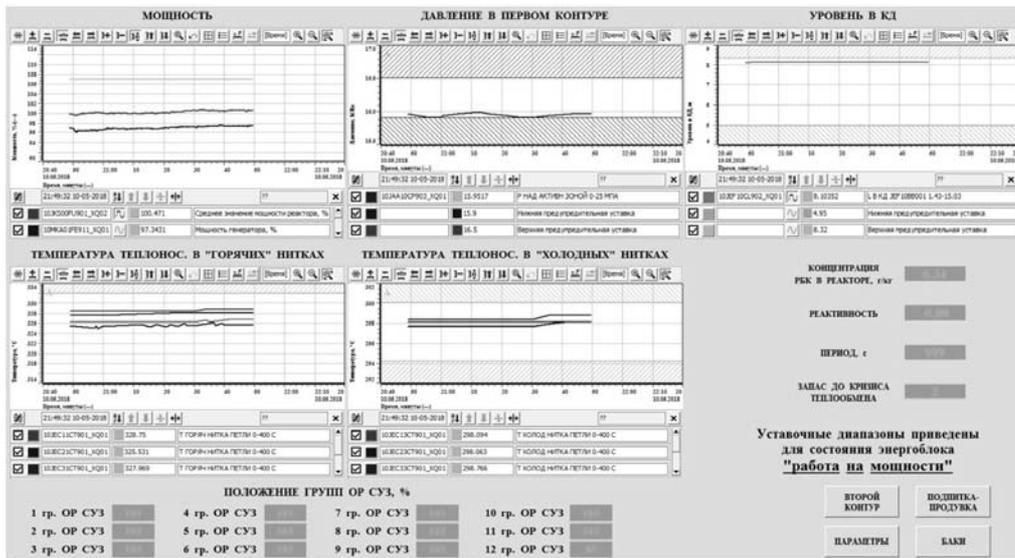


Рис. 8. Необходимые данные ИП для состояния «работа на мощности»

На графиках приведены реальные показания параметра, указаны допустимые границы основных параметров для каждого состояния энергоблока (рис. 8).

Для более детального контроля состояния систем и элементов энергоблока в ИП введены ссылки мгновенного перехода на видеокдры соответствующей системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интерактивные процедуры – это один из первых шагов в сторону внедрения безбумажных технологий для оперативного персонала БЦУ.

ИП повышают безопасность эксплуатации АЭС, поскольку могут помочь

- оператору управлять энергоблоком и планировать дальнейшие действия;
- быстро оценить ситуацию в большом потоке информации и в условиях быстро протекающих процессов;
- наладить совместную работу различных цехов и ускорить взаимодействие всех исполнителей технологических операций.

В настоящее время значительная часть существенной для определения состояния энергоблока и оборудования информации передается голосом и фиксируется в журналах на БПУ и средствах контроля оперативных переговоров, не попадая на АСУ ТП энергоблока. Отсутствие этой информации может приводить к ошибкам в оценке состояния энергоблока и рекомендациям, предлагаемым системой интеллектуаль-

ной поддержки оператора. Интерактивные процедуры являются средством получения дополнительной информации о состоянии энергоблока в системе контроля.

Современная АСУ ТП энергоблока располагает неполным набором информации, которую оператор должен учитывать при принятии решений. В частности, АСУ ТП не всегда имеет информацию о выведенном в ремонт оборудовании, о планируемых изменениях режима работы энергоблока, о местонахождении людей в помещениях энергоблока.

Внедрение СИПО на новых энергоблоках АЭС с ВВЭР повысит экономичность и эффективность атомных станций, а также будет способствовать росту коммерческой привлекательности и конкурентоспособности продуктов «Росэнергоатом».

После успешной реализации и накопления опыта использования СИПО на АЭС можно рассматривать адаптацию программного продукта для использования в других отраслях ГК «Росатом».

Литература

1. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях. – М.: Институт системного анализа РАН, 2001. – 304 с.
2. Лебедев В.Г. Принципы построения интеллектуального интерфейса пользователя для систем поддержки принятия решений оператором. // Проблемы управления. – 2004. №3. – С.43-47.
3. Нечаев Ю.И., Петров О.Н. Информационная поддержка оператора при анализе сложных ситуаций / XIII Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика-2006». – Санкт-Петербург: Государственный морской технический университет, 2007. Электронный ресурс. <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9223.pdf> (дата доступа 26.06.2018).
4. Britkov V.B. Communication Emergency Decision Support Systems Integration. / The International Emergency Management Society Conference National and International Issues Concerning Research and Applications. Ed. V. Andersen, V Hansen. – Copenhagen, Denmark, 1997. – PP. 395-403.
5. Britkov V.B. Distributed System for Emergency Decision Support With System Analysis And Modern Information Technology Implementation. / The International Emergency Management and Engineering Conference. Ed. Jean Luc Wybo, Marie-Christine Therrien, Frank Guanieri. – Montreal, Canada, 1996. – PP. 87-92.
6. Germond A.J., Niebur D. Survey of Knowledge-Based System in Power System Europe. // Proc. IEEE. – May 1996. – Vol. 80. – No. 5. – PP. 732-744.
7. Kirscher D.S., Wollenberg B.F. Intelligent Alarm Processing in Power Systems. // Proc. IEEE. – May 1996. – Vol. 80. – No. 5. – PP. 663-672.
8. Leibowitz J. An Expert System Forecast. // Journal of Information Systems Management. – Spring 1994. – PP. 69-72.
9. Nelson W.B. REACTOR: An Expert System for Diagnosis and Treatment of Nuclear Reactor Accident. / Proc. of the II-nd Conf. of Amer. Ass. Artif. Intell. – Aug 1983. – PP. 296-301.
10. Shaw R.W. Adapting the RAINS model to develop strategies to reduce acidification in the USSR. / IIASA Proc. – Austria, Laxenburg. 1990. – PP. 184-188.
11. Yermeyev A.P. A Parallel Model for a Production System of the Tabular Type. // Soviet Journal of Computer and Systems Sciences. – July-August 1991. – Vol. 29. – No. 4. – PP. 80-88.
12. Башлыков А.А. СПРИНТ-РВ – интеллектуальная информационная система реального времени для поддержки принятия решений при управлении режимами работы сложными экологически опасными объектами и технологиями на базе промышленных ЭВМ. // Приборы. – 2001. – № 2. – С.24 -26.
13. Sobajic D.J., Pao Y.H. An Artificial intelligence system for power system contingency screening. // IEEE Transaction on Power Systems. – 1988. – Vol. 3. – No. 2. – PP. 647-653.
14. Rouse W.B. Models of human problem solving detection, diagnosis and compensation for system failures. // Automatica. – 1983. – Vol. 19. – No. 6. – PP. 613-625.

15. Lee D. T. Expert Decision-Support Systems for Decision-Making // Journ. of Information Technology. – 1988. – Vol. 3. – No. 2. – PP. 85-94.

Поступила в редакцию 02.11.2018 г.

Авторы

Гусев Игорь Николаевич, заместитель главного инженера

E-mail: GusevIN@nvpp1.rosenergoatom.ru

Соловьев Борис Леонидович, начальник смены

E-mail: SolovevBL@nvpp1.rosenergoatom.ru

Падун Сергей Петрович, главный конструктор

E-mail: padun@atomar.net.ru

Майорова Маргарита Михайловна, инженер-физик

E-mail: mayorova@sniip-atom.ru

UDC 621.039.4

SYSTEM DEVELOPMENT OF INTELLIGENT OPERATOR SUPPORT AT UNIT No. 1 OF THE NOVovorONEZH NPP-2

Gusev I.N.*, Solovyev B.L.*, Padun S.P.**, Mayorova M.M.**

* Branch of JSC «Concern Rosenergoatom» «Novovoronezh Nuclear Power Plant»
1 Promyshlennaya zona Yuzhnaya, Novovoronezh, Voronezh reg., 396072 Russia

** JSC «SNIIP-Atom»

1 Raspletina st., bldg. 5, Moscow, 123060 Russia

ABSTRACT

In 2014, the Novovoronezh NPP, VNIIAES and JSC «Innovative firm SNIIP-Atom» took the decision to develop the system of intellectual support of the operator (SIPO). The main purpose of the SIPO is the implementation of an important function for the safe and reliable operation of NPP equipment – the possibility of analyzing the process in real time and its projection in the future, which allows issuing recommendations to the operator on the optimal process control, especially in situations with limited time for decision-making.

As part of the development of the SIPO, a software model of nuclear power unit was created as part of the upper-level system (IAS) of the Novovoronezh NPP-2 Unit 1, and step-by-step interactive procedures (IP) for managing operating processes of the power unit are being developed.

For reducing the load on the operator when performing complex switching on the equipment, the SIPO supported with IP must ensure the following:

- Continuous transmission of information about the status of the nuclear power plant, the dynamics of variables essential for ensuring safety and efficiency of the equipment collected from the automated control system of technological processes (ACSTP) of the unit;
- Issuance of the analyzed information to the operator in the form convenient for making management decisions in the control of the technological process;
- Immediate notification of all stakeholders about the current status of the power plant and planned operations.

SP for Unit 1 of the Novovoronezh NPP-2 start-up is examined as an illustration of the possibilities of interactive procedures and solutions to the problems of reducing the load on the operator. The SP allowing online control and management of the NPP unit start-up process is developed for the first time. Starting up Russian NPP units was performed previously strictly based on the approved hard copy of the program of the power unit start-up, which is associated with a number of significant drawbacks.

Key words: OISS, technological process, interactive procedure, management optimization, technical condition analysis, power unit model, limits and conditions of operation, multi-user program, start-up operations.

REFERENCES

1. Gelovani V.A., Bashlykov A.A., Britkov V.B., Vyazilov E.D. *Intellectual decision support systems in emergency situations*. Moscow. Institute of System Analysis RAS Publ., 2001, 304 p. (in Russian).
2. Lebedev V.G. Principles of constructing an intelligent user interface for decision support systems by the operator. *Problemy Upravleniya*. 2004, no. 3, pp. 43-47 (in Russian).
3. Nechaev Y.I., Petrov O.N. Information support of the operator in the analysis of complex situations. State Marine Technical University of St. Petersburg, 2007. Available at <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9223.pdf/> (accessed Jun 26, 2018) (in Russian).
4. Britkov V.B. *Communication Emergency Decision Support Systems Integration*. The International Emergency Management Society Conference National and International Issues Concerning Research and Applications. Copenhagen, Denmark, 1997, pp. 395-403.
5. Britkov V.B. *Distributed System for Emergency Decision Support With System Analysis And Modern Information Technology Implementation*. Proc. of the International Emergency Management and Engineering Conference. Montreal, Canada, 1996, pp. 8792.
6. Germond A.J., Niebur D. *Survey of Knowledge-Based System in Power System Europe*. Proc. IEEE, May 1996, v. 80, no. 5, pp. 732-744.
7. Kirscher D.S., Wollenberg B.F. *Intelligent Alarm Processing in Power Systems*. Proc. IEEE, May 1996, v. 80, no. 5, pp. 663-672.
8. Leibowitz J. An Expert System Forecast. *Journal of Information Systems Management*. Spring 1994, pp. 69-72.
9. Nelson W.B. *REACTOR: An Expert System for Diagnosis and Treatment of Nuclear Reactor Accident*. Proc. of the II Conference of American Association Artificial Intelligence. Aug. 1983, pp. 296-301.
10. Shaw R.W. *Adapting the RAINS model to develop strategies to reduce acidification in the USSR*. Proc. of International Institute for Applied System Analysis. Austria, 1990, pp. 184-188.
11. Yermeyev A.P. A Parallel Model for a Production System of the Tabular Type. *Soviet Journal of Computer and Systems Sciences*. July August 1991, v. 29, no. 4, pp. 80-88 (in Russian).
12. Bashlykov A.A. SPRINT-RV – intelligent information system for realtime decision support when managing complex modes of operation of ecologically dangerous objects and technologies on the basis of industrial computers. *Pribory*. 2001, no. 2, pp. 24-26 (In Russian).
13. Sobajic D.J., Pao Y.H. An Artificial intelligence system for power system contingency screening. *IEEE Transaction on Power Systems*. 1988, v. 3, no. 2, pp. 647-653.
14. Rouse W.B. Models of human problem solving detection, diagnosis and compensation for system failures. *Automatica*. 1983, v. 19, no. 6, pp. 613-625.
15. Lee D.T. Expert Decision-Support Systems for Decision-Making. *Journal of Information Technology*. 1988, v. 3, no. 2, pp 85-94.

Authors

Gusev Igor Nikolayevich, Deputy Chief Engineer

E-mail: GusevIN@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Solovyev Boris Leonidovich, Shift Operations Supervisor

E-mail: SolovevBL@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Padun Sergey Petrovich, Chief Software Designer

E-mail: spadun@yandex.ru

Mayorova Margarita Mikhailovna, Engineer-Physicist

E-mail: mayorova@sniip-atom.ru