

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МАШИНЫ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.В. Коробкин*, В.П. Поваров**

**НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева
Южного федерального университета, 347928, ГСП-284, г. Таганрог, ул. Чехова, 2
** Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
396072, Воронежская обл., г. Нововоронеж, Промышленная зона Южная, 1*



Главной отличительной особенностью в создании нового транспортно-технологического комплекса по перегрузке ядерного топлива Нововоронежской АЭС следует считать глубокую интеграцию информационно-управляющей системы (ИУС) и комплекса электрооборудования машины перегрузочной (МП) в единый комплекс. Структура многоуровневой многопроцессорной и многосетевой ИУС обеспечивает высокую отказоустойчивость и функциональную безопасность и соответствует принципу единичного отказа даже при работе в одноканальном режиме. Управление МП при перегрузке ядерного топлива осуществляется с участием человека-оператора, поддержка которого обеспечивается интеллектуальным интерфейсом. Оператор принимает решения о тех или иных действиях по управлению МП и комплекса в целом, осуществляет мониторинг процесса управления и принимает решения по предотвращению нештатных и аварийных ситуаций. По сути ИУС представляет собой распределенную систему, которая реализует весь цикл управления, содержит информационную, обрабатывающую и управляющую части. В каждой части коммуникационные устройства реализуют информационные связи между элементами по полному графу или по общей шине.

Результатом разработки является ИУС МП нового поколения, отличающаяся от существующих инновационными методическими, алгоритмическими, аппаратно-программными и конструктивно-технологическими решениями, которые обеспечивают сокращение времени и повышение безопасности выполнения технологических операций с ядерным топливом на реакторе типа ВВЭР. При этом внедрение ИУС МП повышает коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) энергоблока примерно на 1.66%, что обеспечивает выработку и поставку потребителям дополнительной электроэнергии.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, атомная станция, функциональная безопасность, ядерное топливо, машина перегрузочная, децентрализация функций управления, единичный отказ, человеческий фактор.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на российских энергоблоках АЭС (кроме третьего блока Калининской АЭС) применяются системы управления, выполненные на базе устаревших вычислительных средств, ресурс которых полностью исчерпан. В связи с конструктивными

© В.В. Коробкин, В.П. Поваров, 2017

особенностями комплекса по перегрузке ядерного топлива [1] и современными требованиями к выполняемым транспортно-технологическим операциям в части управления, контроля и безопасности при соблюдении заданного регламента необходим интегральный подход к процессу создания единой системы обращения с ядерным топливом на АЭС. Основным элементом этого комплекса является машина перегрузочная (МП), с помощью которой непосредственно выполняются транспортно-технологические операции перегрузки на остановленном и открытом реакторе типа ВВЭР в период проведения планово-предупредительного ремонта [2, 3].

Предшествующий опыт создания МП показывает, что несмотря на тщательное соблюдение требований по безопасности при конструировании и изготовлении оборудования, выполняющего ядерно-опасные работы, управляющая система, электрооборудование и механическая часть МП разрабатывались и изготавливались разными организациями без должной взаимной координации, что впоследствии приводило к неоправданно высоким временным и, как следствие, экономическим затратам.

Именно поэтому главной отличительной особенностью в создании нового транспортно-технологического комплекса по перегрузке ядерного топлива следует считать глубокую интеграцию информационно-управляющей системы (ИУС) и комплекса электрооборудования МП в единый проект, учитывающий все особенности построения и функционирования механической части МП [4]. Такая интеграция стала возможной благодаря использованию новых разработок технических устройств и технологий. Во-первых, появились интеллектуальные датчики, способные объединяться в промышленные сети передачи данных сенсорного уровня и реконфигурироваться в зависимости от условий функционирования. Во-вторых, современные преобразователи частоты (инверторы) помимо непосредственного управления двигателем обладают способностью выполнять функцию управления локальным механизмом (приводом), объединяясь в промышленные сети управляющего уровня. Новые информационные технологии позволяют использовать совокупность современных средств и методов сбора информации для получения информации нового качества о состоянии объекта или процесса, алгоритмов обработки этой информации и принятия на этой основе решения по управлению МП. При этом в реальном масштабе времени стало возможным одновременно учитывать состояние МП по различным и многочисленным группам параметров, состояние аппаратных и программных средств управляющей системы и т.д.

В работе приводится концепция построения новой ИУС МП в соответствии с последними достижениями в производстве элементной базы и информационных технологий.

ИУС имеет многопроцессорную распределенную двухканальную структуру, обеспечивающую выполнение требований отказоустойчивости при независимости информационных и управляющих функций. Интеллектуальное программное обеспечение позволяет в реальном масштабе времени анализировать и обрабатывать поступающую информацию от датчиков МП, принимать решения о недопущении возникновения аварийных ситуаций при перегрузке ядерного топлива по вине обслуживающего персонала или технических отказов, прогнозировать появление подкритических и критических режимов работы.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВОЙ ИУС МП

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к технологическим процессам обращения с ядерным топливом, остаются точность, надежность, безопасность [5 – 9]. Поэтому для инновационных энергоблоков № 1 и № 2 НВАЭС-2 с реактором типа ВВЭР-1200 была разработана, изготовлена, испытана и внедрена новая информационно-управляющая система МП, имеющая многоуровневую многопроцессорную и многосетевую структуру (рис. 1). Такая структура обеспечивает выполнение повышенных требований к отказоустойчивости и безопасности, что в полной мере

соответствует принципу единичного отказа даже при работе в одноканальном режиме [10].

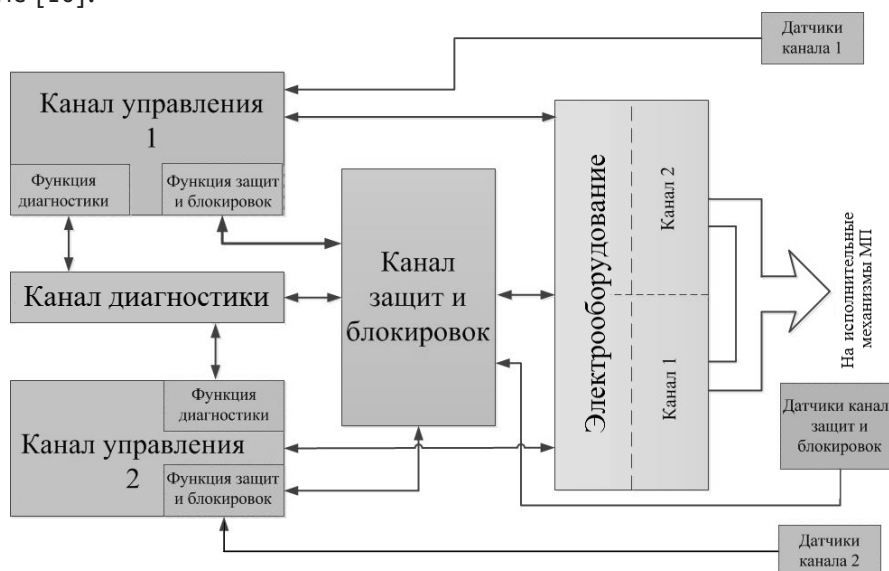


Рис. 1. Обобщенная структура ИУС МП

ИУС построена на базе современных средств промышленной автоматики и средств вычислительной техники с использованием новых информационных технологий, общими задачами которых являются

- обеспечение максимальной функциональной безопасности при выполнении транспортно-технологических операций с ядерным топливом и проведении ремонтно-профилактических работ;
- гибкость управления оборудованием;
- оптимальное информационное обеспечение диалога «человек-машина» для эффективного управления.



Рис. 2. Функциональная схема организации поддержки оператора ИУС МП

ИУС, в основном, функционирует в автоматизированном режиме [11], так как в процессе управления сложным техническим объектом предполагается участие человека-оператора (одного или нескольких), который зачастую принимает решения о тех или иных действиях по управлению МП и комплекса в целом, осуществляет мониторинг про-

цесса управления и принимает решения по предотвращению нештатных и аварийных ситуаций. Связь оператора (операторов) с ИУС осуществляется через человеко-машинный интерфейс терминала оператора.

Широкое использование функции автоматизированной поддержки управленческих решений (рис. 2) позволяет значительно уменьшить влияние так называемого «человеческого фактора» на процесс управления, уменьшить число ошибок, а зачастую и исключить их при принятии управленческих решений, т.е. повысить безопасность функционирования объекта [12].

Принцип обеспечения функциональной безопасности реализуется использованием технических средств, локализующих развитие неблагоприятных процессов как в ИУС, так и в МП при возникновении неисправностей и защищающих МП от выдачи неправильных управляющих воздействий, парирующих развитие опасного отказа и переводящих систему в защищенное состояние. Для этих целей используются контролирующие и диагностирующие устройства, которые оценивают значения выходных сигналов ИУС, сигналов от датчиков состояния объекта управления и значения специальных диагностических признаков.

Важным аспектом обеспечения безопасности функционирования ИУС является повышение отказоустойчивости, которое реализуется путем резервирования наиболее ответственных элементов, например, устройств управления, датчиков, шин информационного обмена и т.п.

Использование дублирования (как частного случая резервирования) приводит к построению распределенной системы. ИУС как распределенная система имеет следующие преимущества:

- дает возможность обрабатывать данные непосредственно в местах их получения (например, при получении одной величины в результате обработки данных множества датчиков, при получении одной записи из базы данных), минимизировать информационный обмен;
- позволяет проводить множество вычислений, выделяемых в отдельные задания, которые можно выполнять параллельно на разных вычислительных устройствах (узлах);
- в системе выполняется гибкое управление использованием вычислительных ресурсов, что обеспечивает оптимизацию распределения вычислительной нагрузки и в случае отказов узлов ИУС.

Архитектура распределенной ИУС помимо высокой отказоустойчивости обеспечивает высокую эффективность и полностью соответствует задаче управления [13]; при этом типичный цикл управления (рис. 3) содержит следующие составляющие:

- первичная и вторичная обработки информации о функционировании МП, получаемой от датчиков;
- автоматическая проверка того, что все значения параметров функционирования находятся в пределах своих нормативов: если все значения параметров находятся в пределах, заданных своими нормативами, то МП функционирует нормально; в противном случае, если хотя бы одно значение выходит за пределы нормативов, наступает нештатная ситуация, и должны быть приняты управляющие решения по вводу всех показателей в пределы нормативов – для этого формируется множество всех возможных решений;
- отбор решений, которые позволяют осуществить ввод всех значений параметров в пределы нормативов с помощью математической модели функционирования МП;
- решение на математической модели функционирования МП оптимальной задачи по выбору наиболее подходящего решения;
- формирование управляющих воздействий и выдача команд управления.



Рис. 3. Схема цикла управления

ОБОБЩЕННАЯ АРХИТЕКТУРА ИУС МП

Рассмотренные концептуальные положения позволяют определить состав обобщенной архитектуры распределенной ИУС МП (рис. 4). Основными составляющими здесь являются источники информации (ИИ), коммуникационные устройства (КУ), обеспечивающие обмен информацией на различных уровнях управления, ВУ, человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), устройства управления (УУ) и исполнительные устройства (ИУ).

Распределенная ИУС МП, реализующая описанный выше цикл управления, содержит информационную, обрабатывающую и управляющую части. В каждой части коммуникационные устройства реализуют информационные связи между элементами по полному графу [14] или по общей шине.

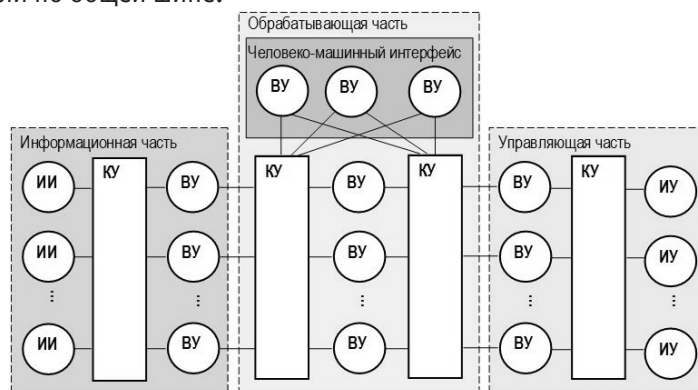


Рис. 4. Архитектура распределенной ИУС МП

Такое архитектурное решение ИУС МП позволяет, во-первых, обеспечить возможность повышения отказоустойчивости за счет децентрализации функций управления информационно-вычислительным процессом в каждой из частей, во-вторых, строить ИУС МП на основе унифицированных средств микроэлектронной и вычислительной техники, в-третьих, оптимизировать состав программно-аппаратных средств и обеспечить достаточно быстрый доступ к распределенным структурированным и неструктурированным данным.

Таким образом, ИУС имеет распределенную двухканальную структуру, обеспечивающую выполнение требований по отказоустойчивости при независимости информационных и управляющих функций. Система работает как в двухканальном режиме, при котором обеспечивается выдача команд управления по логике «два из двух», защит и блокировок по логике «один из двух», так и в одноканальном в случае отказа одного из них. Каналы функционируют параллельно, независимо, синхронно, что позволяет про-

изводить сравнение результатов их работы, и в случае ошибки в функционировании одного из каналов блокировать передачу управляющего воздействия. При возникновении аппаратных проблем в функционировании одного из каналов возможно продолжение работы системы в одноканальной конфигурации (см. рис.1) при условии работоспособности канала диагностики, защит и блокировок в штатном (автоматизированном, пооперационном, ручном) режиме. При этом электрооборудование ИУС МП также позволяет работать в режиме (два канала электрооборудования), при котором каждый механизм МП подключен к своему инвертору (преобразователю частоты). В случае выхода из строя любого из инверторов происходит реконфигурация в одноканальный режим, при которой оставшийся инвертор поочередно подключается к одному из приводов в зависимости от текущего алгоритма управления механизмами МП в автоматизированном, пооперационном или ручном режимах работы ИУС МП.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИУС МП



Рис. 5. ИУС МП нового поколения для энергоблоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС-2

На рисунке 5 приведена фотография ИУС МП нового поколения, которая отличается современными методическими, алгоритмическими, аппаратно-программными и конструктивно-технологическими решениями, обеспечивающими сокращение времени и повышение безопасности выполнения технологических операций, в том числе

- аппаратно-программные средства ИУС МП, обеспечивающие распараллеливание процедур решения задач управления механизмами МП, а также автоматическое диагностирование отказов и перераспределение вычислительных ресурсов при их обнаружении, что повышает ее функциональное быстродействие и отказоустойчивость;

- новое системное и прикладное программное обеспечение ИУС МП [15], реализующее процедуры управления, контроля и безопасности процесса перегрузки, а также «дружественный» человеко-машинный интерфейс, позволяющий минимизировать риски ошибок персонала;

- принятый алгоритм управления механизмами МП, минимизирующий ее перемещения в процессе перегрузки с учетом накладываемых ограничений, а также оптимизирующий скоростные режимы движения отдельных механизмов МП в различных зонах обслуживания реактора и бассейна выдержки;

- режим наладки и подготовки задания (программы перегрузки топлива), в котором выполняется первоначальная подготовка данных о рабочей зоне машины перегрузочной, о координатах ячеек для топлива, о расположении ТВС и т.п. В дальнейшем на ос-

новании этих данных строится и вводится в систему программа перегрузки топлива.

Операторы ИУС, контролирующие процесс перегрузки ядерного топлива, несут ответственность за принимаемые решения, поэтому при разработке комплекса особенно актуально обеспечить удобство работы с системой. Тщательная проработка пользовательского интерфейса позволяет снизить фактор риска выполнения несанкционированной команды как результата ошибочных действий оператора. Но, кроме этого, существует риск сбоев, связанных с внешними воздействиями. Для избежания сбоев, вызванных вышеуказанными причинами, при разработке программного обеспечения использованы методы инвариантного программирования, а также в систему заложен механизм проверки результатов на непротиворечивость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря глубокой интеграции программно-технических средств и электрооборудования в ИУС МП Нововоронежской АЭС-2 в полной мере реализованы два канала управления, что позволяет повысить безопасность транспортно-технологических операций с ядерным топливом, сократить время непродуктивного простоя при его перегрузке в период планово-предупредительного ремонта на АЭС. Внедрение ИУС МП повышает КИУМ энергоблока примерно на 1.66 %, что обеспечивает выработку и поставку потребителям дополнительной электроэнергии.

Литература

1. Андрущенко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Кососуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. – М.: Логос, 2010. – 603 с.
2. Каляев И.А., Коробкин В.В., Баяклин В.Ф., Шкаровский А.Н. Повышение безопасности АЭС за счет внедрения новых технологий. Атомные электрические станции. Двадцать лет после аварии на Чернобыльской АЭС / Сб. статей под общ. ред. д.э.н. С.А. Обозова. – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2006. – С. 246-250.
3. Каляев И.А., Коробкин В.В., Кухаренко А.П., Макеев В.В., Поваров В.П., Румянцев К.Е. Инновационные разработки ЮНЦ РАН в области создания систем управления для атомной энергетики // Инновации. – СПб.: – 2006. – № 10(97). – С. 65-68.
4. Авдеев А.А., Кобелев А.М., Коробкин В.В., Жильников Д.В., Ефремов С.М., Пинчук М.Э., Марченко С.А. Машины перегрузки ядерного топлива нового поколения для энергоблоков проекта АЭС-2006 с ВВЭР1200 // Интеграл. – 2010. – № 1(51). – С. 28-33.
5. Макаров Н.Н. Системы обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса: теория, проектирование, применение. – М.: Машиностроение-Полет, 2009. – 760 с.
6. Sonami Arun K. Simplified phased-mission system analysis for system with independent component repairs. – NASA, March 1996.
7. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. / Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – М.: Ростехнадзор Российской Федерации, 2015.
8. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: Физмалит, 2008. – 352 с.
9. Федосовский М.Е., Фокин Г.А., Гуменюк В.И. Вероятностный анализ безопасности транспортно-технологического оборудования перегрузки ядерного топлива. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 2 (78). – С. 98-102.
10. Каляев И.А., Коробкин В.В., Мельник Э.В., Хисамутдинов М.В. Методы и средства повышения безопасности и сокращения времени операций с ядерным топливом на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. Монография / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2014. – 208 с.
11. НП-026-16. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. / Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – М.: Ростехнадзор Российской Федерации, 2016.

12. Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига, 2006. – 496 с.
13. Коробкин В.В., Сесекин О.Л., Ташлыков А.Н., Ченцов А.Г. Методы маршрутизации и их приложения в задачах повышения безопасности и эффективности эксплуатации атомных станций / Под общ. ред. чл.-корр. РАН И.А. Каляева. – М.: Новые технологии, 2012. – 233 с.
14. Корнеев В.В. Архитектура вычислительных систем с программируемой структурой. – Новосибирск: Наука, 1985.
15. Коробкин В.В., Серогодский А.И., Блуишвили И.В., Дубовик А.А. Программный комплекс управляющей системы машины перегрузочной / Свидетельство 2015612308 Российской Федерация; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет. Оpubл. 17.02.2015 г. – 67 с.

Поступила в редакцию 26.06.2017 г.

Авторы

Коробкин Владимир Владимирович, главный конструктор по направлению, зав. лабораторией, канд. техн. наук,
E-mail: vvk@niiimvs.ru

Поваров Владимир Петрович, директор Нововоронежской АЭС, канд. техн. наук
E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC 681.513.2

A NEW-GENERATION INFORMATION CONTROLLING SYSTEM FOR REFUELING MACHINE

Korobkin V.V. *, Povarov V.P. **

* Research Institute for Multiprocessor Computer Systems
2 Chekhov st., Taganrog, GSP284, 347928 Russia

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

ABSTRACT

Largely, the development of the new fuel handling and refueling complex at unit № 1 of Novovoronezh NPP II is specific in the thorough integration of the information controlling system (ICS) and the refueling machine (RM) electrical equipment package into a single complex. The structure of the multilevel multiprocessor and multinet network ICS provides for a high fail and functional safety and meets the single-failure principle even during operation in a single-channel mode. The RM control during refueling involves the human operator who is supported by an intellectual interface. The operator decides on particular control actions for the RM and the complex as the whole, monitors the control process and makes decisions on prevention of abnormal and emergency situations.

New information technologies make it possible to use a combination of modern means and methods of collecting information to obtain new quality information about the state of an objects or process, algorithms for processing this information, and making decisions on managing the RM on this basis.

Essentially, the ICS is a distributed system which implements the entire control cycle and contains information, processing and controlling portions. The communication devices in each portion are responsible for the exchange of data among components through a complete graph or via a shared bus.

The development result is the RM ICS of a new generation which differs from its current counterparts in innovative procedural, algorithm, hardware/software and process design solutions leading to a shorter time and increased safety of nuclear fuel handling operations at a VVER-type reactor. Simultaneously, the RM ICS introduction improves the unit's capacity factor by about 1.66% which ensures the output and supply to consumers of extra electricity.

Key words: information controlling system, nuclear plant, functional safety, nuclear fuel, refueling machine, decentralization of control functions, single failure, human factor.

REFERENCES

1. Andrushechko S.A., Afrov A.M., Vasil'yev B.Yu., Generalov V.N., Kososurov K.B., Semchenkov YU.M., Ukraintsev V.F. AES s reaktorom tipa VVER. Ot fizicheskikh osnov ekspluatatsii do evolyutsii proyekta [NPP with a reactor of the VVER type. From the physical foundations of exploitation to the evolution of the project]. Moscow. Logos Publ., 2010. 603 p. (in Russian).
2. Kalyayev I.A., Korobkin V.V., Bayuklin V.F., Shkarovskiy A.N. Povysheniye bezopasnosti AES za schet vnedreniya novykh tekhnologiy. Atomnyye elektricheskiye stantsii. Dvadsat' let posle avarii na Chernobyl'skoy AES. [Increase the safety of nuclear power plants through the introduction of new technologies. Nuclear power plants. Twenty years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant.]. Moscow. Kontsern «Rosenergoatom» Publ., 2006, pp. 246-250 (in Russian).
3. Kalyayev I.A., Korobkin V.V., Kukharenskiy A.P., Makeyev V.V., Povarov V.P., Rumyantsev K.Ye. Innovatsionnyye razrabotki YUNTS RAN v oblasti sozdaniya sistem upravleniya dlya atomnoy energetiki [Innovative developments of the UNIC RAS in the field of creation of control systems for nuclear power]. *Innovatsii*. 2006, no. 10(97), pp. 65-68 (in Russian).
4. Avdeyev A.A., Kobelev A.M., Korobkin V.V., Zhil'nikov D.V., Yefremov S.M., Pinchuk M.E., Marchenko S.A. Mashiny peregruzki yadernogo topliva novogo pokoleniya dlya energoblokov proyekta AES-2006 s VVER 1200 [New generation nuclear fuel transfer machines for power units of NPP-2006 project with WWER-1200]. *Integral*. 2010, no. 51, pp. 28-33 (in Russian).
5. Makarov N.N. Sistemy obespecheniya bezopasnosti funktsionirovaniya bortovogo ergaticheskogo kompleksa: teoriya, proyektirovaniye, primeneniye [Systems to ensure the safety of the on-board ergatic complex: theory, design, application]. Moscow. Mashinostroyeniye-Polyot Publ., 2009. 760 p. (in Russian).
6. Sonami Arun K. Simplified phased-mission system analysis for system with independent component repairs. NASA. March 1996.
7. NP-001-15. Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii [General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants. Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy]. Moscow. Rostekhnadzor Rossiyskoy Federatsii Publ., 2015 (in Russian).
8. Ostreykovskiy V.A., Shvyryayev Yu.V. Bezopasnost' atomnykh stantsiy. Veroyatnostnyy analiz [Safety of nuclear power plants. Probabilistic analysis]. Moscow. Fizmatlit Publ., 2008. 352 p. (in Russian).
9. Fedosovskiy M.Ye., Fokin G.A., Gumenyuk V.I. Veroyatnostnyy analiz bezopasnosti trans-portno-tekhnologicheskogo oborudovaniya peregruzki yadernogo topliva [Probabilistic analysis of the safety of transport equipment for nuclear fuel transshipment]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPI*. 2009, no. 2 (78). pp. 98-102 (in Russian).
10. Kalyayev I.A., Korobkin V.V., Mel'nik E.V., Khisamutdinov M.V. Metody i sredstva povysheniya bezopasnosti i sokrashcheniya vremeni operatsiy s yadernym toplivom na AES s reaktorom tipa VVER-1000 [Methods and means to improve safety and reduce the time of operations with nuclear fuel at nuclear power plants with a reactor of the VVER-1000 type]. Rostov-na-Donu. Yuzhnyy federal'nyy universit Publ., 2014. 208 p. (in Russian).
11. NP-026-16. Trebovaniya k upravlyayushchim sistemam, vazhnym dlya bezopasnosti atomnykh stantsiy. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii

[Requirements for control systems that are important for the safety of nuclear power plants. Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy]. Moscow. Rostekhnadzor Rossiyskoy Federatsii Publ., 2016. (in Russian).

12. Chelovecheskiy faktor v upravlenii. Pod red. N.A. Abramovoy, K.S. Ginsberga, D.A. Novikova [The human factor in management. Ed. Abramova N.A., Ginsberg K.S., Novikov D.A.]. Moscow. KomKniga Publ., 2006. 496 p. (in Russian).

13. Korobkin V.V., Sesekin O.L., Tashlykov A.N., Chentsov A.G. Metody marshrutizatsii i ikh prilozheniya v zadachakh povysheniya bezopasnosti i effektivnosti ekspluatatsii atomnykh stantsiy. [Routing methods and their applications in the tasks of increasing the safety and efficiency of operation of nuclear power plants]. Moscow. Novyye Tekhnologii Publ., 2012. 233 p. (in Russian).

14. Korneyev B.B. Arkhitektura vychislitel'nykh sistem s programmiruyemoy strukturoy [The architecture of computer systems with a programmable structure]. Novosibirsk. Nauka Publ., 1985 (in Russian).

15. Korobkin V.V., Serogodskiy A.I., Bluishvili I.V., Dubovik A.A. *Programmnyy kompleks upravlyayushchey sistemy mashiny peregruzochnoy* [The software complex of the control system of the transshipment machine]. Patent RF. No. 2015612308, 2015. (in Russian).

Authors

Korobkin Vladimir Vladimirovich, Chief Designer, Head of Laboratory, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: vvk@niimvs.ru

Povarov Vladimir Petrovich, Director of Novovoronezh NPP, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru