
ДОКЛАДЫ БГУИР

Выходит два раза в квартал

Научный журнал издается с января 2003 года

Главный редактор М.П. Батура

Редакционная коллегия:

А.П. Кузнецов (зам. главного редактора),
Л.М. Лыньков (зам. главного редактора),

Т.В. Борботько (ответственный секретарь),
В.Е. Борисенко, С.Е. Карпович, Н.Т. Квасов, В.К. Конопелько,
А.А. Кураев, В.А. Лабунов, В.В. Муравьев, Р.Х. Садыхов

Редакционный совет:

И.И. Абрамов, В.Е. Агабеков, В.В. Баранов, А.И. Белоус, И.В. Боднар, С.В. Бордусов, С.В. Гапоненко, В.В. Голенков, В.Ф. Голиков, А.Л. Гурский, Л.И. Гурский, А.П. Достанко, В.А. Емельянов, В.М. Колешко, Ф.Ф. Комаров, Ф.П. Коршунов, С.П. Кундас, В.А. Куренев, В.И. Курмашев, Н.И. Листопад, С.В. Лукьянец, В.Е. Матюшков, Л.И. Минченко, Ф.И. Пантелеенко, А.А. Петровский, В.А. Пилипенко, С.Л. Прищепа, А.М. Русецкий, В.А. Сокол, Н.К. Толочко, А.А. Хмыль, В.В. Цегельник, В.А. Чердынцев, Г.П. Яблонский, В.Н. Ярмолик

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

*220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, к. 326
293-88-41*

doklady@bsuir.by

www.doklady.bsuir.by

СОДЕРЖАНИЕ

Акимов Н.Н., Бибииков В.В., Кольцов В.А., Лотов В.Н. Автоматизированная система управления технологическими процессами Белорусской АЭС	9
Кишкин В.Л., Нарич А.Д. Эволюция программно-технических средств уровня автоматического управления АСУ ТП атомных и тепловых электростанций	13
Дитяшев А.В. Применение платформы RadiCS для разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами АЭС.....	16
Боженков О.Л., Толстенков А.Н., Южаков А.Ю. Создание и развитие системы управления ядерными знаниями: опыт АО «ВНИИАЭС».....	21
Тимохин Д.С., Гриценко С.Ю., Артемьев К.П. Структура автоматизированной системы управления технологическими процессами Белорусской АЭС с точки зрения безопасности	28
Нарич А.Д., Моисеев М.И., Карпов П.С., Новиков А.Н., Борзенко А.А., Рьжков А.В. Комплекс средств автоматизации ТПТС-НТ.....	33

Нариц А.Д., Моисеев М.И., Новиков А.Н., Карпов П.С., Борзенко А.А. Комплекс средств автоматизации ТПТС-СБ.....	38
Загузов В.С., Панферов Д.В., Титова Н.А. Датчики давления – первичное звено автоматизированных систем управления технологическими процессами	43
Белоносов М.А., Галицын Ю.С., Краюшкин Ю.В., Жуков И.М., Гриценко С.Ю. Инструментальные средства сквозного проектирования систем контроля и управления на базе ТПТС.....	47
Маликова Е.Ю., Купцов С.И. Особенности верификации и валидации прикладного программного обеспечения программно-технических комплексов на аппаратуре ТПТС для систем безопасности АЭС	52
Зятников А.Н., Рогов В.М. Развитие методов верификации прикладного программного обеспечения АСУ ТП АЭС на базе ТПТС	56
Краюшкин Ю.В., Минаев Е.В., Чернаков В.А Программный комплекс для статического тестирования системы контроля и управления на базе ТПТС-ЕМ,51	61
Герасимчук О.А., Сарылов О.В. Сертификация, испытания и измерения на электромагнитную совместимость оборудования АЭС. Испытательный центр НПЦ ИТ ФГУП «ВНИИА».....	65
Сарылов В.Н., Сарылов О.В. Обеспечение электромагнитной совместимости систем контроля и управления атомных станций на этапах жизненного цикла	70
Дурнев В.Н., Черняев А.Н., Колчев К.К. Систематизация программно-технических средств управляющих систем АЭС	76
Калинушкин А.Е., Семченков Ю.М. Современная система контроля, управления и диагностики реакторов ВВЭР большой мощности	81
Акимов Н.Н., Кольцов В.А., Лепехин И.Ю. Система регистрации важных параметров эксплуатации АСУ ТП Белорусской АЭС 1,2	86
Киет В.Г., Киет С.В. Разработки для решения задач пробоподготовки и контроля качества водного теплоносителя на АЭС	90
Кабачников А.Б., Морозов А.В. Информационная модель АСУ ТП АЭС на базе программного комплекса Smartplant Enterprise	94
Менгазетдинов Н.И., Полетыкин А.Г. Интеграция АСУ ТП и системы верхнего уровня АЭС – технологии и опыт ИПУ РАН	97
Алпеев А.С. Надежность программного обеспечения управляющих систем и безопасность атомных станций	101
Анохин А.Н. Проблемы организации человеко-машинного интерфейса АСУ ТП АЭС.....	104
Анохин А.Н., Ивкин А.С., Чепурко В.А. Методы оценки человеко-машинного интерфейса операторов АЭС	109
Титович Н.А., Ползунов В.В. Исследование восприимчивости полупроводниковых приборов к воздействию электромагнитных помех.....	114
Лавров Е.А., Криводуб А.С., Сусик А.А. Подход к имитационному моделированию в задачах эргономического обеспечения управления инцидентами	119
Лавров Е.А., Криводуб А.С. Подход к оценке вариантов деятельности операторов технической поддержки информационных сервисов телекоммуникационных систем.....	123
Суриков К.Н., Аристов И.Н., Полётов Г.В. Современные промышленные блоки детектирования на основе ионизационных камер для регистрации нейтронных полей	127
Новик А.Н., Кучинский П.В., Белый И.В., Тамашевич С.Г. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки окружающей среды с открытой архитектурой построения....	131
Глень Д.А. Отраслевая автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля.....	135

Казючиц Н.М., Макаренко Л.Ф., Русецкий М.С., Шуленков А.С. Чувствительные элементы на основе синтетического алмаза для контрольно-измерительных приборов АЭС	139
Кулаков Г.Т. Структурно-параметрическая оптимизация динамических систем теплоэнергетических процессов ТЭС и АЭС	144
Бранцевич П.Ю., Костюк С.Ф., Базылев Е.Н. Решение задач вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния механизмов и турбоагрегатов с помощью компьютерных комплексов	148
Бранцевич П.Ю., Базылев Е.Н. Оценка технического состояния механизмов и турбоагрегатов с использованием вибрационных характеристик пуска-выбега	153
Асланян Г.А., Симонян С.О. Д-аналог метода определения однопараметрической обобщенной обратной матрицы Дразина, основанный на каноническом представлении матрицы	158
Андреевский Е.В., Падерно П.И. Модель для оценки угрозы безопасности ядерного объекта, исходящей от внутреннего нарушителя	163
Ковриго Ю.М., Баган Т.Г. Синтез робастного регулятора для объектов с изменяющимися параметрами	168
Коропова Л.А., Степанец А.В. Комплексная математическая модель динамики барабанного парового котла в задаче синтеза алгоритмов управления	172
Кишкин В.Л., Королев С.А. Подготовка специалистов по системам контроля и управления атомными станциями	176
Королев С.А., Выговский С.Б., Чернов Е.В. Учебная лаборатория «ПАРУС» по реакторной физике, управлению и безопасной эксплуатации АЭС с водо-водяным энергетическим реактором	180
Лупишко А.Н., Чернаков В.А., Молев А.П., Мищерин С.А., Королев С.А., Выговский С.Б., Минаев Е.В., Краюшкин Ю.В. Опыт разработки и внедрения тренажеров для подготовки персонала энергоблоков № 3,4 Калининской АЭС с цифровыми АСУ ТП	185
Школа Н.Ф., Иванов В.Ю. Подготовка кадров по направлению «Ядерные физика и технологии» в Уральском федеральном университете	192
Сергеев С.Ф. Методологические проблемы электронного обучения операторов АСУ ТПАЭС и ТЭС	197
Третьяков В.П., Горюнова Л.Н. Методика обучения на полномасштабных тренажерах АЭС	202
Кудряков Н.Н. Моделирование динамики ядерного реактора в среде MathCad как учебная задача	206

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Акимов Н.Н., Кольцов В.А., Харченко С.П. Принципы построения программно-технического комплекса сбора информации с электротехнического оборудования энергоблока АСУ ТП Белорусской АЭС	211
Аракелян Э.К., Андрушин А.В., Минзов А.П. Особенности систем информационной безопасности АСУ ТП ТЭС и АЭС	213
Буткус К., Воеводин А.В., Терехов А.Ф. Система SAIPMS/SDS: опыт применения	215
Крючкова Л.М. Системы АСКРО на базе оборудования УП «АТОМТЕХ», НИИПФП БГУ им. А.Н. Севченко, ООО НПП «РАДИКО»	217
Ламшин А.К., Чигир В.В. Применение гамма-спектрометра на основе кристалла LaBr ₃ (Ce) для задач непрерывного контроля изотопов йода в первом контуре реакторов типа РБМК и ВВЭР	219
Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Быстров Е.В., Кожемякин В.И., Лукашевич Р.В. Блоки детектирования гамма-излучения в защищенных корпусах	221
Горшков Д.В., Кожемякин В.А. Радиометр суммарной альфа- и суммарной бета-активности на базе серийно выпускаемых блоков детектирования производства УП «АТОМТЕХ»	223

Комар Д.И., Кутень С.А., Быстров Е.В. Монте-Карло моделирование аппаратурных гамма-спектров для паспортизатора контейнеров с радиоактивными отходами	225
Лукашевич Р.В., Сеньковский К.Г., Прямосудова Н.А. Комплекс оборудования для метрологического обеспечения средств измерений ионизирующего излучения.....	227
Кулаков Г.Т., Кухоренко А.Н. Исследование различных методов оптимизации динамики систем автоматического регулирования питания водой барабанных котлов и парогенераторов ТЭС и АЭС.....	229
Аракелян Э.К., Андришин А.В., Бурцев С.Ю., Андришин К.А. Влияние наличия ПГУ на процесс оптимального распределения тепловой и электрической нагрузки на ТЭЦ со сложным составом оборудования.....	232
Сперанский Ф.А. Использование Монте-Карло модели активной зоны ядерного реактора типа ВВЭР для вычисления альbedo отражателей.....	234
Бунке А.С., Ковриго Ю.М. Регулятор с корректором для инерционных объектов.....	236
Андришин А.В., Киет С.В., Мерзликina Е.И., Никитина И.С. Экспериментально-обучающий стенд кафедры АСУТП НИУ МЭИ, оснащенный приборами химического контроля теплоносителя ТЭС и АЭС.....	238
Андришин А.В., Балакирев В.С., Большаков А.А. Подготовка специалистов в области надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами	241
Адамович В.Е., Дробот С.В. Учебно-лабораторный стенд для изучения систем автоматического регулирования параметров технологических процессов	244
Гончаров В.А. Самоконтроль и безопасность труда	246
Курасов П.А. Аппаратно-программный комплекс для определения профессиональной пригодности на операторские должности.....	248
Опарина Н.М. Подготовка специалистов, безопасность АЭС и человеческий фактор	251
Andreevsky E.V., Akhmedkhanov M.A., Daneykin Y.V. Professional psychological selection as a trend in nuclear education	254
Дробот С.В. Подготовка специалистов в области электроники и автоматики для Белорусской АЭС	256
Зацепин Е.Н., Дробот С.В. Изучение систем безопасности АЭС в БГУИР	260
Чардымов А.И. Принципы формирования пользовательского интерфейса АСУ ТП.....	263
Дробот С.В., Путилин В.Н. Задачи инженерной подготовки в области электроники и автоматики для ядерной энергетики.....	265

Учредитель: учреждение образования
"Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"

Редактор С. В. ДРОБОТ
Корректор Т. В. МИРОНЕНКО
Компьютерный дизайн О. В. БОЙПРАВ
Верстка Н. С. ОСИПЕНКО

Подписано в печать 20.02.2015. Формат 60×84 ¼. Гарнитура "Таймс". Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 31,39. Уч.-изд. л. 27,9. Тираж 150 экз. Заказ 39.
Индекс для индивидуальной подписки 00787.
Индекс для ведомственной подписки 007872.

Издатель: учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 1087 от 23.01.2010.

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 14.04.2014. 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2015

DOKLADY BGUIR

Published twice quarterly

The journal has been published since January, 2003

Editor-In-Chief M. P. Batura

ADDRESS OF EDITORIAL OFFICE

220013, Minsk, P. Brovka Str., 6, Room 326

293-88-41

doklady@bsuir.by

www.doklady.bsuir.by

CONTENTS

Akimov N.N., Bibikov V.V., Koltsov V.A., Lotov V.N. Automated process control system of Belarussian NPP.....	9
Kishkin V.L., Narits A.D. Evolution of programmable equipment of automation control level for I&C systems of nuclear and heat power plants	13
Dityashev A.V. Application RadiCS platform for development of I&C systems of nuclear power plants	16
Bozhenkov O.L., Tolstenkov A.N., Yuzhakov A.Y. Creation and development of nuclear knowledge management system: the experience of JSC «VNIIAES».....	21
Timokhin D.S., Gritsenko S.Y., Artemyev K.P. Structure of I&C for NPP in Belarussian concerning aspect of safety	28
Narits A.D., Moiseev M.I., Karpov P.S., Novikov A.N., Borzenko A.A., Ryzhkov A.V. TPTS-NT automation equipment	33
Narits A.D., Moiseev M.I., Novikov A.N., Karpov P.S., Borzenko A.A. TPTS-SB automation equipment.....	38
Zaguzov V.S., Panferov D.V., Titova N.A. Pressure transducers – primary link automatic process control systems.....	43
Belonosov M.A., Galitsyn Y.S., Krayushkin Y.V., Zhukov I.M., Gritsenko S.Y. Ultimate tools to design TPTS-based control systems.....	47
Malikova E.Y., Kuptsov S.I. Features of V&V processes for application software of safety systems based on TPTS equipment.....	52

Zyatnikov A.N., Rogov V.M. The development of applied software verification methods in software and hardware complexes on the basis of software and hardware tools in NPP APCS	56
Krayushkin Y.V., Minaev E.V., Chernakov V.A. Static testing software complex for an I&C system based on TPTS-EM/51 hardware	61
Gerashimchuk O.A., Sarylov O.V. Certification, test and measurement equipment for EMC NPP. Test center of research and production center for pulse technology FSUE «VNIIA»	65
Sarylov V.N., Sarylov O.V. NPP I&C electromagnetic compatibility development for each stage of life cycle	70
Durnev V.N., Chernyaev A.N., Kolchev K.K. Systematization of software and hardware means of NPP I&C systems	76
Kalinushkin A.E., Semchenkov Y.M. Modern control, monitoring and diagnostic system for great power VVER reactor.....	81
Akimov N.N., Koltsov V.A., Lepchin I.Y. Registration system of important operating parameters APCS Belarussian NPP 1, 2	86
Kiet V.G., Kiet S.V. Solutions for sampling and control of water at NPP.....	90
Kabachnikov A.B., Morozov A.V. Information model of NPP I&C based on smartplant enterprise software solutions.....	94
Mengazetdinov N.I., Poletikin A.G. Integration I&C and higher-level systems NPP – technology and experience ISP RAS	97
Alpeev A.S. Software dependability of I&C systems and safety of nuclear power plants	101
Anokhin A.N. The challenges to design human-machine interface for NPP process control	104
Anokhin A.N., Ivkin A.S., Chepurko V.A. The approaches for evaluation of human-machine interface for NPP operators	109
Titovich N.A., Polzunov V.V. Susceptibility analysis of semiconductor devices to electromagnetic interference	114
Lavrov E.A., Krivodub A.S., Susik A.A. The approach to simulation in problems of ergonomic support of incident management	119
Lavrov E.A., Krivodub A.S. The approach to evaluation of technical support operators activity in telecommunications	123
Surikov K.N., Aristov I.N., Poletov G.V. Modern industrial detectors with ionization chamber and integral cable for neutron flux detection	127
Novik A.N., Kuchinski P.V., Belii I.V., Tamashevich S.G. Automated radiation control system environmental construction with open architecture.....	131
Glen D.A. Industrial automated system for individual radiation dose monitoring	135
Kazuchits N.M., Makarenko L.F., Rusetskii M.S., Shulenkov A.S. The sensing element based on synthetic diamonds for instrumentation and control at NPP	139
Kulakov G.T. Structurally-parametrical optimisation of dynamic systems of heat power processes of TPP and NPP.....	144
Brancevich P.J., Kastsyuk S.F., Bazyleu Y.N. Solution of problems of vibration control, monitoring, assessment of the technical conditions of machinery and turbo-units by means of computer complexes .	148
Brancevich P.J., Bazyleu Y.N. An assessment of technical condition of machinery and turbo-units based on vibration characteristics of launch-stopway	153
Aslanyan H.A., Simonyan S.H. D-analogue of the method for determining single-parametric Drazin generalized inverse matrices based on the canonical matrix representation.....	158
Andreevsky E.V., Paderno P.J. Model for estimation of insider threat to security of a nuclear facility	163
Kovrygo Y.M., Bagan T.G. Design of robust controller for objects with variable parameters.....	168

Koropova L.A., Stepanets A.V. Complex mathematical model of drum steam boilers dynamics in control algorithm synthesis problem	172
Kishkin V.L., Korolev S.A. Training of specialists in management and control systems for nuclear power plants	176
Korolev S.A., Vygovskiy S.B., Tsernov E.V. Learning laboratory «PARUS» reactor physics, control and safety of NPP operation with VVER	180
Lupishko A.N., Chernakov V.A., Molev A.P., Mishcherin S.A., Korolev S.A., Vygovskiy S.B., Minaev E.V., Krayushkin Y.V. Experience in the development and implementation of training simulators for the personel of Kalinin NPP unit 3 and unit 4 with digital PCS	185
Shkola N.F., Ivanov V.Y. Educational programmes in nuclear physics and technologies in Ural federal university	192
Sergeev S.F. Methodological problems of E-learning operators APCS NPP and TPP	197
Tret'yakov V.P., Goryunova L.N. Method of study on NPP full-scale simulator.....	202
Kudryakov N.N. Mathematical modelling of nuclear reactor dynamics with MathCad as an educational task	206

SHORT NOTES

Akimov N.N., Koltsov V.A., Kharchenko S.P. Principles of software and hardware complex collection of information with electrical equipment of power block APCS Belarussian NPP	211
Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Minzov A.S. Specialty of information security systems of APCS on thermal and nuclear power plants	213
Butkus K., Voevodin A.V., Terehov A.F. System SAIPMS / SDS: experience of use	215
Kruchkova L.M. ARMS based on equipment by RPE LTD «RADICO», UE «ATOMTEX», IAPP of BSU (A.N. Sevchenko)	217
Lamshin A.K., Chigir V.V. Experience of using gamma-spectrometer with scintillator LaBr ₃ (Ce) for measuring activity iodine isotopes in the primary coolant of nuclear reactors	219
Antonov A.V., Antonov V.I., Barthenko A.G., Bystrov E.V., Kozhemyakin V.I., Lukashevith R.V. Blocks gamma radiation detection in the protected enclosure.....	221
Harshkou D.V., Kojemiakin V.A. Sample counter for measuring of gross alpha- and gross beta-activity based on serial detection units produced by «ATOMTEX» SPE	223
Komar D.I., Kutsen S.A., Bystrov E.V. Monte-Carlo modelling for characterization of radioactive waste container	225
Lukashevich R.V., Senkovski K.G., Pramosudova N.A. Complex equipment for metrological support of ionization radiation measurement instruments	227
Kulakov G.T., Kuhorenko A.N. Research of various methods of automatic control dynamics optimisation systems of a feed-water of drum-type coppers and steam plants at TPP and NPP	229
Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Bursev C.Y., Andryushin K.A. The influence of the CCP presence on the CHP with a complex composition of the equipment on optimal distribution process of thermal and electrical load	232
Speransky Ph.A. Employment of the VVER type nuclear reactor core Monte-Carlo model for reflectors albedo calculations	234
Bunke A.C., Kovrygo Yu.M. Controller with corrector for inertial loops	236
Andriushin A.V., Kiet S.V., Merzlikina E.I., Nikitina I.S. Experimental and training bench of department of automated control systems for thermal processes (NRU MPEI) equipped with chemical control devices for TPP and NPP	238
Andryushin A.V., Balakirev V.S., Bolshakov A.A. Specialists training in the field of reliability of automated process control systems	241

Adamovich V.E., Drobot S.V. Training-laboratory unit for study of technological processes parameters automatic control systems.....	244
Gontharov V.A. Self-control and safety of labor.....	246
Kurasov P.A. Hardware-software complex for determination of professional suitability to operator positions	248
Oparina N.M. Training of specialists, safety of the NPP and human factor.....	251
Andreevsky E.V., Akhmedkhanov M.A., Daneykin Y.V. Professional psychological selection as a trend in nuclear education	254
Drobot S.V. Education and training of instrumentation and control system professionals for Belarussian NPP	256
Zatsepin E.N., Drobot S.V. Study of NPP safety systems at BSUIR.....	260
Chardymov A.I. Forming principles of AMS TP user interface.....	263
Putilin V.N., Drobot S.V. Problems of engineering education in area of instrumentation and control systems for nuclear power	265

УДК 681.51

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Н.Н. АКИМОВ, В.В. БИБИКОВ, В.А. КОЛЬЦОВ, В.Н. ЛОТОВ

ФГУПФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»
ГСП-486, Нижний Новгород, 603950, Россия

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) предназначена для контроля и управления всеми технологическими и электротехническими объектами Белорусской АЭС с целью обеспечения качественной и бесперебойной выработки электроэнергии с соблюдением заданного уровня безопасности. АСУ ТП в процессе своего функционирования обеспечивает:

- контроль состояния технологических объектов управления (ТОУ);
- автоматизированное/автоматическое поддержание эксплуатационных режимов работы энергоблоков и всей АЭС;
- автоматическое регулирование параметров ТОУ;
- диагностику процессов и оборудования;
- информационное обеспечение персонала во всех эксплуатационных состояниях и режимах работы АЭС для решения инженерных, технико-экономических, производственных и административных задач.

Прототип, референтность. В качестве прототипа энергоблоков Белорусской АЭС, включающих АСУ ТП, выбраны энергоблоки Ленинградской АЭС-2, сооружаемой по проекту АЭС-2006. Планируемый срок энергопуска энергоблока № 1 Ленинградской АЭС-2 – 2015 г. Участники работ:

- Заказчик – Акционерное общество «Дирекция единого заказа оборудования для АЭС» (АО «ДЕЗ»).
- Заказчик-застройщик – Государственное предприятие «Белорусская АЭС» и его законные правопреемники.
- Генеральный проектировщик энергоблока № 1 (№ 2) Белорусской АЭС – Акционерное общество Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект» (АО «НИАЭП»).
- Проектировщик – Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий АТОМПРОЕКТ» (АО «АТОМ-ПРОЕКТ»).
- Генподрядчик – Закрытое акционерное общество «Атомстройэкспорт» (ЗАО «Атомстройэкспорт»).
- Разработчик проекта АСУ ТП, комплектный поставщик АСУ ТП – ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова».
- Главный конструктор РУ – Акционерное общество Опытное конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС» (АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»).
- Научный руководитель проекта АЭС с ВВЭР-1200 – НИЦ «Курчатовский институт».

Сведения об объеме автоматизации энергоблока.

1. Количество измерений на один энергоблок составляет:

- температурные – 3000;
- давление, перепад давления, уровень, расход и другие – 3200;
- электрические – 450;

- двоичные входные сигналы – 4700 (не включая сигналы исполнительных механизмов);
- двоичные выходные сигналы – 800 (не включая сигналы исполнительных механизмов);
- аналоговые выходные сигналы (БПУ, РПУ) – 600;
- местные индикаторы – 2000.

2. Количество исполнительных механизмов на один энергоблок составляет:

- двигатели – 1000;
- запорная арматура, через распредустройство – 3000;
- запорная арматура, без распредустройства – 2000;
- регулирующие клапаны – 400;
- электромагнитные клапаны – 200;
- нагреватели – 500.

3. Количество контролируемых и управляемых технологических объектов (параметров, оборудования) общестанционного уровня – до 2000 единиц.

Функции и задачи, реализуемые АСУ ТП, систематизированы в таблицу.

Функции	Задачи
1. Информационные функции	1.1 Контроль текущего состояния ТООУ 1.2 Оперативный анализ состояния ТООУ 1.3 Представление информации и сигнализация 1.4 Регистрация и архивирование
2. Управляющие функции	2.1 Автоматизированное управление 2.2 Автоматическое управление и регулирование
3. Вспомогательные функции	3.1 Оперативный анализ состояния АСУ ТП 3.2 Контроль и защита от несанкционированного доступа 3.3 Программное и операторское управление работой системы, включая поддержку единого времени

Временные характеристики.

1. Временная задержка сигналов команд управления (временами реакции) в автоматическом режиме от момента появления сигнала датчика на входе ПТК, превышающего уставку, или момента появления внешнего дискретного сигнала в ПТК до появления выходного управляющего сигнала на коммутационном аппарате исполнительного механизма составит:

- для ТЗБ, УСБТ, СКУ НЭ – не более 0,5 с;
- для иницирующей части АЗ-УСБТ, реализующих АЗ – не более 0,15 с;
- для иницирующей части ПЗ, реализующих ПЗ1, ПЗ2, УПЗ – не более 0,15 с;
- для исполнительной части АЗ-ПЗ, реализующих АЗ, ПЗ – не более 0,15 с;
- для защит АЗ, ПЗ, формируемых в СКУД – не более 3,0 с (с момента превышения расчетным значением внутриреакторного локального параметра заданного предела до передачи сигнала в иницирующие части подсистем АЗ, ПЗ;
- для авторегулирования – не более 0,2 с.

2. Временная задержка команд автоматизированного управления и представления информации (от момента формирования управляющей команды до срабатывания коммутационного аппарата электропривода исполнительного механизма):

- команды оператора с помощью коммутационной аппаратуры при дистанционном индивидуальном управлении – не более 0,25 с для объектов, управляемых индивидуально;
- команды оператора с экрана видеомонитора автоматизированного рабочего места при дистанционном индивидуальном управлении – не более 1,5 с;
- вызов информационного и управляющего окон – не более 0,5 с.

3. Временная задержка при представлении информации (от момента изменения аналогового сигнала или дискретного сигнала на входе ПТК до момента представления на мониторе рабочей станции):

- на представление информации на экране видеомонитора – не более 2,0 с;
- время смены видеок кадров на видеомониторах автоматизированных рабочих мест должно быть не более 1,0 с, при этом видеок кадр содержит не более 150 динамических элементов.

Состав и структура АСУ ТП Белорусской АЭС

Состав подсистем, входящих в АСУ ТП, соответствует составу прототипа:

- СВБУ, СВСУ, ПТС ОДУ, ЭКП, СРВПЭ, СКУ ВП, ПТК СИ, КИП – поставщик ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»;
- СУЗ – поставщик АО «Корпорация ВНИИЭМ»;
- УСБ, СКУ НЭ (включая СКРТ и СКУ ВХР), СКУ СВО, СКУ ЭЧ, КИП – поставщик ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»;
- СКУД – поставщик НИЦ «Курчатовский институт»;
- АСРК – поставщик ФГУП «ПСЗ»;
- СКУ ПЗ – поставщик АО ПЗ «Тензор»;
- СВД – поставщик ФГУП РФЯЦ «ВНИИЭФ».

Автоматизированная система управления технологическими процессами Белорусской АЭС имеет ряд отличительных особенностей.

1. В состав оборудования с наименованием «Система верхнего блочного уровня СВБУ» входят как собственно СВБУ, так и технические средства оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ), предназначенные для комплектования БПУ и РПУ, а также Экран коллективного пользования.

2. В состав оборудования с наименованием «Системы контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации (СКУ НЭ)» входят все подсистемы нормальной эксплуатации, обеспечивающие контроль и управление оборудованием нормальной эксплуатации реакторного и турбинного отделений, а также электротехническим оборудованием системы электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ) и системы надежного электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ НЭ).

3. В отличие от проекта реализации УСБТ для Ленинградской АЭС-2 иницирующая часть УСБТ для Белорусской АЭС, удовлетворяющая всем требованиям нормативной документации к системам подобного класса, будет поставляться российским производителем (ВНИИА).

4. В состав оборудования АСУ ТП не входит система контроля и управления электрооборудованием общестанционного уровня (СКУ ЭЧ ОУ).

Структура АСУ ТП традиционна (см. рис. 1). Схема функционального взаимодействия предприятий-участников проекта создания АСУ ТП (см. рис. 2) предусматривает обеспечение максимальной заводской готовности оборудования за счет применения отработанной в предыдущих проектах процедуры комплексных интеграционных испытаний.

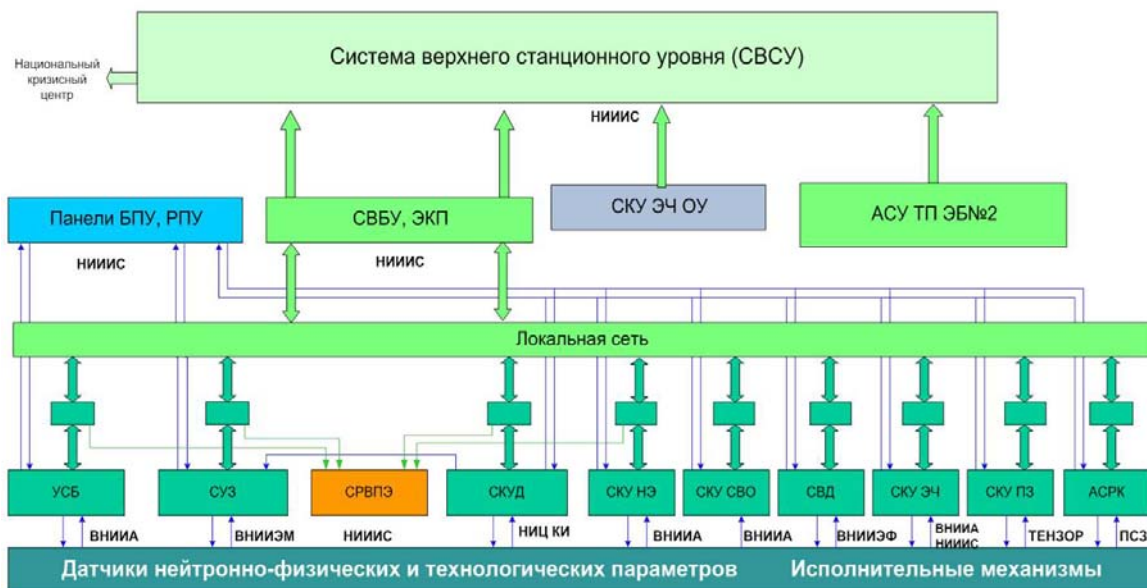


Рис. 1. Структура АСУ ТП

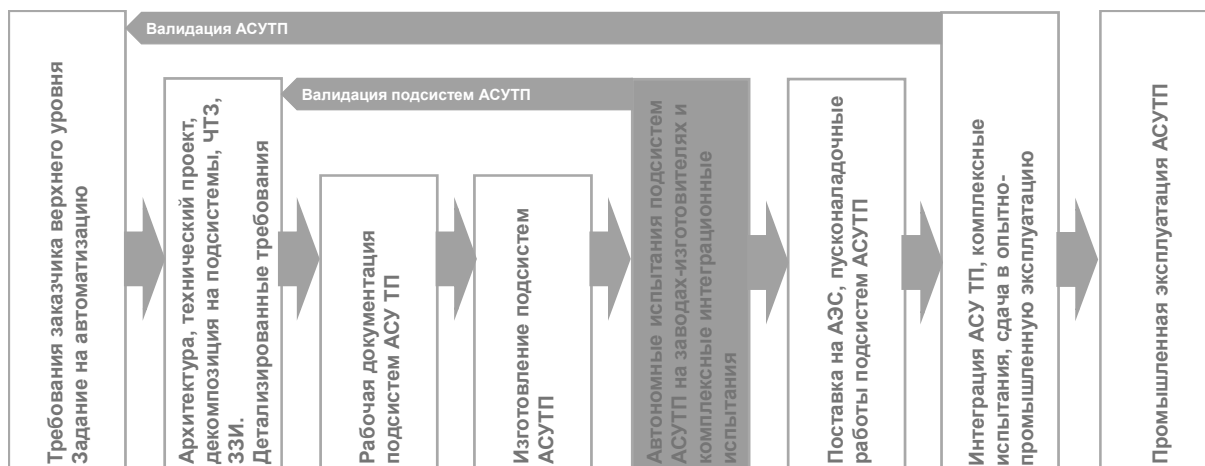


Рис. 2. Порядок создания АСУ ТП

Таким образом, АСУ ТП Белорусской АЭС будет обладать рядом преимуществ, среди которых:

- 1) полностью российская, референтная АСУ ТП;
- 2) повышение степени унификации за счет применения однотипного оборудования верхних уровней управления;
- 3) высокая заводская готовность за счет применения концепции комплексных интеграционных испытаний, успешно использованной для АЭС «Куданкулам» (Заказчик – АО «НИАЭП»-ЗАО «Атомстройэкспорт», Главный конструктор и Системный интегратор – ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»);
- 4) сокращение затрат на монтажные и пусконаладочные работы;
- 5) гарантированная поддержка АСУ ТП в течение жизненного цикла.

УДК 681.51

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УРОВНЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АСУ ТП АТОМНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Л. КИШКИН, А.Д. НАРИЦ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 9 февраля 2015

Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики является крупной организацией ядерно-оружейного комплекса Росатома РФ. Численность института составляет до 6 тыс. человек. Одним из значительнейших направлений деятельности института является создание и производство программно-технических комплексов АСУ ТП атомных и тепловых электростанций. История данного направления началась в 1993 году, когда приказом Министра атомной промышленности ВНИИА был назначен Главным конструктором программно-технических средств для АСУ ТП атомных электростанций российского дизайна. В качестве прототипа было решено взять за основу программно-техническую платформу признанного мирового лидера в данной области. После переговоров с рядом авторитетных зарубежных фирм и проведения сравнительного анализа предложений было выбрано предложение фирмы Сименс. Немалую роль в этом выборе сыграл высокий технический уровень платформы Teleperm MEA, разработка которой завершалась в 1994 г. В том же 1994 г между ВНИИА и Siemens был заключен лицензионный договор, предусматривающий передачу ВНИИА технологий и документации, включая исходные коды программного обеспечения, на указанные средства. При этом ВНИИА передавались следующие права:

- производить данную аппаратуру;
- модернизировать и совершенствовать ее;
- разрабатывать и самостоятельно продавать системы на ее основе.

Следует отметить, что с самого начала ставилась задача не воспроизводить зарубежную аппаратуру, а создать отечественную конструкторско-технологическую и научную платформу для создания конкурентоспособных (в том числе и на зарубежных рынках) АСУ ТП атомных и тепловых энергетических объектов.

В течение 1995–1996 гг проводилась передача документации на аппаратуру и программное обеспечение системы Teleperm MEA и обучение российских специалистов в Германии.

Первым шагом освоения лицензионной платформы стало создание полномасштабного российского производства, налаживание системы закупки импортной элементной базы, а также разработка полного комплекта российской конструкторской документации на программные и технические средства в соответствии с российскими стандартами. Одновременно проводилась адаптация аппаратуры и программного обеспечения прототипа к российским стандартам и технологическому оборудованию. Появившийся в результате этих работ комплекс программно-технических средств, выпускавшийся по российской документации, получил название ТПТС51.

Поставка систем на основе ТПТС51 началась на тепловые электростанции в 1999 г. С тех пор осуществлено более 40 поставок на тепловые электростанции России, Украины, Китая, Индии, Бангладеш, Сербии, Ирака, Казахстана.

Первым атомным блоком, оснащенным АСУ ТП на базе ТПРС51 стал третий энергоблок Калининской АЭС. Этот проект стал фактически революционным в части АСУ ТП. Отличительными особенностями этого блока по сравнению с предыдущими энергоблоками стали:

- существенное повышение уровня автоматизации;
- сокращение объема оборудования ~ в 8 раз;
- реализация всего нижнего уровня АСУ ТП на технике одного типа – ТПТС51 (автоматика реакторного отделения, турбинного отделения, вспомогательные системы, исполнительная часть систем безопасности, регулирование турбины ЭЧСР, температурный контроль генератора и т.д.);
- впервые в системе безопасности АЭС применена цифровая техника.

Этот энергоблок работает уже более 10 лет, и его успешная эксплуатация стала основанием для реализации АСУ ТП дальнейших энергоблоков на технике ТПТС. В настоящее время работает или находится в наладке 8 атомных энергоблоков в России, Иране, Индии. Заключены контракты и ведется поставка на 5 российских энергоблоках. Подписан договор на поставку оборудования ТПТС на Белорусскую АЭС с началом поставок в 2016 г.

В своей деятельности ВНИИА руководствуется тремя важнейшими императивами:

- обеспечивать годовой серийный выпуск аппаратуры в объеме, обеспечивающем автоматизацию не менее двух атомных энергоблоков;
- поддерживать качество выпускаемой продукции на уровне, не уступающем показателям ведущих зарубежных фирм;
- постоянно модернизировать и совершенствовать продукцию в соответствии с новыми международными требованиями и ожиданиями потенциальных потребителей.

Во исполнение этих требований во ВНИИА создан научно-производственный комплекс (НПК), состоящий из следующих отделений.

1. Отделение разработки программно-технических средств, задачей которого является разработка и проведение испытаний новой аппаратуры ТПТС и базового программного обеспечения.

2. Отделение разработки программно-технических комплексов, ориентированное на разработку и сопровождение конкретных комплексов автоматизации на основе техники ТПТС.

3. Технологическое отделение, ответственное за развитие и внедрение новых производственных технологий.

4. Производственное отделение, обеспечивающее изготовление и поставку программно-технических средств и комплексов.

Развитие и модернизация программно-технических средств преследует следующие цели.

- повышение качества управления (производительность системы, сокращение времени реакции, достоверность измерения параметров процесса);
- расширение функциональных возможностей (ЭЧСР, ТКГ, УСБ и др.);
- упрощение пуско-наладочных работ;
- упрощение эксплуатации (унификация оборудования АСУТП на энергоблоке, автоматизация метрологических проверок, глубокая диагностика);
- повышение эффективности проектных решений;
- создание отечественной интегрированной цифровой УСБ.

Источниками развития при этом являются:

- опыт применения ТПТС на объектах атомной и тепловой энергетики;
- отзывы, замечания и предложения потребителей;
- передовые тенденции в области построения АСУ ТП;
- передовые решения мировых лидеров в области создания и производства КСА;
- тенденции развития технологий производства электронной аппаратуры и элементной базы.

При этом в рамках работ по развитию реализуются следующие принципы:

1. Полное сохранение функциональных возможностей аппаратуры предыдущего поколения.
2. Совместимость информационной среды (физический уровень, форматы телеграмм).
3. Постепенное введение апробированных и испытанных новых элементов системы.
4. Развитие инструментальных средств с сохранением совместимости.
5. Поддержка эксплуатации в течение жизненного цикла энергоблока.

За период 2000–2015 гг. разработано и освоено в производстве четыре поколения программно-технических средств ТПТС: ТПТС51, ТПТС-Е, ТПТС-ЕМ, ТПТС-НТ. Последняя генерация ТПТС-НТ – продукт ряда инновационных решений, обусловивших высокие технические и эксплуатационные характеристики АСУ ТП тепловых электростанций и систем нормальной эксплуатации АЭС.

Как указано выше, одной из основных задач развития является разработка средств для построения интегрированной системы безопасности. Основанием для такой разработки явилось:

- замещение применения дорогостоящих средств Teleperm XS фирмы AREVA в иницилирующей части систем безопасности;
- выполнение требований по разнообразию для исключения отказа по общей причине;
- невозможность применения ТПТС-НТ в системах безопасности из-за требований разнообразия средств в разных уровнях эшелонированной защиты.

Разрабатываемый комплекс средств для систем безопасности получил название ТПТС-СБ. При его разработке учитывался, в том числе, опыт взаимодействия с фирмой Siemens по совместной разработке комплекса Teleperm ME+. Данная аппаратура разрабатывалась на основе сочетания Teleperm MEA и Teleperm XS для систем безопасности российских АЭС в рамках работ по лицензионному договору. Данная разработка не была по ряду причин завершена, но этот опыт был использован при разработке ТПТС-СБ. При этом, он был дополнен рядом решений, позволивших выполнить все современные требования по безопасности.

Сочетание ТПТС-НТ в нормальной эксплуатации и ТПТС-СБ в системе безопасности позволяет создать гармоничную и эффективную АСУ ТП с выполнением всех современных требований по безопасности.

УДК 681.51

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ RadiCS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ АЭС

А.В. ДИТЯШЕВ

ПАО «НПП «Радий»
Героев Сталинграда, 29, Кировоград, 25009, Украина

Поступила в редакцию 6 февраля 2015

История ПАО «НПП «Радий»

ПАО «НПП «Радий» основано 1 января 1954 г. Основным направлением деятельности в период с 1954 по 1995 гг. было производство абонентских громкоговорителей, электробытовых изделий, оснащения телевизионных комплексов, передвижных телевизионных станций, телевизионных и радиовещательных передатчиков, аппаратуры кабельного телевидения и динамических громкоговорителей. В период с 1982 по 1989 гг. предприятие участвовало в разработке и поставке оборудования стартовых комплексов «Энергия» и «Буран».

Эволюция технических средств для разработки АСУ ТП АЭС

С 1995 г. НПП «Радий» приступило к серийному изготовлению и поставке аппаратуры унифицированного комплекса технических средств (УКТС) для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомных электростанций (АЭС).

Вслед за этим на предприятии было разработано новое поколение блоков УКТС ДПИ с цифровой обработкой сигналов помехоустойчивого исполнения со встроенной функцией диагностики. Для реализации типовых функций блоков впервые были применены программируемые вентиляльные матрицы, построенные на FPGA-архитектуре. Всего на АЭС было поставлено 15 комплексов управляющей системы безопасности первого поколения, которые содержат более 50 000 чипов FPGA. С 2000 г. НПП «Радий» на основании опыта поставок и эксплуатации комплексов I-поколения было разработано II-е поколение цифровых измерительных и управляющих систем (измерительно-управляющая платформа «Radiy») с применением FPGA от ведущих мировых производителей.

Платформа RadiCS

Третьим поколением систем, построенных на базе FPGA, является платформа RadiCS. Цифровая информационно-управляющая платформа RadiCS разработана в 2010–2011 гг. на основе более чем 10-летнего опыта разработки, производства, эксплуатации и обслуживания цифровой платформы Radiy. Платформа RadiCS представляет собой совокупность модулей, а также дополнительных средств для их программирования. Работа модулей платформы основана на применении чипов FPGA в качестве вычислительных, обрабатывающих информацию и управляющих системных устройств.

Характеристики платформы RadiCS:

- смоделирована на основе FPGA;
- соответствует требованиям стандарта МЭК 61508:2010 по уровню SIL 3 сертификации (при построении в одноканальном варианте);
- специально разработана для информационно-управляющей системы (ИУС)

безопасности, связанной с нормальной эксплуатацией;

- обеспечивает высокую надежность, функциональную и информационную безопасность;

- имеет полностью проверенный и испытанный диапазон входных и выходных сигналов;

- гибкое управление избыточностью/резервированием;

- всеобъемлющая «онлайн» диагностика;

- малое время реакции (менее 5 мс);

- возможность горячей замены модулей;

- высокая устойчивость к внешним воздействиям (в т. ч. к сейсмическим).

Описание технологии FPGA

Технология FPGA является альтернативой микропроцессорным и другим технологиям, основанным на различных типах программируемых логических устройств. Физически FPGA является комплексным полупроводниковым программируемым устройством, которое может быть сконфигурировано для выполнения функций, необходимых заказчику. Данное устройство включает в себя микросхему FPGA, представляющую собой аппаратные средства, которые можно оценить на предмет соответствия требованиям аппаратных квалификационных испытаний, а также электронный проект FPGA, представленный в виде набора инструкций на языке описания аппаратных средств, который может быть верифицирован на предмет соответствия функциональным требованиям.

Особенности технологии FPGA:

- реализация функций безопасности без использования какого-либо программного обеспечения и операционной системы;

- оптимизация времени, необходимого для проверки программного обеспечения на стадии проектирования;

- гибкость платформы ИУС, которая может быть сконфигурирована для любого типа функций и конструкций реакторов;

- простота модификации управляющей логики без необходимости модификации аппаратного обеспечения;

- возможность выполнения всех требований безопасности в интегрированных системах безопасности ИУС;

- устойчивость к внутренним ошибкам и внешним воздействиям;

- устойчивость к устареванию оборудования из-за переносимости кода языка описания аппаратного обеспечения (HDL) на FPGA-чипы различных поколений и производителей;

- повышенная защищенность от киберугроз по сравнению с устройствами основывающимися на технологии программируемого логического контроллера (PLC);

- использование кодов HDL (обычно в VHDL или Verilog) без необходимости использования операционной системы для программирования FPGA. В настоящее время нет никаких известных вирусов и вредоносных программ для HDL;

- дизайн и работа продуктов на базе FPGA не полагается на операционную систему и, следовательно, не имеют скрытых, неиспользуемых возможностей, которые могут подвергаться атакам;

- HDL код находится во флэш-памяти (отдельном чипе), к физической модификации которого доступа нет;

- программирование и перепрограммирование FPGA может быть осуществлено только при помощи специального интерфейса. Невозможно подключить централизованную среду для хранения информации или коммуникационные устройства, которые могут заразить код логики управления, как это было в случае с вредоносной программой w32.Stuxnet;

- возможности для наглядного и простого представления как процессов инжиниринга и проверки, так и реализованной логики работы устройства;

- возможность глубокой валидации и верификации как платформенного, так и пользовательского программного обеспечения.

Сравнение технологии FPGA с микропроцессорной техникой

В отличие от систем, построенных на микропроцессорах, технология FPGA позволяет реализовать параллельную обработку всех алгоритмов управления в течение одного цикла и проверенных детерминистических характеристик синхронизации в результате параллельной работы алгоритмов управления. Также важным свойством платформы RadiCS является отсутствие угрозы возникновения отказа по общей причине, что достигается благодаря отсутствию какого-либо программного обеспечения и операционной системы. Таким образом, элементы платформы RadiCS характеризуются повышенной надежностью в сравнении с платформами, основанными на микропроцессорных элементах.

Минимальная канальная конфигурация информационно-управляющих систем безопасности, основанная на платформе RadiCS, состоит из одного логического канала (шасси), который содержит два резервированных логических модуля (выполняющих функции логической обработки, управления и диагностики), что улучшает безопасность и надежность платформы, и до 14 других модулей (входных/выходных и оптических связей) в любой их комбинации. Основной комплект типов входных/выходных модулей содержит модуль аналоговых входов, модуль дискретных входов, модуль дискретных выходов и модуль аналоговых выходов (модуль управления силовыми приводами). Также для систем контроля нейтронного потока предусмотрен входной модуль специального назначения для приема сигналов с ультранизким уровнем токов – модуль измерения нейтронного потока. Модуль оптической связи может быть использован для расширения систем до конфигурации, включающей в себя множество шасси (см. рис. 1). Кроме того, возможно обеспечение межканальных связей между 2, 3 или 4 каналами информационно-управляющих систем с помощью оптоволоконных связей напрямую между их логическими модулями или образованных с помощью модулей оптической связи.



Рис. 1. Описание шасси

Логический модуль обрабатывает данные от входных модулей и данные каналов связи в соответствии со сконфигурированной пользователем логикой, обчисляет текущее состояние системы согласно сконфигурированной логике, обновляет величины управляющих сигналов для выходных модулей, собирает диагностические данные и данные об общем состоянии работоспособности системы от всех модулей входов/выходов и от второго логического модуля, установленных в том же шасси. Модули входов/выходов обеспечивают интерфейсы с другими устройствами (например, детекторами, датчиками, сенсорами, приводами, устройствами сигнализации и прочими источниками входной информации). Функциональность каждого модуля определяется логикой, запрограммированной в соответствующей FPGA.

Квалифицированный по результатам испытаний информационно-управляющий канал на основе платформы RadiCS обеспечивает защищенные внешние интерфейсы для работы входов/выходов; резервированное питание за счет двух независимых источников электропитания; защищенные от потери информации линии связи; надежную работу локальных входов/выходов (от встроенных в шасси/шкафы детекторов/сенсоров/ключей или к индикаторам). Внутренние интерфейсы шасси обеспечивают связь установленных в шасси модулей посредством выделенных изолированных высокоскоростных коммуникационных линий связи (LVDS).

Сертификация по SIL3

Компания exida L.L.C. 26 сентября 2014 г. присвоила ПАО «НПП «Радий» сертификат, подтверждающий, что платформа RadICS на базе FPGA производства ПАО «НПП «Радий» успешно прошла оценку согласно требованиям стандарта МЭК 61508:2010, части 1–7. Платформа RadICS была признана соответствующей требованиям, обеспечивая уровень полноты безопасности SIL3 при однократном исполнении. Контроллер может быть применен для разработки приложений уровня SIL3. Таким образом, платформа RadICS производства ПАО «НПП «Радий» является единственной в мире платформой, разрешенной для применения в разработке АСУ ТП АЭС и удовлетворяющая требованиям SIL3 в одном канале.

Жизненный цикл проекта разработки АСУ ТП АЭС

Структура жизненного цикла проекта разработки АСУ ТП АЭС на ПАО «НПП «Радий» является результатом применения обширного профильного опыта и соответствует всем отраслевым стандартам (например, МЭК 61508, МЭК 61513, МЭК 60880, МЭК 60987). Следующее изображение кратко характеризует основные этапы жизненного цикла и дает один из вариантов V-образной модели, применение которой для построения процессов и разработки продуктов приводит к требуемому уровню SIL.

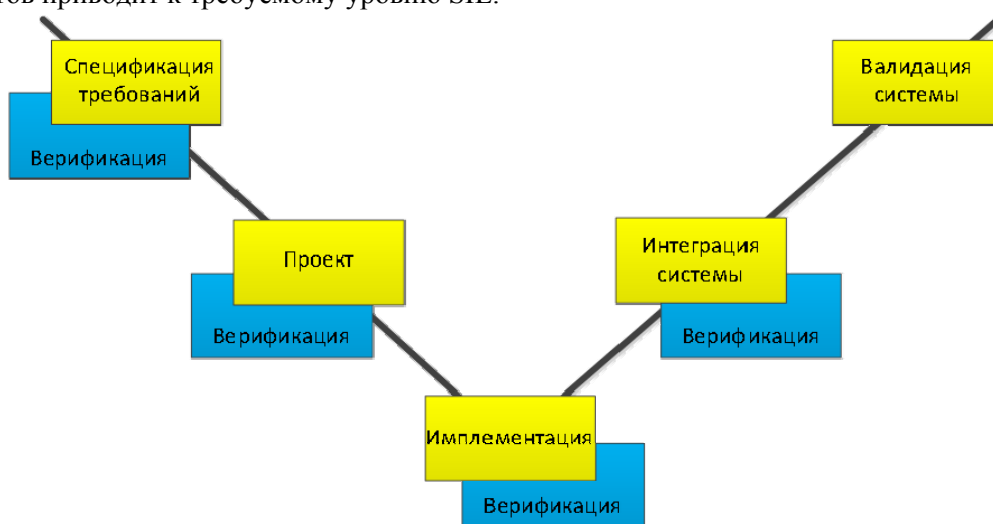


Рис. 2. V-образная модель, характеризующая основные этапы жизненного цикла проекта разработки АСУ ТП АЭС

Рассмотрим более подробно этапы жизненного цикла проекта разработки АСУ ТП АЭС.

1. *Спецификация требований.* Точкой отчета жизненного цикла является анализ технического задания от заказчика. Специалисты ПАО «НПП «Радий» – инженеры SKU, технологи, специалисты по программному и аппаратному дизайну, верификаторы и валидаторы – оценивают и анализируют техническое задание и сопутствующую документацию. Результатом их работы является составление базовой конфигурации оборудования, подлежащей согласованию с заказчиком.

2. *Проект.* На этапе инжиниринга составляются подробные планы программных и аппаратных средств, а также планы верификации и валидации.

3. *Имплементация.* Следующий этап – реализация детализованной конфигурации оборудования в физические аппаратные средства и программный код, а также проведение проверки системы методами верификации на соответствие исходного задания.

4. *Интеграция системы* предполагает сведение укомплектованных шкафов с загруженным программным кодом в единый комплекс и всестороннее тестирование по заранее сформулированному плану. Подобные испытания производятся на полигонной площадке на территории ПАО «НПП «Радий», а затем повторяются и углубляются в период пуско-наладки на площадке конечного использования.

5. *Валидация системы* происходит после построения полного ПТК и гарантирует соответствие комплекса исходным требованиям.

Как видно из представленной схемы, каждый этап жизненного цикла сопровождается верификацией системы на соответствие поставленным требованиям. В результате, итоговый продукт полностью соответствует тем требованиям, которые предъявил заказчик и гарантированно готов к выполнению своих функций на протяжении заявленного периода эксплуатации. Существующие в пределах жизненного цикла процессы и процедуры гарантируют создание продукта, соответствующего высоким стандартам качества и надежности, и являются обязательными для всех проектов, реализуемых ПАО «НПП «Радий». При этом в случае необходимости и запроса со стороны заказчика, процессы жизненного цикла могут быть дополнены опциональными тестами, документами или процедурами.

Референтность

Платформа RadICS на основе FPGA используется для большинства критических, требующих высокой надежности и функциональной безопасности систем АСУ ТП АЭС. Примером таких систем являются следующие комплексы:

- ПТК аварийной и предупредительной защиты реактора (АЗ-ПЗ);
- ПТК автоматического регулирования и ограничения мощности реактора, ускоренной предварительной защиты (АРМ-РОМ-УПЗ);
- управляющая система безопасности (УСБ);
- система группового и индивидуального управления и защиты (СГИУ);
- система нормальной эксплуатации реакторного и турбинного отделений (СНЭ РО и СНЭ ТО);
- ПТК автоматического регулирования, контроля, управления защиты (АРКУЗ) для исследовательских реакторов.

За последние годы на основе платформы RadICS и Radiy были реализованы и находятся в стадии разработки следующие проекты для строящихся (РАЭС-3,4 и ХАЭС-1,2) и модернизируемых блоков АЭС:

- совместный проект НПП «Радий» с EdF: I&C Test Platform for EdF;
- АЭС Эмбалсе (Аргентина): система сигнализации БЩУ и РЩУ и система контроля скорости вращения ГНЦ;
- исследовательский реактор IEA-R1, институт IPEN-CNEN (Сан-Пауло, Бразилия): ПТК АКНП и панель ЧМИ для БЩУ;
- опыт применения в Украине:
 - Запорожская АЭС: ПТК АЗ-ПЗ (основной и диверсный) все 6 блоков
ПТК АРМ-РОМ-УПЗ 3 блока
Симулятор ПТК АЗ-ПЗ
 - Южноукраинская АЭС: ПТК АЗ-ПЗ (основной и диверсный) 3 блока
ПТК АРМ-РОМ-УПЗ 2 блока
ПТК УСБ 2 блока
ПТК КЭ СУЗ 2 блока
 - Хмельницкая АЭС: ПТК АЗ-ПЗ (основной и диверсный) 2 блока
ПТК АРМ-РОМ-УПЗ 2 блока
 - Ровенская АЭС: ПТК АЗ-ПЗ (основной и диверсный) все 4 блока
ПТК АРМ-РОМ-УПЗ 2 блока
ПТК УСБ 2 блока
ПТК СНЭ 2 блока
- опыт применения в Болгарии:
 - АЭС Козлодуй: ПТК КЭ СУЗ, ПТК УСБ блоки 5 и 6.

УДК 621.039:005.94

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМИ ЗНАНИЯМИ: ОПЫТ АО «ВНИИАЭС»

О.Л. БОЖЕНКОВ, А.Н. ТОЛСТЕНКОВ, А.Ю. ЮЖАКОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия*

Поступила в редакцию 9 февраля 2015

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (АО «ВНИИАЭС») отвечает за научно-техническую поддержку эксплуатации атомных электростанций Российской Федерации. Деятельность по управлению ядерными знаниями (УЯЗ) во ВНИИАЭС началась в 2012 году. Проект УЯЗ ВНИИАЭС имеет два основных направления: разработка системы управления ядерными знаниями (СУЯЗ) АО «ВНИИАЭС»; осуществление методической поддержки в разработке СУЯЗ АЭС. В период 2012–2014 гг. были выполнены основные работы по внедрению СУЯЗ во ВНИИАЭС, включая разработку концепции УЯЗ ВНИИАЭС, анализ рисков потери критических знаний по всем подразделениям института, выявление носителей критически важных знаний и деятельность по смягчению возможных последствий в случаях потери выявленных критических знаний. Для применения проверенных подходов к УЯЗ для атомных электростанций по запросу АЭС инициирована деятельность по разработке пилотного проекта для Смоленской АЭС концерна «Росэнергоатом»; подготовлены основные методические документы и инструменты для внедрения СУЯЗ эффективного управления критически важными знаниями.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, управление ядерными знаниями, информационные технологии.

Введение

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных станций» образовано в 1979 г. для целей обеспечения научно-технической поддержки эксплуатации атомных электростанций со всеми типами реакторов сначала в бывшем СССР, а затем и в Российской Федерации, а также реакторов, разработанных по российским проектам.

В настоящее время основными целями деятельности ВНИИАЭС являются повышение надежности, безопасности и эффективности работы атомных электростанций с реакторами разного типа, а также выполнение работ для строящихся и проектируемых атомных электростанций (АЭС) по следующим основным направлениям:

- научно-техническая поддержка эксплуатации АЭС;
- водно-химические режимы на АЭС;
- научно-техническая поддержка выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту АЭС;
- анализ и использование опыта эксплуатации;
- разработка систем управления АЭС;
- научно-техническая поддержка работ по радиационной безопасности, охраны окружающей среды;
- внедрение современных информационных технологий;

– научно-техническая поддержка обучения персонала АЭС, разработка и внедрение технических средств обучения персонала АЭС, и другим направлениям.

В своей области компетенции ВНИИАЭС является лидером. Разноплановая, всеобъемлющая и многолетняя деятельность по сопровождению эксплуатации АЭС ведет к необходимости анализа и повторного использования технологий, знаний, применяемых методов и средств для конкретных работ. Однако выявленные риски потери компетенции в конкретных областях (старение кадров, прежде всего) привели к необходимости принятия неотложных мер.

Проект ВНИИАЭС по УЯЗ

Столкнувшись с реальными проблемами старения кадров и разрыва поколений, ВНИИАЭС в 2012 г. инициировал деятельность по управлению ядерными знаниями. Были приняты во внимание следующие важные моменты:

- необходимость сохранения технологий, кластеров знаний, которые являются ключевыми для обеспечения устойчивого развития организации;
- новые рынки (например, планы ГК «Росатом» по сооружению АЭС за рубежом);
- открытый международный ядерный рынок;
- необходимость использования имеющихся и создание новых знаний в условиях повышения спроса на инновации;
- международный опыт в области управления ядерными знаниями.

Выбранная для реализации во ВНИИАЭС модель системы УЯЗ (рис.1) была разработана с учетом двух подходов к управлению ядерными знаниями: текущей модели госкорпорации «Росатом» [1] и методологии МАГАТЭ [2, 3].



Рис. 1. Модель системы управления ядерными знаниями (СУЯЗ) ВНИИАЭС

Правильно определенные политика и стратегия в области разработки системы УЯЗ гарантирует соответствие целей УЯЗ целям организации. Цели проекта УЯЗ ВНИИАЭС полностью соответствует целям института: как научно-исследовательской организации, так и головной организации, осуществляющей научно-техническую поддержку эксплуатации АЭС. Среди них:

– разработка и внедрение системы УЯЗ для поддержки сохранения научно-технического потенциала ВНИИАЭС, повышения уровня инновационной деятельности и конкурентоспособности;

– предоставление консультаций и методической помощи атомным электростанциям в разработке и внедрении локальных систем УЯЗ, находящихся в соответствии с проектом ГК «Росатом» по УЯЗ;

- увеличение объема капитализации интеллектуальной собственности;
- защита корпоративной информации и интеллектуальной собственности;
- повышение эффективности научно-технической поддержки эксплуатации АЭС;
- эффективное управление компетенциями и другие цели.

Конечной целью проекта УЯЗ ВНИИАЭС является повышение эффективности научно-технической поддержки эксплуатации АЭС за счет эффективной интеграции всех основных элементов СУЯЗ в общую систему управления организации и использования накопленных знаний.

Принимая во внимание сложную и разностороннюю деятельность ВНИИАЭС, был выбран подход к разработке СУЯЗ, основанный на апробировании подходов в рамках пилотных проектов [4]. После предварительного анализа были выбраны четыре основных направления для пилотных проектов:

- 1) работа непосредственно с линейными руководителями, которые играют ключевую роль в мотивации персонала, создании необходимых условий для деятельности по УЯЗ и в управлении рисками потери критических знаний;
- 2) работа с сотрудниками ВНИИАЭС, направленная на повышение их грамотности в области управления ядерными знаниями;
- 3) совершенствование IT-инфраструктуры для эффективного управления информацией;
- 4) активное участие в пилотных проектах УЯЗ на АЭС (Смоленская АЭС – СМО АЭС).

При реализации проекта во ВНИИАЭС была выявлена важность учета и стимулирования культуры обмена знаниями в ходе реализации каждого проекта. Учитывая специфику организации, методы и средства УЯЗ, поддерживаемые МАГАТЭ, должны быть адаптированы к специфике, как АЭС, так и ВНИИАЭС. Очень важно также использовать все методы сбора критически важных знаний, в том числе организовывать мастер-классы и дискуссии, касающиеся вопросов УЯЗ на всех этапах проекта УЯЗ. В рамках проекта определено, что результаты пилотных проектов будут проанализированы, скорректированы и реализованы во всех подразделениях ВНИИАЭС.

Основные этапы реализации проекта УЯЗ ВНИИАЭС:

Этап 1 (2013–2015 гг.) – разработка концепции СУЯЗ, стандарта организации по УЯЗ, инициирование пилотных проектов, адаптация и разработка методической документации.

Этап 2 (2014–2015 гг.) – совершенствование IT-инфраструктуры и внедрение корпоративного портала знаний ВНИИАЭС, установка обучающей киберплатформы МАГАТЭ «CLP4NET» и других систем, обеспечивающих электронную коммуникацию сотрудников института.

Этап 3 (2014–2015 гг.) – внедрение процедуры управления рисками потери критических знаний во всех подразделениях организации.

Этап 4 (2015–2016 гг.) – внедрение всех элементов СУЯЗ и ее интеграция в единую систему управления организации.

Также ВНИИАЭС оказывает методическую помощь атомным электростанциям в разработке собственных систем УЯЗ, причем главный фокус будет сделан на управление критически важными знаниями.

Деятельность по УЯЗ и первые результаты

В 2013 г. была разработана концепция будущей системы управления ядерными знаниями ВНИИАЭС. Были определены цели, задачи, основные элементы системы, стратегия развития системы и основные этапы разработки проекта системы УЯЗ. Принимая во внимание сложность и разностороннюю деятельность ВНИИАЭС, а также высокий интеллектуальный уровень сотрудников института, был проведен специальный анализ организационных компетенций и рисков их потери. Как результат была построена карта основных компетенций сотрудников ВНИИАЭС и их распределение по возрастам (см. рис. 2).

Данная карта показывает высокий риск потери организационных компетенций в некоторых подразделениях организации, где количество сотрудников пенсионного возраста превышает 50 %, и, следовательно, существует реальная проблема кому передать знания и навыки.

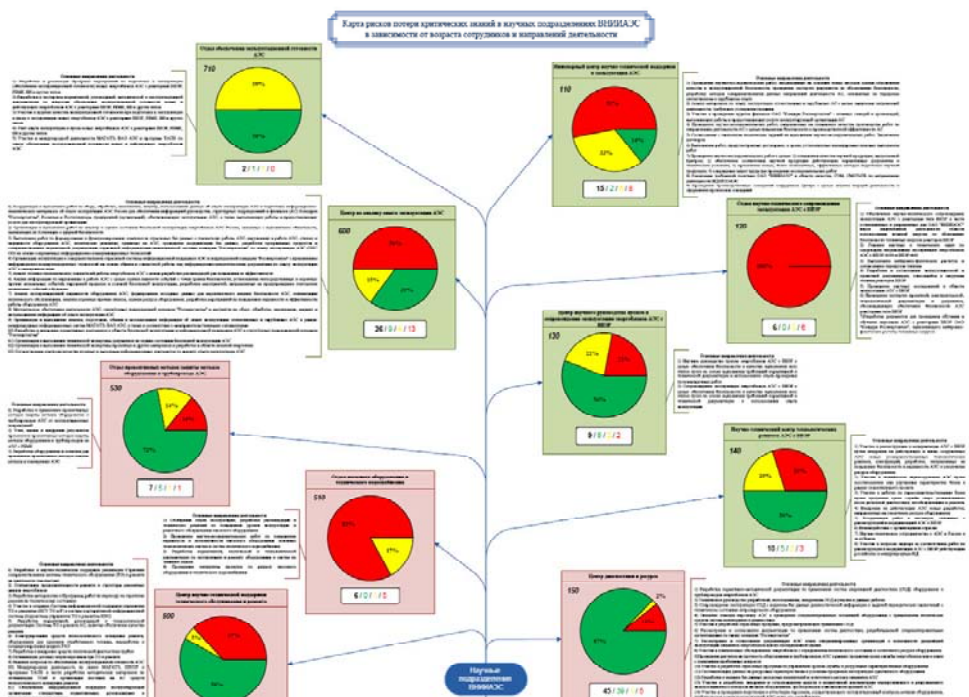


Рис. 2. Пример карты основных компетенций и возрастного распределения сотрудников ВНИИАЭС (до 55 лет – 55-60 лет – старше 60 лет)

На следующем этапе была проведена оценка рисков потери знаний среди всего персонала ВНИИАЭС и выявление сотрудников, обладающих критическими и уникальными знаниями и навыками. На результатах анализа, который был сделан для всех научно-технических подразделений института, был выпущен подробный отчет и созданы карты знаний для каждого подразделения (рис. 3).

Создание карт знаний и анализ знаний сотрудников был основан на методе «сортировка карточек знаний». Были выявлены знания, которые принадлежат трем и более сотрудникам, и, следовательно, не требуют немедленных действий, знания, которыми обладают два сотрудника, а также компетенции, которые являются уникальными (ими обладает только один сотрудник). Для последних двух категорий знаний/компетенций необходимо проводить специальные мероприятия по их сохранению и передаче.

В ходе анализа было обнаружено, что более 12 % сотрудников ВНИИАЭС обладают критически важными знаниями и навыками. Эти результаты были предоставлены структурным подразделениям для использования в планировании ресурсов так, чтобы снизить риски потери критически важных знаний. Также были получены интересные результаты (рис. 3), отличные от классических рекомендаций МАГАТЭ. Следует отметить, что фактор риска имеет динамический характер и зависит от многих параметров, которые могут изменяться, и поэтому он должен регулярно пересматриваться.

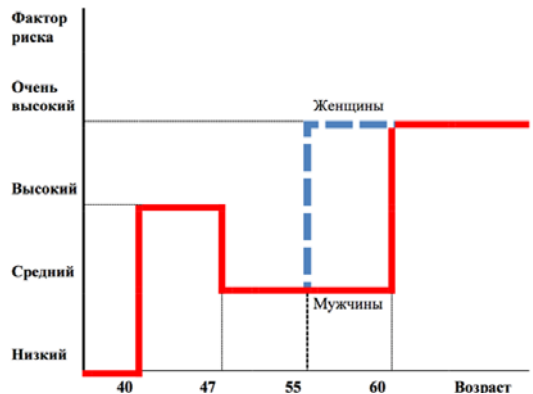


Рис. 3. Шкала возрастного фактора риска для АО «ВНИИАЭС»

На основании этих выводов было принято решение проводить подобный анализ компетенций и знаний каждые 6 мес. Для информационной поддержки проекта были разработаны и утверждены концепция и требования к корпоративному порталу знаний. Система MS SharePoint была выбрана в качестве платформы для портала знаний. В настоящее время во ВНИИАЭС проводится тестирование обучающей киберплатформы МАГАТЭ «CLP4NET» как возможного дополнительного средства обучения персонала.

Пилотный проект «УЯЗ на Смоленской АЭС»

ВНИИАЭС, будучи по ряду направлений центром компетенции в области совершенствования эксплуатации ядерно-энергетических установок, способен оказывать реальную консультационную и инжиниринговую поддержку в разработке систем управления ядерными знаниями для эксплуатирующих организаций. Публикации МАГАТЭ [5, 6] показывают, что в эксплуатирующих организациях существует явно выраженная потребность во внедрении эффективных механизмов использования накопленных знаний, а также систематического выявления критически важных знаний и технологий, их тщательное изучение, их отделение от носителей таких знаний (высококвалифицированных специалистов, которые могут выйти из штата конкретной АЭС) для последующего многократного использования. Эти механизмы должны обеспечить последовательное сохранение и передачу знаний молодым специалистам, и включение их в программы обучения, т.е. возвращение скрытых и важных знаний в жизненный цикл организации для последующего многократного использования. Эти и другие, сопутствующие факторы, привели к организации проекта «Управление знаниями» в концерне «Росэнергоатом».

Проверенным решением, которое рассматривается в качестве прототипа для АЭС, может являться проект внедрения СУЯЗ для СМО АЭС (первый энергоблок введен в эксплуатацию в конце 1983 г.). В 2016 г., по оценке кадровой службы СМО АЭС, интегрально, до 40 % персонала, принимавшего участие в пуске энергоблоков, будет выведено на пенсию. При этом анализ показывает, что не была обеспечена гарантия того, что определен поименно выводимый персонал, который владеет критически важными знаниями, при этом скрытые критически важные знания не определены, не собраны и не классифицированы.

Решающим фактором запуска в 2013 г. проекта по СУЯЗ на СМО АЭС являлся тот факт, что оперативный персонал БЩУ в одних и тех же ситуациях, используя одни и те же документально разработанные инструкции, действует по-разному. Кроме того, часть операторов никогда не ошибалась в конкретной аварийной ситуации, тогда как большинство операторов допускало ошибки [7].

ВНИИАЭС был выбран СМО АЭС в качестве консультанта для этого проекта. ВНИИАЭС совместно с персоналом СМО АЭС выполнил полный комплекс работ по внедрению системы управления знаниями: разработал пакет процедур и методических материалов для внедрения и сопровождения СУЯЗ на уровне АЭС; провел необходимое обучение, оказал содействие через консультационные услуги. Разработанные материалы верифицировались по отношению к проекту ГК «Росатом». В ходе первой фазы проекта совместно с проектной группой СМО АЭС было выявлено [8], что более 80-ти экспертов, обладают скрытыми критически важными знаниями, при этом 14 операторов могут служить образцом по безошибочному выполнению операций на БПУ для конкретных режимов. Это побудило к началу деятельности по выявлению скрытых знаний у таких операторов (например, такое скрытое знание было сформировано через неформальное дополнительное обучение, незадокументированные действия, и др.)

В рамках проекта разработаны карты знаний (рис.4) для ряда ключевых должностей, являющихся критически важными для АЭС. Выявлены области для сбора и сохранения критически важных знаний. Выполнено обучение проектной группы по подготовке и проведения интервью с экспертами, являющимися держателями критически важных знаний. Разработаны проекты документов станционного уровня для внедрения и сопровождения СУЯЗ. Процессы систематического выявления критически важных знаний, а также управления результатами интеллектуальной деятельности и сообществами практиков интегрируются в процессы системы менеджмента СМО АЭС. Положительная верификация подходов СМО АЭС

по отношению с лучшей мировой практикой (бенчмаркинг – международный семинар с приглашением МАГАТЭ и зарубежных АЭС) является существенным мотивирующим фактором внедрения. На второй фазе предстоит внедрение документов уровня АЭС и их опытное применение.

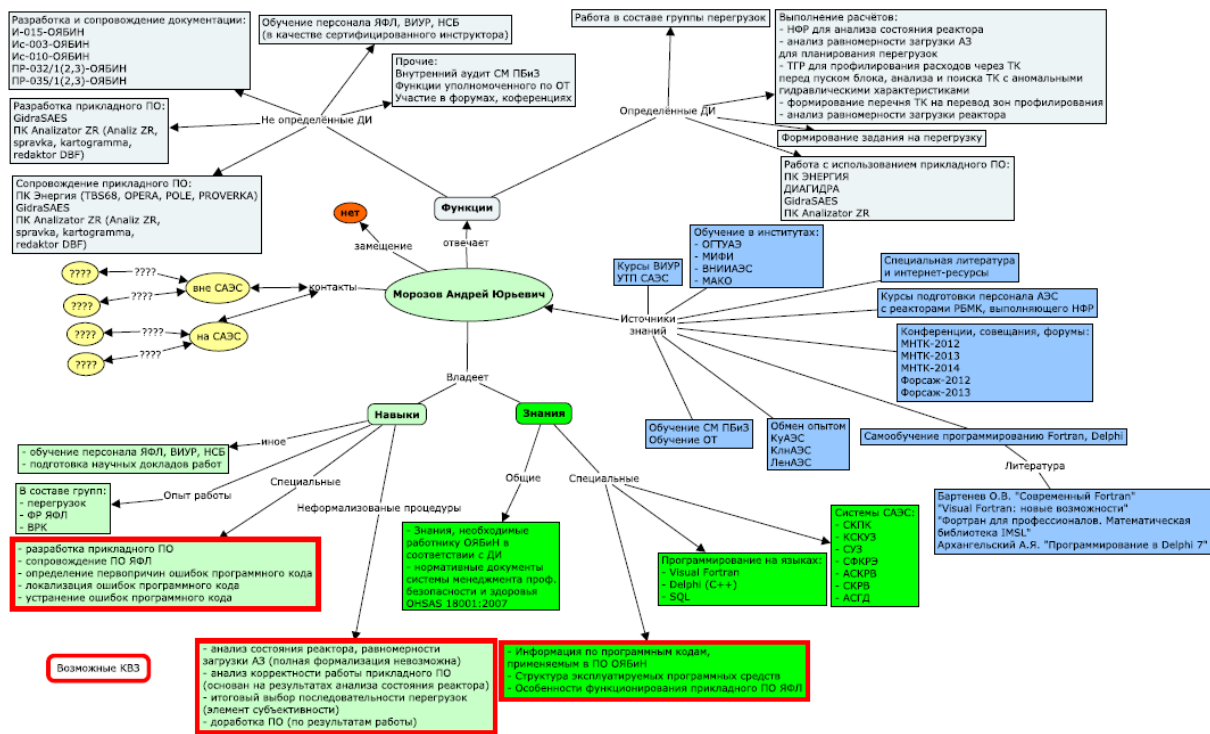


Рис. 4. Пример карты знаний персонала Смоленской АЭС

Факторы успеха проекта и ожидаемые результаты

Основными критериями для оценки успеха проектов УЯЗ, реализуемых ВНИИАЭС, являются:

- снижение рисков потери критически важных знаний и компетенций как во ВНИИАЭС, так и на атомных электростанциях;
- повышение уровня коллективных достижений по сравнению с индивидуальными;
- рост числа сообществ практиков;
- повышение эффективности работы организации за счет реализации результатов интеллектуальной деятельности и доступности информации;
- сокращение времени поиска необходимой информации;
- использование результатов аналитической деятельности, полученных в одном подразделении, в других подразделениях, и многое другое.

Постоянная и кропотливая работа со знаниями и навыками для сохранения и обеспечения необходимого уровня научно-исследовательского и инновационного потенциала, которая велась во ВНИИАЭС с момента основания, получила дополнительную поддержку через внедряемую систему УЯЗ ВНИИАЭС.

К концу 2016 г. планируется внедрение всех элементов УЯЗ в общую интегрированную систему управления института. Ожидается, что будут внедрены процедуры управления критически важными знаниями и будет существенно снижен риск потери важных и критических организационных компетенций.

Заключение

Внедрение систем управления ядерно-технологическими знаниями в настоящее время является инструментом постоянного повышения эффективности работы АЭС, что поддерживается МАГАТЭ [9]. Выявлено, что подходы, приемлемые для АЭС, имеют

специфику по отношению к процессам СУЯЗ для организаций научно-технической поддержки АЭС. Используемые для выявления скрытых критически важных знаний методики и инструменты могут эффективно использоваться в других потенциально опасных производствах, где требуется существенное улучшение деятельности персонала. Однако, с учетом трудоемкости работ, целесообразна оптимизация усилий по внедрению СУЯЗ в организации. ВНИИАЭС предлагает свои услуги в качестве консультанта по разработке, внедрению и сопровождению работ по СУЯЗ в организации использования атомной энергии и других потенциально опасных производствах, что подтверждено опытом успешного выполнения работ в этой области.

Список литературы

1. Концепция и программа ГК «Росатом» по управлению знаниям. «Росатом» делится знаниями // Под ред. В.А. Першукова, Д.С. Медовникова. М., 2012.
2. Управление рисками, связанными с потерей знаний в организациях ядерной промышленности. STI/PUB/1248, МАГАТЭ, Вена, 2012.
3. МАГАТЭ, Управление знаниями в научно-исследовательских и проектных ядерных организациях, IAEA-TECDOC-1675. Вена, 2012.
4. *Боженков О.Л., Толстенков А.Н.* // Тез. докл. 9-й Междунар. научн.-техн. конф. «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». Москва, 21–23 мая 2014.
5. International atomic energy agency. Knowledge Management for Nuclear Industry Operating Organizations, IAEA-TECDOC-1510, IAEA. Vienna, 2006.
6. International atomic energy agency. The Impact of Knowledge Management Practices on NPP Organizational Performance – Results of a Global Survey, IAEA-TECDOC-1711, IAEA, Vienna, 2013.
7. Презентация СМО АЭС «Результаты внедрения проекта СУЯЗ на СМО АЭС». Май, 2014 г.
8. Отчет СМО АЭС по проекту СУЯЗ (первая фаза). 2014.
9. GRS Part 3. Системы управления для установок и деятельности. МАГАТЭ, 2006.

УДК 621.039-78

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.С. ТИМОХИН, С.Ю. ГРИЦЕНКО, К.П. АРТЕМЬЕВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Как и любая современная автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), АСУ Белорусской АЭС состоит из достаточно большого числа подсистем. ФГУП «ВНИИА» является разработчиком и изготовителем оборудования для наиболее крупных частей АСУ ТП:

- система нормальной эксплуатации;
- управляющая система безопасности.

Система нормальной эксплуатации (СНЭ) выполняет функции, необходимые для повседневной работы АЭС, реализует автоматизированное управление технологическими процессами АЭС в целях выработки тепловой и электроэнергии.

Управляющая система безопасности (УСБ) предназначена для обеспечения ядерной безопасности АЭС. При этом необходимо обеспечить достаточную надежность УСБ и исключить выдачу ложных команд управления. На рис. 1 представлена укрупненная структурная схема АСУ ТП в соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты (ГОСТ Р МЭК 61513-2011) для Белорусской АЭС.

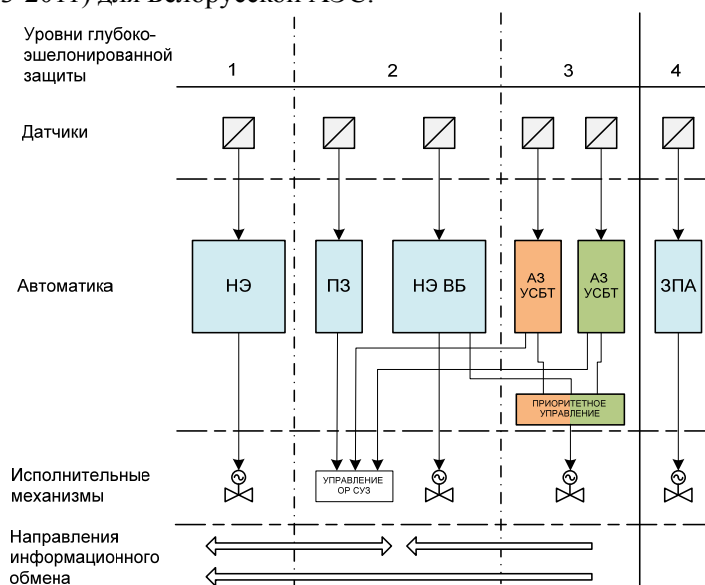


Рис. 1. Структурная схема АСУ ТП Белорусской АЭС

Уровень 1 – нормальная эксплуатация (НЭ) – направлен на безопасную и эффективную выработку электроэнергии. Уровень 2 содержит в себе системы нормальной эксплуатации важные для безопасности (НЭ ВБ), задачи которых сводятся к защите технологического оборудования, и предупредительные защиты (ПЗ), предназначенные для поддержания реактора

в подкритичном состоянии. Уровень 3 (далее по тексту – УСБ) спроектирован с учетом принципа разнообразия и отвечает за функции безопасности (аварийную защиту (АЗ) и управляющую систему безопасности технологическую (УСБТ)). Уровень 4 – управление запроектными авариями (ЗПА), его цель – это поставарийный мониторинг.

В проекте Белорусской АЭС для реализации функций СНЭ и УСБ предусмотрено применение аппаратуры ФГУП «ВНИИА»: для системы нормальной эксплуатации – ТПТС-НТ (уровни 1, 2, 4 на рис. 1), для управляющей системы безопасности – ТПТС-СБ (уровень 3 на рис. 1). Более подробно с информацией об аппаратуре ТПТС можно ознакомиться в статьях, посвященных КСА ТПТС-НТ и КСА ТПТС-СБ.

В целях безопасной эксплуатации АСУ ТП с технологической точки зрения необходимо обеспечить условия эксплуатации оборудования в соответствии с требованиями заводоизготовителей. Эти функции выполняет система контроля и управления нормальной эксплуатации, управляя и ограничивая в проектных пределах технологические параметры с помощью регуляторов и блокировок. Если значения параметров, тем не менее, достигают неприемлемых для оборудования пределов, то исполнительные механизмы переводятся в безопасное состояние (насосы отключаются, сбрасывается давление или прекращается подача пара на турбину, обесточивается электрооборудование и т.п.). Таким образом, помимо предотвращения поломки оборудования, СКУ НЭ позволяет избежать и более серьезных последствий, таких как пожар в помещениях АЭС.

Еще более ответственными являются мероприятия по обеспечению ядерной безопасности энергоблока. Функции УСБ направлены на предотвращение проектных аварий, ограничение их последствий и обеспечение безопасности при любом из учитываемых проектом исходном событии с наложением, в соответствии с принципом единичного отказа, одного, независимого от исходного события, отказа элементов или одной, независимой от исходного события, ошибки оператора.

АСУ ТП должна быть построена таким образом, чтобы максимально учитывать требования нормативных документов, сохраняя в то же время эффективность работы АЭС. Важнейшими из требований, направленных на обеспечение ядерной безопасности, являются требования по применению в УСБ принципов резервирования, независимости и разнообразия (в соответствии с рекомендацией NUREG/CR-7007). Структурная схема УСБ показана на рис. 2.

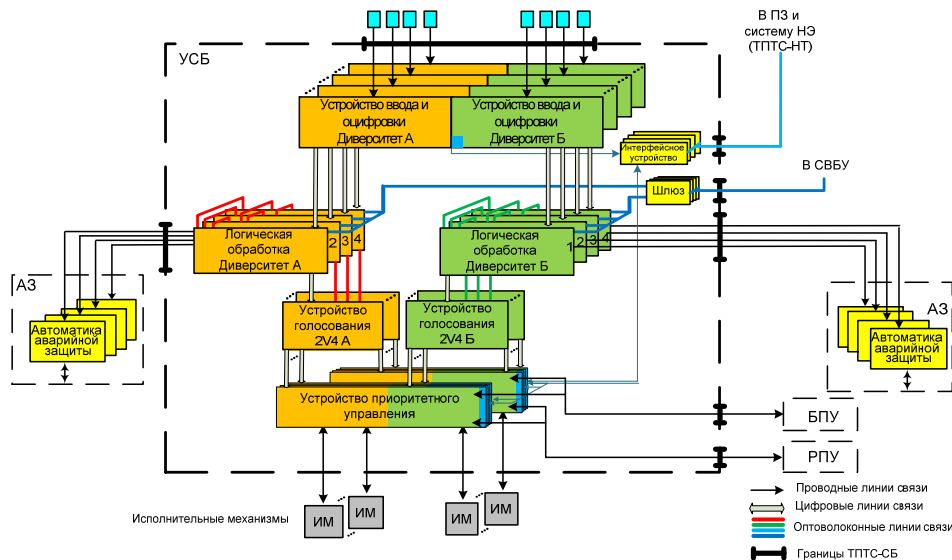


Рис. 2. Структурная схема УСБ Белорусской АЭС

Необходимый уровень резервирования достигается путем создания многоканальной УСБ (в Белорусской АЭС этих каналов четыре, см. рис. 2). При этом каждый канал УСБ должен быть способен выполнить каждую из функций безопасности. Для этих целей каждый канал комплектуется выделенным КИП (по одному датчику на параметр для каждого канала) и исполнительными механизмами. Для того, чтобы при отказе оборудования не выдавались ложные команды, предусмотрено голосование по логике «2 из 4», в котором помимо

параметров, выработанных (измеренных или вычисленных) внутри каждого канала УСБ, используется информация из трех других каналов. Голосование происходит на двух уровнях: первый – на уровне технологических параметров, формируя, таким образом, достоверный и пригодный для дальнейшей обработки сигнал в каждом канале; второй – на уровне ввода команд в стойки приборные приоритетного управления, где пресекается таким образом выдача ложной команды на исполнительные механизмы, а так же, в случае отказа в данном канале УСБ (процессор ПА-СБ или тракт передачи команд), выдача команд на исполнительные механизмы по мажорированным командам других каналов УСБ. Данные подходы обеспечивают при единичных отказах – в части аварийных защит принцип «безопасного» отказа, а в части управления исполнительными механизмами УСБТ защиту от выдачи ложной команды. Таким образом, выполняется защита от отказа на требование.

Принцип независимости реализуется проектным путем. Оборудование каналов УСБ размещается в отдельных помещениях, разнесенных в пространстве. Питание осуществляется от независимых (дублированных) источников с применением в качестве резервного питания отдельных аккумуляторных батарей. Как уже упоминалось ранее, каждый канал имеет собственный контрольно-измерительный прибор (КИП) и собственные исполнительные механизмы. Необходимые цифровые связи между каналами выполнены в виде выделенных (точка-точка) оптических линий связи, обеспечивающих гальваническую развязку каналов УСБ. Связь с аппаратурой системы нормальной эксплуатации (СНЭ) также реализована оптическими каналами системной шины EN. Каждый канал УСБ, в свою очередь, содержит два независимых комплекта аппаратуры. Комплекты А и В реализованы различными техническими средствами и никак не связаны между собой. Каждый комплект имеет собственный набор КИП. Объединяются эти комплекты только в стойке приборной приоритетного управления с использованием элементов жесткой логики. Фактически каждый комплект (А и В, которые обмениваются информацией с одноименными комплектами других каналов УСБ) представляет собой целый канал УСБ. Внутри каждого комплекта для связи между стойками приборными широко используются оптические линии связи. Для функционирования СНЭ требуется информация от КИП УСБ – эти связи также оптические, каналы связи УСБ-СНЭ не связаны с межканальными шинами УСБ и имеют другой протокол обмена. Кроме того, однонаправленность канала связи из УСБ в СНЭ (и не наоборот) обеспечивается аппаратными средствами УСБ. Как видно, принцип независимости, при том, что он должен выполняться, вполне может сочетаться с наличием информационных связей, как между каналами, так и между УСБ и СНЭ. Только таким образом, разумно сочетая независимость и интеграцию, можно достичь весьма значительных успехов по минимизации объема оборудования АСУ ТП для Белорусской АЭС.

Переходя к описанию использованного в УСБ АСУ ТП Белорусской АЭС принципа разнообразия, следует отметить, что принципы резервирования, независимости и разнообразия не самоцель. Данные принципы являются основой для построения УСБ, в которой снижена до приемлемого и разумного минимума вероятность отказа по общей причине в системе безопасности при любых проектных воздействиях, а также при ошибочном действии персонала при эксплуатации и ремонте. Помимо единичных случайных отказов в оборудовании систем безопасности АЭС, устойчивость к которым безусловно необходима, в соответствии с современными нормами должна быть обеспечена устойчивость к отказу по общей причине. Под отказом понимается невыполнение любой функции безопасности в момент аварии (отказ на требование), а также выдача ложной команды на оборудование, обеспечивающее безопасность тогда, когда аварии нет. Под отказом по общей причине понимается групповой отказ однотипного или однопринципного оборудования (например одного и того же звена в каждом из каналов безопасности), приводящий к невыполнению требуемой функции во время ядерной аварии всей системы в целом.

Возможность возникновения отказа по общей причине может быть вызвана различными причинами: внешнее воздействие (сейсмика, пожар, наводнение, падение самолета и т.п.), ошибка персонала, недостаток проекта, скрытая ошибка в программном обеспечении. Все эти причины обусловлены наличием скрытых дефектов в оборудовании или проекте системы безопасности.

Возможная реакция оборудования системы безопасности при воздействии внешних факторов достаточно четко может и должна быть проверена в процессе ее создания прямыми испытаниями на стойкость по утвержденным методикам на соответствие требованиям проекта.

При этом в техническое задание на аппаратуру именно эти требования вносятся как обязательные для выполнения. Таким образом, подтверждается работоспособность аппаратуры во всем проектном диапазоне внешних воздействующих факторов, в том числе и при протекании ядерных аварий. Следовательно, коль скоро при внешних воздействиях вероятность возникновения единичных отказов не повышается, то и нет предмета анализа вероятности возникновения отказов по общей причине.

Гораздо более сложной является задача разработки программного обеспечения (системных и базовых функций, управление работой элементов и т.п.). При ее решении используются инструментальные средства, корректность работы которых подтверждена опытом эксплуатации, однако строго доказать отсутствие несоответствий, которые могут привести к отказу по общей причине, практически невозможно.

Система безопасности должна формировать автоматические управляющие воздействия в течение ограниченного времени и только при возникновении аварии, а корректная логическая обработка входных сигналов и готовность выдать управляющие воздействия должна гарантироваться в течение всего времени ее работы. В том случае, если отказ УСБ не связан с состоянием объекта управления, совпадение двух событий – аварии на энергоблоке АЭС и отказа управляющей системы безопасности – представляется событием маловероятным.

При разработке процессорных модулей автоматизации для разных диверситетов были выбраны существенно различные микропроцессоры. Для каждой из платформ производители предоставляют собственные средства разработки. При этом из-за отсутствия совместимости даже на уровне языка представления алгоритмов, а также абсолютно различных аппаратных особенностях микропроцессоров нет физической возможности скопировать решения, принятые в одном диверситете в другой и таким образом растиражировать допущенные ошибки. Исходя из такого же принципа выбраны различные производители программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Нельзя утверждать, что программный код не содержит скрытых ошибок, но благодаря разнообразию средств разработки и различным аппаратным спецификациям можно утверждать, что возникающие (при достаточно редких комбинациях внешних и внутренних сигналов, чтобы не быть зафиксированными при испытаниях) отказы будут возникать в разных диверситетах в разное время. Таким образом, в момент возникновения ядерной аварии какой-либо (или оба) из диверситетов будет готов выполнить запрос и выдать необходимые защитные команды.

Поскольку мы постулируем возможность отказа по общей причине программируемой системы, необходимо оценить, какова вероятность наложения этого события на аварию на энергоблоке. Такая оценка может быть получена при следующих предположениях:

- отказ обнаруживается и устраняется в течение времени τ после его возникновения;
- автоматические защитные действия выполняются в течение времени t после выявления аварии, по истечении этого времени защитные действия выполняет оперативный персонал, используя дистанционное управление;
- отказ программно-технического комплекса, связанный с постулируемой ошибкой в программе, причинно не связан с аварией на энергоблоке АЭС.

В этих предположениях вероятность отказа на требование выполнить автоматические действия, связанного с ошибкой в программном обеспечении, можно оценить как:

$$\theta = \frac{\tau + t}{T}, \text{ где } T - \text{среднее время работы программ, входящих в состав УСБТ, до их отказа.}$$

Оценочно, $(\tau+t)=(1...10)$ ч, т.о., для получения разумно малого значения $\theta \leq (10^{-5}... 10^{-7})$, необходимо подтвердить, что $T \geq 10^5...10^8$ ч. Наиболее простой способ подтвердить значение вероятности – прямые испытания, однако их продолжительность оказывается неразумно большой. Для сокращения продолжительности работы по подтверждению надежности введен внутренний диверситет в каждый канал управляющей системы безопасности (рис. 2).

Вероятность отказа можно оценить соотношением: $\theta_1 = \frac{(\tau + t)^2}{T_1 \times T_2}$, где T_1 и T_2 , соответственно,

среднее время работы до отказа программ, входящих в состав первого и второго подканала УСБТ. Оценочно, необходимо подтвердить, что: T_1 и $T_2 \geq (0,3...3)10^4$ ч. Такая продолжительность испытаний представляется практически реализуемой для подтверждения

малой вероятности отказа программируемой УСБ по общей причине. При этом возможно параллельное проведение испытаний нескольких комплектов аппаратуры ТПТС-СБ, доводя, таким образом, длительность испытаний до вполне приемлемой. Сложные электронные компоненты для реализации схем диверситетов А и Б проиллюстрированы в таблице.

Аппаратное разнообразие

Средства, обеспечивающие аппаратное разнообразие модулей		
Тип модуля	Диверситет А	Диверситет Б
Модуль ввода унифицированных сигналов тока	ПЛИС Altera	Микроконтроллер STM
Модуль ввода сигналов термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления		
Модуль приоритетного управления	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль ввода аппаратных дискретных сигналов	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Процессорный модуль автоматизации	Микропроцессор Freescale (PPC) + ПЛИС Altera + микроконтроллер Hilscher NetX	Микропроцессор Xilinx (ARM) + ПЛИС Xilinx
Модуль-размножитель 4-канальный	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Преобразователь интерфейсов крейта	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль-коммутатор голосования	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль голосования	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx

Для обеспечения независимости поведения программного обеспечения от внешних иницирующих факторов, возникающих при авариях, при разработке применялся принцип детерминизма. Это значит, что в любой момент времени можно предсказать интенсивность потоков данных между элементами системы безопасности. Более того, эта интенсивность постоянна и не зависит от времени и состояния внешнего оборудования (КИП, приводов, смежных систем) и идентична той, которая была зафиксирована при сдаче системы в промышленную эксплуатацию. Достигается такой эффект за счет исключения использования прерываний – вся обработка и пересылка сигналов происходит циклически. Таким образом, система безопасности, построенная на базе средств ТПТС-СБ, является системой реального времени.

Для обеспечения устойчивости к отказам по общей причине, связанных с ведением времени в системе, решено отказаться от поддержания системного времени в аппаратуре диверситетов А и Б. Время ведется и синхронизируется с временем АСУ ТП только в узлах нормальной эксплуатации, служащих для передачи информации из аппаратуры диверситетов А и Б в систему нормальной эксплуатации и СВУ, которые не взаимодействуют с узлами системы безопасности и не влияют на их работу.

В целях повышения устойчивости системы безопасности на базе средств ТПТС-СБ к кибератакам на передней панели процессорного модуля предусмотрен физический ключ, запрещающий или разрешающий запись прикладного программного обеспечения со стороны инжиниринговых средств – САПР GET-R1, а также изменение настроечных параметров прикладного программного обеспечения с помощью сервисных средств ТПТС.

В завершение следует отметить, что АСУ ТП Белорусской АЭС, построенная на базе средств ТПТС-НТ в СНЭ (уровни 1, 2, 4) и ТПТС-СБ в УСБ (уровень 3) полностью отвечает всем требованиям по разнообразию, независимости, резервированию. Реализован принцип глубокоэшелонированной защиты. Цифровая система безопасности на базе ТПТС-СБ, применяя впервые в мире встроенный программный и аппаратный диверситет на каждом этапе выполнения функций УСБ, гарантирует выполнение функции как при единичном отказе, так и при отказе по общей причине, в том числе и программного обеспечения. Применение ТПТС-СБ для построения АСУ ТП АЭС в сочетании с ТПТС-НТ позволяет создать гармоничную АСУ ТП с оптимизированными связями безопасности и нормальной эксплуатации, а также с блочным и резервным пунктами управления, что обеспечит эффективное и безопасное управление энергоблоком.

УДК 681.51

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТПТС-НТ

А.Д. НАРИЦ, М.И. МОИСЕЕВ, П.С. КАРПОВ, А.Н. НОВИКОВ,
А.А. БОРЗЕНКО, А.В. РЫЖКОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Управляющая система нормальной эксплуатации (СНЭ) выполняет задачи, обеспечивающие эксплуатацию АЭС в определенных проектом условиях, необходимых для работы без нарушения эксплуатационных пределов.

ТПТС-НТ представляет собой комплекс средств автоматизации (КСА), предназначенных для построения проектным путем интегрированных программно-технических комплексов (ПТК) СНЭ атомных и тепловых электростанций, а также других объектов энергетики и промышленности.

Аппаратура КСА ТПТС-НТ относится к классам безопасности 2Н, 3Н по НП-001 (ПНАЭ Г-01-011) ОПБ-88/97, при ее разработке учтены требования действующих в РФ норм и правил, относящихся к безопасности объектов атомной энергетики.

Она разработана на основе опыта применения и эксплуатации аппаратуры ТПТС предыдущего поколения, но по сравнению с ней имеет более высокие технические и эксплуатационные характеристики, в частности:

- повышенное быстродействие;
- более высокую временную разрешающую способность по выходным двоичным сигналам;
- улучшенные метрологические характеристики;
- гибкие схемы компоновки, обеспечивающие рациональность применения аппаратуры для автоматизации объектов различных масштабов – от отдельных технологических установок до атомных энергоблоков.

Аппаратура ТПТС-НТ совместима с аппаратурой предыдущих поколений ТПТС в части структуры данных, набора телеграмм, протокола обмена телеграммами по системной шине, преимущественно с ней в части набора функций обработки сигналов технологического процесса, встроенных алгоритмов управления, набора команд структуры (программы) пользователя, набора интерфейсных блоков. Это обеспечивает возможность совместной работы аппаратуры ТПТС разных поколений, что имеет важное значение ввиду необходимости модернизации и сопровождения АСУ ТП при длительных нормативных сроках эксплуатации АЭС (до 60 лет).

Средства КСА ТПТС-НТ обеспечивают решение следующих задач:

- измерение сигналов от первичных измерительных преобразователей (датчиков) с унифицированными выходными сигналами тока и напряжения;
- прием сигналов термодатчиков со стандартными номинальными статическими характеристиками (НСХ) и термопреобразователей сопротивления со стандартными НСХ;
- измерение частоты следования импульсов;
- измерение количества импульсов, поступивших за заданный интервал времени;
- выдачу унифицированных сигналов тока и напряжения;
- прием двоичных сигналов (простые контакты, перекидные контакты, контакты с контролем на обрыв и замыкание, потенциальные сигналы с напряжением ± 24 В);
- выдачу двоичных сигналов с напряжением положительной полярности 24 В.

В состав КСА ТПТС-НТ входят следующие компоненты:

– станция ввода-вывода (СВВ), выполняющая базовые функции измерения аналоговых сигналов, приема и обработки двоичных сигналов, индивидуального управления исполнительными механизмами (ИМ), регулирования. Набор функций СВВ определяется составом установленных в ней модулей.

– процессор автоматизации (ПА), выполняющий функции обмена данными с СВВ и другими ПА, алгоритмы вычисления технологических параметров, алгоритмы автоматического и автоматизированного управления с использованием подключенных к нему СВВ и/или других ПА.

– блок шлюза сопряжения (БШС), выполняющий функции сопряжения ПТК низовой автоматики с системой верхнего уровня (СВУ).

– приборные стойки (ПС), представляющие собой шкафы с установленными в них СВВ, ПА, БШС и другими компонентами в соответствии с проектом. В зависимости от назначения и размещения ПС выполняются в различных конструктивных исполнениях.

– стойка питания (СП), представляющая собой шкаф с установленными в нем в соответствии с проектом источниками питания.

– инженерная станция, предназначенная для разработки и корректировки прикладных алгоритмов, схем соединений, выпуска и корректировки документации, загрузки прикладных программ.

– диагностическая станция, предназначенная для работ по наладке и диагностике системы низовой автоматики на всех этапах ее жизненного цикла.

– комплект оборудования для автоматизированной поверки (калибровки) модулей, относящихся к средствам измерения.

При необходимости выполнения сложного сопряжения с оборудованием технологического процесса может использоваться стойка сопряжения из состава КСА ТПТС-ЕМ, представляющая собой шкаф с установленными в нем в соответствии с проектом устройствами электрического сопряжения (модулями гальванического разделения, промежуточными реле, контакторами и т. п.), компонентами, необходимыми для организации сигнализации, элементами, предназначенными для закрепления и подключения кабелей. Шкафы ТПТС-НТ и шкафы ТПТС-ЕМ имеют одинаковые размеры 1000×2200×400 (ШВГ), что обеспечивает их гармоничное размещение в рядах. Имеется также комплект имитаторов технологического оборудования, используемых при наладке ПТК. Общая структурная схема СНЭ на основе КСА ТПТС-НТ приведена на рис. 1.

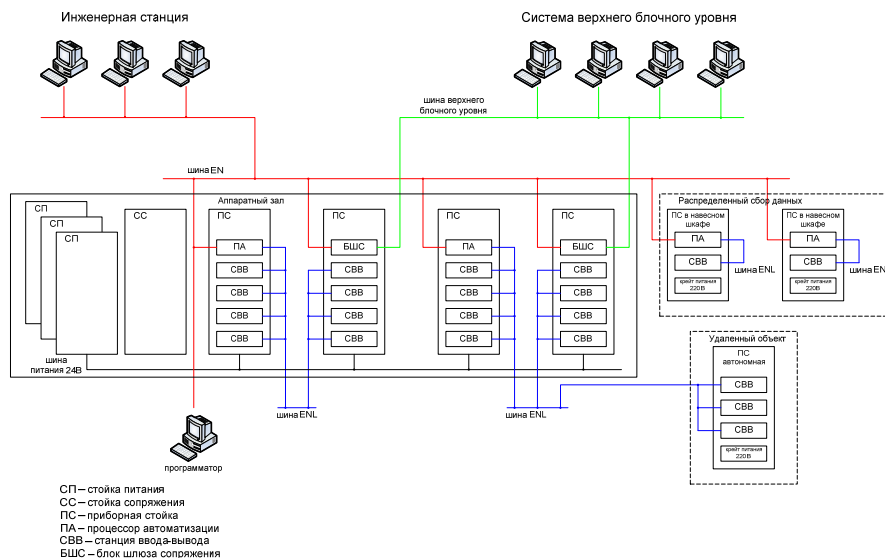


Рис. 1. Общая структурная схема СНЭ на основе КСА ТПТС-НТ

КСА ТПТС-НТ обеспечивает возможность как распределенного, так и централизованного размещения по объекту управления аппаратуры, выполняющей задачи приема сигналов датчиков и индивидуального управления ИМ. Это достигается за счет применения локальной высокоскоростной шины ENL, построенной на основе технологии Industrial Ethernet 100 Мбит/с. При этом сбор данных ПА возможен за время порядка 5 – 10 мс в

зависимости от масштабов системы. Шина ENL обеспечивает возможность удаленного размещения СВВ от ПА.

Задачи сбора данных и первичной обработки сигналов, а также задачи индивидуального управления выполняются специализированными модулями связи с процессом (МСП). Это позволяет выполнять в коротком цикле (1-20 мс) задачи приема двоичных и аналоговых сигналов, фильтрацию, подавление дребезга, индивидуального управления ИМ, а также обеспечивает возможность разрешения последовательности входных двоичных сигналов, различающихся по времени возникновения на 1 мс.

Задачи автоматического и автоматизированного управления (технологические задачи, блокировки, сигнализация, функционально-групповое управление) сосредоточены в центральном устройстве – ПА. Это позволяет упростить проектирование алгоритмов, исключить или сократить число задач проектирования цифровых передач в одном алгоритме. Высокопроизводительные микропроцессоры в ПА и его структура обеспечивают возможность уменьшить до 100-200 мс время реакции алгоритмов, выполняемых ПА при большом числе подключенных к нему МСП, а также реализовать алгоритмы с повышенными требованиями по быстродействию (менее 20 мс) при ограниченном числе входных сигналов.

Система коммуникационных шин КСА ТПТС-НТ обеспечивает информационную связь между компонентами в ПТК, между ПТК в системе низовой автоматики, а также системами низовой автоматики с БШС, реализующими связь с СВУ. Она включает в себя системную шину EN, локальные шины ENL, шины ввода-вывода (ШВВ) в СВВ, полевые шины RS-485. Все шины являются шинами последовательной передачи, резервированные, обеспечивают гальваническое разделение между абонентами.

В ТПТС-НТ используется положительный опыт эксплуатации систем ТПТС, в которых эффективно решена проблема безударного переключения резерва, обеспечивающего сохранение работоспособности системы при любых многократных отказах, за исключением одновременных отказов в основном и резервном узлах одного типа.

Механизм горячего резерва «1-из-2» в ТПТС-НТ используется на всех уровнях – на уровне ПА, на уровне СВВ (ИМН, МСП), на уровне коммуникационных шин. Общая структурная схема резервирования ТПТС-НТ приведена на рис. 2.

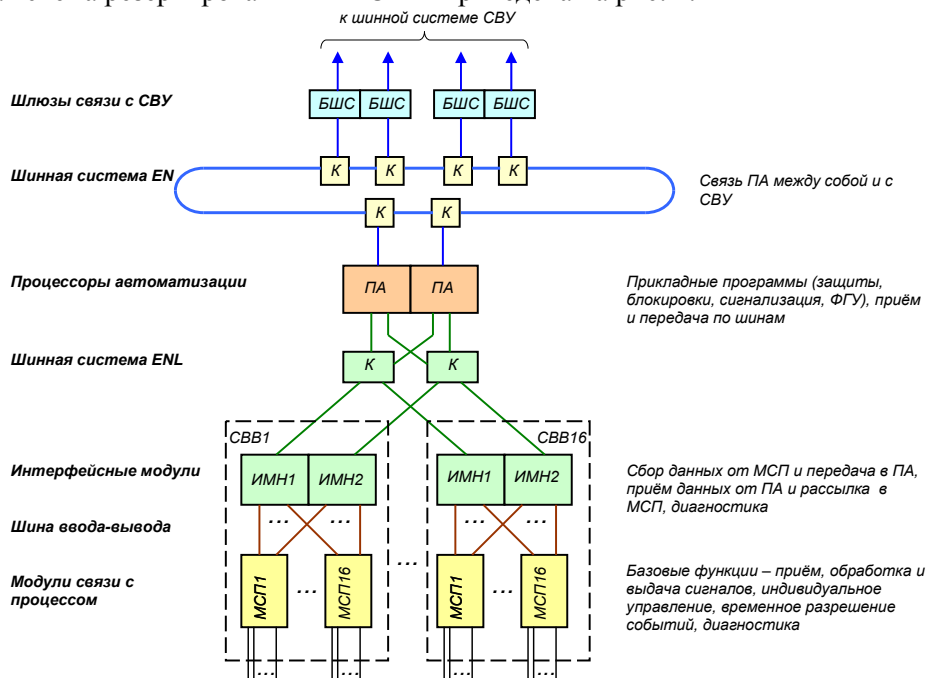


Рис. 2. Общая структурная схема резервирования ТПТС-НТ

Процессор автоматизации работает строго циклически, работа коммуникационных шин сбора данных (ENL, ШВВ) детерминирована, что обеспечивает регулярную доставку данных, критичных ко времени.

Системная шина EN построена на основе технологии Industrial Ethernet 100 Мбит/с и реализована в виде виртуального кольца последовательно соединенных коммутаторов Ethernet, образующего оптоволоконную коммуникационную магистраль. Ее резервирование осуществляется путем реконфигурации избыточной структуры связей виртуального кольца.

Локальная шина ENL имеет радиальную организацию с соединениями между ПА и СВВ типа «точка-точка», реализуемую коммутатором Ethernet. Резервирование шины ENL обеспечивается посредством подключения к ПА двух шин ENL, каждая из которых подключена к своему ИМН в СВВ.

В СВВ имеется 2 ИМН и 2 ШВВ. ШВВ в СВВ так же, как и шина ENL, имеет радиальную организацию, обеспечивающую подключение МСП к ИМН соединениями типа «точка-точка». МСП имеют 2 интерфейса ШВВ, каждый из которых подключен к своему ИМН.

Радиальная организация шин по типу «точка-точка» и их резервирование обеспечивают сокращение времени обмена информацией, позволяют исключить возможность потери значительного объема входной информации при единичном отказе. Такая структура построения обеспечивает удобство обработки данных процесса, поскольку каждый параметр технологического процесса легко доступен каждому ПА вследствие высокой скорости информационных каналов. Кроме того, существенно повышается наглядность при проектировании, сопровождении и последующих модификациях проекта системы.

Конструктивные и технические характеристики КСА ТПТС-НТ обеспечивают его работу как в резервированном, так и нерезервированном режимах в соответствии с требованиями проекта.

В состав ПА входят процессорные модули, связанные быстродействующей информационной шиной, работающие параллельно и обеспечивающие:

- взаимодействие с СВВ по шине ENL и реализацию системной и прикладной логики;
- функции связи по системной шине EN с другими ПА, БШС с СВУ.

Модули ПА построены на высокопроизводительных 32-разрядных микропроцессорах и обеспечивают возможность подключения к ПА до 16 СВВ, в каждой из которых может быть установлено до 16 МСП, в том числе с резервированием.

Для связи ПА с интеллектуальными устройствами по полевым шинам используется специализированный интерфейсный модуль, устанавливаемый в ПА и обеспечивающий возможность связи с интеллектуальными устройствами по шине RS-485 и коммуникационному протоколу Modbus.

Модули аппаратуры ТПТС-НТ могут иметь конструктивное исполнение как 6U, так и 3U в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60297-3-101-2006. Наличие шкафов различного размера, конструктивного исполнения, функционального наполнения и обслуживания (двустороннего, одностороннего) обеспечивает широкие возможности централизованного и распределенного размещения аппаратуры ТПТС-НТ, масштабирования системы.

Шкафы двустороннего обслуживания при централизованном размещении аппаратуры сбора информации обеспечивают возможность подключения к одной ПС до 1000 сигналов (2000 подключений). Обеспечивается подсоединение в ПС полевых кабелей с сечением проводников от 0,1 до 2,5 мм².

Для решения задач автоматизации, характеризующихся одной или сочетанием нескольких из следующих особенностей – небольшим числом контролируемых параметров, быстрым протеканием технологического процесса, территориальной распределенностью – предназначен контроллер автоматизации (КА) ТПТС-НТ. КА представляет собой устройство, объединяющее в рамках одного крейта СВВ типоразмера 3U функции ПА и функции СВВ. Он предназначен для применения как в СНЭ, так и в УСБ; может применяться как в резервированной конфигурации в рамках одного крейта, так и в нерезервированной.

Применение КА для решения таких задач способствует более эффективному использованию аппаратуры ТПТС-НТ, рациональному использованию пространства в шкафу ПС за счет сокращения части аппаратуры (крейта ПА/крейта СВВ) и сетевой инфраструктуры (кабелей, коммутаторов вследствие исключения из тракта передачи локальной шины ENL). КА является агрегируемым устройством с модульной организацией, в состав которого кроме процессорного модуля автоматизации (ПМА) могут входить также модули цифровых интерфейсов (RS-485, CAN 2.0, Ethernet 100 Мбит/с, Profibus, Profinet) и МСП. ПМА имеет ту

же архитектуру, что и ПА, в рамках одного модуля. Модули цифровых интерфейсов подключаются в крейте к ПМА по ШВВ так же, как МСП в СВВ, и позволяют реализовать стандартные протоколы коммуникаций типа Modbus, CANopen, МЭК 61850, Profibus DP и др. для связи с интеллектуальными исполнительными устройствами. КА может быть применен в шкафах одностороннего и двустороннего обслуживания.

Все компоненты КСА ТПТС-НТ контролируются в процессе работы средствами самоконтроля. Объем оперативного контроля обеспечивает обнаружение неисправного типового элемента замены и/или подключенного к нему канала измерения/управления. Обнаруженные отказы индицируются непосредственно на модуле, обнаружившем отказ, и в ПС лампой сигнализации шкафа; информация об отказах передается по коммуникационным шинам в СВУ. Система питания КСА ТПТС-НТ удовлетворяет требованиям АЭС. Питание аппаратуры осуществляется постоянным напряжением с номинальным значением +24 В. Предусмотрена возможность как резервированного, так и нерезервированного подключения питания ко всем компонентам КСА ТПТС-НТ.

Для обеспечения возможности питания аппаратуры ТПТС-НТ, размещенной как централизованно в аппаратных залах, так и распределенно по объекту управления, имеется два типа источников питания (ИП) – крейтового исполнения 6U и 3U. ИП типоразмера 6U устанавливаются в СП, которые используются при централизованном размещении ПС. В СП может быть установлено до 12 ИП. ИП типоразмера 3U встраиваются в автономные ПС, разнесенные по объекту управления.

В СП могут применяться ИП с выходными напряжениями 50–150 В и 220 В постоянного тока, предназначенные для питания периферийного оборудования, управляемого аппаратурой ТПТС-НТ.

В автономные ПС могут встраиваться панельные компьютеры в виде дисплея на двери шкафа для организации местных пультов управления.

КСА ТПТС-НТ разрабатывался как аппаратно-программная база для построения систем низовой автоматики в полностью интегрированных АСУ ТП АЭС, включая управляющие системы безопасности. При его разработке были учтены передовые тенденции в области построения АСУ ТП объектов атомной и тепловой энергетики, достижения мировых лидеров в области промышленной автоматизации, тенденции развития электронной аппаратуры и ее элементной базы. На КСА ТПТС-НТ получены патенты.

УДК 681.51

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТПТС-СБ

А.Д. НАРИЦ, М.И. МОИСЕЕВ, А.Н. НОВИКОВ, П.С. КАРПОВ, А.А. БОРЗЕНКО

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Комплекс средств автоматизации (КСА) ТПТС-СБ предназначен для построения проектным путем интегрированных программно-технических комплексов (ПТК) управляющих систем безопасности (УСБ) АЭС. Средства КСА ТПТС-СБ относятся к классам безопасности 2У, 2НУ, 3У, 3НУ по НП-001 (ПНАЭ Г-01-011) ОПБ-88/97 и предназначены для построения систем контроля и управления с функциями категории качества К1 по НП-026-04. Они разработаны с учетом опыта разработки КСА ТПТС-НТ, опыта применения и эксплуатации аппаратуры ТПТС-ЕМ, а также опыта работы с компанией Siemens в рамках лицензионного соглашения по разработке комплекса средств автоматизации для системы безопасности на базе TELEPERM-ME и TELEPERM-XS.

При разработке КСА ТПТС-СБ учтены требования действующих в РФ норм и правил, относящихся к безопасности объектов атомной энергетики, а также рекомендации МАГАТЭ и МЭК в части, касающейся применения программируемой техники в системах безопасности (СБ). УСБ выполняет задачи измерения технологических параметров, их логическую обработку с целью выявить приближение и возникновение аварийной ситуации, выдачи команд на исполнительные механизмы (ИМ), выполняющие защитные действия, и представления информации о состоянии управляемого оборудования и исполнении заданных алгоритмов. УСБ связана с управляющей системой нормальной эксплуатации (СНЭ):

- информация, присутствующая в УСБ, используется в алгоритмах, реализуемых СНЭ;
- ИМ УСБ могут управляться СНЭ, некоторые участвуют в алгоритмах нормальной эксплуатации (НЭ).

При отказе УСБ, даже полном, энергоблок АЭС может быть остановлен, переведен в безопасное состояние и поддерживаться в этом состоянии сколь угодно долго только средствами СНЭ. При полном отказе управляющей СНЭ аналогичная задача может быть выполнена с использованием только УСБ. При этом эффективная интеграция УСБ с СНЭ имеет важное значение.

Комплекс средств автоматизации ТПТС-СБ обеспечивает возможность решения следующих задач:

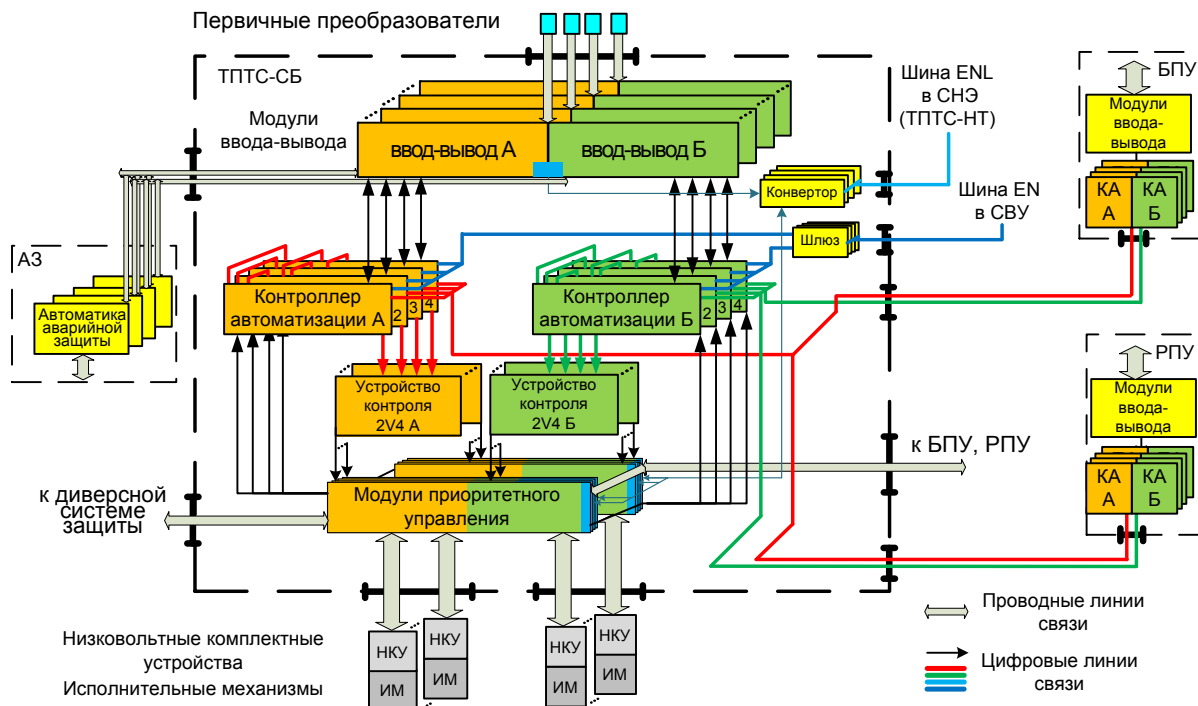
- создание трех- или четырехканальных ПТК с физически и гальванически разделенными каналами, с возможностью обмена данными между каналами для организации логики голосования «2-из-3», «2-из-4», «2.МАХ», «2.МИН»;
- вывод информации и прием команд управления от двух физически разделенных пунктов управления – блочного пункта управления (БПУ) и резервного пункта управления (РПУ);
- передача данных состояния по точкам контроля, объектам управления, реализованным алгоритмам управления в информационную систему.

Общая структурная схема четырехканальной УСБ на основе КСА ТПТС-СБ приведена на рисунке.

Компоненты КСА ТПТС-СБ обеспечивают:

- измерение сигналов первичных преобразователей (датчиков), применяемых в УСБ;

- индивидуальное управление ИМ СБ (насосами, выключателями, магнитными клапанами, запорной и регулирующей арматурой);
- запуск и выполнение алгоритмов управления защитными действиями;
- динамические характеристики, необходимые для выполнения функций УСБ;
- сигнализацию на панелях технических средств оперативного диспетчерского управления (ТС ОДУ) об измеренных и вычисленных величинах, срабатывании СБ и т. д.;
- передачу информации УСБ в другие подсистемы энергоблока АЭС – СНЭ и систему верхнего уровня (СВУ);
- самодиагностику, позволяющую выявлять отказы программно-технических средств систем, построенных на базе КСА ТПТС-СБ и выполняющих функции безопасности.



Общая структурная схема четырехканальной УСБ на основе КСА ТПТС-СБ

Исходя из принципа единичного отказа, канал УСБ имеет внутренний диверситет. Для исключения отказа по общей причине (ООП) УСБ и СНЭ программно-аппаратные средства, на базе которых создаются эти системы – КСА ТПТС-СБ и КСА ТПТС-НТ, имеют существенные отличия в системном и базовом программном обеспечении.

Логическая обработка в канале УСБ выполняется двумя разными микропроцессорными модулями. Отсутствие общих видов отказов достигается применением разных типов микропроцессоров, что влечет за собой применение различных инструментальных средств, используемых для разработки базового и системного программного обеспечения. Обработка логики управления защитными действиями в микропроцессорных модулях выполняется независимо, при этом нет необходимости вводить различия в прикладной алгоритм.

Компоненты, общие для УСБ и СНЭ (аппаратура, выполняющая функции измерения и индивидуального управления), имеют встроенный диверситет, т.е. построены так, чтобы одна ошибка не могла вызвать потерю управляемости со стороны аппаратуры УСБ, исполняющей алгоритмы управления защитными действиями, и со стороны СНЭ.

Наличие диверситета в модулях приема и обработки сигналов позволяет отказаться от применения для измерения одного и того же параметра датчиков разных изготовителей (разработчиков), если диверситет на уровне датчиков не требуется вследствие отсутствия в них программируемых компонентов. Функция индивидуального управления (ИМ) реализована в специализированном модуле, имеющем встроенный диверситет.

Проектирование ПТК на базе КСА ТПТС-СБ обеспечивается инструментальными средствами САПР (САПР-СБ), которые позволяют выполнять разработку, корректировку,

документирование и загрузку в контроллеры автоматизации ТПТС-СБ алгоритмов работы в виде прикладных структур (программ). Инструментальные средства САПР-СБ в виде подсистемы интегрированы в САПР GET-R1, которая является общей для всех поколений ТПТС – ТПТС-Е, ТПТС-ЕМ, ТПТС-НТ.

В состав КСА ТПТС-СБ входят следующие компоненты:

- приборные стойки с модулями;
- инструментальные средства автоматизированной разработки ПТК (инженерная станция);
- диагностическая станция, предназначенная для работ по наладке и диагностике ПТК на всех этапах его жизненного цикла;
- комплект оборудования для автоматизированной поверки (калибровки) модулей, относящихся к средствам измерения.

Кроме того, для выполнения ряда функций используются компоненты из состава КСА ТПТС-НТ:

- стойка питания, сертифицированная по 2 и 3 классам безопасности;
- контроллер автоматизации СНЭ, применяемый в приборных стойках ТПТС-СБ для выполнения функций, непосредственно не связанных с безопасностью – сбора данных о состоянии компонентов приборной стойки и передачи их в СВУ (функций сигнализации);
- комплект имитаторов технологического оборудования, используемых при наладке ПТК.

Имеется три типа приборных стоек ТПТС-СБ:

- стойка приборная ввода-вывода (СПВ);
- стойка приборная автоматизации (СПА);
- стойка приборная приоритетного управления (СППУ).

Состав и количество модулей, устанавливаемых в приборные стойки, определяется проектом УСБ. В СПВ может быть размещено до 4 крейтов, в которые устанавливаются модули связи с процессом (МСП). В одном крейте СПВ может быть установлено до 16 МСП. В СПА может быть размещено до 2 крейтов контроллеров автоматизации СБ (КА СБ), а именно, крейт КА СБ диверситета А (КА СБ-А) и крейт КА СБ диверситета Б (КА СБ-Б). Для физического разделения диверситетов с целью обеспечения независимости каждый из КА СБ – КА СБ-А и КА СБ-Б – размещается в своей СПА. В СППУ может быть размещено до 4 крейтов, в которых устанавливаются модули индивидуального приоритетного управления (МПУ) и модули голосования (МГ). В каждом крейте СППУ устанавливается два МГ – МГ диверситета А и МГ диверситета Б – и до 11 МПУ. МСП выполняют прием сигналов датчиков и выдачу сигналов технологического процесса. КА СБ выполняют автоматический контроль и управление – сбор сигналов датчиков, логическую обработку, выдачу команд на ИМ, передачу информации о состоянии управляемого оборудования и исполнении алгоритмов. МГ выполняют мажоритарную обработку команд управления ИМ, поступающих из каналов УСБ. Мажоритарная обработка сигналов (команд управления) выполняется возможно ближе к МПУ. Это позволяет минимизировать влияние возможных сбоев при работе аппаратуры, упростить последующую логику обработки сигналов. МПУ выполняют индивидуальное приоритетное управление ИМ технологического процесса. КА СБ канала безопасности связаны с БПУ и РПУ. Выполнение алгоритмов автоматического управления УСБ может быть запущено и проконтролировано с БПУ и РПУ. Контроль и управление УСБ с БПУ и РПУ реализуется также с использованием СПА и СПВ.

Приборные стойки ТПТС-СБ связываются между собой в канале УСБ, с БПУ, с РПУ и с СНЭ по цифровым линиям связи – коммуникационным шинам. Применение цифровых линий связи, в сравнении с проводными связями, применяемыми в аппаратуре TELEPERM-XS, позволяет более просто реализовать диагностику, увеличить объем передаваемой информации и тем самым расширить функциональные возможности КСА, а также исключить возможность прохождения ложной команды на ИМ.

Каналы информационного обмена между каналами УСБ независимы так же, как и каналы информационного обмена УСБ с БПУ, с РПУ, с СНЭ. Все коммуникационные шины в семействах ТПТС последнего поколения – как в ТПТС-СБ, так и в ТПТС-НТ – это шины последовательной передачи. Основной принцип организации коммуникаций в УСБ – соединения типа «точка-точка». Это позволяет обеспечить гарантированную доставку

сообщений за минимальное время, исключить возможность появления множественных отказов при любой единичной неисправности.

Связь КА СБ, размещенного в СПА, с МСП, размещенными в СПВ, а также с МПУ, размещенными в СППУ, выполняется по шинам ввода-вывода СБ (ШВВ СБ). Связь КА СБ, размещенного в СПА одного канала УСБ, с КА СБ, размещенными в СПА других каналов УСБ, выполняется по шинам межканального (межпроцессорного) обмена. Связь УСБ с СНЭ выполняется по локальным шинам ENL ТПТС-НТ.

Шины межпроцессорного обмена, локальная шина ENL, системная шина EN построены на основе технологии Industrial Ethernet 100 Мбит/с, ШВВ СБ – на основе стандарта RS-422.

Связь КА СБ с СВУ выполняется по системной шине EN опосредованно через шлюз сопряжения. Системная шина EN является общей для КСА всех последних поколений ТПТС.

Шины обеспечивают гальваническую изоляцию абонентов. Для связи между приборными стойками используется оптоволоконная среда передачи.

Номенклатура модулей ТПТС-СБ позволяет решить все задачи УСБ. Имеются следующие модули связи с технологическим процессом:

- модули ввода унифицированных сигналов тока и напряжения;
- модули ввода сигналов термодар и термосопротивлений;
- модули вывода унифицированных сигналов тока и напряжения;
- модули ввода-вывода двоичных сигналов, позволяющие решать также задачи сопряжения с оборудованием аварийной защиты (АЗ), БПУ, РПУ;
- модули индивидуального приоритетного управления ИМ, включая регулируемую арматуру.

Модули логической обработки оснащены интерфейсами цифровых линий связи, обеспечивающих их непосредственное подключение к коммуникационным шинам. При этом доступ к модулям логической обработки УСБ из системной шины EN (из СНЭ) в рабочем режиме невозможен: линия приема Ethernet аппаратно разрывается механическим замком, размещенным на передней панели модулей. В сервисном режиме канала УСБ замок открывается, что позволяет загружать по системной шине EN в модули логической обработки прикладную структуру, соответствующую проекту УСБ. МСП и МПУ имеют встроенный аппаратный диверситет – части А и Б, каждая из которых выполняет функции УСБ, а также часть, выполняющая функции НЭ. Эти части полностью независимы, изолированы друг от друга гальванически. Части диверситета А и Б МСП/МПУ связаны по соответствующим ШВВ СБ (А/Б) со своим КА СБ (КА СБ-А/КА СБ-Б). Часть НЭ связана по ШВВ НЭ с интерфейсным модулем шины ENL (ИМН) в крейте СПВ/СППУ.

Сетевая связь модулей логической обработки КА СБ с МСП/МПУ, организованная по типу «точка-точка» (топология сети «дерево»), реализуется посредством модулей-коммутаторов ШВВ СБ, размещаемых в крейтах СПА, СПВ и СППУ. Каждая линия связи в «дерево» обеспечивает гальваническую изоляцию абонентов. Аналогично, сетевая связь процессора автоматизации (ПА) СНЭ с аппаратной частью НЭ в МСП/МПУ реализуется посредством ИМН, выполняющего функции коммутатора ШВВ НЭ, и коммутатора Ethernet шины ENL. Сетевая связь МСП/МПУ с ПА СНЭ резервированная.

Команды управления, выдаваемые КА СБ одного и того же диверситета (А/Б) всех каналов УСБ, обрабатываются МГ этого диверситета по заданной мажоритарной логике, прежде чем поступят в МПУ. Основное требование – исключение возможности формирования ложных команд. Основным методом достижения этого качества – параллельная обработка логики со сравнением конечного результата. В МПУ команды, поступающие из МГ обоих диверситетов и из СНЭ, обрабатываются в соответствии с их приоритетом, прежде чем результирующая команда будет выдана в ИМ.

Электропитание всех компонентов КСА ТПТС-СБ – дублированное. Работа модулей и коммуникационных шин в УСБ строго циклическая. Все модули ТПТС-СБ циклически выполняют процедуры самодиагностики. При обнаружении неисправности средствами контроля и самодиагностики выходные сигналы в МСП/МПУ устанавливаются в состояние, отвечающее требованиям принципа безопасного отказа. Исключаются блокировки команд СНЭ, передаваемые в ИМ, при отказе аппаратуры УСБ.

Модули логической обработки КА СБ разных диверситетов построены на основе разных микропроцессоров разных производителей. Диверситеты СБ в МПУ реализованы на ПЛИС. В МСП диверситеты СБ либо оба реализованы на ПЛИС либо один – на ПЛИС, другой – на микроконтроллере.

Встроенное программное обеспечение модулей логической обработки КА СБ и МСП разрабатывается в соответствии с требованиями стандарта МЭК 60880. В частности, разработка программного обеспечения ведется двумя независимыми группами программистов с использованием инструментальной системы SCADA Suite фирмы ESTEREL, сертифицированной немецким органом TÜV на соответствие международным стандартам безопасности.

Части СБ в МСП и МПУ – программно непараметризуемые.

КСА ТПТС-СБ построен на основе решений, соответствующих современному уровню развития техники.

Снижение вероятности единичного отказа УСБ на основе КСА ТПТС-СБ обеспечивается:

- надежностью модулей (расчетная наработка на отказ порядка 400-500 тысяч часов), обеспечиваемой современными технологиями и системой менеджмента качества;
- наличием избыточности, позволяющей строить многоканальные УСБ;
- верификацией в виде испытаний при разработке и производственного контроля при выпуске.

Снижение вероятности ООП УСБ на основе КСА ТПТС-СБ обеспечивается:

- удовлетворением требований по стойкости к внешним воздействующим факторам, которые учитываются при разработке и подтверждаются при испытаниях;
- независимостью, обеспечиваемой как физическим разделением, так и гальванической изоляцией аппаратуры диверситетов в канале УСБ, каналов УСБ между собой, УСБ от СНЭ;
- наличием разнообразия как аппаратного, так и программного.

Реализация аппаратного разнообразия непосредственно в аппаратуре каждого канала УСБ обеспечивает снижение затрат на разработку УСБ, ее эксплуатацию, сопровождение и поддержку.

Применение КСА ТПТС-СБ для построения УСБ и КСА ТПТС-НТ для построения СНЭ позволяет создавать современные интегрированные системы низовой автоматики АЭС, предоставляющие ряд ранее отсутствовавших полезных качеств, основными из которых являются наличие единого средства проектирования (САПР), «бесшовное» соединение УСБ с СНЭ вследствие общей идеологии построения семейств ТПТС. Кроме того, шкафы приборных стоек ТПТС-СБ и ТПТС-НТ имеют одинаковые размеры 1000 × 2200 × 400 мм (ШВГ), что обеспечивает гармоничное размещение в рядах, в помещениях, общность в обслуживании.

Применение интегрированной системы упрощает ее эксплуатацию, поскольку поддержка осуществляется одним производителем.

Разработку КСА ТПТС-СБ планируется завершить к середине 2015 г.

УДК 621.039.53

ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ – ПЕРВИЧНОЕ ЗВЕНО АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В.С. ЗАГУЗОВ, Д.В. ПАНФЕРОВ, Н.А.ТИТОВА

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 3 февраля 2015

«Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (далее ВНИИА) относится к предприятиям Госкорпорации «Росатом» и является одним из ведущих предприятий разработчиков ядерного оружейного комплекса Российской Федерации.

ВНИИА ведет свою историю с 1954 г. Здесь трудились такие знаменитые ученые, как Николай Леонидович Духов и Аркадий Адамович Бриш, выдающиеся личности, как Николай Иванович Павлов и Анатолий Васильевич Ляпидевский. Их имена навсегда вписаны в историю создания ядерного оборонного комплекса нашей страны.

Институтом достигнут превосходный научно-технический потенциал. В настоящее время во ВНИИА трудятся более 130 докторов и кандидатов наук.

В 80-е годы прошлого столетия в рамках конверсии во ВНИИА начались разработка и производство наукоемкой продукции гражданского назначения:

– программно-технических средств автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП) атомных и тепловых электростанций, других сложных объектов;

– датчиков и сигнализаторов давления для атомных и нефтегазовых предприятий;

– портативных нейтронных генераторов и аппаратуры на их основе;

– портативных рентгеновских генераторов;

– радиационных мониторов;

– аппаратуры для регистрации быстропротекающих однократных процессов;

– устройств дуговой защиты для объектов энергетики;

– аппаратуры электровзрывания;

– сейсмических датчиков и систем регистрации землетрясений.

Одним из ведущих гражданских направлений является разработка и производство датчиков и сигнализаторов давлений.

Датчики являются первичными звеньями автоматизированной системы управления промышленным объектом; от надежности и точности показаний датчиков зависит безопасная и экономная работа всех систем таких сложных и ответственных объектов, как атомная или тепловая станция. Поэтому во ВНИИА с особой ответственностью относятся к разработке и производству датчиков давления и систем АСУ ТП. В отделах разработки датчиков давления трудятся высококвалифицированные инженеры и научные сотрудники, часть из них имеет ученые степени кандидатов наук.

Датчик давления при своей кажущейся обманчивой простоте является наукоемким продуктом. Он должен обеспечивать заявленную высокую точность измерения в широком диапазоне температур от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$, во внешних агрессивных средах с содержанием коррозионно-активных агентов и дезактивирующих растворах, выдерживать значительные перегрузки давлением, быть стойкими к гидроударам, к воздействиям грозовых разрядов и интенсивных электромагнитных помех; обеспечивать высокое быстродействие при микромощном энергопотреблении.

Поэтому при разработке используются современные пакеты программ моделирования и автоматизированного проектирования, как механических деталей, так и электронных схем: ANSYS, Pro/Engineer, Mentor Graphics и др.

ВНИИА разрабатывает и производит всю линейку датчиков давления:

- датчики избыточного давления;
- датчики разности давлений;
- датчики абсолютного давления;
- датчики разрежения;
- датчики избыточного давления-разрежения.



Рис. 1. Датчики давления серии ТЖИУ406-М100

При разработке ставка делалась на уникальные параметры датчиков, которые значительно превосходят показатели других производителей:

- высокое качество производства обеспечивается действующей в институте международной системой менеджмента качества ISO 9001:2008;

- высокая надежность основана на опыте разработки и производства продукции оборонного назначения;

- высокое быстродействие (время цикла обработки 50 мс) – один из лучших показателей – обеспечивается высокой степенью оптимизации схемы и программного обеспечения датчика;

- широкий диапазон рабочих температур обеспечивается применением первичных преобразователей собственного изготовления, проведением наработки прибора во время настройки на предельных температурах;

- высокая степень защиты от электромагнитных полей высокой интенсивности обеспечивается как специальными конструктивными решениями (разделительная экранирующая перегородка в корпусе, стекло ЖКИ с металлизированным прозрачным покрытием), так и специальной многоступенчатой схемой блока фильтра помех (схемы грозозащиты). Благодаря этому датчик работает в условиях жесткой электромагнитной обстановки группы IV по критерию функционирования А (без нарушения функционирования) по ГОСТ 32137-2013;

- жидкокристаллический поворотный индикатор с подсветкой обеспечивает наглядный вывод показаний при различном положении корпуса датчика;

- широкий диапазон напряжения питания от 9 до 48 В.

Устройство датчика давления

Первичный преобразователь должен обеспечить минимально возможные несистематические (а значит некомпенсируемые) погрешности, повторяемость, гистерезис, зависящие от множества факторов: материала и технологии изготовления мембран, способа сварки деталей, технологии пайки тензочувствительного элемента, объема заполняющей кремний органической жидкости. Все эти факторы учитываются при проведении математического моделирования с применением программных пакетов во время разработки.

На рис. 2 представлено внутреннее устройство датчика. Электроника датчика давления выполнена на самом современном уровне. Она включает в себя микроконтроллер, обеспечивающий коррекцию систематических погрешностей (погрешность нелинейности, температурная погрешность), а также сервисные функции – вывод показаний на ЖКИ в различном представлении, настройку датчика под конкретные требования на месте установки

(пределы и единицы измерения, вид характеристики преобразования), подстройку верхней и нижней точек диапазона измерения, самодиагностику. В датчике ТЖИУ406-М100 имеется возможность дистанционного управления по линии связи с использованием HART-протокола, что ставит наши приборы в один ряд с такими известными брендами, как Emerson и Yokogawa. ВНИИА состоит в международной организации HART Communication Foundation.

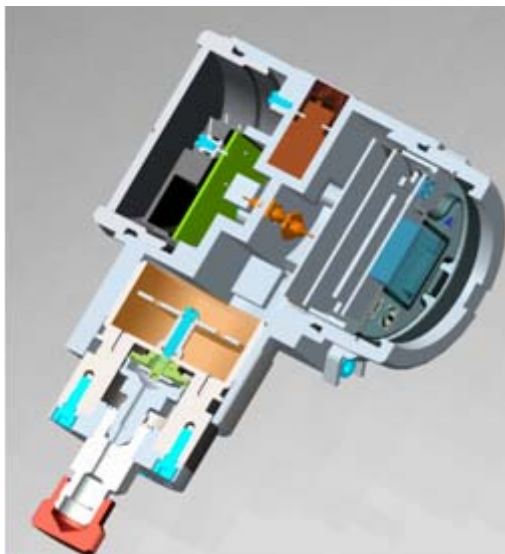


Рис. 2. Внутренне устройство датчика

При разработке датчиков ТЖИУ важно было совместить противоречивые требования – высокое быстродействие и сверхнизкое энергопотребление. С этой целью была проведена значительная оптимизация электронной схемы и программного обеспечения прибора. При проектировании электроники особое внимание уделялось требованиям электромагнитной совместимости – во всех датчиках, как уже говорилось ранее, установлена многоступенчатая схема блока фильтра помех, обеспечивающая защиту от электромагнитных помех высокой энергии, в частности микросекундных импульсов и наносекундных помех.

Для обеспечения работы датчика в его микроконтроллере установлено инструментальное программное обеспечение (ПО). Ввиду того, что датчик является средством измерения, внутренне ПО датчиков ТЖИУ соответствует ГОСТ Р 8.654-2009, аттестовано в соответствии с МИ 2955-2010, его защита соответствует МИ3286-2010. Так как датчики ТЖИУ применяются на атомных электростанциях в составе систем, важных для безопасности, то для обеспечения надежной работы ПО выполнено в соответствии со стандартом МЭК 880.

При работе датчик давления ТЖИУ выполняет циклическую фоновую самодиагностику: проверяется целостность и отсутствие коротких замыканий тензомоста, проверяются контрольные суммы внутреннего инструментального ПО и энергонезависимой памяти с калибровочной и служебной информацией посредством алгоритма CRC16.

ВНИИА обладает замкнутым производственным циклом датчиков давления, включая участок микроэлектроники для изготовления собственных чувствительных элементов по технологиям КНК (кремний на кремнии) и КНС (кремний на сапфире).

Электронные модули датчиков давления изготавливаются на собственных современных автоматизированных производственных линиях. При этом осуществляется многоступенчатый контроль качества: автоматическая оптическая инспекция и рентгеновский контроль печатных плат после сборки на автоматической линии, параметрический контроль методом «летающих щупов» на автоматической установке, функциональный контроль, контроль в составе изделия, прямо-сдаточные испытания.

Калибровка и прямо-сдаточные испытания датчиков проводят на автоматизированных стендах с минимальным участием рабочего персонала, что минимизирует влияние человеческого фактора на качество продукции. Для подтверждения надежных и эксплуатационных характеристик датчиков во ВНИИА имеется современная испытательная

база, включающая вибростенды, климатические камеры, испытательный центр ЭМС, лабораторию химического анализа.

ВНИИА осуществляет комплексные поставки на новые энергоблоки АЭС систем АСУ ТП типа ТПТС (ТПТС-51, ТПТС-52, ТПТС-НТ, ТПТС-СБ) с датчиками давления ТЖИУ406-М100. При этом обеспечивается их оптимальное взаимодействие, что является результатом тщательной проработки их совместимости и оптимального распределения функций, многоэтапного тестирования. Особое внимание уделено обеспечению однозначной реакции системы на прерывание питания и сигнализацию отказов датчика. Соответствие всем предъявляемым требованиям и гибкая ценовая политика ВНИИА обеспечили, на конкурсной основе, применение датчиков давления ТЖИУ406-М100-АС на действующих энергоблоках и в проектах строящихся атомных станций: Калининская АЭС, Курская АЭС, Нововоронежская АЭС, Смоленская АЭС, Нововоронежская АЭС-2, Балаковская АЭС, Ростовская АЭС, Кольская АЭС, Ленинградская АЭС-2, Билибинская АЭС, Белорусская АЭС, АЭС Бушер.

Датчики давления ТЖИУ406-М100-АС имеют весь пакет разрешительных документов от Свидетельства об утверждении типа средств измерений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии до Сертификата соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».

Высокое качество работы коллектива специалистов «Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н.Л. Духова» подтверждено международным сертификатом TÜV SÜD Системы менеджмента качества ISO 9001:2008 в области разработки, изготовления, сбыта и сервисного обслуживания оборудования ТПТС и датчиков давления ТЖИУ и дипломом Совета по присуждению премий Правительства Российской Федерации в области качества.

УДК 621.039.4

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТПТС

М.А. БЕЛОНОСОВ, Ю.С. ГАЛИЦЫН, Ю.В. КРАЮШКИН*, И.М. ЖУКОВ*, С.Ю. ГРИЦЕНКО

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

**НИИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Одним из важных факторов, определяющих качество и оптимальность сложных систем контроля и управления, является уровень используемой САПР. В статье рассматриваются технические решения и принципы, положенные в основу инструментальных средств нового поколения, применяемых для разработки программно-технических комплексов систем контроля и управления на базе ТПТС.

Активное строительство новых АЭС в России и за рубежом привело к росту потребности в развитых системах контроля и управления (СКУ), основанных на цифровых программно-технических комплексах (ПТК). Программно-технические средства ТПТС-51 стали первой цифровой микроконтроллерной техникой, производство которой было полностью освоено российским институтом автоматики (ВНИИА). Как сами средства ТПТС, так и среда проектирования GET-R (Graphic Engineering Tool - Russia) являются развитием техники Teleperm ME и САПР GET-TM фирмы Siemens, которая передала ВНИИА свои технологии по лицензионному договору.

Первым российским атомным энергоблоком, в котором применена цифровая СКУ на средствах ТПТС-51, стал третий энергоблок Калининской АЭС, пуск которого состоялся 16 декабря 2004 года. В процессе создания ПТК СКУ этого энергоблока специалисты ВНИИА, ВНИИАЭС, Атомэнергопроект и ряда других организаций освоили инструментальные средства проектирования GET и адаптировали к российским реалиям технологию проектирования СКУ, унаследованную от Siemens.

Оказалось, что освоенная технология и инструментальные средства не покрывают все проектные задачи, возникающие при создании ПТК СКУ. Были выявлены следующие недостатки:

- ряд документов, выпускаемых на различных этапах проектирования, необходимо отдельно создавать с помощью офисного программного обеспечения, не связанного с электронным проектом СКУ;
- связи между различными частями проекта СКУ не отслеживаются инструментальной средой, что повышает вероятность возникновения проектных ошибок;
- алгоритмы управления создаются в таком виде, который требует от специалистов различного профиля знаний специфики программно-технических средств ТПТС;
- инструментальные средства не приспособлены для создания разных частей проекта разными организациями, т.к. не предусмотрена поэтапная работа над проектом.

Работа над устранением этих недостатков продолжается до сих пор. Однако уже сейчас можно говорить о принципиально новом уровне проектирования, достигнутом благодаря совместным усилиям ВНИИА и ряда других организаций.

Одной из главных причин пересмотра подходов к проектированию стала разработка новых поколений аппаратуры ППТС и работы по созданию новой системы проектирования GET-R1. В результате появилась концепция технологии проектирования, которая покрывает все основные этапы проектирования СКУ и приспособлена к российским условиям.

Подход к проектированию

В разработке системы контроля и управления всегда участвуют две ключевые фигуры: специалист-технолог, понимающий технологические процессы АЭС, которыми нужно управлять; и специалист-системщик, знающий принципы управления, особенности взаимодействия частей системы и технику, на которой построены ПТК.

В случае небольших систем управления, например, систем типа «умный дом», технолог и системщик – это, как правило, одно и то же лицо. Используя понимание технологического процесса и знание технических средств, такой специалист легко может самостоятельно создать простую систему управления.

Более сложные промышленные СКУ, например, в тепловой энергетике, обычно создаются разными специалистами; однако за систему управления в целом несет ответственность одна организация.

В случае СКУ АЭС проектирование выполняется большими коллективами разных организаций, которые поэтапно создают одну большую систему управления. В этой ситуации необходимо четкое разделение ответственности за части проекта СКУ, а также подход и инструментарий, которые позволят специалистам разного профиля вести проектирование, используя только свои знания. Задача контроля соответствия различных частей проекта ложится на средства проектирования и автоматизируется. Автоматизируется также часть работ по преобразованию данных между различными этапами. Как следствие, все организации, участвующие в разработке, должны пользоваться одной системой проектирования, или интегрированными средами, как в случае САПР низовой автоматики и САПР верхнего уровня. Разделение ответственности показано на рис. 1.

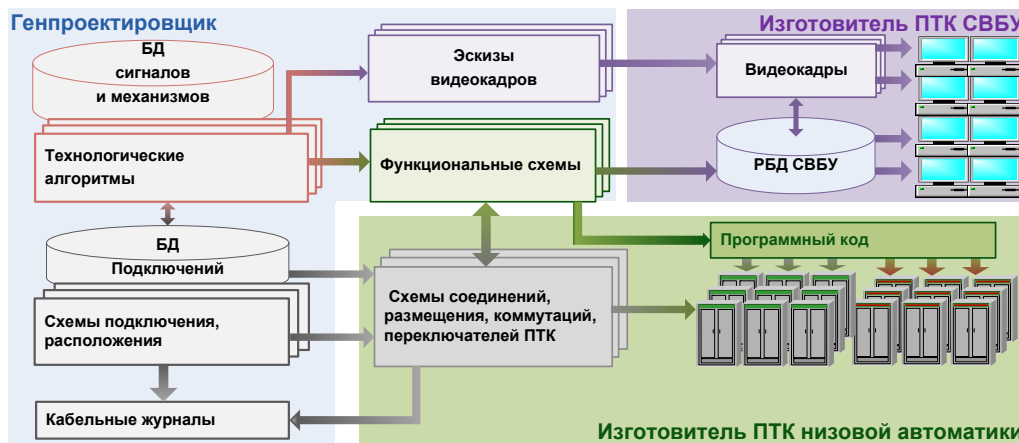


Рис. 1. Части проекта СКУ АЭС, взаимосвязи и разделение ответственности

В создании системы управления атомного энергоблока принимают участие следующие организации:

- проектная организация (генпроектировщик);
- организация - изготовитель ПТК нижнего уровня;
- организация - изготовитель ПТК верхнего уровня (СВБУ);
- организация - изготовитель блочного щита управления (БЩУ).

Инструментальные средства нового поколения

Вышеописанный подход реализован специалистами ВНИИА и МИФИ в САПР нового поколения GET-R1. Поскольку разработка основных частей проекта разделена во времени и выполняется разными организациями, система реализована таким образом, чтобы была возможность последовательно разрабатывать и хранить все основные части проекта SKU (рис. 2).

Помимо поэтапной разработки проекта, система управления энергоблоком имеет функциональное деление на подсистемы, которое задается проектной организацией. Проект SKU энергоблока создается по частям, имеющим общее функциональное назначение (например, система управления пожаротушением или система управления химводоочисткой). Таким образом, имеется горизонтальное и вертикальное деление проекта SKU. На рис. 2 показана реализация такого многоуровневого деления.

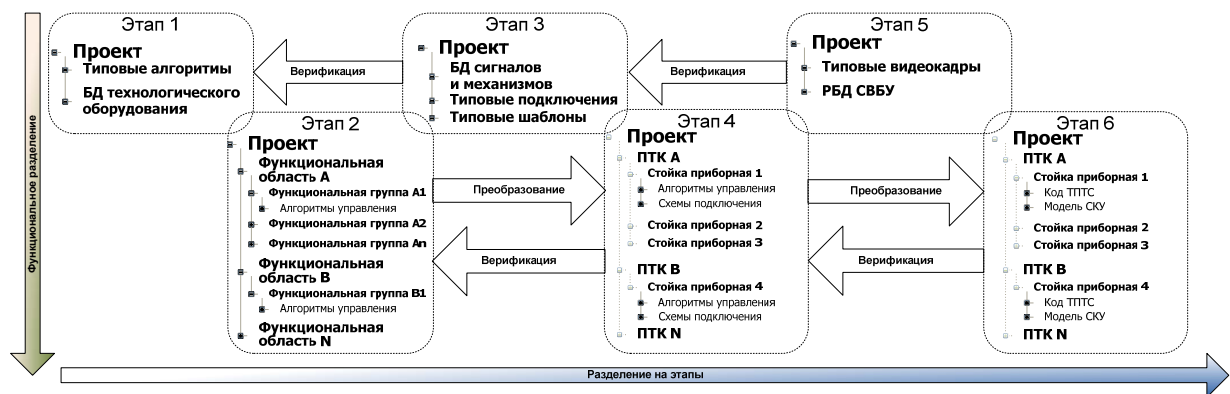


Рис. 2. Этапы и функциональное деление проекта SKU

Разработка типовых алгоритмов, базы данных технологического оборудования на первом этапе и технологических алгоритмов SKU на втором этапе выполняется проектной организацией. Проект на этих этапах не зависит от технических средств автоматики. Проектная организация выполняет также проектирование и третьего этапа, на котором определяются виды и набор технических средств SKU. Совокупно документация этапов 1, 2 и 3 является основанием для запуска производства ПТК.

Алгоритмы управления на этапе 4 создаются автоматизированно на основе документации первого и второго этапов. Однако на этом этапе проектной организации необходимы специалисты-системщики, знающие принципы управления и знакомые со спецификой выбранных технических средств. Этап 5 выполняется разработчиком верхнего уровня совместно с проектной организацией. Этап 6 выполняется производителем выбранных технических средств и завершается функциональными испытаниями ПТК.

Разработанные инструментальные средства GET-R1 полностью покрывают работы по созданию алгоритмов управления и документации по подключениям. Верхний уровень создается производителем верхнего уровня с помощью специфического программного обеспечения. Определен формат данных на этапе 4, на основе которого проект верхнего уровня может быть создан любым производителем.

При разработке данного подхода учтен международный опыт проектных организаций (АО «Атомэнергопроект», АО «Атомпроект») по созданию АСУ для энергоблоков АЭС Бушер, Куданкулам и Тяньвань, а также опыт проектирования SKU российских энергоблоков.

Верификация и автоматизированное преобразование

Особое внимание при разработке описываемого подхода уделено вопросам хранения данных, преобразования данных между этапами и верификации данных. Этапы 2, 4 и 6 (см. рис. 2) являются последовательным развитием одного проекта. Алгоритм технолога на этапе 2, алгоритм управления на этапе 4 и код ТПТС на этапе 6 – один и тот же объект, вклад в разработку которого вносят разные специалисты в разное время. Однако состояние этого

объекта на каждом этапе хранится отдельно. Переход от технологического алгоритма на этапе 2 к алгоритму управления на этапе 4 выполняется автоматизированно с помощью специальной процедуры преобразования. Переход от алгоритма управления к коду прикладной программы ТПТС выполняется автоматически с помощью процедуры генерации кода.

На этапах 4 и 6 введены процедуры автоматической верификации, которые позволяют убедиться в том, что при конвертации и последующей доработке не было сбоев, а также выявить ошибки, допущенные проектировщиком. Цель процедуры верификации алгоритмов управления – выявить несоответствия алгоритмов управления технологическим алгоритмам, если их допустил специалист-системщик. Верификация выполняется путем анализа и сравнения последовательностей функциональных блоков в алгоритмах обоих этапов.

Процедура верификации кода также решает задачу формального подтверждения корректности процедуры генерации. Верификация кода (рис. 3) производится путем обратного восстановления структуры проектных данных по коду и последующего сравнения полученной структуры с данными проекта. Идентичность проектных и восстановленных данных является доказательством соответствия кода и алгоритмов управления.

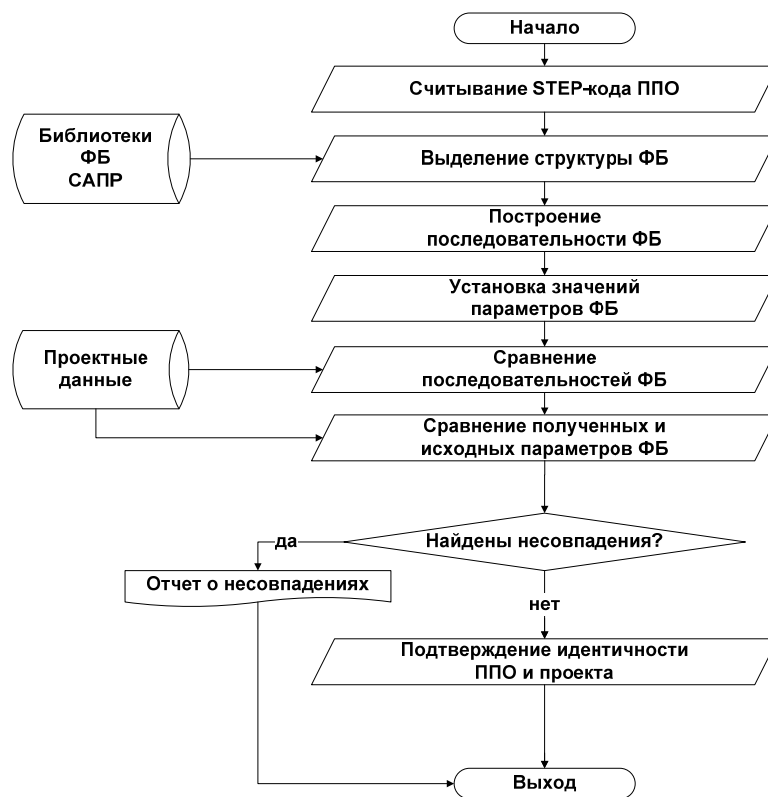


Рис. 3. Алгоритм верификации кода прикладных программ ТПТС

Автоматизация графического проектирования

Часто существует необходимость проведения многочисленных изменений в проекте. Для этого необходимо проделать большое количество однотипных операций, что повышает вероятность допущения ошибки. Для этих задач был разработан специальный проблемно-ориентированный скриптовый язык САПР. Возможности скриптового языка позволяют оперировать всеми функциями проектирования с помощью специального набора команд. В скриптовый язык заложена полная поддержка набора команд предыдущих версий САПР. Базовая концепция синтаксиса языка и набор конструкций программирования похожи на скриптовый язык, встроенный в пакет математического моделирования Matlab. Встроенная в САПР среда с подсветкой синтаксиса позволяет осуществлять разработку и отладку скриптовых программ.

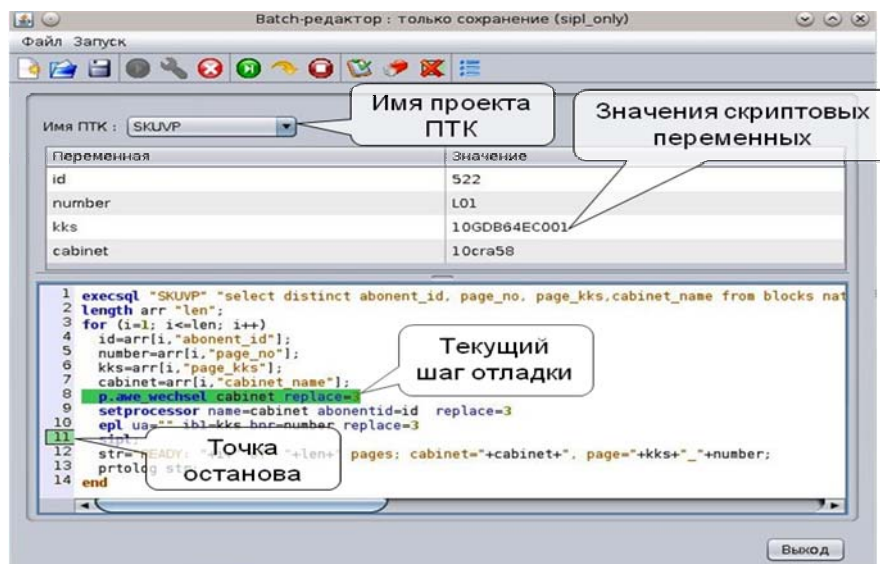


Рис. 4. Интерфейс и пример программы на скриптовом языке программирования САПР

Моделирование

Возможность компьютерного моделирования встроена в САПР GET-R1 и используется как на этапе разработки технологических алгоритмов, так и при создании прикладного ПО СКУ.

Цель моделирования на этапе технологических алгоритмов – выявление ошибок алгоритма на ранних стадиях. Назначение моделирования конечного проекта прикладного ПО СКУ – статическое тестирование алгоритмов управления и выполнение дополнительных автоматических проверок сгенерированных кодов ТПТС.

При помощи модели проектировщик может проверить, так ли работает алгоритм, как он рассчитывал. Кроме того, он может проверить взаимодействие различных алгоритмов. В процессе генерации модели также происходит автоматическая проверка алгоритмов.

Компьютерное моделирование обеспечивает полную повторяемость результата эксперимента при повторении исходных воздействий на алгоритм. Для ускорения работы предусмотрена возможность повторить эксперимент не с самого начала, а с произвольного момента времени. Это достигается за счет запоминания состояния модели в определенный пользователем момент времени.

Заключение

Результатом проведенной работы является технология сквозного проектирования сложных систем управления для атомных энергоблоков.

Разработанная технология проектирования заложена в инструментальные средства нового поколения GET-R1. Инструментальные средства прошли апробацию при разработке проекта системы управления Ленинградской АЭС-2 и используются при проектировании СКУ Белорусской АЭС.

Можно утверждать, что предлагаемый подход позволяет значительно повысить эффективность при создании сложных систем управления, когда в разработку вовлечены большие коллективы разных организаций и необходимо разделить ответственность между ними, одновременно обеспечив прозрачность процесса проектирования и однородность проектных данных.

УДК 004.051

ОСОБЕННОСТИ ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА АППАРАТУРЕ ТПТС ДЛЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Е.Ю. МАЛИКОВА, С.И. КУПЦОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Технология разработки и испытаний программно-технических комплексов (ПТК) для систем контроля и управления опирается на модель жизненного цикла ПТК и входящих в их состав программных средств. Жизненный цикл разбивается на ряд этапов, каждый из которых характеризуется определенными целями и результатами, и которые должны завершаться проверками, подтверждающими качественное завершение каждого этапа.

Далее кратко рассмотрен типовой процесс разработки прикладного программного обеспечения (ПО) в рамках создания ПТК, который успешно применяется во ФГУП «ВНИИА», в том числе и для разработки ПТК, применяемых в системах безопасности (3 и 4 энергоблоки Калининской АЭС). Прикладное программное обеспечение ПТК для систем безопасности разрабатывается в соответствии с рекомендациями МЭК 60880 [1].

До начала разработки ПТК осуществляется кропотливая работа по созданию типовых элементов, которые лежат в основе его программно-аппаратной конфигурации. В этих работах наряду с ФГУП «ВНИИА» принимают участие проектные и наладочные организации, имеющие большой опыт по созданию и наладке подобных комплексов для АЭС. Эти работы завершаются выпуском следующих взаимосогласованных документов:

1. Руководящий документ, определяющий порядок создания ПТК, в котором описаны все этапы работ, включающие анализ задания, конфигурирование, изготовление, испытания и приемку.
2. Типовые схемы подключения периферийного оборудования.
3. Библиотека типовых алгоритмических решений по реализации функций контроля и управления.
4. Библиотека стандартных программных блоков, реализующих определенные алгоритмы и функции.
5. Стандартные методики тестирования ПТК.

Последующее проектирование осуществляется в строгом соответствии с этими документами, что позволяет существенно уменьшить возможные ошибки, как в аппаратной, так и в программной конфигурации ПТК.

Правильно организованный процесс разработки ПТК должен обязательно подкрепляться исчерпывающими проверками на каждом этапе его жизненного цикла (данные таблицы). В этой статье рассматриваются только этапы жизненного цикла ПТК в ФГУП «ВНИИА». Работы с ПТК на площадке АЭС проводятся по документам, выпускаемым организациями, ответственными за ввод ПТК в эксплуатацию.

С целью упорядочения проверочных работ выпускается план верификации и валидации, соответствующий определенным требованиям [2–4]. Для каждого этапа жизненного цикла ПТК план верификации и валидации определяет: задачи; методы верификационных процедур; критерии оценки; исходные данные и порядок оценки результатов верификации; сроки выполнения работ; ресурсы в части персонала, проводящего проверки; распределение

обязанностей и ответственность должностных лиц; требования к оформлению и содержанию документов, выпускаемых по результатам проверок и испытаний.

Наиболее ответственные проверки по этому плану выполняются независимыми экспертами других организаций. Как правило, это организации, которые впоследствии будут осуществлять наладку поставляемых ПТК на АЭС, представители поставщика и самой АЭС, жизненно заинтересованные в хорошем качестве ПТК.

Процесс разработки ПТК

Этап жизненного цикла ПТК	Работа	Метод	Кто проводит	Документ
Задание на разработку ПТК	Верификация задания	Экспертиза	Эксперты ФГУП «ВНИИА»	Заключение по анализу задания. Акт приемки задания
Разработка проекта ПО	Верификация проекта ПО	Автоматизированная проверка соответствия заданию	Эксперты независимых организаций	Отчет по верификации проекта ПО
Генерация кода	Верификация кода	Автоматическая проверка инструментальными средствами	Персонал ФГУП «ВНИИА»	Протокол
Интеграция	Верификации правильности загрузки ПО в ПТК	Автоматическая проверка правильности загрузки	Персонал ФГУП «ВНИИА»	Протокол
Программа и методика тестирования ПТК	Верификация программы и методики	Экспертиза в форме согласования заказчиком и внешними организациями, участвующими в проекте	Эксперты независимых организаций	Согласованная программа и методики
Тестирование ПТК	Валидация	Испытания по программе и методике	Эксперты ФГУП «ВНИИА» и независимых организаций	Отчет
Приемка ПТК	Валидация	Экспертиза	Эксперты ФГУП «ВНИИА» и независимых организаций в составе комиссии по приемке ПТК	Акт комиссии

На этапе выдачи задания на разработку ПТК основной задачей процедуры верификации является проверка соответствия требований и данных, содержащихся в задании, положениям руководящего документа и документации на программно-аппаратные средства. Методом анализа Задания является экспертиза, которая проводится назначенными экспертами ФГУП «ВНИИА». Критерии – соответствие требованиям руководящего документа по составу, полноте, согласованности и правильности оформления, а также соответствие данных, определяющих конфигурацию ПТК, возможностям и техническим характеристикам аппаратуры ТПТС. По результатам анализа выпускается заключение. При наличии замечаний задание направляется на доработку. После устранения замечаний задание принимается по акту.

Для разработки прикладного ПО используются инструментальные средства (GET-R, GET-R1). Это специализированные средства, предназначенные для конфигурирования только аппаратуры ТПТС. Их применение позволяет объединить несколько соседних этапов классической модели жизненного цикла программного обеспечения (от проекта до реализации) и автоматизировать работу на этих этапах.

На этапе разработки проекта прикладного ПО основными верификационными задачами являются: проверка документации на рабочие места с инструментальными средствами конфигурирования, и, главное – проверка разработанного проекта ПО в виде функциональных схем на графическом языке инструментальных средств и параметров, определяющих прикладную конфигурацию ПТК, на соответствие требованиям Задания.

Методом верификации рабочих мест с инструментальными средствами конфигурирования является аттестация, проводимая службой качества ФГУП «ВНИИА». Критерий – соответствие требованиям по составу оборудования и программных средств, наличие необходимой документации, соблюдение руководства по эксплуатации на инструментальные средства. Методом верификации проекта ПО на соответствие требованиям Задания является экспертиза, проводимая независимыми экспертами сторонней организации. Критерий – соответствие проекта ПО требованиям Задания. Проводится автоматизированная проверка соответствия проекта ПО аппаратной конфигурации ПТК (базе данных), а также соответствие принятым библиотечным типовым алгоритмическим решениям по реализации функций контроля и управления.

На этапе генерации кода задачей по верификации является проверка правильности сгенерированного загружаемого кода. Методом верификации является автоматическая проверка, выполняемая инструментальными средствами. Критерий – отсутствие сообщений об ошибках во время выполнения процедуры генерации кода.

На этапе интеграции прикладного ПО с аппаратными средствами задачей по верификации является проверка правильности загрузки ПО в ПТК. Метод проверки – автоматизированное обратное считывание ПО из модулей ПТК и сравнение с исходным разработанным ПО. Критерий – соответствие загруженного и исходного ПО.

На этапе разработки программы и методики тестирования ПТК основной задачей работ по верификации является проверка адекватности программы и методики тестирования. Методом верификации программы и методики функциональных испытаний ПТК является процедура согласования программы и методики с проектными и наладочными организациями, участвующими в создании ПТК, а также с организациями заказчика и регулятора. Критерий – достаточность объема и методов испытаний для подтверждения правильности реализации ПТК (соответствие Заданию).

На этапе тестирования ПТК задачей работ по валидации является подтверждение правильности функционирования ПТК (работы прикладного ПО, реализующего заданные алгоритмы) в реальном аппаратном окружении с применением средств имитации периферийного оборудования (датчики, исполнительные механизмы и т.п.) и системы верхнего блочного уровня. Метод проверки – программа и методика тестирования. Критерий – соответствие ПТК требованиям Задания в части выполняемых функций.

На этапе приемки ПТК основной задачей работ по валидации является рассмотрение имеющейся документации по разработке, изготовлению и тестированию ПТК, а также эксплуатационной документации с целью определения соответствия ПТК требованиям Задания и возможности отправки ПТК на АЭС. Метод проверки – проведение экспертной комиссии по приемке ПТК с участием представителей заказчика, регулирующего органа, других организаций, принимавших участие в работах по созданию ПТК. Критерий – соответствие ПТК требованиям Задания.

Рассмотренные выше работы включены в отдельную процедуру, входящую в состав руководства по обеспечению качества, которая детально описывает процесс выполнения этих работ.

К особенностям работ по проведению верификации и валидации прикладного программного обеспечения ПТК, разрабатываемых ФГУП «ВНИИА» для систем безопасности АЭС, можно отнести следующее:

– Работы по созданию прикладного программного обеспечения выполняются с помощью специализированных инструментальных средств, имеющих сертификат IStec, допускающий их применение для конфигурирования программно-технических комплексов, применяемых в системах безопасности и системах, важных для безопасности. Эти инструментальные средства имеют в своем составе широкий спектр средств проверки правильности проекта ПО и генерации кода.

– Особое внимание уделяется подготовительным работам – разработке типовых, хорошо проверенных решений, лежащих в основе программной конфигурации ПТК. Наиболее ответственные работы по верификации и валидации проводятся независимыми экспертами, работающими в организациях, заинтересованных в надлежащем качестве ПТК.

– Большая часть верификационных и валидационных процедур, относящихся к прикладному ПО, проводится на поставляемом ПТК с применением имитаторов периферийного оборудования и системы верхнего блочного уровня, что позволяет выявлять возможные ошибки ПО в реальном окружении.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 60880 – 2011 «Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории А».
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств».
3. Верификация и валидация программных средств управляющих систем, важных для безопасности атомных станций. Общие требования. Руководящий документ. 58413824.23512.001-390.РД-01-2002.М.
4. IEEE Std 1012. IEEE Standard for Software Verification and Validation Plans.

УДК 621.039.4

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ ТП АЭС НА БАЗЕ ТПТС

А.Н. ЗЯТНИКОВ, В.М. РОГОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия*

Поступила в редакцию 29 января 2015

Согласно МЭК 61513, жизненный цикл автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) АЭС – это необходимая деятельность, которая осуществляется от начальной стадии развития концепции и разработки требований до конечной стадии, когда система больше не может эксплуатироваться. Для процесса разработки АСУ ТП крайне важной является стадия, на которой необходимо установить, соответствует ли данная система требованиям, предъявляемым к функциональным и эксплуатационным характеристикам системы. Проверка данного соответствия выполняется при проведении работ по верификации и валидации АСУ ТП. Для повышения эффективности использования трудовых затрат при создании АСУ ТП АЭС верификация должна быть тесно интегрирована с процессами проектирования, разработки и сопровождения программной системы.

Международный стандарт ISO/IEC 15288 определяет рамки для процессов соглашения, организационных процессов, процессов проекта и технических процессов. В самом стандарте говорится о необходимости его адаптации под задачи конкретной отрасли, а в нашем случае под задачи АСУ ТП АЭС [1].

Стандартом ISO/IEC 15288 предусмотрены следующие технические процессы:

- определение требований заинтересованных лиц;
- анализ требований;
- проектирование архитектуры;
- реализация элементов системы;
- комплексирование;
- верификация;
- ввод в действие;
- валидация;
- функционирование;
- сопровождение (обслуживание);
- вывод из эксплуатации.

На рис. 1 представлена обобщенная V-модель типового жизненного цикла АСУ ТП АЭС. В этой схеме не представлены 1-й и 11-й технический процесс стандарта, а ряд других объединены в одном блоке. Однако, все процессы, изображенные на рис. 1, реально выполняются и описаны в соответствующих договорах, технических заданиях, проектной, рабочей и эксплуатационной документации.

В соответствии с документами «МАГАТЭ. Серия стандартов по безопасности. Программное обеспечение важных для безопасности атомных станций систем, выполненных на основе компьютерной техники. Руководство по безопасности № NS-G-1.1» и «Международный стандарт МЭК 61513. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования» рекомендации по созданию систем АЭС, важных для безопасности, касаются:

- жизненного цикла АСУ ТП;
- назначения и содержания процесса верификации и валидации (далее «V&V») компьютерных систем АЭС, важных для безопасности;
- функциональности инструментальных средств разработки и верификации ПО компьютерных систем АЭС, важных для безопасности.

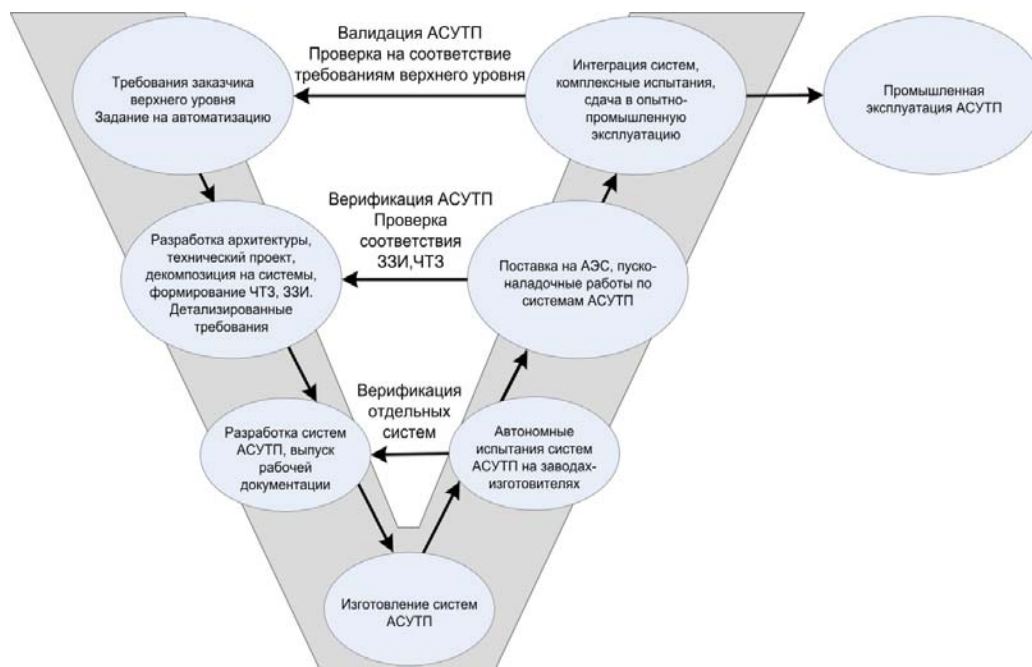


Рис. 1. Обобщенная V-модель типового жизненного цикла АСУ ТП АЭС

Жизненный цикл, согласно МЭК 61513, характеризуется функциональной полнотой и должен предусматривать выполнение:

- верификации документации, которая охватывает практически все этапы ЖЦ;
- интеграции и валидации системы.

С учетом вышеизложенных рекомендаций и обобщенной V-модели типового жизненного цикла, центром испытаний АО «ВНИИАЭС» разработана стратегия верификации и валидации АСУ ТП АЭС, которая предусматривает выполнение следующих этапов верификации / валидации:

- анализ «адаптированных» алгоритмов, входящих в «Задание заводу на изготовление» (ЗЗИ);
- верификация задания заводу на изготовление в части баз данных, содержащих информацию по сигналам и механизмам, таблицам подключения, каталогов типовых решений, схем подключений,
- верификация прикладных конфигураций функциональных компонент СКУ (ППО ПТК / ППО и фасадов ПТС ОДУ / РБД и видеокладов СВБУ);
- предварительные автономные испытания программно-технического комплекса / программно-технической системы (ПТК / ПТС) на заводе-изготовителе;
- валидация СКУ этап 1 (предварительные испытания СКУ на площадке АЭС);
- валидация СКУ этап 2 (испытания СКУ в процессе пусконаладочных работ (ПНР) и режимных испытаний энергоблока) [2].

Первые три пункта данной стратегии выполняются на Полигоне АО ВНИИАЭС и объединены в этап, получивший название «статическое тестирование».

Подробнее рассмотрим статическое тестирование. На этапе статического тестирования проводится тестирование алгоритмов технологических защит, блокировок, систем автоматического регулирования (САР), сигнализации, функций управления исполнительными механизмами, функций приема и обработки сигналов от первичных преобразователей, функционально-группового управления (ФГУ) с целью:

– подтверждения правильности и корректности функционирования алгоритмов управления, защит, формирования сигнализации, алгоритмов САР и технологических блокировок;

– анализа выполнения функций, установленных проектом.

Выполнение данного этапа позволяет устранить значительное количество замечаний, которые ранее могли быть устранены лишь при проведении пусконаладочных работ (ПНР).

Для сокращения трудозатрат и повышения качества статического тестирования необходимо применять инструментально-моделирующие средства для проведения проверок на Полигоне АО «ВНИИАЭС». В настоящее время в комплект поставки ПТК на базе ТПТС входит оборудование ТПТС и инженерная станция САПР GET-R, которая не имеет функции создания математической модели по данным, полученным в результате проектирования. Таким образом, очевидна необходимость применения стороннего инструментального моделирующего средства.

В качестве инструмента верификации АСУ ТП, в основе которых лежат средства ТПТС (с учетом их развития), для проведения статического тестирования на Полигоне АО ВНИИАЭС используют инструментальное средство «ЭНИКАД».

ИС «ЭНИКАД» – продукция компании ЭНИКО ТСО, которая соответствует продуктам ведущих производителей по составу средств и содержанию всех компонентов, необходимых для эффективной разработки, интеграции, отладки и функционирования полномасштабных моделей энергоблока на различных аппаратных комплексах.

Платформа ЭНИКАД позволяет строить модели АСУ ТП как на основе описания реализуемых конкретной системой алгоритмов, так и на основании проектно-конструкторских материалов в полном объеме с их особенностями, уже учитывая конкретную реализацию разработанных алгоритмов на выбранной элементной базе.

Вследствие того, что возможности инструментальных средств верификации и валидации сегодня заметно отстают от возможностей систем проектирования и технологии изготовления, разработка автоматизированных методов верификации прикладного программного обеспечения АСУ ТП АЭС является достаточно актуальной.

При проведении анализа замечаний, выявленных при статическом тестировании, были классифицированы основные виды ошибок, возникающих при проектировании АСУ ТП:

– некорректное исполнение инструкций по проектированию на инженерной станции (назначение телеграмм, маркеров, параметризация функциональных блоков и др.);

– несоответствия GET-проекта базе данных задания заводу на изготовление;

– ошибки при реализации типовых решений в части передачи данных в СВБУ (диапазоны и описание сигналов, коды важности, реализация виртуальных элементов и т.п.);

– несоответствия GET-проекта элементам, установленным на пультах и панелях технологических средств оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ) (шкалы приборов, кол-во кнопок управления и ламп сигнализации и т.п.);

– ошибки при реализации в GET-проекте технологических алгоритмов (ТА).

Значительное количество замечаний можно классифицировать по типу ошибки. Для выявления классифицированных таким образом замечаний необходимо использовать средства автоматизированной верификации.

На этапах создания моделей ПТК по версиям GET-проекта (back-up) прикладного программного обеспечения и разработки рабочих баз данных системы верхнего блочного управления (РБД СВБУ) существует ряд программных средств, позволяющих автоматизировано выявлять ошибки, относящиеся к архитектуре проекта, дублированию имен сигналов, правильной реализации телеграмм и т.п.

В дополнение к уже существующим средствам автоматизированной проверки прикладного программного обеспечения (ППО) ПТК на базе ТПТС было разработано приложение «v_tool» для проведения ряда процедур автоматизированной верификации.

Приложение «v_tool» позволяет автоматизировано выявлять несоответствия различных компонент ППО АСУ ТП, соответствующих заданий на изготовление и нормативной документации по оборудованию ТПТС.

Необходимо отметить возможность проведения повторных автоматизированных проверок для контроля устранения выданных замечаний, а также выявления новых замечаний

при изменении компонент АСУ ТП (итераций). К примеру, количество итераций ППО в части GET-проекта может колебаться от 2 до 15.

Автоматизированные проверки приложения «v_tool» условно разделены на несколько этапов:

- 1) анализ БД ЗЗИ и выявление ошибок, возникающих при проектировании БД ЗЗИ;
- 2) анализ, проверку реализации прикладного программного обеспечения ПТК на базе ТПТС (GET-проект) на соответствие базе данных задания заводу-изготовителю БД ЗЗИ;
- 3) анализ ППО в части GET-проекта (включая анализ STER-кода) и выявление ряда ошибок, возникающих при проектировании GET-проекта;
- 4) анализ РБД СВБУ и выявление ошибок, возникающих при ее генерации;
- 5) подготовку файлов для экспорта в ИС «ЭНИКАД» и СВБУ «ПОРТАЛ» с целью верификации ТС ОДУ (проверки связей GET-проекта и панелей ТС ОДУ).

В настоящее время ИС ЭНИКАД и средство «v_tool» успешно применяются при проведении статического тестирования на Полигоне АО ВНИИАЭС для энергоблока № 4 Белоярской АЭС, энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2, а также для энергоблока № 3 Ростовской АЭС. Статистика замечаний, выявленных при статическом тестировании указанных проектов, приведена в таблице.

Статистика замечаний, выявленных при проведении статического тестирования СКУ АЭС на Полигоне АО ВНИИАЭС

Проект	Замечания, выявленные при статическом тестировании	Замечания, выявленные с использованием приложения verification_tool	Процент соотношения замечаний, выявленных автоматически к замечаниям, выявленным «вручную»
БелАЭС-4	1964	667 (без проверки ТА)	34 %
НВАЭС 2-1	10100	6969	69 %
РоАЭС-3	14140	8059	57 %

В качестве примера выполнения статического тестирования рассмотрим процесс изготовления задания заводу на ПТК СКУ ТО энергоблока 3 Ростовской АЭС. На рис. 2 изображена зависимость устранения замечаний, выявляемых при верификации ПТК на Полигоне АО ВНИИАЭС от изменения ЗЗИ в результате его корректировок по принятым замечаниям (итераций). Важно отметить, что проектанты не всегда выдают последующую итерацию задания заводу на изготовление, полностью устранив все замечания, выданные центром испытаний АО ВНИИАЭС, а при корректировке ППО возможно появление новых ошибок.

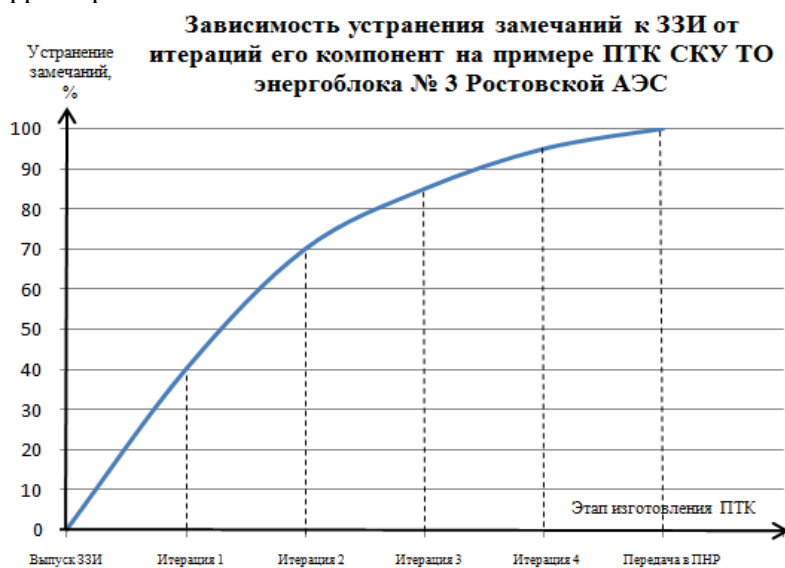


Рис. 2. Зависимость устранения замечаний к ПТК от итераций ЗЗИ

Вследствие указанных факторов график зависимости качества изготовления ЗЗИ от итераций имеет экспоненциальный вид. В точках «Итерация 1», «Итерация 2», «Итерация 3» можно зафиксировать качество изготовления ЗЗИ 40, 70, 80 % соответственно, в связи с тем, что часть замечаний была принята проектантами, но не устранена. На этапах «Итерация 4», «Передача в ПНР» принимались решения об устранении спорных замечаний, снимались неактуальные замечания и составлялся журнал неустраненных замечаний.

Из приведенного выше графика очевидна целесообразность применения автоматизированных средств для контроля устранения замечаний, выдвинутых при выполнении процедуры статического тестирования в предыдущих итерациях ЗЗИ, а также выявления новых замечаний при последующих итерациях ЗЗИ. Разработанные средства автоматизированных проверок позволяют значительно сократить трудозатраты сотрудников на выполнение статического тестирования при наличии итераций ЗЗИ.

На данном этапе основной проблемой развития указанного средства для автоматизации процессов верификации АСУ ТП является недостаточная информативность ЗЗИ в части БД, а также технологических алгоритмов (ТА). Отсутствие единого подхода к созданию ТА (различный формат выполнения/различное оформление ТА при использовании одного формата) не позволяет создать автоматизированное средство для выполнения одной из наиболее трудоемких задач – верификации ТА на соответствие GET-проекту.

Выводы

Рассмотренная стратегия верификации АСУ ТП успешно применялась на Полигоне АО «ВНИИАЭС» для энергоблока № 4 Калининской АЭС, а также в настоящее время применяется для энергоблока № 4 Белоярской АЭС, энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 и энергоблока № 3 Ростовской АЭС. Применение выбранной стратегии и ИС ЭНИКАД позволило выявить и устранить большой объем несоответствий в заданиях на изготовление составных частей АСУ ТП, реализуемых проектантами и заводами изготовителями оборудования АСУ ТП, что способствует сокращению затрат на ПНР и в целом повышает качество и безопасность АСУ ТП АЭС. Разработанное средство «v_tool» успешно прошло проверку на реальных проектах и было включено в технологию статического тестирования ППО ПТК на средствах ТПТС, применяемую центром испытаний АО «ВНИИАЭС» для энергоблоков российских АЭС.

Список литературы

1. *Боженков О.Л., Кабачников А.Б.* // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2009. № 2.
2. *Дунаев В.Г., Чернаков В.А., Лялюк Н.Г.* Опыт и перспективы использования инструментальных моделирующих средств и Полигона главного конструктора в проектах АСУ ТП АЭС. М., 2010.

УДК 621.039.4

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СТАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТПТС-ЕМ,51

Ю.В. КРАЮШКИН¹, Е.В. МИНАЕВ¹, В.А. ЧЕРНАКОВ^{1,2}

¹НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия

Поступила в редакцию 30 января 2015

Нижний уровень современных цифровых АСУ ТП АЭС российского дизайна (энергоблоки: Бушер-1; Куданкулам-1,2; Калинин-3,4; Ростов-2,3,4; Нововоронежская АЭС-2 блоки № 1, 2; Белоярская АЭС блок № 4) реализуется в основном на схожих по структуре средствах ТПТС-51 и ТПТС-ЕМ (далее – средства ТПТС) и характеризуется огромным количеством (десятки тысяч) алгоритмов управления и входных/выходных сигналов (более сотни тысяч).

Штатные средства сопровождения программно-технических комплексов на базе средств ТПТС (ПТК ТПТС), поставляемых ФГУП «ВНИИА» (инженерная ГЕТ-станция с САПР GЕT-R, предназначенная для проектирования прикладного ПО ПТК ТПТС в виде набора GЕT-планов, и программатор ТПТС для оперативного просмотра и анализа прикладного ПО модулей ТПТС) хотя и позволяют контролировать на низовом программном уровне состояние прикладного ПО ПТК ТПТС, но требуют очень большого количества трудоемких операций, производимых вручную, при анализе состояния алгоритмов управления, реализуемых в ПТК ТПТС. Это, с одной стороны, снижает качество анализа этих алгоритмов, а с другой стороны, ведет к очень высоким трудозатратам квалифицированного персонала на проведение сравнения и анализа многократно меняющихся в ходе проекта АСУ ТП версий прикладного ПО как самих ПТК ТПТС, так и связанной с ними системы верхнего блочного уровня (СВБУ) АСУ ТП.

Кроме того, программаторы ТПТС могут быть использованы лишь совместно с аппаратными средствами ТПТС и непригодны для тестирования загружаемых в ТПТС программных модулей в отсутствие этих средств, что не позволяет использовать их для тестирования прикладного ПО ПТК ТПТС на ранних стадиях проекта АСУ ТП, когда аппаратные средства ПТК ТПТС еще не изготовлены. В инженерной ГЕТ-станции отсутствуют средства генерации модели по GЕT-проекту, которая необходима для его эффективного анализа, и средства автоматизированного сравнения различных версий прикладного ПО ПТК ТПТС.

В связи с вышеизложенным, для эффективного тестирования прикладного ПО ПТК ТПТС в НИЯУ МИФИ был разработан и постоянно совершенствуется Программный Комплекс для Статического Тестирования прикладного ПО ПТК ТПТС (ПКСТ). ПКСТ разработан на базе интегрированной системы (ИС) ENICAD [1], созданной для разработки полномасштабных моделей АЭС и ТЭС фирмой ЭНИКО ТСО, входящей в Технопарк при МИФИ. Он предоставляет следующие возможности:

– автоматизировать архивацию и сравнение различных версий ПО ПТК ТПТС на стандартном ПК с выдачей списка GЕT-планов, в которых имеются различия, и визуализацией этих отличий как на самих GЕT-планах, так и в виде протоколов;

- полностью динамизировать («оживлять») GET-планы по значениям, рассчитываемым моделью ПТК ТПТС, на экране стандартного ПК (отображать значения всех сигналов GET-плана в наглядной форме непосредственно на GET-плане);
- полностью динамизировать GET-планы по сигналам реальной аппаратуры ПТК ТПТС; обеспечить быструю и эффективную навигацию для оперативного перехода к требуемым листам GET-планов при проведении тестирования;
- обеспечить печать динамизированных GET-планов;
- обеспечить на стандартном ПК с помощью динамизированных GET-планов эффективное тестирование и анализ прикладного ПО ПТК ТПТС как в отсутствие реальной аппаратуры ПТК ТПТС с помощью полностью адекватных моделей ПТК ТПТС, так и на реальной аппаратуре ПТК ТПТС, включая тестирование связей ПТК ТПТС с СВБУ и виртуальными блочным (БПУ) и резервным (РПУ) пультами управления АЭС.

Методика и результаты использования ПКСТ для статического тестирования прикладного ПО ПТК ТПТС в связке с моделью СВБУ, генерируемой по файлам прикладного ПО штатной СВБУ на базе платформы ПОРТАЛ автоматизированным способом, и виртуальными БПУ/РПУ подробно описаны в представленном на этой конференции докладе АО "ВНИИАЭС" «Развитие методов верификации прикладного программного обеспечения АСУ ТП АЭС на базе ТПТС» [2]. С использованием ПКСТ силами Главного конструктора АСУ ТП – АО «ВНИИАЭС» и наладочной организации АО «Атомтехэнерго» было успешно проведено статическое тестирование всех вышеперечисленных проектов на базе современных цифровых АСУ ТП АЭС российского дизайна.

Далее остановимся на основных возможностях и особенностях последней версии ПКСТ.

Моделирование ПТК ТПТС

Исходными данными для создания модели ПТК ТПТС является резервная копия GET-проекта, создаваемая штатными средствами САПР GET-R. Модель генерируется автоматически на основе STEP-кодов, присутствующих в GET-проекте. Другие данные, присутствующие в резервной копии, используются для именованя переменных модели, но на работу сгенерированной модели они не влияют.

В состав сгенерированной модели входят собственно модели отдельных стоек ТПТС и простые модели исполнительных механизмов, управляемых этими стойками. В случае если генерируемая модель отдельного исполнительного механизма недостаточно адекватна, можно отключить ее генерацию и сделать более точную модель механизма другими средствами ИС ENICAD.

Сгенерированная модель совместима с ИС ENICAD и может использоваться для статического тестирования, для включения в состав тренажера и для других целей.

Моделируются не только работа базовых функций модулей ТПТС и выполнение команд языка STEP, но и связи между модулями ТПТС через EAS в одной стойке и обмен телеграммами между EAS разных стоек. Модель выдает полный набор данных телеграмм головных и канальных операторов, что позволяет подключить модель ПТК ТПТС через специализированный драйвер к модели СВБУ и виртуальным БПУ/РПУ. В составе ИС ENICAD имеются драйверы как для связи с СВБУ, разработанными АО "ВНИИАЭС" на базе платформы ПОРТАЛ версий 1.0 и 2.0, так для связи с произвольным верхом через шину EN.

ИС ENICAD использовался при разработке целого ряда полномасштабных тренажеров атомных и тепловых станций [1], в частности для самых совершенных в России полномасштабных тренажеров для энергоблоков № 3,4 Калининской АЭС (совместная разработка НИЯУ МИФИ и АО "ВНИИАЭС"). Интерфейс через шину EN, в частности, был использован в успешно реализованном проекте ЗАО "Интеравтоматика" и ЭНИКО ТСО по созданию полномасштабного тренажера Березовской ГРЭС.

Моделирование обмена телеграммами между стойками ТПТС сделано таким образом, что если модели двух стоек сделаны независимо, достаточно загрузить эти модели одновременно в ИС ENICAD, чтобы они смогли обмениваться телеграммами.

Модель обеспечивает быстрый доступ ENICAD к значению любого маркера смоделированных модулей ТПТС. Для тестирования алгоритмов на модели поддерживается

возможность задания значения на любом аппаратном входе смоделированного ПТК ТПТС, а также возможность фиксации значения любого промежуточного маркера.

Визуализация GET-планов

ПКСТ дает возможность считывать из резервной копии и отображать GET-планы. При отображении GET-план снабжается дополнительными кнопками перехода, позволяющими перемещаться по GET-планам вдоль путей распространения сигналов. Кроме того, соединительные линии GET-плана могут быть окрашены в соответствии с текущим значением маркера. Текущее значение маркера ПКСТ может получать либо от модели ПТК ТПТС, либо непосредственно от аппаратуры ПТК ТПТС. Возможен также вывод значений маркеров на графики и вызов собственных информационных или управляющих окон, реализованных средствами ИС ENICAD для канальных операторов. Фрагмент GET-плана с кнопками перехода, окраской соединительных линий по значениям сигналов и «ярлыками» для отображения значений в символьной форме, приведен на рис. 1. Также видны окно для задания вводимого сигнала датчика и кнопка ВВ для задания его недостоверности (фрагмент сделан при работе с моделью).

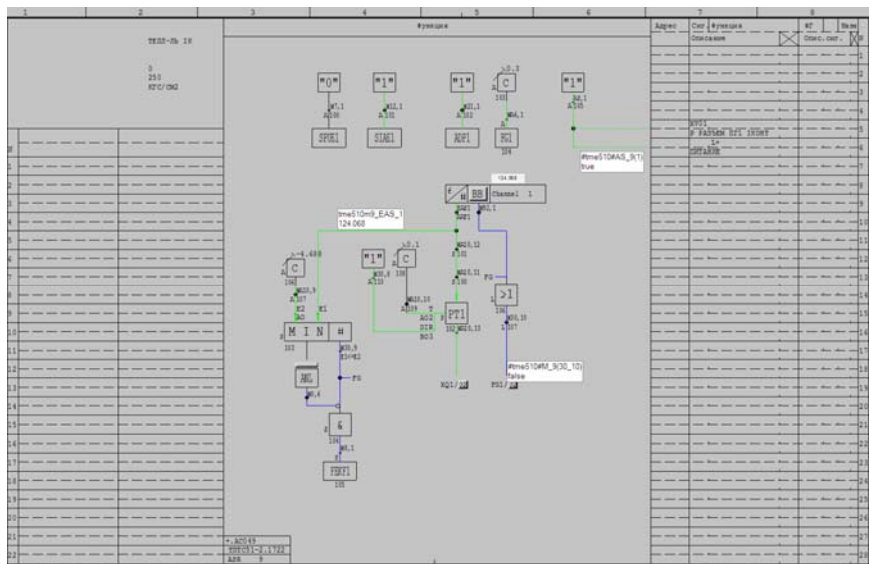


Рис. 1. Фрагмент GET-плана с анимацией

Сравнение версий GET-проектов

Обычно в GET-проект блока АЭС с ВВЭР-100 входят десятки тысяч листов со схемами алгоритмов (GET-планов). Поддержка проекта такого объема требует возможности автоматического сравнения версий проекта. В ПКСТ есть возможность сравнить различные версии GET-проекта одной стойки и показать, в каких GET-планах имеются различия и в чем они состоят. В настройках сравнения можно указать, какие данные GET-планов подлежат учету, а какие следует игнорировать. К таким данным относятся адреса маркеров, порядок счета, номера телеграмм, описания сигналов.

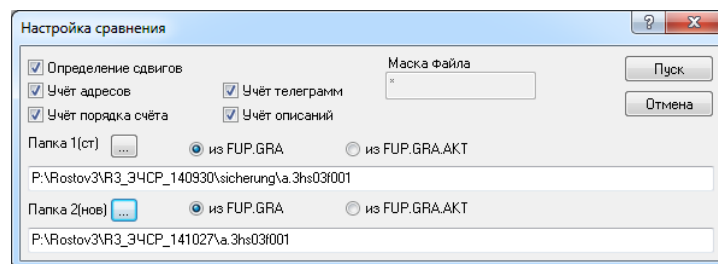


Рис. 2. Настройка сравнения

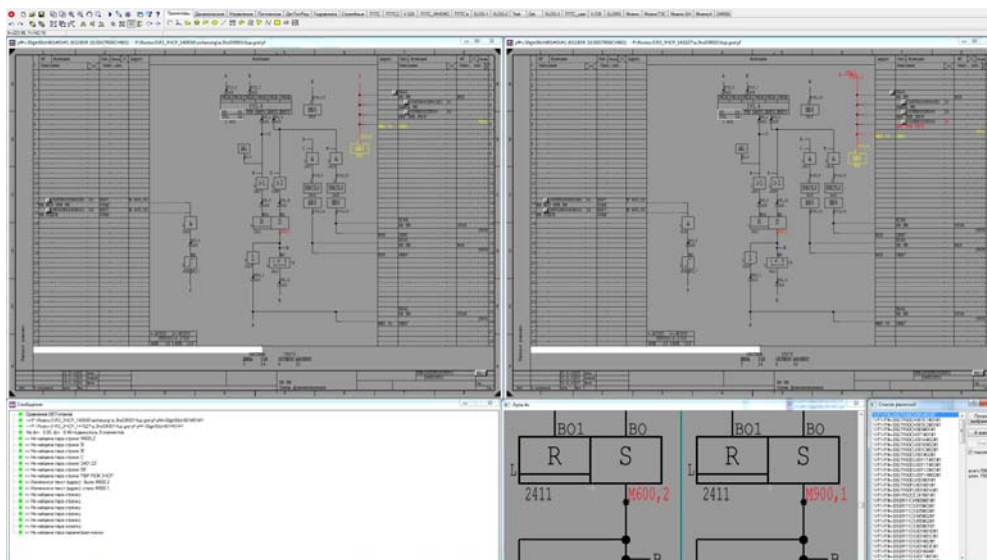


Рис. 3. Результат сравнения.

Как показала практика использования ПКСТ, сравнение версий значительно снижает трудозатраты высококвалифицированного персонала при анализе изменений GET-проекта и при наладке цифровых АСУ ТП на базе средств ТПТС.

Работа с аппаратурой ТПТС

Для поддержки тестирования прикладного ПО, загруженного в аппаратуру ПТК ТПТС, ПКСТ обеспечивает следующие возможности:

- считывание реальных и имитируемых значений маркеров;
- построение полного списка имитируемых в данный момент маркеров;
- считывание данных канальных операторов при помощи PL-запросов;
- считывание истории EAS в файл (с поддержкой плавного обновления файла при периодическом считывании);
- задание имитации маркера вручную или по внешнему файлу с перечнем маркеров и значений для имитации;
- снятие имитации по файлу (аналогичному использованному для ее установки);
- запись значения в маркер;
- передачу команды или уставки в канальный оператор при помощи PS-запросов;
- выполнение сценария, способного управлять имитацией маркеров, выдавать команды канальным операторам и проверять значения сигналов, с регистрацией хода выполнения и остановкой при несоответствии значения сигнала указанному в сценарии условию.

Все воздействия на аппаратуру ПТК ТПТС производятся с контролем доступа при помощи электронного ключа и с протоколированием. Перечисленные возможности по работе с аппаратурой реализуются при помощи специализированных модулей связи с шиной (N-AT или N-PCI для шины CS-275, EN-PCI для шины EN). Кроме того, для шины EN в ПКСТ обеспечена возможность работы через стандартный контроллер типа Ethernet.

Заключение

ПКСТ является эффективным средством поддержки разработки, тестирования и эксплуатации SKU на базе ТПТС-51 и ТПТС-ЕМ. Аналогичные средства для ТПТС-НТ и ТПТС-СБ разрабатываются.

Список литературы

1. Чернаков В.А., Королев С.А., Выговский С.Б. и др. // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2009. № 2.
2. Зятников А.Н., Rogov В.М. // I Междунар. науч.-технич. конф. «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС». Минск, 25–27 февраля 2015 г.

УДК 621.039.4

**СЕРТИФИКАЦИЯ, ИСПЫТАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ НА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС.
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НПЦ ИТ ФГУП «ВНИИА»**

О.А. ГЕРАСИМЧУК, О.В. САРЫЛОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова
Суцневская, 22, Москва, 127055, Россия*

*Испытательный центр Всероссийского НИИ Автоматики Им. Н. Л. Духова
ул. Луганская, 9, Москва 115304, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Приведены материалы о деятельности испытательного центра, функционирующего во ФГУП «ВНИИА» с 2000 г. Основная деятельность центра заключается в выполнении работ по обеспечению помехоустойчивости оборудования, важного для безопасности, объектов использования атомной энергии посредством проведения приемо-сдаточных, сертификационных, регламентных, комиссионных испытаний на помехоустойчивость и мониторингов электромагнитной обстановки среды эксплуатации.

В декабре 2012 г. во ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» введен в эксплуатацию уникальный в России технологический комплекс с полубезэховой экранированной камерой с 10-метровой испытательной базой (реальные габариты 21×13×9 м), позволяющий испытывать крупногабаритные изделия комплексно, в сборе, с оценкой полнофункциональных алгоритмов их работы. Новейший технологический комплекс введен в состав испытательного центра технических средств по требованиям электромагнитной совместимости, ИЦ НПЦ ИТ «ВНИИА» (далее по тексту – ИЦ), который оснащен самым современным испытательным оборудованием и специальной измерительной аппаратурой ведущих в этой области фирм мира, удовлетворяющим действующим в России, Европе, Америке стандартам.



Рис. 1. Вид полубезэховой экранированной камеры с 10 метровой испытательной базой для диапазона частот от 10 кГц до 40 ГГц

Ввод в эксплуатацию современного технологического комплекса способствует формированию единой и долговременной технической политики ГК «Росатом» в области электромагнитной совместимости путем обеспечения соответствия оборудования систем, важных для безопасности, всему комплексу самых современных отечественных и зарубежных стандартов, актуализации российской нормативной базы с учетом лучших международных практик и проведению исследовательских работ на новом высокотехнологическом уровне.

Также в составе испытательного центра функционирует 3-метровая полубезэховая экранированная камера Lindgren-Rauroof с радиочастотным поглощающим материалом фирмы TDK для испытаний технических средств в частотном диапазоне до 18 ГГц, для контроля эмиссии помех в диапазоне частот от 9 кГц до 18 ГГц и испытаний на устойчивость в диапазоне от 80 МГц до 2 ГГц при уровнях нагружения до 100 В/м (МЭК 61000-4-3, МЭК 61000-4-6). ИЦ оснащен экранированными камерами, полеобразующими установками и необходимым количеством рабочих мест, включая оборудование, необходимое для обеспечения выездных работ.

Основные характеристики экранированных камер

№ п/п	Параметры	ПБЭК-3	ПБЭК-10
1	Размеры (Д×Ш×В) м ³	8,5×6,1×5,5	13×21×9
2	Расстояние между приемно-передающей антенной и центром поворотного стола	3 м	10 м
3	Высота и ширина двери камеры, соответственно	1,9;1,6	3,6; 3,6
4	Диаметр поворотного стола, м	2,0	4,0
5	Грузоподъемность поворотного стола, кг	500	3000
6	Диапазон экранирования	9 кГц - 18ГГц	9 кГц-40 ГГц
7	Нагружение радиочастотным полем	до 2 ГГц 100 В/м	до 18 ГГц 200 В/м

Информационный центр имеет Систему менеджмента качества (СМК) испытаний, которая сертифицирована в Центре сертификации «Атомвоенсерт» в Системе «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР» и распространяется, а также сертифицирована органом по сертификации общества TÜV SÜD Management Service на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008 (Сертификат рег. № 12 100 22919 TMS, срок действия до 05.05.2016).

Область деятельности ИЦ – проведение испытаний технических средств по требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС) в части определения устойчивости к внешним электромагнитным воздействиям природного и техногенного характера, оценки уровней напряженности и напряжения промышленных радиопомех, создаваемых при работе технических средств.

Основные направления деятельности:

- проведение сертификационных испытаний;
- проведение регламентных испытаний оборудования систем важных для безопасности (при продлении ресурса и при пуско-наладочных испытаниях);
- оказание услуг в проведении комплексных сертификационных испытаний широкого спектра продукции различных отраслей промышленности по требованиям ЭМС;
- проведение заводских, типовых, исследовательских испытаний технических средств по требованиям ЭМС и внешних воздействующих факторов;
- разработка и согласование в установленном порядке с органами Ростехнадзора рабочих программ и методик испытаний оборудования;
- оказание консультативной помощи в решении вопросов ЭМС технических средств;
- исследование электромагнитной обстановки на действующих объектах энергетики, в т.ч. атомной (АЭС и специальные стенды), а также других промышленных объектах или механизмах, таких как подводные лодки, корабли или самолеты, для решения проблем ЭМС технических средств;

– участие в решении проблемы ЭМС в проектах новых промышленных объектов в процессе реконструкции оборудования и каналов связи на действующих объектах;
– разработка и утверждение в установленном в Росатоме, Ростехнадзоре порядке нормативных документов по ЭМС и функциональной безопасности.

Испытательная база ИЦ позволяет проводить испытания технических средств более чем на 40 видов электромагнитных воздействий, в том числе испытания на помехоустойчивость полей различных видов до 200 В/м, электростатических разрядов до 15 кВ, коммутационных помех до 10 кВ, переходных режимов в энергосистеме до 25 %, кондуктивных помех до 100 В в линиях связи и электропитания, измерение помехоэмиссии в соответствии с СИСНР-11 и СИСНР-22.

Основные используемые стандарты: ГОСТ 32137-2013, ГОСТ Р 51317.6.5-2006, ГОСТ Р 51317.6.2-2007, ГОСТ Р 51317.6.4-99, MIL-STD-461E, Квалификационные требования КТ-160D, ГОСТ РВ 6601-001-2008.

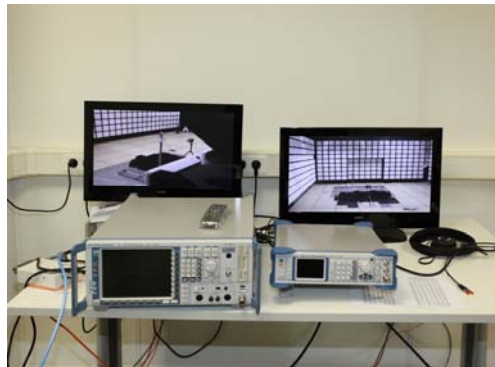


Рис. 2. Измерительный приемник и генератор фирмы Rohde@Schwarz (9 кГц-40 ГГц)

Опыт работ ИЦ

Сертификация. Начиная с 2000 г. ИЦ «ВНИИА» аккредитован в Системе сертификации оборудования, изделий и технологий для ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения (Система ОИТ), имеет лицензии Ростехнадзора на проведение испытаний и разработку программ-методик на электромагнитную совместимость.

В рамках работ по сертификации ИЦ ежегодно проводит десятки работ по направлению Органов сертификации по подтверждению соответствия требованиям электромагнитной совместимости оборудования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), поставляемого на российские и зарубежные АЭС. Всего за этот период времени проведено более 1500 испытаний на ЭМС, как сертификационных, так и исследовательских и приемосдаточных.

Цикл испытаний, измерений, исследований, доработок по повышению помехоустойчивости преобразователей давления, проведенных ИЦ «ВНИИА» с 2000 г., позволил создать помехоустойчивые модификации датчиков давления, в т.ч. ТЖИУ-406 производства ФГУП «ВНИИА», и снизить количество сбоев и остановов энергоблоков АЭС по причине недостаточной помехоустойчивости до 0 за последние годы, тогда как ранее они происходили с периодичностью от 1 до нескольких раз в год, что являлось причиной существенной недовыработки электроэнергии.

Выездные испытания на АЭС. Проводились выездные работы по испытаниям на устойчивость и измерениям электромагнитной обстановки систем важных для безопасности на энергоблоках: Белоярской (сертификация АКНП, АРМ, АЗ, 2-го комплекта СУЗ ЭБ-3), Волгодонской (систем измерительных каналов и систем автоматического регулирования реакторного и турбинного отделения, агрегата бесперебойного питания, СВРК01-01, АСУТ-1000-2РМ1 ЭБ-1), Ленинградской (КСКУЗ, КРВ), Курской (модернизация КСКУЗ ЭБ 1-4, внедрение системы бесперебойного электроснабжения), Калининской АЭС (внедрение стационарной системы диагностирования электроприводной арматуры, модернизация СВБУ), Кольской (внедрение TELEPERM XS для модернизации СУЗ-УСБТ ЭБ-3, модернизация КЭ

СУЗ СНПО «Импульс» РУ ВВЭР-440 ЭБ-4), Нововоронежской АЭС. Испытания проводились как при продлении ресурса, так и при модернизации оборудования АСУ ТП.

Выполнение комплекса работ по повышению помехоустойчивости каналов и кабельных трасс СУЗ ЭБ-5 Нововоронежской АЭС в соответствии с Приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» № 9/725-П от 17.06.2011 г. «О нарушении на энергоблоке № 4 Курской АЭС 25.04.2011 г.» позволило установить и подтвердить теоретические предположения о том, что результаты испытаний в испытательной лаборатории и непосредственно в среде эксплуатации могут отличаться.

Например, при воздействии кондуктивных и наносекундных помех на линии связи СУЗ выявлено существенное отклонение сигналов, вплоть до срабатывания АЗ-ПЗ, тогда как в лаборатории испытания прошли без сбоев. Разница результатов испытаний объясняется как условиями проведения испытаний (жесткостью электромагнитной обстановки (ЭМО)), так и способом установки испытуемого оборудования, заземления кабелей связи, их типов и количества.

Для обоснования возможности дальнейшей эксплуатации энергоблока был проведен мониторинг электромагнитной обстановки, который показал, что существующие виды помех и их амплитуды при штатной эксплуатации энергоблока на мощности существенно ниже амплитуд подаваемых при испытаниях воздействий. Разница же результатов испытаний объяснена ниже.

Измерения на площадке строительства АЭС. В рамках отчета по обоснованию безопасности площадки строительства (Заказчик – АО «Атомпроект» филиал «СПбАЭП») осуществлялись измерения параметров электромагнитной обстановки на территории и в районе размещения Белоярской АЭС-2 (2012 г.), Ленинградской АЭС-2 (2014 г.). Целью исследования являлись выявление и классификация возможных источников сильных электромагнитных явлений природного и техногенного происхождения в районе и на территории сооружения энергоблоков. Необходимость проведения работ определяется НП-064-05 «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии», которые требуют обеспечить учет влияния на безопасность энергоблока явлений и факторов природного и техногенного происхождения и их источников с учетом их удаления от АЭС в зоне 5 км и определения параметров воздействий на АЭС, вызванных радиочастотными электромагнитными полями.



Рис. 3. Измерение низкочастотных полей при помощи штыревой антенны на площадке

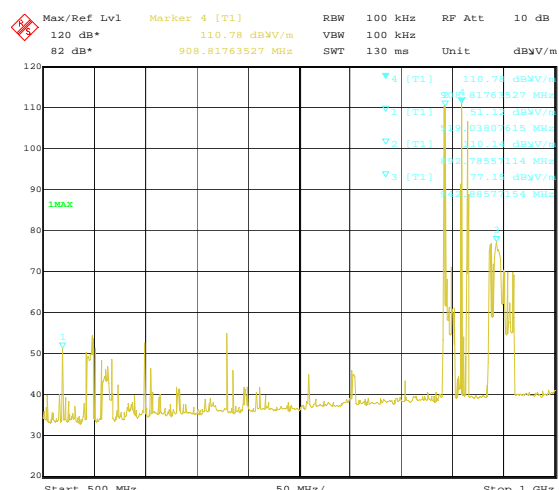


Рис 4. Напряженность радиочастотного поля в полосе частот 500 МГц–1 ГГц. Вертикальная поляризация. Направление север

По результатам измерений воздействия внешнего радиочастотного поля от техногенных источников излучения в диапазоне частот от 20 МГц до 40 ГГц в районе размещения ЛАЭС-2 по результатам обследования на стадии сооружения ЭБ-1 можно отнести к III степени опасности. Площадка размещения ЛАЭС-2 классифицируется классом А, на которой

отсутствуют внешние радиочастотные воздействия техногенных источников I и II степени опасности.

Коэффициент экранирования стен ядерного острова составляет не менее 40 дБ на частотах до 1 ГГц, выше 70 дБ на частотах выше 1 ГГц и свыше 100 дБ на частотах выше 6 ГГц. Оцениваемый коэффициент экранирования сильно зависит от условия, приведенного выше, т.е. близости к точке измерений дверей, проемов, окон. Результаты оценок подтверждают высокую эффективность концепции эквипотенциальных поверхностей, предложенной проектной организацией.

ИЦ осваивает новые направления деятельности. Так, с 2011 г. проводятся испытания электрорадиоизделий и электронных модулей, а также паспортно-визовых документов нового поколения со встроенной микросхемой, на соответствие заданным требованиям по стойкости и устойчивости к электромагнитным воздействиям.

Методология испытаний. Для повышения качества испытаний и надежности испытываемых технических средств в ИЦ программы-методики испытаний разрабатываются для каждого конкретного изделия в зависимости от его назначения и влияния на безопасность (ядерных объектов) на основании анализа представленной технической документации и проектных решений.

Испытания проводятся в ИЦ с целью получения положительных результатов за счет доработки по месту испытаний с учетом наработанного опыта и рекомендаций специалистов ИЦ. Это позволяет ускорить процесс ввода и повысить безопасность эксплуатации сертифицируемых изделий. На основании проведенных испытаний выпускается протокол испытаний и, при необходимости, вырабатываются рекомендации по повышению помехоустойчивости изделий и доведению до нормативных требований.

Таким образом, ИЦ «ВНИИА» предлагает использовать свою современную испытательную и измерительную базу, долговременный опыт успешных работ для решения проблем электромагнитной совместимости, что обеспечит безопасную эксплуатацию объектов использования атомной энергии и увеличит эффективность их функционирования.

УДК 621.039.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

В.Н. САРЫЛОВ, О.В. САРЫЛОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия,*

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцневская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 22 января 2015

В процессе эксплуатации на энергоблоках атомных станций технические средства систем контроля и управления подвергаются промышленным электромагнитным воздействиям которые могут оказывать негативное влияние на функциональную безопасность управляющих систем безопасности и эксплуатационную устойчивость энергоблоков АЭС.

В соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии для обеспечения безопасности атомных станций должна гарантироваться их устойчивость при внешних воздействиях. Системы и элементы АЭС, важные для безопасности, должны быть устойчивы к внешним воздействиям, регламентированным нормативной документацией.

При внешних воздействиях на АЭС должны предотвращаться недопустимые с точки зрения выполнения функций безопасности повреждения или отказы систем и элементов, важных для безопасности.

Частота возникновения электромагнитных воздействий и их амплитуды должны выявляться как в окружающей местности, так и на площадке сооружения АЭС для оценки опасности их влияния на безопасность АЭС.

По результатам обследований электромагнитной обстановки проводится выбор мер по инженерной защите как оборудования, так и зданий и сооружений АЭС, проводится подтверждение соответствия систем и элементов, важных для безопасности, требованиям нормативных документов, проводится классификация по степеням опасности электромагнитных воздействий на функционирование оборудования, классификация площадки размещения АЭС и электромагнитной обстановки в помещениях размещения оборудования и систем важных для безопасности.

Одним из направлений деятельности АО «ВНИИАЭС» является организация подтверждения соответствия нормируемым требованиям и реализация работ по обеспечению электромагнитной совместимости технических средств автоматизации, программно-технических средств и комплексов на действующих, модернизируемых и вновь вводимых энергоблоках АЭС.

Работы проводятся совместно с испытательным центром ФГУП «ВНИИА» в соответствии с:

– Указаниями «Концерн «Росэнергоатом» № 175 и № 104 УК «О повышении помехоустойчивости оборудования, эксплуатируемого на атомных станциях»;

– «Программой повышения помехозащищенности оборудования и систем АЭС по результатам анализа проведенных обследований», утвержденной «Концерном «Росэнергоатом», от 13.11.2007 г.;

– Руководящим документом РД ЭО 0439-02 «Порядок оценки устойчивости элементов систем контроля и управления к электромагнитным воздействиям при модернизации и продлении эксплуатации на атомных станциях»;

– Руководящим документом эксплуатирующей организации «РД ЭО 1.1.2.25.0943-2013 «Требования к обеспечению электромагнитной совместимости систем контроля и управления атомных станций на этапах жизненного цикла».

Работы проводятся на этапах разработки и изготовления, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и модернизации ПТС/ПТК АСУ ТП в объеме продления эксплуатации сверх назначенного срока службы.

Нормативные требования и особенности подтверждения соответствия продукции для АЭС требованиям электромагнитной совместимости

Особенности стандартизации и подтверждения соответствия продукции для объектов использования атомной энергии, в том числе в части электромагнитной совместимости, установлены в Федеральном законе о техническом регулировании от 27.12.2012 г., № 184 ФЗ, в постановлении Правительства Российской Федерации от 01.03.2013 г. и в нормативном правовом акте органа государственного регулирования безопасности Ростехнадзор.

Технические средства АЭС, в зависимости от назначения и влияния на безопасность, входят в состав систем нормальной эксплуатации (СНЭ), систем важных для безопасности (СВБ), систем безопасности (ТСБ).

В качестве ТС СНЭ может использоваться общепромышленное оборудование, предназначенное как для самостоятельного (автономного) применения, так и для комплектации ТС СВБ и СБ в соответствии с положением НП-071-06 федеральных норм и правил (ФНП) в области использования атомной энергии.

Нарушения нормального функционирования ТС СВБ и СБ в условиях эксплуатации при возникновении электромагнитных помех на АЭС могут приводить, например, к несанкционированным остановам энергоблоков АЭС, или к самопроизвольным («самоходы») извлечениям поглотителей нейтронов из активной зоны ядерных реакторов, что может снизить эксплуатационную устойчивость энергоблоков или привести к нарушениям условий их безопасной эксплуатации.

Федеральный закон об использовании атомной энергии (ФЗ-170) устанавливает требования к ФНП (НП-001-97), в соответствии с которыми к ТС более высокого класса безопасности (СБ, СВБ) устанавливаются более высокие требования, в том числе по электромагнитной совместимости (ЭМС), нежели к ТС более низкого класса безопасности (СНЭ).

Федеральный закон о техническом регулировании (ФЗ-184) и выпущенное на его основе постановление Правительства Российской Федерации от 01.03.2013г. №173 (ПП-173) устанавливают положение об особенностях стандартизации в области использования атомной энергии, в соответствии с которыми не допускается противоречий документов по стандартизации требованиям ФНП, устанавливаются требования обеспечения необходимого уровня безопасности и требования гармонизации с международными стандартами.

Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 020/2011) хотя и не содержит в своем перечне продукции для АЭС, но включает в перечень нормативной документации межгосударственный стандарт ГОСТ 32137-2013 по электромагнитной совместимости технических средств для атомных станций и, в соответствии с пунктом 2 Статьи 7, устанавливает положение о возможности подтверждения соответствия продукции, не включенной в Перечень, в форме сертификации – по решению изготовителя или импортера. Поэтому положения ТР ТС 020/2011 совместно с положениями ПП-173 об особенностях стандартизации в области использования атомной энергии могут использоваться для подтверждения соответствия требованиям электромагнитной совместимости, например, при поставке ТС СНЭ на АЭС.

В настоящее время как зарубежные, так и российские фирмы поставляют ТС СНЭ, СВБ и СБ как на российские, так и на зарубежные АЭС. Различные фирмы при оценке соответствия требованиям электромагнитной совместимости продукции, поставляемой на атомные станции,

используют различные международные и национальные стандарты, которые, однако, не учитывают требований ФНП. Зарубежные фирмы при поставке ТС (СНЭ, СВБ, СБ), в том числе на российские АЭС, используют общий стандарт по ЭМС МЭК 61000-6-2, или основанные на его требованиях национальные стандарты (например, КТА 3503 – Германия, CSN 33-2000 и ZAT SANDRA – Чехия, SPINLINE 3 – Франция). Требования по ЭМС в этих документах установлены фиксировано вне зависимости от условий эксплуатации (электромагнитной обстановки) и от назначения и влияния ТС на безопасность АЭС, а перечень видов воздействий не охватывает номенклатуру регламентированных видов воздействий, установленных для АЭС. Критерии же качества функционирования, установленные для большинства видов воздействий (В и С), допускают появление сбоев и отказов в функционировании, в том числе ТС СБ и СВБ.

Некоторые зарубежные фирмы используют для подтверждения соответствия требованиям ЭМС технических средств СНЭ, СВБ и СБ международный стандарт на продукцию для атомных станций МЭК 62003:2009, который, однако, не учитывает требований ФНП в части назначения и влияния ТС на безопасность АЭС, но в отличие от МЭК 61000-6-2 предусматривает оценку соответствия в зависимости от условий эксплуатации (степени жесткости ЭМО) и критерий качества функционирования А (а не В или С – как это установлено в МЭК 61000-6-2).

Однако для всех категорий безопасности ТС (СНЭ, СВБ, СБ) для одинаковых условий эксплуатации (например, в одном и том же помещении) в МЭК 62003 установлены одни и те же требования по ЭМС. Существенный недостаток МЭК 62003 в том, что при возникновении помех установленного и одинакового для СНЭ, СВБ и СБ значения (например, по одной и той же сети надежного электропитания) возможно одновременное нарушение функционирования СНЭ, СВБ, и СБ с последующими остановами или разгрузкой энергоблоков АЭС или нарушениями условий безопасной эксплуатации ядерной установки. Это означает, что запас по устойчивости СВБ и СБ к помехам отсутствует и возможно одновременное нарушение функционирования СНЭ, СВБ и СБ по общей причине в нарушение требований ФНП.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 32137-2013 принят прямым внедрением отмененного в настоящее время российского национального стандарта ГОСТ Р 50746-2000. Область применения стандарта ГОСТ 32137-2013 распространяется на технические средства для атомных станций. Технические требования по обеспечению электромагнитной совместимости в нем дифференцированы в зависимости от назначения ТС, их влияния на безопасность АЭС и от степени жесткости электромагнитной обстановки, в которой используются ТС на АЭС. К недостаткам стандарта ГОСТ 32137-2013 следует отнести отсутствие его актуализации.

В стандарте ГОСТ 32137-2013 применяются методы испытаний, заимствованные из базовых международных стандартов МЭК 61000-4 по состоянию на 2000 г. В связи с совершенствованием международных базовых стандартов по ЭМС многие методы испытаний, применяемые в этом стандарте, отменены или устарели.

В стандарте ГОСТ 32137-2013 для различных классов безопасности ТС ОИАЭ при одинаковых условиях эксплуатации (например, в одном и том же помещении) назначаются, в отличие от МЭК 62003, различные требования по устойчивости к помехам, что соответствует требованиям ФНП, предписывающим устанавливать более высокие требования для более высокого класса безопасности (например, для СБ по сравнению с СВБ или СНЭ) при эксплуатации в одинаковых условиях (степень жесткости ЭМО).

В отличие от МЭК 62003:2009 при подтверждении соответствия с использованием ГОСТ 32137-2013 предусматривается запас СВБ и СБ по устойчивости к помехам, нормируемым для СНЭ, чем исключается одновременный отказ СНЭ, СВБ и СБ по общей причине во исполнение требований ФНП, что способствует повышению эксплуатационной устойчивости и безопасности функционирования ТС на АЭС.

В соответствии с изложенным выше можно сделать следующие выводы:

– общие стандарты МЭК 61000-6-2/EN61000-6-2 и разработанные на их основе национальные стандарты КТА-3503, ГОСТ Р 61000-6-2, SPINLINE, ZAT не учитывают особенностей стандартизации в области использования атомной энергии, не охватывают весь перечень испытательных воздействий, установленных для ТС ОИАЭ, не рекомендуются в

целях подтверждения соответствия ТС СВБ и ТС СБ ОИАЭ и могут быть использованы только для подтверждения соответствия общепромышленного оборудования, не предназначенного для комплектации СВБ и СБ АЭС;

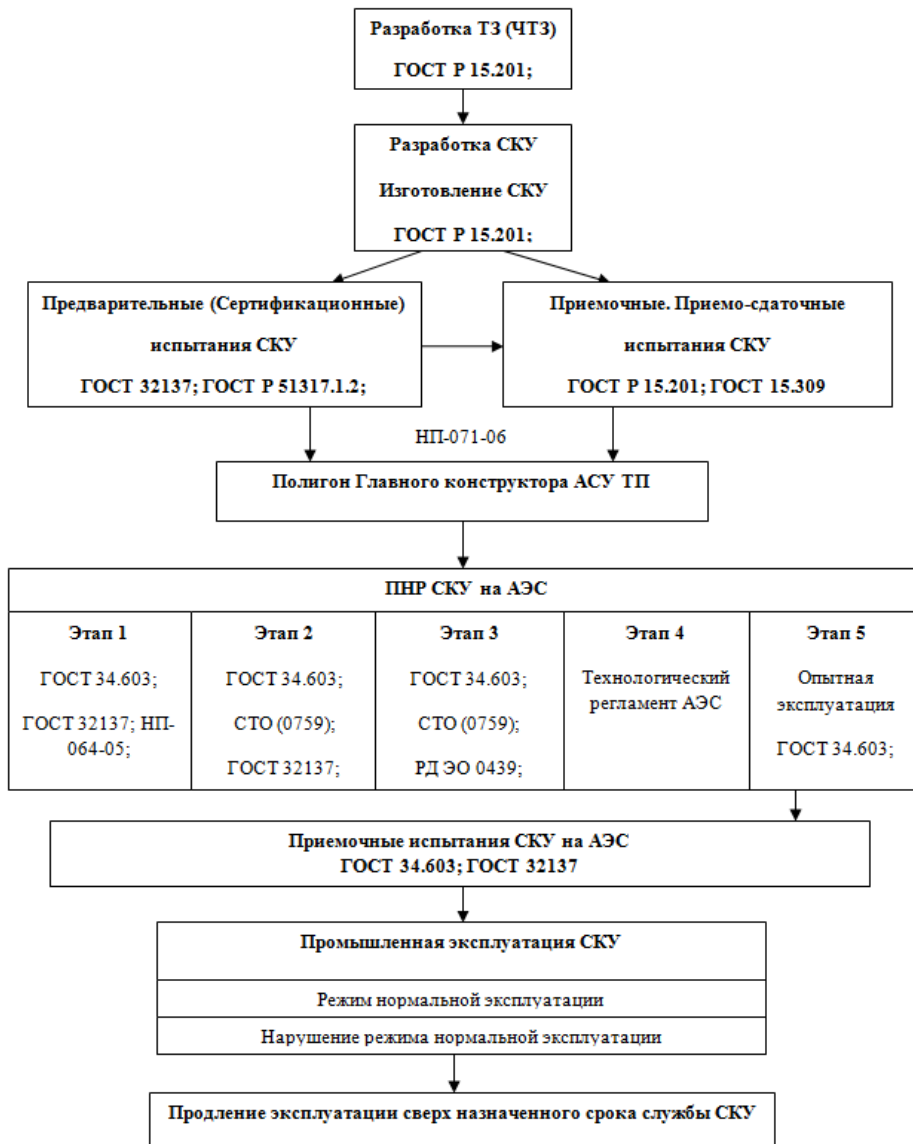
– стандарт МЭК 62003:2009 не учитывает особенностей стандартизации в области использования атомной энергии, не рекомендуется для подтверждения соответствия ТС СВБ и ТС СБ АЭС и может быть использован для подтверждения соответствия общепромышленного оборудования как предназначенного, так и не предназначенного для комплектации СВБ и СБ АЭС на основании положения НП-071-06;

– в стандарте ГОСТ 32137-2013 учтены положения Федерального закона №170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», Федерального закона №184-ФЗ «О техническом регулировании», Федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, постановления Правительства Российской Федерации от 01.03.2013 №173. В настоящее время стандарт ГОСТ 32137-2013 используется на всех этапах жизненного цикла в целях применения единых принципов и правил технического регулирования и подтверждения соответствия, для учета особенностей стандартизации продукции (работ, услуг), для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии.

Для учета требований и методов вновь введенных международных базовых стандартов по ЭМС, требований по обеспечению функциональной безопасности СКУ в отношении электромагнитной совместимости, оценки риска и полноты безопасности, установленных в международных стандартах МЭК 61000-1-2:2008 и МЭК 61508-5:2007, оценки запасов по устойчивости СКУ к электромагнитным воздействиям РД ЭО 0439-02, учета положений технического регламента Таможенного союза в части использования общепромышленного оборудования, не предназначенного для комплектации систем безопасности и систем важных для безопасности, положений НП-071-06 в части использования общепромышленного оборудования в системах безопасности и важных для безопасности, учета положений технического регламента Таможенного союза в части требований к эксплуатационной документации СКУ и в части использования схем подтверждения соответствия необходимо проведение актуализации межгосударственного стандарта по ЭМС ГОСТ 32137-2013 для применения при обращении продукции для АЭС как в России, так и за рубежом.

Порядок обеспечения требований электромагнитной совместимости и функциональной безопасности систем контроля и управления атомных станций на этапах жизненного цикла

В целях совершенствования обеспечения электромагнитной совместимости технических средств и систем контроля и управления (СКУ) технологических процессов, важных для безопасности, на этапах разработки и изготовления, приемочных испытаний на предприятиях-изготовителях, интеграционных испытаний на полигоне Главного конструктора АСУ ТП, сооружения новых энергоблоков АЭС, ввода в эксплуатацию новых и модернизируемых энергоблоков АЭС, продления сроков эксплуатации сверх назначенного срока службы СКУ, расследования инцидентов при эксплуатации действующих энергоблоков АЭС эксплуатирующей организацией введен в действие с 03.03.2014 г. руководящий документ РД ЭО 1.1.2.25.0943-2013. Руководящий документ предназначен для использования изготовителями и поставщиками СКУ, предприятиями Системного интегратора и Главного конструктора АСУ ТП, специализированной организацией отрасли по электромагнитной совместимости, эксплуатирующей организацией (ОАО «Концерн Росэнергоатом») и ее филиалами; распространяется на вновь разрабатываемые, модернизируемые и находящиеся в эксплуатации технические средства и системы контроля и управления технологической и электрической части, важные для безопасности АЭС, изготавливаемые и поставляемые отечественными и зарубежными предприятиями (фирмами). Порядок подтверждения соответствия СКУ требованиям обеспечения электромагнитной совместимости и функциональной безопасности на этапах жизненного цикла приведен на рисунке.



Порядок подтверждения соответствия СКУ требованиям обеспечения электромагнитной совместимости и функциональной безопасности на этапах жизненного цикла

Для применения, в том числе на единой таможенной территории Таможенного союза, единых принципов и правил технического регулирования для подтверждения на всех этапах жизненного цикла соответствия требованиям электромагнитной совместимости и функциональной безопасности программно-технических средств и комплексов автоматизированных систем управления технологическими процессами атомных станций и в целях реализации требований РД ЭО 1.1.2.25.0943-2013 предприятием АО «ВНИИАЭС» выпущен процедурный документ «Методические указания. Порядок подготовки и проведения испытаний ПТС и ПТК АСУ ТП на соответствие требованиям электромагнитной совместимости на этапах жизненного цикла», включает следующие этапы:

1. Порядок подготовки, назначения требований ЭМС при разработке технической документации и проведения испытаний ПТС и ПТК АСУ ТП для оценки соответствия требованиям обеспечения электромагнитной совместимости и функциональной безопасности в отношении электромагнитной совместимости на этапах разработки, изготовления и приемки. Цель: применение единых принципов и правил испытаний и подтверждения соответствия, в том числе на единой таможенной территории Таможенного союза, продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии.

2. Порядок подготовки и проведения испытаний ПТС и ПТК АСУ ТП для оценки соответствия требованиям обеспечения электромагнитной совместимости на этапе интеграционных испытаний на полигоне Главного конструктора автоматизированных систем управления технологическим процессом перед поставкой на АЭС. Цель: интеграционные испытания АСУ ТП в целом в качестве первого этапа предварительных автономных испытаний перед поставкой на энергоблоки АЭС.

3. Порядок подготовки и проведения обследования электромагнитной обстановки в окружающей местности и в помещениях размещения оборудования АСУ ТП для оценки соответствия требованиям обеспечения электромагнитной совместимости на этапах сооружения энергоблоков АЭС, при предварительных и комплексных испытаниях и при опытной эксплуатации на АЭС. Цель: классификация площадок АЭС, помещений размещения систем важных для безопасности по степеням опасности от электромагнитных воздействий радиолокационных установок физической защиты территории АЭС, охраны государственных границ, РЛС слежения оборонного назначения и от молниевых разрядов.

4. Порядок проведения оценки соответствия ПТС и ПТК АСУ ТП требованиям обеспечения электромагнитной совместимости при приемочных испытаниях на АЭС, в период промышленной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации энергоблоков АЭС. Цель: оценка качества функционирования АСУ ТП в условиях реальной электромагнитной обстановки, поиск и устранение первопричин нарушений нормальной эксплуатации АСУ ТП при возникновении электромагнитных помех.

5. Порядок проведения оценки соответствия ПТС и ПТК АСУ ТП требованиям обеспечения электромагнитной совместимости при продлении эксплуатации сверх назначенного срока службы. Цель: оценка оперативных запасов технических средств по устойчивости к промышленным помехам, не подлежащих замене при модернизации АСУ ТП.

УДК 681.51

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АЭС

В.Н. ДУРНЕВ, А.Н. ЧЕРНЯЕВ, К.К. КОЛЧЕВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия*

Поступила в редакцию 6 февраля 2015

Введение

Систематизация – это процедура объединения, сведения групп однородных по неким признакам, параметрам, критериям единиц к определенному иерархизированному единству в функциональных целях, на основе существующих между ними связей и/или взаимодополняющих связей с внешним миром. В технике систематизация является основой унификации и стандартизации. Систематизация позволяет организовать программно-технические средства ТЭС и АЭС в определенную систему согласно принятому принципу. Затем путем классификации устройства могут быть объединены в группы на основе отмеченных сходств. Систематизация устанавливает взаимосвязь между исследуемыми программно-техническими средствами, выделяет основные структурные единицы, что позволяет рассматривать конкретное устройство как часть целой системы.

Цель систематизации программно-технического комплекса (ПТС) управляющих систем ТЭС и АЭС – внедрение основы для лицензирования применяемых технических и программно-технических средств, распределение требований для различных групп устройств, установка терминологии, устранение неопределенности в вопросах аппаратного разнообразия управляющих систем безопасности.

Структура программно-технических средств

Технические и программно-технические средства, применяемые в управляющих системах ТЭС и АЭС, можно объединить в структуру, приведенную на рисунке.



Структура программно-технических средств

Обозначения на рис. 1: микроконтроллер (Micro Controller Unit, MCU), Микропроцессор (Central Processing Unit, CPU); программируемая логическая матрица (ПЛМ, Programmable Logic Array, PLA); программируемая матрица логики (ПМЛ, Programmable Array Logic, PAL); сложные программируемые логические устройства (СПЛУ, Complex Programmable Logic Device, CPLD); программируемые пользователем вентильные матрицы (ППВМ, Field-

Programmable Gate Array, FPGA); интегральная схема специального назначения (ИССН, Application Specific Integrated Circuit, ASIC); операционный усилитель (Operational Amplifier, OpAmp); комплементарная структура металл-оксид-полупроводник (КМОП, complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS); транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ, Transistor-transistor logic, TTL); эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ, Emitter-coupled logic, ECL).

Уровень технологий электронных схем

Нижний уровень структуры содержит технологии, применяемые для построения электронных схем. Электронная схема – это сочетание отдельных электронных компонентов, таких как резисторы, конденсаторы, индуктивности, диоды и транзисторы, соединенных между собой [1]. Каждая технология описывает порядок объединения электронных компонент в электронную или интегральную схему для выполнения ей заданных функций [1, 2]. Интегральная схема, микросхема или чип – это электронная схема, изготовленная на полупроводниковой подложке и помещенная в неразборный корпус.

Различают два типа электронных схем:

– аналоговые схемы оперируют с аналоговыми непрерывными сигналами, приращение которых стремится к нулю с уменьшением интервала времени между наблюдениями. Среди аналоговых схем широкое распространение в управляющих системах получили схемные решения с использованием операционных усилителей [3], предназначенных для выполнения математических операций;

– цифровые электронные схемы предназначены для преобразования и обработки дискретных и цифровых сигналов;

Для построения цифровых электронных и интегральных схем применяются технологии КМОП, ТТЛ и ЭСЛ [1, 2]. КМОП – это технология построения электронных схем с использованием полевых транзисторов с изолированным затвором и каналами разной проводимости. Использование полевых транзисторов позволяет сократить энергопотребление по сравнению с технологиями на биполярных транзисторах. ТТЛ – это технология построения электронных схем с использованием полевых транзисторов и резисторов. КМОП уступает ТТЛ в быстродействии. ЭСЛ – это технология построения электронных схем с использованием дифференциальных каскадов на полевых транзисторах. Электронные схемы, выполненные по технологии ЭСЛ, характеризуется наибольшим быстродействием и энергопотреблением. КМОП, ТТЛ или ЭСЛ технологии, применяемые в электронных схемах, позволяют реализовать логические операции с бинарными сигналами, например, мажоритарную обработку, а в совокупности с АЦП и ЦАП – арифметические операции.

Уровень технологий интегральных схем

Технологии, расположенные на нижнем уровне структуры (см. рис. 1), используются для построения электронных и интегральных схем. Интегральные схемы более компактны по сравнению с электронными схемами при выполнении ими одинаковых функций. Примерами интегральных схем являются устройства или компоненты, производимые для массового применения, например, различные виды компьютерной памяти, шифраторы и дешифраторы, АЦП и ЦАП [3].

Пользовательская функция, выполняемая интегральной схемой, может задаваться:

- однократно на этапе производства, что не всегда приемлемо и экономически невыгодно;
- многократно на этапе применения.

В большинстве случаев более подходящим решением являются интегральные схемы с программируемой логической функцией – ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема; PLD, programmable logic device) [4, 5]. ПЛИС является основой для создания различных цифровых устройств. Существуют различные типы ПЛИС, например: PLA (Programmable Logic Array, программируемые логические матрицы), PAL (Programmable Array Logic, программируемые матрицы логики), CPLD (Complex Programmable Logic Device), FPGA (Field-Programmable Gate Array, программируемая пользователем вентильная матрица) и др.

Первым представителем ПЛИС является PLA. Для вычисления сложных логических выражений PLA использует простые операции И, ИЛИ [4, 5]. Сигналы поступают в PLA по проводникам, которые соединены через ключи с входами логических вентилях, выполняющих операцию И. Выходы вентилях И соединены с проводниками, подключенными через ключи к входам вентилях ИЛИ. Для вычисления сложных логических выражений необходимо задать структуру PLA путем замыкания и размыкания ключей. Совокупность ключей на входах вентилях И называется матрицей логики И, а на входах вентилях ИЛИ – матрицей логики ИЛИ.

Для задания структуры схемы PLA возможно конфигурирование матрицы логики И и ИЛИ. Менее гибким аналогом по заданию структуры является PAL [4,5]. В схеме PAL разработчик может конфигурировать только матрицу И. Матрица логики ИЛИ является фиксированной.

Следующим шагом развития логических матриц является CPLD. Интегральная схема содержит блоки ввода-вывода, шины межсоединений и макроячейки [4]. Макроячейки – это основная часть схемы, выполняющая логические операции. Каждая макроячейка подобна схеме PAL. Шины межсоединений обеспечивают взаимодействие макроячеек и блоков ввода-вывода. Путь сигнала по шине задается с помощью ключей. Блоки ввода-вывода предназначены для осуществления внешних подключений. CPLD позволяет реализовать более сложные логические операции по сравнению с PAL за счет укрупнения и развития вычислительной структуры.

Разновидность интегральной схемы – FPGA – может быть сконфигурирована разработчиком или производителем после изготовления. Состоит FPGA из множества логических блоков с несколькими входами и одним выходом [4–6]. Каждый блок выполняет логические операции, результат выполнения которых задан в форме таблиц Look-Up-Table (LUT). LUT-таблицы схожи с таблицами истинности логических операций. Приrost вычислительных возможностей FPGA достигается за счет значительного увеличения количества транзисторов и их уплотнения в сравнении с другими видами ПЛИС.

Значительная часть современных вычислительных устройств выполнена на основе интегральных схем ASIC (application-specific integrated circuit, интегральная схема специального назначения) [5, 6]. Непрограммируемая интегральная схема – ASIC – является интегральной схемой, часть структуры которой задается предприятием-изготовителем, а остальная часть определяется разработчиком.

Задание функций интегральных схем выполняется с помощью языков аппаратного описания HDL, например, AHDL, VHDL, Verilog [4–6]. Преобразование HDL-описания в конфигурацию интегральной схемы выполняется программными средствами автоматизации проектирования электронных устройств (Electronic Design Automation). Конфигурация интегральной схемы – это низкоуровневое описание, задающее путь сигнала по интегральной схеме, с целью выполнения пользовательской функции.

Файл конфигурации непрограммируемой интегральной схемы, например, ASIC, содержит описания электрических соединений, используемых непосредственно для создания необходимых для производства фотошаблонов. Файл конфигурации ПЛИС, например, FPGA или CPLD, содержит информацию о положениях ключей шины соединений, ключей матриц логики (для CPLD) или LUT-таблицы (для FPGA). Он загружается по интерфейсу (например, JTAG, Joint Test Action Group [6]) в FPGA/CPLD или сохраняется во внешнюю память устройства, например, EEPROM. Функциональные возможности интегральных схем ограничены их видом и количеством логических элементов.

Уровень программного обеспечения

Дальнейшее развитие функциональных возможностей интегральных схем достигается путем разделения выполняемых ими функций на элементарные операции. Элементарная операция – простейшее действие, совершаемое интегральной схемой, то есть такое действие, которое не может быть представлено совокупностью более простых. Фиксированные последовательности элементарных операций называются машинными инструкциями. Количество машинных инструкций ограничено, но их достаточно для реализации всех необходимых вычислительных задач. Машинные инструкции вместе с механизмами, обеспечивающими их выполнение (соглашениями о типах данных, системами регистров,

методами адресации, моделями памяти, способами обработки прерываний и исключений, методами ввода и вывода), образуют систему команд. Интегральная схема или ее функциональный блок, выполняющая машинные инструкции в соответствии с выбранной системой команд, называется процессором.

Реализация пользовательской функции процессором достигается путем последовательного выполнения машинных инструкций [3,7]. Процесс задания периодичности выполнения машинных инструкций и синхронизации работы процессора с остальными компонентами системы посредством тактового сигнала называется тактированием. Таким образом, обязательным условием выполнения пользовательской функции процессором является использование тактирования. Технические средства второго уровня систематизации также могут содержать тактируемые элементы, но их использование необязательно.

Конфигурация процессора содержит описание системы команд. Возможно использование системы команд сторонних производителей или создание собственной.

Микропроцессорное программно-техническое средство (CPU-based) – это устройство, в котором процессор является отдельной интегральной схемой (CPU), а остальные компоненты, например, ОЗУ, ПЗУ, АЦП, ЦАП, таймеры подключаются к нему с помощью внешних соединений. Большинство современных CPU – это интегральные схемы специального назначения, сконфигурированные для выполнения определенной системы команд.

Микроконтроллер (MCU) – это интегральная схема, выполняющая функции процессора, ОЗУ, ПЗУ, периферийных устройств [3, 7, 8]. Большая часть микроконтроллеров не предназначена для взаимодействия с пользователем и программируется для решения отдельной задачи. Обычно микроконтроллер выполняет циклично только одну программу. Контакты микроконтроллера используются для ввода-вывода сигналов.

Система на кристалле (SoC, System-on-Chip) не имеет принципиальных отличий от микроконтроллера. Она выполняет функции процессора, ОЗУ, ПЗУ, периферийных устройств и взаимодействует с остальными компонентами посредством внешних соединений [6]. Система на кристалле появилась в результате маркетингового продвижения современных микроконтроллеров, функции которых соответствуют функциям персонального компьютера. При этом они являются более компактными устройствами.

Распределение по уровням систематизации

Распределение программно-технических средств. Систематизация ПТС состоит из трех уровней. Технические и программно-технические средства, принадлежащие каждому последующему уровню систематизации, выполнены с использованием технологий нижестоящих уровней. Способ выполнения пользовательской функции, представленный в табл. 1, является критерием отнесения ПТС к уровням систематизации.

Таблица 1. Критерии отнесения ПТС к уровням систематизации

Уровень систематизации	Способ выполнения пользовательской функции
Уровень программного обеспечения	С помощью процессора, путем последовательного выполнения машинных инструкций.
Уровень технологий интегральных схем	С помощью интегральной схемы при прохождении сигнала от входных контактов интегральной схемы к выходным.
Уровень технологий электронных схем	С помощью одной или нескольких технологий электронных схем при прохождении сигнала по элементам схемы.

Распределение способов задания пользовательской функции

В соответствии с рассмотренной систематизацией для каждого уровня корректно применение терминов задания функции интегральных или электронных схем, представленных в табл. 2.

Таблица 2. Способы задания функции электронных и интегральных схем

Уровень систематизации	Способ задания пользовательской функции	Форма представления пользовательской функции
Уровень программного обеспечения	Программирование	Программа
Уровень технологий интегральных схем	Конфигурирование	Конфигурация
Уровень технологий электронных схем	Конструирование	Электронная схема

Конструирование – соединение отдельных электронных компонентов, таких как резисторы, конденсаторы, индуктивности, диоды и транзисторы, с помощью проводников (контактных дорожек) с целью создания электронной схемы, выполняющей заданную функцию. *Конфигурирование* – задание логической функции интегральной схемы с помощью языков описания аппаратуры интегральных схем (HDL, Hardware Description Language). *Программирование* – процесс разработки программ, выполняемых процессором циклически. Программой называется синтаксический блок, соответствующий правилам конкретного языка программирования и состоящий из объявлений и утверждений или инструкций необходимых для выполнения пользовательских функций. Термин программирование не должен употребляться в отношении ПЛИС, так как под программированием понимается только разработка программ для выполнения процессором.

Заключение

Систематизация ПТС охватывает все современные технические и программно-технические средства, применяемые в управляющих системах ТЭС и АЭС; устанавливает соответствие между уровнями и способами задания функций электронных и интегральных схем; определяет однозначную границу уровней ПТС, что является обязательным требованием при стандартизации; является основой для выбора технических и программно-технических средств управляющих систем АЭС; определяет терминологию способов задания и представления пользовательской функции для различных видов технических и программно-технических средств.

Систематизация позволяет отказаться от неопределенного и многозначного понятия «жесткой» логики, вносящего разногласия и споры при выборе технических средств управляющих систем безопасности АЭС и вызывающего проблемы лицензирования. Технические средства, выполненные на базе «жесткой» логики в том или ином трактовании этого понятия, должны быть отнесены в одну из соответствующих систематизации групп.

Технические и программно-технические средства, принадлежащие разным уровням систематизации, отвечают требованию аппаратного разнообразия при проектировании управляющих систем безопасности АЭС. Систематизация ПТС должна использоваться для формирования требований к управляющим системам АЭС в форме ограничения на виды применяемых устройств. На всех этапах жизненного цикла управляющих систем АЭС рекомендуется использовать терминологию в соответствии с данной систематизацией.

Список литературы

1. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. М., 1990.
2. Пухальский Г. И., Новосельцева Т. Я. Цифровые устройства. СПб, 1996.
3. Джонс М. Х. Электроника – практический курс. М., 1999.
4. Stephen B., Zvonko V. Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design. New York, 2004.
5. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. М., 2007.
6. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микропроцессорах программируемой логики. СПб, 2002.
7. Микушин А. В. Занимательно о микроконтроллерах. СПб, 2006.
8. Кениг А., Кениг М. Полное руководство по PIC-микроконтроллерам. Киев, 2007.

УДК 681.51

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ РЕАКТОРОВ ВВЭР БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

А.Е. КАЛИНУШКИН, Ю.М. СЕМЧЕНКОВ

НИЦ «Курчатовский институт»
пл. Академика Курчатова, 1, Москва, 123098, Россия

Поступила в редакцию 30 января 2015

В основу обеспечения безопасности АЭС положен принцип глубокоэшелонированной защиты, построенной на применении системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду. Констатируются следующие барьеры: топливная матрица, оболочка твэл, стенки оборудования контура циркуляции теплоносителя, защитное ограждение помещений реакторного отделения, санитарно-защитная зона вокруг объекта, зона реализации противоаварийных мероприятий. Для эффективного выполнения своих функций защитные барьеры должны быть устойчивы в различных состояниях и при различном развитии процессов, происходящих в ядерной установке и при разных внешних воздействиях [1].

На водо-водяном энергетическом реакторе (ВВЭР) [2] контроль сохранения эффективности первых трех барьеров осуществляется средствами контроля и диагностики реактора. Основной системой является комплексная система контроля, управления и диагностики РУ (СКУД) [3]. СКУД разработана НИЦ «Курчатовский институт» при участии ОКБ «Гидропресс», ВНИИАЭС, ГНЦ РФ-ФЭИ, Диапром, СНИИП-АСКУР, СНИИП.

Задачей СКУД является обеспечение ядерной и радиационной безопасности, надежности и эффективности реакторной установки (РУ) на этапе эксплуатации энергоблока, в том числе за счет:

- проверки правильности загрузки активной зоны;
- качества и требуемого быстродействия управления мощностью и распределением энерговыделения в активной зоне;
- мониторинга и подтверждения прогнозной (расчетной) оценки показателей выгорания ядерного топлива в тепловыделяющей трубке (ТВС) в процессе топливной кампании;
- мониторинга соблюдения проектных ограничений по эксплуатации ядерного топлива;
- тарировки средств внезонного нейтронного контроля;
- соблюдения эксплуатационных пределов и условий безопасности;
- реализации концепции «течь перед разрывом»;
- оценки фактической долговечности материалов, изделий и ресурса основного оборудования.

Интегрально СКУД состоит из самостоятельных систем, объединенных общей задачей контроля и диагностирования состояния реакторной установки с ВВЭР в процессе эксплуатации. СКУД построена по принципу объединения функционально законченных систем, выполняющих свои функции в полном объеме и соединяемых информационными потоками. В типовом варианте в состав СКУД входят системы [3]:

- внутриреакторного контроля (СВРК);
- комплексного анализа (СКА);
- контроля течей теплоносителя первого контура (СКТ), состоящей из двух независимых подсистем акустического (САКТ) и влажностного (СКТВ) контроля;
- контроля вибраций основного оборудования (СКВ);

– обнаружения свободных и слабо закрепленных предметов в главном циркуляционном контуре (СОСП);

– контроля остаточного ресурса основного оборудования (САКОР).

В состав также входят локальная сеть СВРК и локальная сеть СКУД.

Основной частью СКУД является система внутриреакторного контроля (СВРК).

СВРК является главным средством наблюдения за эксплуатацией топлива в активной зоне в режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации реакторов ВВЭР и проектных авариях.

В процессе развития ВВЭР совершенствовался и внутриреакторный контроль, который прошел следующие этапы [4]:

– контроль с помощью внереакторных камер и термопар, расположенных на выходе из части ТВС;

– развитие за счет периодических активационных измерений;

– создание системы на базе постоянно размещенных в активной зоне родиевых ДПЗ и термопар на выходе из части ТВС.

В настоящее время НИЦ «Курчатовский институт» совместно с ОКБ «Гидропресс», СНИИП-АСКУР, СНИИП разработано новое поколение систем внутриреакторного контроля, именуемое СВРК-М, которое успешно эксплуатируется на ВВЭР-1000 и является составной частью проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ.

Основу СВРК-М современных проектов ВВЭР большой мощности составляют:

– внутриреакторные датчики нейтронного потока (родиевые ДПЗ в количестве $7 \times 54 = 378$ штук) и температуры ($3 \times 54 = 162$ термоэлектрических хромель-алюмелевых преобразователей типа К);

– измерительная аппаратура высокого класса точности (погрешность 0,04 % для всех измерительных каналов);

– высокопроизводительная вычислительная техника в исполнении для ответственных применений;

– специализированное программное обеспечение.

Все оборудование и специализированное программное обеспечение СВРК-М разработано и изготовлено в России.

Следует выделить следующие основные отличительные особенности СВРК-М:

– устранение запаздывания родиевого ДПЗ для оперативного контроля энерговыделения в активной зоне;

– оперативный и независимый контроль тепловой мощности реактора по показаниям родиевых ДПЗ;

– контроль, аварийная и предупредительная защита по внутриреакторным (пиковым) факторам;

– независимый контроль мощности ТВС по показаниям родиевых ДПЗ и по данным внутриреакторного термоконтроля;

– внутриреакторная шумовая диагностика;

– отличие расчетной части программного обеспечения СВРК-М от используемого проектного кода.

Новые решения, а также структура построения СВРК-М позволили в условиях реальной эксплуатации ВВЭР реализовать новые функции: защиту по локальным параметрам активной зоны (линейное энерговыделение твэлов, запас до кризиса теплообмена) и внутриреакторную шумовую диагностику. Поскольку указанные локальные параметры являются расчетными и изменяющимися в процессе эксплуатации, данный тип защиты может реализовываться только с применением программного обеспечения («software»). Этой части разработки системы и верификации полученных решений было уделено особое внимание [5]. В частности на первом этапе были определены основные технические решения и проведено расчетное обоснование для определенного перечня проектных исходных событий (аварий) с учетом прогнозируемой проектной деградации свойств самой системы. Впоследствии были разработана аппаратура и необходимое программное обеспечение. Разработанная аппаратура получила условное название «Гиндукуш-М» и прошла процедуру квалификации по МЭК 60780 как аппаратура

систем защиты реактора (с учетом эффекта «старения»). Программное обеспечение для этой части системы было разработано в соответствии с рекомендациями МЭК 60880.

Учитывая, что по действующим правилам в процессе эксплуатации АЭС недопустимо специально создавать условия для проверки формирования сигналов защиты по локальным параметрам, на полигоне АСУТП (ЭНИЦ, г. Электрогорск) были проведены имитационные испытания качества работы функции защиты СВРК в условиях, близких к натурным условиям эксплуатации.

В дальнейшем функция защиты по внутриреакторным локальным параметрам прошла проверку в процессе эксплуатации на 3-м блоке Калининской АЭС, а также на 5-м и 6-м блоках АЭС «Козлодуй» (Болгария). Испытания осуществлялись по специально разработанным программам, которые затем нашли свое развитие в процессе пуска и освоения мощности обоих блоков АЭС «Тяньвань» (Китай) [6]. В настоящее время эти программы и методики введены в эксплуатационную документацию на СВРК-М. Следует отметить, что в составе СВРК-М также введена в штатную эксплуатацию функция внутриреакторной шумовой диагностики, суть которой состоит в контроле локальных изменений нейтронного потока и появления кипения в активной зоне ВВЭР. В качестве изменяющейся в момент наступления кипения характеристической функции индикатора технического состояния выбрано отношение дисперсии флюктуации («шума») нейтронного потока к току ДПЗ. Такое решение было апробировано и подтверждено натурными испытаниями.

Разработка СВРК-М проводилась в соответствии с российской и международной нормативными базами. Проект СВРК-М одобрен Ростехнадзором России. В настоящее время СВРК-М реализована на следующих энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000:

- 5 и 6 блоки АЭС «Козлодуй»;
- 1–2 блоки АЭС «Тяньвань»;
- 1–4 блоки Калининской АЭС;
- 1–4 блоки Балаковской АЭС;
- 2–3 блоки Ростовской АЭС;
- 1 блок АЭС «Куданкулам».

Ведется монтаж и наладка СВРК-М на 1 блоке Нововоронежской АЭС-2 (проект АЭС-2006) и наладка на 2 блоке АЭС «Куданкулам». Осуществлена поставка на 1 блок Ленинградской АЭС-2 (АЭС-2006). В настоящее время разработано и внедряется на АЭС новое поколение аппаратуры и вычислительных средств, расширяются функциональные возможности СВРК-М.

Другой составной частью СКУД являются системы оперативной диагностики. Их назначение – диагностирование технического состояния основного технологического оборудования первого контура в процессе эксплуатации реакторной установки в части контроля вибронагруженности и надежности крепления ее конструктивных элементов, обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов в контуре циркуляции теплоносителя и контроля его герметичности, а также оценки остаточного ресурса основного оборудования 1 контура.

Важной из систем диагностики является система обнаружения течи теплоносителя 1 контура [7, 8]. В ее составе используются две независимые информационно-измерительные системы. Принцип действия этих систем основанные на акустическом (САКТ) и влажностном (СКТВ) методах неразрушающего контроля. Основу акустического метода составляет регистрация и контроль уровня широкополосного шума, возникающего при истечении теплоносителя из-за негерметичности оборудования, влажностного-измерение относительной влажности воздуха в подизоляционном пространстве трубопровода. Поскольку относительная влажность сама по себе не характеризует содержание пара во влажном воздухе, то при измерении одновременно регистрируется температура влажного воздуха. На основании полученных показаний вычисляется абсолютная влажность, которая является наиболее информативным и надежным индикатором наличия течи. САКТ обнаруживает течь теплоносителя с расходом от 1,9 л/мин в течение времени не более 3 мин и определяет место течи и величину за время не более 10 мин. СКТВ имеет те же показатели, начиная с расхода 1 л/мин.

Работа реакторных установок с ВВЭР на любых режимах сопровождается вибрацией ее компонентов, в основном, вызванной наличием возбуждающих сил в первом контуре циркуляции теплоносителя. Благодаря тому, что спектр вибраций несет большой объем информации о текущих характеристиках оборудования, его контроль способен выявить уже на ранней стадии развития повреждений появление механических дефектов или аномальное изменение условий закрепления элементов конструкций. Вибрация компонентов, как правило, измеряется прямым (с помощью датчиков) или косвенным (регистрация физических характеристик, на изменение которых влияет вибрация) методом неразрушающих испытаний [9]. В системе контроля вибраций, входящей в состав СКУД, используются сигналы различных типов датчиков: датчики для измерения механических перемещений; внутриреакторные датчики нейтронного потока, внереакторные датчики нейтронного потока, датчики для измерения пульсации давления. Сравнительно медленное изменение параметров механических дефектов в материалах оборудования и трубопроводах, как правило, на практике позволяет отказаться от непрерывного контроля за вибрационным состоянием. Это определяет особые условия для функционирования системы и контроля за вибрационным состоянием. В частности, эти условия определяют возможность проводить процедуры контроля за вибрационным состоянием в режиме отсроченного анализа, например, не реже одного раза в неделю.

Одной из систем оперативной диагностики в составе СКУД является система обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов. Наличие этой системы дает возможность в период пуска АЭС обнаружить посторонние предметы в главном циркуляционном контуре и, тем самым, предотвратить случаи повреждения основного оборудования. Эта же система позволяет обнаружить освободившиеся или частично потерявшие свое крепление предметы в процессе эксплуатации. Принцип действия основан на постоянном сравнении среднеквадратичных значений сигналов от датчиков с программно-устанавливаемым порогом. Для тестирования измерительных каналов в системе предусмотрено специальное устройство с молотками, которые наносят тестовые удары по оборудованию для имитации свободных (слабозакрепленных) предметов. Также в системе предусмотрены режимы экспресс-анализа и отсроченного интерактивного анализа.

В состав системы оперативной диагностики СКУД также входит система автоматизированного контроля остаточного ресурса. В настоящее время уточнение возможных безопасных сроков эксплуатации оборудования ограничено, и пока обеспечивается расчетом циклической прочности определенных рабочих зон для наперед заданных контрольных точек корпуса реактора, трубопроводов системы компенсации давления и самого компенсатора давления, главного циркуляционного контура [10]. Приоритетом при выборе зон контроля является выбор точек, для которых прогнозируемые значения повреждаемости за проектное время эксплуатации ВВЭР превышают установленные Главным конструктором. Исходными данными для расчета являются, в первую очередь, показания штатных температурных датчиков. Информационный инструментарий данной системы позволяет рассчитывать напряженно-деформируемое состояние с использованием приближенных формул для функциональных зависимостей этого состояния от параметров эксплуатации. Определяющие коэффициенты для формул вычисляются на базе проектных расчетов.

В настоящее время системами оперативной диагностики оснащены практически все реакторы ВВЭР большой мощности. Кроме того, в состав СКУД входит система комплексного анализа. В целом она позволяет персоналу на основе информации, имеющейся в СКУД и поступающей от систем АСУТП, проводить комплексный анализ текущего состояния активной зоны в целях раннего выявления скрытых отрицательных тенденций (аномалий) для безопасной эксплуатации реакторной установки и их превентивного устранения. С помощью информационных средств этой системы, в частности, программного комплекса ИР [11], можно прогнозировать (от текущего состояния) распределение поля энерговыделения в активной зоне реактора в переходных режимах, а также оценивать подкритичность и допустимую концентрацию борной кислоты на основе прогнозирования изменения параметров активной зоны. Эта система в том или ином виде реализована на всех блоках ВВЭР большой мощности, где и СВРК-М.

Таким образом, разработанная и применяемая на АЭС с ВВЭР большой мощности система контроля, управления и диагностики повышает безопасность и эффективность эксплуатации энергоблоков, способствует внедрению новых экономичных топливных циклов и продлению сроков службы АЭС.

Список литературы

1. *Сидоренко В.А.* // Атомкон. 2009. № 4 (5).
2. *Денисов В.П., Драгунов Ю.Г.* Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. М., 2002.
3. *Калинушкин А.Е., Козлов В.В., Митин В.И., Семченков Ю.М.* // Атомная энергия. 2009. т. 106, вып.1.
4. *Митин В.И., Семченков Ю.М., Калинушкин А.Е.* // Атомная энергия. 2009. Т. 106, вып. 5.
5. *Калинушкин А.Е.* // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2008 № 3 (27).
6. *Саунин Ю.В., Добротворский А.Н., Семенухин А.В.* // Вопросы атомной науки и техники, серия «Обеспечение безопасности АЭС». 2008. Вып. 23.
7. *Морозов С.А., Ковтун С.Н., Бударин А.А. и др.* Система акустического контроля (САКТ). Обнинск, 2006.
8. *Морозов С.А., Ковтун С.Н., Дворников П.А. и др.* Система влажностного контроля течи водяного теплоносителя. Обнинск, 2006.
9. *Аркадов Г.А., Павелко В.И., Усанов А.И.* Виброшумовая диагностика ВВЭР. М., 2004.
10. *Драченко В.Н., Беркович В.Я., Богачев А.В. и др.* // Тяжелое машиностроение. 2008. № 3. С. 2.
11. *Аверьянова С.П., Ковель А.И., Мамичев В.В., Филимонов П.Е.* // Атомная энергия. 2008. Т. 105, вып. 4.

УДК 621.039.586

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ВАЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСУ ТП БЕЛОРУССКОЙ АЭС 1,2

Н.Н. АКИМОВ, В.А. КОЛЬЦОВ, И.Ю. ЛЕПЕХИН

ФГУПФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»
ГСП-486, Нижний Новгород, 603950, Россия

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Система регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ) предназначена для регистрации, хранения и выдачи информации о техническом состоянии энергоблока до, во время и после аварии в объеме, достаточном для последующего анализа аварийной ситуации и выяснения причин ее возникновения, путей развития, а также анализа действий персонала по ее локализации, ликвидации и предупреждению

Целью создания СРВПЭ энергоблоков № 1 и № 2 Белорусской АЭС является выполнение требований действующих нормативных документов по безопасности в атомной энергетике:

– НП-001 (ОПБ-88/97), п.4.4.6.1: «Должны быть предусмотрены автономные средства, обеспечивающие регистрацию и хранение информации, необходимой для расследования аварий. Указанные средства должны быть защищены от несанкционированного доступа и сохранять работоспособность в условиях проектных и запроектных аварий...»;

– НП-082, п.п. 2.4.7–2.4.10: «УСНЭ и УСБ должны быть спроектированы таким образом, чтобы имелась возможность идентифицировать исходные события аварий, установить фактические алгоритмы работы систем РУ, важных для безопасности, отклонения от штатных алгоритмов и действия оперативного персонала...».

Система регистрации важных параметров эксплуатации предназначена для работы во всех режимах нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальных условий эксплуатации, при всех видах проектных аварий, при запроектных авариях.

В случае запроектных аварий, при которых отсутствует поступление информации в СРВПЭ, система обеспечивает хранение ранее зарегистрированной информации для ее последующего анализа. В состав СРВПЭ входят: сервер СРВПЭ – 2 шт.; комплект ЗИП; комплект КСА; комплект ПО. Структурная схема подключения СРВПЭ приведена на рис. 1. СРВПЭ выполняет информационную и вспомогательную функции.

Информационная функция реализуется следующим набором задач:

- сбор данных;
- регистрация данных (ведение архива);
- хранение информации;
- запись аварийного архива;
- выдача архивной информации;
- контроль целостности архивных данных;
- чтение архива на АРМ;
- вывод архивной информации на АРМ;
- конфигурирование серверов СРВПЭ;
- запись архивной информации на АРМ;
- контроль доступа к информации;
- передача информации в ЛВС СВБУ о неисправностях технических и программных средств СРВПЭ.

Вспомогательная функция реализуется следующим набором задач:

- самодиагностика технических и программных средств;
- диагностика попытки несанкционированного доступа к СРВПЭ;
- регистрация системной информации;
- поддержание единого времени с АСУ ТП.

Сервер СРВПЭ имеет в своем составе следующие основные узлы:

- блок системный (БС);
- блок мультиконтрольный (БМ) в составе:
- источник бесперебойного питания (ИБП);
- модуль хранения информации (МХИ);
- коммутатор – 2 шт.;
- кросс оптический;
- вентиляторы;
- устройство переключения питающих сетей (УППС);
- соединительные жгуты и кабели.

БС обеспечивает функционирование ПО СРВПЭ и включает в себя следующие основные модули и узлы:

- модуль центрального процессора;
- накопитель на жестком магнитном диске (НЖМД);
- накопитель информации на флеш-диске;
- модуль источника питания;
- корпус 3U 19" с системной шиной CompactPCI.

Модуль центрального процессора имеет следующие технические характеристики:

- тип процессора – Intel Core i7;
- тактовая частота процессора – не менее 2000 МГц;
- объем ОЗУ – не менее 4000 Мбайт;
- количество портов USB 2.0 – 4 шт.;
- количество портов Ethernet 10Base-T/100Base-TX/1000Base-T – 2 шт.;
- количество портов SATA – не менее 3 шт.;
- тип системного интерфейса – CompactPCI.

НЖМД имеет следующие технические характеристики:

- объем памяти не менее 250 Гбайт;
- интерфейс – SATA.

Накопитель информации на флеш-диске имеет следующие технические характеристики:

- интерфейс – SATA;
- объем памяти не менее 500 Гбайт.

Модуль источника питания обеспечивает вторичным электропитанием все модули и устройства БС.

МХИ предназначен для записи и хранения информации. МХИ представляет собой твердотельный флеш-диск, находящийся в прочном стальном корпусе, который обеспечивает его защиту от механических повреждений. МХИ имеет следующие технические характеристики:

- интерфейс – SATA;
- объем памяти не менее 500 Гбайт.

Сервер СРВПЭ работоспособен при следующих внешних воздействующих факторах.

Синусоидальные вибрации: диапазон частот от 0,5 до 100 Гц; амплитуда воздействия 1,2 м/с² (0,12 g).

Температура: от + 10 до + 40 °С; при относительной влажности воздуха до 80 % и температуре плюс 25 °С без конденсации влаги.

Категория сейсмостойкости сервера СРВПЭ – I в соответствии с НП-031.

Электромагнитная совместимость: устойчивость к помехам в соответствии с ГОСТ 32137; помехоустойчивость удовлетворяет критерию качества функционирования А по ГОСТ 32137.

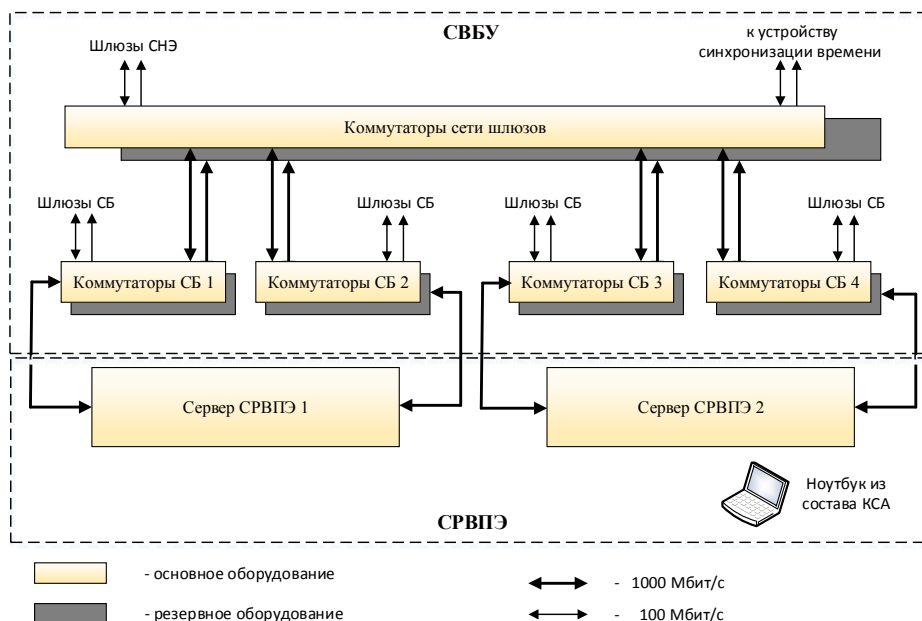


Рис. 1. Структурная схема подключения СРВПЭ

Режимы работы системы:

- режим нормальной регистрации – ведение кольцевого архива параметров глубиной 24 ч (удаление данных ранее 24 ч от текущего момента времени), проверка условий переключения в режим регистрации аварийного архива, при выполнении хотя бы одного из условий (возникновении аварийной ситуации) переход в режим аварийной регистрации архива;
- режим регистрации аварийного архива – прекращение удаления данных ранее 24 ч от текущего момента времени, регистрация данных последующих 24 ч от момента включения режима, формирование диагностического сообщения о наличии аварийного архива, переход в режим поставарийной регистрации;
- режим поставарийной регистрации – регистрация данных до исчерпания свободного пространства Flash-дисков, переход в режим защищенного хранения;
- режим защищенного хранения – регистрация данных не ведется, хранение ранее зарегистрированной информации до снятия аварийного архива, переход в режим нормальной регистрации, либо регистрации аварийного архива в зависимости от ситуации (задается оператором).

Сравнение СРВПЭ АСУ ТП Белорусской АЭС с предыдущими проектами

Характеристика	Белорусская АЭС 1,2	АЭС Бушер 1	АЭС Куданкулам 1,2	Белоярская АЭС 4
Объем базы сигналов	230 000	5 000	5 000	6250
Потоки информации	3500 (11000 не более 1 мин)	660	2500	1250
Характеристики системного блока сервера	Процессор Corei7-610E 2,53ГГц ОЗУ 8ГБ Объем кэш-памяти третьего уровня – 4 Мбайт НЖМД SATA 250Гб Накопитель SATAFlash-disk – 512 Гб Сетевой интерфейс 1000Base-T – 2 шт. Количество портов USB – 4 шт.	Процессор – Intel Pentium III 500 МГц ОЗУ 128 МБ Объем кэш-памяти второго уровня – 256 кБ НЖМД SCSI - 30 Гб Накопитель SCSI Flash-disk – 3072 МБ Сетевой интерфейс 100BaseTX - 2 шт. Количество портов USB – 2 шт.	Процессор Intel Pentium М 1,4ГГц ОЗУ 512МБ Объем кэш-памяти второго уровня – 2 Мбайт НЖМД SCSI - 30 Гб Накопитель SCSI Flash-disk – 6144 Мб Сетевой интерфейс 100BaseTX - 2 шт. Количество портов USB – 2 шт.	Процессор Intel Core 2 Duo 1,86ГГц ОЗУ 4ГБ Объем кэш-памяти второго уровня – 6 Мбайт НЖМД SATA 250Гб Накопитель SATA Flash-disk – 80 Гб Сетевой интерфейс 1000Base-T – 2 шт. Количество портов USB – 4 шт.
Категория сейсмостойкости	I	I	I	I

СРВПЭ Белорусской АЭС 1,2 построена как система, состоящая из двух независимых каналов регистрации и хранения информации.

Сохранение зарегистрированной информации при запроектных авариях обеспечивается применением в составе серверов СРВПЭ модуля хранения информации, представляющего собой защищенный металлический контейнер с Flash-дискон.

СРВПЭ Белорусской АЭС 1,2 разработана с учетом опыта ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» по созданию аналогичных систем для АЭС Бушер 1, АЭС Кунадкулам 1,2 и Белоярской АЭС 4 и превосходит аналоги по всем техническим характеристикам.

УДК 539.216:546.824-31

РАЗРАБОТКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОБОПОДГОТОВКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА АЭС

В.Г. КИЕТ, С.В. КИЕТ

*НПП «Техноприбор»
Косинская, 7, Москва, 111538, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Ожидаемый в ближайшие десятилетия значительный рост энергопотребления в мировой экономике ставит перед энергетиками новые перспективные задачи по экономической эффективности использования природных ресурсов, безопасности эксплуатации основного оборудования на тепловых и атомных электростанциях, а также существенное снижение влияния энергоустановок на окружающую экологию.

Большую роль в решении этих задач отводится автоматизированному контролю параметров теплоносителя в энергетике. С этой целью на большинстве АЭС в настоящее время введены в эксплуатацию системы контроля водо-химического режима (ВХР), основу которых составляют устройства подготовки пробы и приборы автоматического химического контроля.

Одним из современных отечественных разработчиков и производителей данных систем водоконтроля является Московское научно-производственное предприятие «ТЕХНОПРИБОР». В настоящее время на его производственной базе выпускается широкая линейка переносных и стационарных приборов для контроля параметров водно-химического режима основного оборудования атомных и тепловых электростанций, а также модельный ряд многофункциональных автоматизированных устройств первичной и вторичной подготовки пробы водного теплоносителя.

Данная продукция с успехом внедрена и эксплуатируется не только на энергообъектах Российской Федерации и в странах СНГ, но также и в странах дальнего зарубежья, таких как Болгария, Индия, Иран, Китай, Куба, Пакистан, Хорватия и др.

25-летний опыт работы НПП «ТЕХНОПРИБОР» на рынке производителей оборудования и аналитических приборов контроля водных сред, позволяет предоставлять нашим клиентам полный комплекс услуг по вводу и эксплуатации систем контроля и управления ВХР, среди которых следующие:

1. Разработка приборов химического контроля на базе собственного научно-технического центра, позволяющего быстро и гибко реагировать на запросы и предложения заказчиков и проводить непрерывную работу по конструкторскому и технологическому усовершенствованию выпускаемой продукции

2. Собственное производство, позволяющее минимизировать расходы на изготовление, проводить гибкую ценовую политику, а также вести контроль качества выпускаемой продукции в соответствии с сертификатами стандарта качества ИСО 9001:2011

3. Проектирование систем химического контроля качества водного теплоносителя (проектно-сметной документации) для атомных и тепловых электростанций.

4. Комплексное сопровождение проектов «под ключ»: монтаж, шеф-монтаж, пусконаладка, обучение персонала, гарантийное и сервисное обслуживание.

5. Собственный метрологический центр, аттестованный проводить калибровку и поверку аналитических приборов и весового оборудования российского и зарубежного производства.

6. Учитывая важность грамотной эксплуатации оборудования систем автохимконтроля (АХК), для обеспечения его надежной и продолжительной работы, на базе предприятия создан учебный центр, обучающий персонал объектов энергетики основам обслуживания аналитических приборов и систем пробоподготовки.

7. Полноценная техническая поддержка с возможностью технического обслуживания оборудования на объекте заказчика, расширенная гарантийная поддержка (до 3-х лет гарантии), предоставление оборудования для бесплатного тестирования.

Все оборудование внесено в Государственный Реестр средств измерений, разрешенных к использованию на территории РФ. Получены лицензии Госатомнадзора на конструирование, изготовление и эксплуатацию оборудования для АЭС и Разрешение Ростехнадзора на применение комплектных стенов химконтроля на объектах Котлонадзора.

Помимо производства систем АХК НПП «ТЕХНОПРИБОР» активно развивает научное направление, связанное с:

1) разработкой концепции создания систем контроля качества водных сред с учетом новых технологий и научных разработок, подразумевающей новые подходы к созданию датчиков аналитических приборов и к разработке вторичных преобразователей;

2) разработкой инновационных конструкторских решений по компоновке отдельных узлов приборов на стендах химического контроля;

3) созданием и внедрением новых модульных элементов в систему устройства подготовки пробы (УПП), обеспечивающих безопасность персонала и оборудования при эксплуатации и в аварийных ситуациях;

4) разработкой современного промышленного дизайна для выпускаемой продукции;

5) разработкой новых методов измерения качества водного теплоносителя и внедрения систем АХК нового поколения, обеспечивающих точность и надежность в области микроконцентраций;

6) анализом мирового опыта производства измерительных датчиков;

7) разработкой новых направлений в области автоматического измерения таких показателей, как, например, общий органический углерод (ООУ), кремний, хеламин, гидразин.

В настоящее время наблюдается тенденция перехода от разнесенной установки датчиков, вторичных преобразователей и устройств подготовки пробы к объединению их в одном помещении на одном стенде химконтроля. Укомплектованный стенд включает в себя все необходимые приборы и системы, монтажную арматуру и вспомогательное оборудование, что значительно упрощает монтаж, пуско-наладку и обслуживание системы автоматического химконтроля, а также существенно экономит производственные площади.

Стенды химконтроля проектируются и изготавливаются индивидуально по требованиям Заказчика и в соответствии с нормируемыми показателями ВХР.

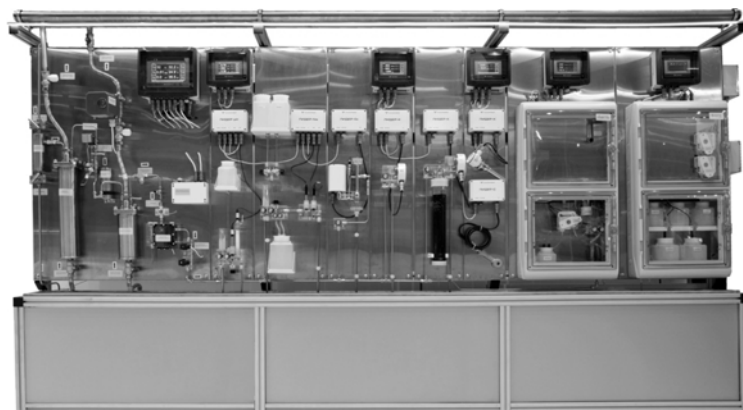


Рис 1. Пример стенда SKU ВХР системы «ЛИДЕР»

На основании рекомендаций специалистов ВНИИ АЭС и НИАЭП, а также специалистов предприятий тепловой и атомной энергетики, научно-техническим центром НПП «ТЕХНОПРИБОР» было разработано новое поколение устройств подготовки пробы, отвечающее самым современным требованиям и учитывающее специфику применения на АЭС.



Рис. 2. Пример УПП с двухконтурным охлаждением и системой стабилизации температуры пробы

Основными особенностями УПП нового поколения являются:

- модульная конструкция системы, позволяющая адаптировать ее под практически любое техническое требование Заказчика;
- возможность установки температуры в системе стабилизации температуры пробы. Полный контроль параметров пробы с помощью датчиков давления, расхода и температуры;
- вторичный преобразователь с цветным сенсорным дисплеем с интуитивно понятной структурой меню и поддержкой аналоговых токовых и цифровых выходов RS-485/Modbus и Ethernet/Modbus;
- очень часто при использовании проточных приборов АХК возникают проблемы с качеством пробы, поступающей на первичные датчики. Механические фильтры УПП не всегда справляются с очисткой водного теплоносителя. С целью защиты измерительных элементов от загрязнения и предотвращения выдачи в СКУ ВХР недостоверной информации от приборов АХК, в УПП предусмотрена возможность автоматического отключения подачи пробы на приборы по достижении ее предельной степени загрязнения;
- в конструкции УПП предусмотрено использование быстроразъемных соединений, что значительно упрощает монтаж и обслуживание;
- в системе защиты аналитических приборов от перегрева пробой теплоносителя применен энергонезависимый высоконадежный отсечной клапан с возможностью дистанционного управления;

В настоящее время на НПП «ТЕХНОПРИБОР» разработаны и запущены в серийное производство интеллектуальные приборы серии «ЛИДЕР» (рис. 3).



Рис 3. Система «ЛИДЕР» с двумя кондуктометрическими каналами (ЛИДЕР-К) и каналом рН (ЛИДЕР-рН) (слева) и система «ЛИДЕР» с каналом общего органического углерода (ЛИДЕР-ТОС) (справа)

При описании этих приборов хочется отметить следующие характеристики.

1. Использование самой современной электронной базы, позволившей создать многоканальные измерительные комплексы контроля качества водных сред. Универсальная многоканальная система, способная одновременно работать с разными типами датчиков (от 1 до 3-х), делает систему химконтроля более компактной и удобной в обслуживании.

2. Возможность одновременного подключения всех распространенных типов датчиков в любом сочетании: кондуктометра, иономеров (рН-метра, Na-метра), кислородомера, водородомера, концентратомера, общего органического углерода.

3. Разработанный в рамках многоканальной системы концентратомер нового поколения с бесконтактным индуктивным датчиком. Его уникальной особенностью является минимальный предел чувствительности, который составляет 2 мкСм/см, что позволяет с высокой точностью измерять не только концентрации растворов широкого перечня солей, кислот и щелочей, но и концентрации аминов, аммиака и гидразина.

4. Полностью модернизированный, наиболее распространенный на объектах энергетики датчик проводимости серии ДК, что позволило значительно расширить диапазон измерений (10 нСм/см – 800 мкСм/см) и улучшить погрешность (класс точности) кондуктометрического канала ЛИДЕР-К до 1 %.

5. Созданная для облегчения обслуживания и повышения достоверности измерения показателей рН и рNa в составе многоканальной системы «ЛИДЕР» система автодиагностики состояния измерительных электродов.

В таблице представлен перечень современных анализаторов химконтроля НПП «Техноприбор» серии «ЛИДЕР», в производстве которых нашли свое применение новые разработки научно-технического центра, позволившие значительно повысить класс приборов.

Перечень измерительных каналов, входящих в систему «ЛИДЕР»

Измерительный канал системы	Показатель и диапазон его измерения	Точность
Удельная электропроводность	УЭП от 10 нСм/см до 100 мСм/см солеосодержание от 0,01 мкг/кг до 10 г/кг	±1,0 % ±2,5 %
рН	от 0 до 14 рН ЭДС/ОВП от -2400 мВ до +2400 мВ	±0,05 рН ±1 мВ
Натрий	от 0,1 мкг/л до 99,9 г/л	±4,0 %
Кислород	от 0,8 мкг/л до 20,0 мг/л	±1,5 %
Водород	от 2,0 мкг/л до 2,0 мг/л	±3,0 %
Анализатор примесей в чистой воде (АПК)	от 5,0 до 11 рН концентрации хлоридов от 0 до 100 мкг/л концентрации натрия от 0 до 100 мкг/л концентрации аммиака от 0 до 1000 мкг/л	±0,05 рН ±10 % ±10 % ±10 %
Общий органический углерод (ООУ)	от 0,05 до 1000 мкг/л	±10 %
Концентратомер	УЭП ₂₅ от 2 мкСм/см до 2000 мСм/см массовой концентрации вещества от 0,01 до 99,9 %	±2,5 % ±5,0 %
Общая жесткость	от 5 до 10000 мкг-экв/л	±5,0 %

В таблице представлен перечень современных анализаторов химконтроля НПП «Техноприбор» серии «ЛИДЕР», в производстве которых нашли свое применение новые разработки научно-технического центра, позволившие значительно повысить класс приборов.

УДК 621.039.4

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСУ ТП АЭС НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SMARTPLANT ENTERPRISE

А.Б. КАБАЧНИКОВ, А.В. МОРОЗОВ

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия*

Поступила в редакцию 27 января 2015

В работе с зарубежными заказчиками атомных электростанций (АЭС) необходимо учитывать требования международных стандартов. В области АСУ ТП АЭС это, в первую очередь, рекомендации МАГАТЭ, стандарт МЭК 61513, а также требования регулирующих органов стран, строящих атомную энергетику.

Рассмотрены вопросы системной инженерии АСУ ТП АЭС и, в частности, через призму стандарта ИСО 15288 [1]. Стандарт ИСО 15288 носит общий характер и скорее дает понятийную основу жизненного цикла (ЖЦ) сложной инженерной системы, какой является АСУ ТП АЭС. Конкретизация этапов и процессов жизненного цикла – задача проектировщиков, изготовителей, наладчиков и персонала эксплуатирующего АСУ ТП. И об этом прямо говорится в ИСО 15288 и МЭК 61513.

На рис. 1 представлена обобщенная V-модель типового жизненного цикла АСУ ТП АЭС. Все процессы, изображенные на рис. 1, реально выполняются и описаны в соответствующих договорах, технических заданиях, а также в проектной, рабочей и эксплуатационной документации.

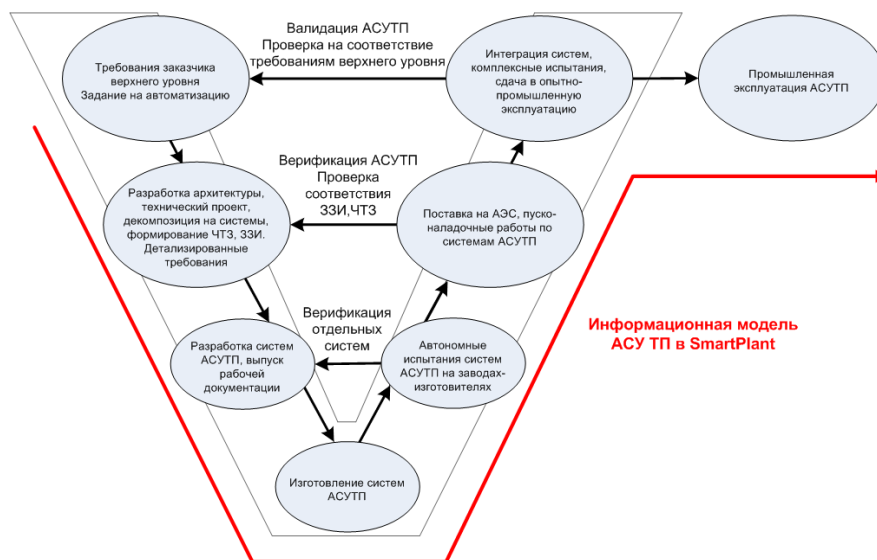


Рис. 1. Обобщенная V-модель типового жизненного цикла АСУ ТП АЭС

Понятия структуры и поведения систем позволяют выделить следующие процессы: процесс динамического моделирования и процесс формирования статического информационного описания АСУ ТП, который будем называть, информационной моделью (ИМ) АСУ ТП.

По мнению авторов, информационная модель должна сопровождать АСУ ТП почти на всем жизненном цикле АЭС. Цели и варианты использования ИМ АСУ ТП можно разделить на

две категории – для внешнего взаимодействия и внутри организации. При оптимальном варианте ИМ АСУ ТП должна входить в информационную модель энергоблока. ИМ АСУ ТП, разрабатываемая АО ВНИИАЭС, реализуется на базе программного комплекса SmartPlant Enterprise фирмы Intergraph. Выбор данного комплекса обусловлен наличием в его составе необходимого набора программ для формирования ИМ АСУ ТП, а так же использованием SmartPlant всеми АЭП при проектировании, что в дальнейшем должно упростить процесс интеграции ИМ АСУ ТП в единую ИМ энергоблока.

В настоящее время авторами при создании ИМ АСУ ТП используются следующие программные пакеты из комплекса SmartPlant:

- SmartPlant P&ID (SP P&ID) – проектирование функционально-технологических схем;
- SmartPlant Instrumentation (SPI) – проектирование АСУ ТП;
- SmartPlant Foundation (SPF) – управление инженерными данными и документами.

Перечисленные пакеты могут быть использованы как при проектировании АСУ ТП (в качестве САПров), так и при интеграции данных от разработчиков подсистем АСУ ТП с целью формирования полной ИМ АСУ ТП для дальнейшего ее использования на этапах пуска-наладки, эксплуатации, модернизации и вывода из эксплуатации энергоблока.

На рис. 2 представлен состав ИМ АСУ ТП в комплексе SmartPlant с перечнем предприятий, данные от которых предполагается интегрировать в рамках ИМ.

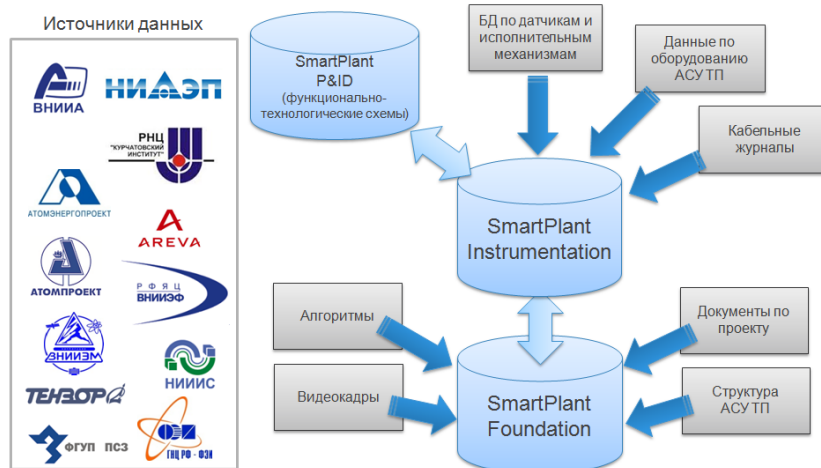


Рис. 2. Состав информационной модели АСУ ТП в SmartPlant

Осуществимы несколько вариантов организации работ над ИМ АСУ ТП в программном комплексе SmartPlant, в том числе:

- удаленная работа сотрудников ВНИИАЭС на серверах генерального проектировщика энергоблока (ИМ АСУ ТП в составе ИМ энергоблока);
- работа на серверах ВНИИАЭС, получение данных от подрядчиков в виде БД различных форматов (отдельная ИМ АСУ ТП).

Обобщенно можно выделить следующие этапы создания ИМ АСУ ТП в SmartPlant:

- создание структуры декомпозиции объекта проектирования (PBS) в SPF;
- создание функционально-технологических схем в SP P&ID;
- создание оборудования нижнего, среднего и верхнего уровней АСУ ТП в SPI;
- создание кабельных соединений между оборудованием в SPI;
- автоматическая генерация отчетов (кабельные журналы, схемы соединений, компоновки шкафов) в SPI;
- публикация данных из SP P&ID и SPI, а так же различных документов по проекту в SPF с целью формирования единого структурированного репозитория данных.

Выполнение перечисленных выше этапов при условии своевременного получения непротиворечивых данных от подрядчиков позволяет в итоге получить адекватную ИМ АСУ ТП.

Отдельно стоит отметить функцию автоматической генерации отчетов пакета SPI, что в совокупности с интеграцией значительного объема данных по АСУ ТП в единой базе данных SPI дает возможность формирования высокоинформативных графических отчетов, получение которых без использования САПров представляется затруднительным.

В качестве примера можно привести схемы трассировки сигнала от оборудования-источника (датчики, исполнительные механизмы и пр.) до модуля обработки в шкафу управления через соединительные коробки, гермопроходки, шкафы сопряжения и др. оборудование. На рис. 3 представлены примеры таких схем, автоматически сгенерированных в пакете SmartPlant Instrumentation после загрузки всех необходимых данных.

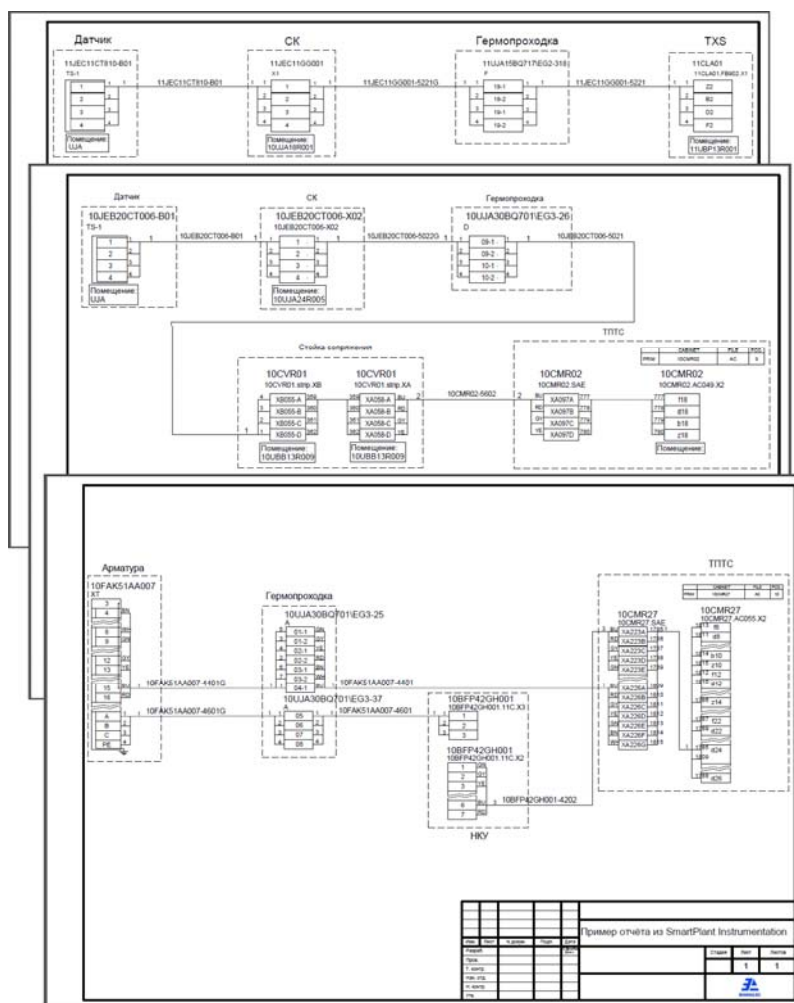


Рис. 3. Графические отчеты с трассировкой сигналов в SmartPlant Instrumentation

- Резюмируя, можно выделить следующие основные преимущества использования ИМ АСУ ТП:
- единая структура декомпозиции объекта проектирования;
 - единое хранилище актуальной проектной информации из различных источников;
 - гибкая настройка отчетов и управление версиями;
 - управление правами доступа (с возможностью «заморозки» проекта с помощью изменения прав на редактирование данных и документов);
 - возможность территориально-распределенной работы;
 - использование на этапах проектирования, пусконаладочных работ, эксплуатации и модернизации АСУ ТП;
 - возможность интеграции ИМ АСУ ТП с единой ИМ энергоблока от генерального проектировщика, также выполненной в SmartPlant.

На данный момент в отделении АСУ ТП АО ВНИИАЭС ведутся работы над ИМ АСУ ТП НВАЭС-2 блок 1 и ИМ АСУ ТП энергоблока с реактором СВБР-100, находящимися на разных стадиях готовности.

Список литературы

1. Боженов О.Л., Кабачников А.Б. // Системная инженерия АСУ ТП АЭС». Ядерные измерительно-информационные технологии. 2009. № 2.

УДК 621.039.4

ИНТЕГРАЦИЯ АСУ ТП И СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АЭС – ТЕХНОЛОГИИ И ОПЫТ ИПУ РАН

Н.И. МЕНГАЗЕТДИНОВ, А.Г. ПОЛЕТЫКИН

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук
Профсоюзная, 65, Москва, 117997, Россия*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Введение

Задача интеграции АСУ ТП при помощи системы верхнего блочного уровня (СВБУ) была поставлена организациями АЭП и АСЭ в начале проекта АЭС «Бушер». Ряду российских организаций (АСЭ, АЭП, ЭНИЦ, ИПУ РАН, НИИИС, ВНИИА, КИАЭ, ВНИИЭМ и др.) было поручено создание современной АСУ ТП для АЭС с реакторами ВВЭР, обладающей новыми функциональными возможностями, включая дисплейный способ управления, удовлетворяющей современным требованиям (МЭК, МАГАТЭ), реализованной на отечественных технических средствах.

Технический проект АСУ ТП АЭС «Бушер», разработанный ОАО «Атомэнергопроект», поставлен и вводится в эксплуатацию ЗАО «Атомстройэкспорт». Данный проект в целом и все подсистемы АСУ ТП по отдельности прошли полный жизненный цикл от технического проекта до ввода в опытную эксплуатацию, включая все необходимые этапы верификации, валидации в соответствии с требованиями МЭК 60880. Работы велись под контролем МАГАТЭ. Проект был протипажирован с учетом накопленного опыта, изготовлен, испытан и поставлен на энергоблок 1 (ЭБ1) и энергоблок 2 (ЭБ2) АЭС «Куданкулам».

СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам» представляет собой полностью отечественную лицензионно чистую разработку, выполненную по заказу ОАО АСЭ.

В монографии [1] содержатся достаточно полные сведения по СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер». Публикация [2] содержит попытку критического анализа достижений и не решенных вопросов, а также прогноз на будущее (четвертое поколение АСУ ТП АЭС). Публикация [3] содержит более подробную информацию по теме доклада. Все ссылки находятся в свободном доступе и могут быть использованы для нахождения публикаций и перечней документации.

Основные определения

СВБУ – система автоматического сбора, хранения, представления информации о текущем состоянии технологического объекта управления (ТОУ) и АСУ ТП, автоматизированного дистанционного формирования команд управления механизмами ТОУ и алгоритмами АСУ ТП. СВБУ представляет собой распределенную вычислительную систему, основными элементами которой являются программно-технический комплекс (ПТК СВБУ) и прикладное программное обеспечение (ППО) СВБУ.

ПТК СВБУ – это продукция, представляющая собой совокупность программно-технических средств (ПТС), объединенных локальной вычислительной сетью (ЛВС), с установленным базовым программным обеспечением.

Базовое программное обеспечение включает Системное программное обеспечение (СПО), комплекс программ «Рабочее программное обеспечение» (РПО), входящий в комплекс программ «Рабочее программное обеспечение и Конфигуратор» (РПОиК) (прошедший

верификацию и не имеющий лицензионных ограничений для поставки на АЭС) и программный комплекс администрирования технических и программных средств (АТПС) ПТК СВБУ.

ППО СВБУ – это совокупность комплексов программ, решающих задачи СВБУ (полный перечень задач СВБУ приведен в [4]). В состав комплекса ППО входят рабочие базы данных (РБД СВБУ) и комплексы программ, решающие специальные задачи СВБУ.

Последние представлены задачами:

- системы представления параметров безопасности (СППБ);
- системы представления обобщенной информации по готовности каналов систем безопасности (СКГСБ);
- расчета технико-экономических показателей (ТЭП), выполненного в соответствии с требованиями;
- автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР-412);
- защиты от несанкционированного доступа (ЗНСД).

РБД СВБУ – машинная база данных, формируемая инструментальным комплексом «Конфигуратор», предназначенная для работы совместно с РПО и описывающая конкретный технологический объект управления, в частности, АЭС «Бушер» или АЭС «Куданкулам».

Основные особенности

Полная лицензионная чистота и доступность исходных текстов. На все комплексы программ СВБУ, включая операционную систему и средства обеспечения информационной безопасности, имеется полный комплект программной документации, документов процесса верификации и справки о лицензионной чистоте, что позволяет удовлетворить текущие и перспективные требования заказчика. Для реализации СВБУ АСУ ТП на программной платформе РПОиК не требуется разработка каких-либо новых программ, за исключением рабочих баз данных, учитывающих технологические особенности объекта назначения.

Соответствие российским и международным требованиям по качеству программного обеспечения. Все программное обеспечение разработано в соответствии с Российскими (ЕСПД, ГОСТ 34) и международными (МЭК, 60880) стандартами и требованиями соответствующих программ обеспечения качества. В процессе верификации ПО СВБУ проводилась оценка качества программного обеспечения на основе факторов и критериев качества программных средств, в соответствии с нормативными документами.

Доступность проектной, рабочей и эксплуатационной документации. Наличие полного комплекта документации, включая документацию по верификации и валидации, разработанной на всех этапах жизненного цикла в соответствии с требованиями МЭК, ГОСТ и РД, обеспечивает возможность сертификации по существующим и перспективным требованиям в области безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры РФ.

Наличие поддержки ПО исключительно российскими разработчиками. Наличие в ОАО «ЭНИЦ», ИПУ РАН и ФГУП «ФНПЦ НИИИС» подразделений высококвалифицированных специалистов с опытом разработки, верификации и валидации ПО (программного обеспечения) для АЭС обеспечивает гарантированное решение вопросов эксплуатации, адаптации и модернизации ПО в условиях быстрого морального старения комплектующих и обеспечения современных требований по качеству и безопасности управления энергоблоком.

С минимальными затратами возможно проведение модернизации СВБУ и АСУ ТП в целом для вновь строящихся блоков в части:

- расширения функциональных возможностей СВБУ;
- совершенствования человеко-машинного интерфейса;
- совершенствования функциональных характеристик АСУ ТП;
- введения пусконаладочного режима работы СВБУ, облегчающего процедуры настройки параметров АСУ ТП при проведении пусконаладочных работ.

Масштабируемость и совместимость с вычислительными средствами различных типов. Оригинальные особенности программного обеспечения дают возможность не предъявлять высоких требований к техническим средствам по быстродействию и объемам памяти, что обеспечивает возможность установки ПО на технические средства от мобильных

устройств до суперкомпьютеров и позволяет применять типовые решения для локализованных подсистем, ядерного острова, отдельных энергоблоков и многоблочных АЭС. Демонстрационные версии можно найти на www31.ipu.rssi.ru.

Устойчивость по отношению к киберугрозам. СВБУ АЭС «Бушер» является одной из первых систем управления, в которой при проектировании закладывался глубокий уровень защиты от несанкционированного доступа. Поэтому архитектура системы и интегрированные средства защиты обеспечивают устойчивость системы к кибератакам, возможность обнаружения нарушений в защите, до того как они приведут к отказу в реализуемых системой функциях.

Сжатые сроки поставки и ввода в действие. Сжатые сроки обеспечиваются отсутствием необходимости в разработке базового ПО (программная платформа «ОПЕРАТОР» поставляется в составе ПТК СВБУ и программно-технических средств СВБУ после полномасштабных испытаний на заводе изготовителе), минимизацией длительности этапа разработки прикладного ПО (РБД и технологических приложений).

Технология интеграции и испытаний АСУ ТП посредством СВБУ, впервые разработанная для АЭС «Бушер», позволила осуществить поставку на площадки АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам» низовых ПТК и СВБУ в высокой степени заводской готовности, что, в свою очередь, обеспечило возможность проведение пусконаладочных работ на энергоблоках АЭС с использованием СВБУ.

Структура и состав программного обеспечения

Состав ПО СВБУ АЭС «Куданкулам», включая ПО ПТК СВБУ, приведен на рисунке. Основные функциональные характеристики СВБУ обеспечиваются программными комплексами.

Комплекс ПО ПТК СВБУ в составе:

- системное программное обеспечение (СПО);
- рабочее программное обеспечение и конфигуратор (РПОиК «ОПЕРАТОР»).

Комплексы прикладного программного обеспечения (ППО) в составе ППО ИУРО, ИУТО, ИУН, АТПС, ИНС, ИУ РПУ, которые определяют характеристики СВБУ, в части правил обработки входных/выходных сигналов и их представления на АРМ СВБУ, и разрабатываются на основе заданий на программирование, выдаваемых проектной организацией.

Все программы и программные комплексы для АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам» разработаны Институтом проблем управления РАН.

1. Все программное обеспечение, применяемое в СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер», АЭС «Куданкулам», может использоваться как референтное; не имеет лицензионных ограничений, поскольку используются только разработки ИПУ РАН и других российских организаций;

2. На все программное обеспечение имеются исходные тексты программ;

3. Все программные компоненты прошли верификацию и валидацию в соответствии с требованиями МЭК 60880 [1–4], 61513;

4. Все программные комплексы имеют:

- системное программное обеспечение (СПО);
- рабочее программное обеспечение и конфигуратор (РПОиК);
- интерфейсное программное обеспечение (ИПО);
- рабочие базы данных СВБУ АЭС «Бушер»;
- рабочие базы данных СВБУ АЭС «Куданкулам».

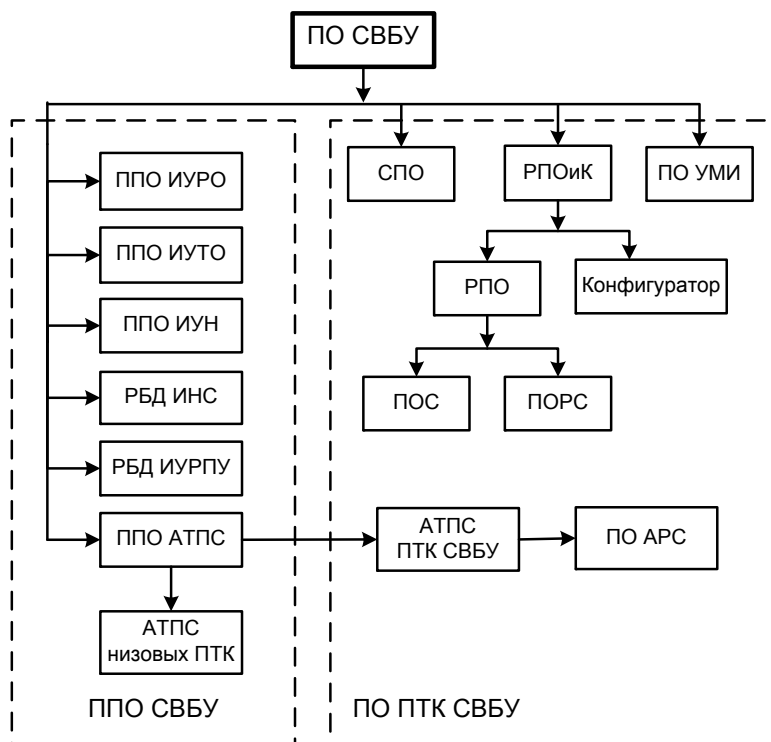
Прошли полный цикл испытаний и приемку МВК.

1. Оригинальные особенности программного обеспечения дают возможность не предъявлять высоких требований к техническим средствам по быстродействию и объемам памяти.

2. Наличие интерфейсного программного обеспечения с открытым кодом делает АСУ ТП открытым, дает возможность расширения и замены на аналоги компонентов АСУ ТП.

3. АСУ ТП может быть дополнено Системой регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ).

4. Для реализации СВБУ АСУ ТП на программной платформе РПОиК не требуется разработка каких-либо новых программ, за исключением Рабочих баз данных, учитывающих технологические особенности объекта назначения.



Состав ПО СВБУ

Авторы придерживаются точки зрения, что АСУ ТП АЭС четвертого поколения [2] создавать необходимо как можно быстрее. Главными чертами у них будут простота и защищенность от киберугроз. Технологии ИПУ РАН сейчас относятся к третьему поколению АСУ ТП АЭС [2]. Однако они могут служить основой для технологий интеграции АСУ ТП четвертого поколения. В настоящее время проводятся НИР в этом направлении.

Список литературы

1. Менгазетдинов Н.Э., Бывайков М.Е., Зуенков М.А. и др. Комплекс работ по созданию первой управляющей системы верхнего блочного уровня АСУ ТП для АЭС «Бушер» на основе отечественных информационных технологий. М., 2013.
2. Коган И.Р., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г. и др. // Труды XII Всерос. Совец. По проблемам управления. Москва, 16–19 июня 2014 г.
3. Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е. // Труды XII Всерос. Совец. По проблемам управления. Москва, 16–19 июня 2014 г.
4. Менгазетдинов Н.И., Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е. и др. // Матер. XII Всерос. совещания по проблемам управления. Москва, 16–19 июня 2014 г.

УДК 681.5.03

НАДЕЖНОСТЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ И БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

А.С. АЛПЕЕВ

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
Малая Красносельская, 2/8, корпус 5, Москва, 107140, Россия

Поступила в редакцию 27 января 2015

Рассмотрены аспекты применимости программируемых управляющих систем на атомных станциях. Отмечены преимущества и недостатки этих систем. Основными недостатками названы: невозможность обоснования показателей надежности реализуемых функций управления, подверженность возможным кибератакам. Предложен метод выбора средств автоматизации для реализации управляющих систем на программируемых и не программируемых средствах автоматизации на основе проведения функционального анализа управляющих систем атомной станции.

Ключевые слова: безопасность, управляющая система, атомная станция, надежность, безотказность, средства автоматизации, программное обеспечение, анализ, функция, функциональная группа, показатель.

Проблема обоснования надежности программного обеспечения с момента его применения в практической деятельности человека занимает важное место, поскольку его использование для достижения требуемых результатов стало необходимым при решении разнообразных сложных задач практически во всех областях науки и народного хозяйства. Особую важность приобретает доказательство его характеристик по надежности при создании управляющих систем для ядерноопасных объектов, таких например, как атомные станции. Дело в том, что безаварийное функционирование атомной станции должно обеспечиваться в течение длительного времени – порядка 40–60 лет. Такая длительная безаварийная работа требует реализации управляющих систем с показателями надежности, реализация и демонстрация которых в настоящее время практически не достижима. Поэтому исследованиями в этой области занимаются в разных странах различного рода коллективы уже не менее четырех – пяти десятков лет, и пока необходимого результата не достигнуто. Конечно, решение этой проблемы насущно и необходимо, но задача по применению программируемых средств автоматизации должна решаться здесь и сейчас на тех исходных данных, которые достигнуты в настоящее время. Как уже отмечалось, к надежности программного обеспечения, используемого в управляющих системах атомных станций, для осуществления управления в режимах эксплуатации и при авариях предъявляются достаточно высокие требования, которые при современном состоянии программируемых средств автоматизации и системотехники не обеспечивают доказательства необходимой наработки на отказ реализуемых функций порядка 10^6 ч. Такое состояние с разработкой управляющих систем является неудовлетворительным и требует принятия мер, которые гарантировали бы надлежащую надежность функционирования атомной станции (АС). Кроме того, появившаяся в настоящее время информация об успешных кибератаках на оборудование с управляющими программируемыми системами, связанными с ядерными установками [1], значительно повысило интерес к решению проблем надежности управляющих систем в области ядерной энергетики.

Рассмотрим современное состояние дел с имеющейся информацией по средствам и системам автоматизации. Следует учитывать, что количественная оценка безотказности

цифровых программируемых систем из-за ряда недостатков более трудна, чем для непрограммируемых систем. Это может вызывать определенные трудности в демонстрации ожидаемой безопасности системы, выполненной на основе компьютерной техники. В настоящее время требования высокой программной безотказности не доказуемы. Следовательно, проекты, базирующиеся на единственной системе, выполненной на основе компьютерной техники и достигающей вероятности отказа на требование более низкой, чем 10^{-4} для программного обеспечения, должны реализовываться с предосторожностью [2, п.2.9]. К тому же количественное определение программной безотказности остается нерешенной проблемой. Испытание программного обеспечения имеет некоторые ограничения и поэтому количественное определение программной безотказности для компьютерных систем может быть трудно или невозможно продемонстрировать [2, п. 2.13].

Для последующих рассуждений предлагается все средства автоматизации разделить на две группы: 1 – программируемые средства автоматизации, 2 – не программируемые средства автоматизации. Управляющие системы могут быть реализованы как на средствах автоматизации первой, так и второй группы, и такой опыт в мировой практике создания этих систем уже накоплен. Рассмотрим достоинства и недостатки управляющих систем реализованных на средствах автоматизации указанных ранее групп.

Сразу отметим, что в последнее время наблюдается расширяющееся применение управляющих систем, базирующихся на программируемых средствах автоматизации.

В частности, это связано с тем, что в этих системах достигается:

- обеспечение улучшенного контроля параметров атомной станции, в том числе параметров, важных для безопасности;
- обеспечение улучшенного интерфейса оператор-объект;
- обеспечение оперативных испытаний;
- обеспечение самоконтроля средств автоматизации и функциональных групп;
- обеспечение улучшенной диагностики;
- обеспечение повышенной точности измерения;
- обеспечение повышенной устойчивости;
- уменьшение потребности в кабельных соединениях за счет применения мультиплексных структур (общих информационных шин);
- облегчение модификации управляющих систем под развивающиеся задачи эксплуатации.

Указанные преимущества программируемых управляющих систем не исключают имеющихся недостатков таких систем. Например, такие как:

- разработка и создание программного обеспечения представляют собой более сложный процесс и поэтому имеют большую вероятность формирования ошибок, выявление которых представляет собой достаточно сложную задачу;
- трудность демонстрации характеристики безотказности;
- реализация программного обеспечения, как правило, представляет собой дискретные логические модели реального мира, что имеет два типа последствий:
 - программное обеспечение более чувствительно (т.е. менее терпимо) к «маленьким ошибкам»;
 - методы интерполяции и экстраполяции полностью не пригодны, поскольку приводят к недостоверным результатам.

Таким образом, первая группа средств автоматизации позволяет создавать управляющие системы с повышенными показателями качества работы, однако эти системы не имеют достаточного обоснования по надежности выполнения требуемых функций и могут быть подвержены кибератакам [1].

Вторая группа средств автоматизации имеет большой опыт промышленного применения, однако уступает первой группе по качеству реализации требуемых функций, более сложна в изготовлении, наладке и сервисном обслуживании. Но для управляющих систем, выполненных на этих средствах автоматизации, достаточно хорошо обосновываются показатели надежности и они, как показывает опыт многолетней эксплуатации, не подвержены воздействию кибератак.

При таком рассмотрении управляющих систем, реализованных на тех или иных средствах автоматизации, хорошо видны их преимущества и недостатки. При этом, на взгляд автора, напрашивается рассмотрение возможного симбиоза систем на средствах автоматизации из двух названных ранее групп с тем, чтобы использовать их положительные качества в полной

мере и избежать проявления негативных моментов их применения.

Для этой цели необходимо проанализировать функциональные группы всех управляющих систем атомной станции, чтобы выделить функциональные группы, для которых качество реализации представляется достаточно сложным и трудоемким, и функциональные группы, отказ которых приводит к аварии. В соответствии с [3] «Функциональная группа – принятая в проекте часть управляющей системы, представляющая собой совокупность средств автоматизации, выполняющих заданную функцию». В проектной документации управляющих систем важных для безопасности должны быть определены функциональные группы и их классификация по категориям безопасности [3, п. 3.17]. При проведении требуемого анализа необходимо учитывать не только классификацию функциональных групп по безопасности, но и целый ряд аспектов, важных для реализации управляющих систем. Например, функциональные группы, реализующие защиты по одному параметру, как правило, представляют собой достаточно простую структуру: измеритель параметра защиты, сравнивающее устройство с величиной заданного параметра защиты, устройство, формирующее исполнительный сигнал в случае превышения измеренным параметром величины заданного параметра и исполнительное устройство. Алгоритм работы такой системы защиты достаточно прост и со временем не меняется. Режим работы стационарен и обычно хорошо диагностируем. Отказ системы защиты может приводить к значительным убыткам, т.е. достижение успешной кибератаки должно быть невозможно. Для таких функциональных групп целесообразна ее реализация на средствах автоматизации, обозначенной ранее как 2 группа.

В случаях, когда функциональная группа реализует достаточно сложную функцию, например выравнивание поля энерговыделения активной зоны ядерного реактора, которая имеет достаточно сложный алгоритм реализации и зависит от множества постоянно меняющихся технологических параметров, то реализацию такой функциональной группы следует выполнять на средствах автоматизации 1 группы, поскольку эта группа обеспечит более высокое качество реализации требуемой задачи в автоматическом режиме, чем при автоматизированном управлении. Применение для автоматизации первой группы целесообразно в случаях, когда требуется управление, связанное с координацией большой группы параметров и в зависимости от меняющихся во времени технологических параметров, связанных, например, с выгоранием топлива или отказами технологического оборудования, при которых необходимо поддерживать непрерывность технологического процесса оперативным вводом в работу резервного оборудования. Таким образом, результаты функционального анализа управляющих систем атомной станции являются основой для выбора средств автоматизации для создания соответствующих управляющих систем. Следует отметить, что системы диагностики, особенно управляющих систем, важных для безопасности, по которым формируются сигналы аварийной защиты, также должны формироваться на основе не программируемых средств автоматизации, чтобы не подвергаться воздействию кибератак и иметь расчетное обоснование надежности. Как указывается в [4] п. 4.1.12 «Отчет по обоснованию безопасности АС должен содержать данные о показателях надежности систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, и их элементов, отнесенных к классам безопасности 1 и 2, а также систем и элементов безопасности. Анализ надежности должен проводиться с учетом отказов по общей причине и ошибок персонала».

Таким образом, все функциональные группы управляющих систем классов безопасности 1 и 2 будут иметь обоснованные расчетом показатели надежности, поскольку будут выполнены на средствах автоматизации группы 2. Функциональные группы класса 3, выполненные на программируемых средствах автоматизации, будут достигать наработки на отказ до 10^4 ч, что в настоящее время является допустимым значением.

Список литературы

1. Бовал В. // Армейский вестник. Сентябрь, 2012 г.
2. Программное обеспечение систем важных для безопасности, выполненных на основе компьютерной техники для атомных энергетических станций. NS-G-1.1.
3. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. НП-026-04.
4. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-97.

УДК 621.039.53

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА АСУ ТП АЭС

А.Н. АНОХИН

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования
НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Студгородок, 1, Обнинск, 249040, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Целью данной статьи является обозначение тех проблем, которые решаются или подлежат осмыслению при модернизации существующих или проектировании автоматизированных систем управления технологическим процессом АЭС нового поколения. Обсуждаются проблема распределения функций между человеком и автоматикой, проблема поддержки когнитивной деятельности, проблема больших объемов данных, проблема вторичной деятельности и навигации, проблема коммуникации и создания единой информационной модели, проблема управления вниманием и проблема виртуализации реальности.

Несмотря на существенный прогресс в области технических и программных средств создания автоматизированных систем управления технологическим процессом АЭС (АСУ ТП АЭС), проектирование человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) по-прежнему основано на принципах, сформировавшихся в эпоху приборных панелей с мнемосхемами и пультов управления с кнопками и ключами. Конечно, не следует отрицать огромное множество удачных решений и знаний, которые следует перенести на современную почву. Однако нужно понимать, что далеко не все они эффективно работают в современных условиях, характеризующихся возросшим объемом информации, увеличением сложности АЭС, повышением требований к их безопасности и эффективности, и, самое главное, появлением новых способов взаимодействия человека с машиной (компьютером). Для того, чтобы расставить приоритеты в решении задачи построения ЧМИ, в данной статье описываются основные проблемы, которые, на взгляд автора, существуют в данной области.

Проблема распределения функций между человеком и автоматикой

Сама постановка задачи автоматизации труда человека-оператора стимулирует разработчиков средств автоматизации передавать как можно больше функций техническим системам. Однако поначалу это стремление сдерживалось двумя факторами:

- 1) относительно слабыми вычислительными ресурсами и высокой трудоемкостью и стоимостью реализации систем автоматизации;
- 2) отсутствием адекватных моделей сложных систем и средств их верификации.

Считалось, что человек не очень надежен, зато может действовать в трудноформализуемых ситуациях, в то время как автоматика – наоборот. Это положение легло в основу принципа распределения функций, сформулированного Полом Фиттсом в 1950-х гг. Этот принцип предписывает назначение каждой функции тому субъекту управления, который наилучшим образом справится с данной функцией. На основе данного принципа в 1960–70-х гг разными авторами были созданы таблицы [1], описывающие достоинства человека и автоматики с точки зрения различных критериев, таких как:

- *уровень сложности* системы, степень неопределенности и наличие формализованных моделей управления;
- *уровень помех, шумов* и сигналов, несущих полезную информацию;
- *уровень надежности* и восстанавливаемости человека и машины;
- *ресурсные характеристики* и характеристики производительности человека и машины, возможности многозадачных процессов, перегрузок,
- *стоимость эксплуатации* и поддержания работоспособности.

Как ни странно, практически ни в одной из работ того времени всерьез не обсуждается такой критерий, как экономическая целесообразность автоматизации той или иной функции. Со временем ситуация с техническими средствами и инструментами для проектирования изменилась, существенно расширив возможности автоматизации. Современная АСУ ТП может собирать и глубоко обрабатывать огромные объемы данных, что позволяет перенести часть функций контроля и управления от человека к машине. Однако это приводит к уменьшению вовлеченности оператора в процесс управления, что негативно сказывается, когда от человека требуется принятие сложных и быстрых решений. Будучи «расслабленным», ему требуется время на оценку ситуации и подготовку решения. Поэтому все большее число современных работ акцентируют внимание на гармонизацию распределения функций с целью постоянного поддержания вовлеченности оператора в процесс управления. Таким образом, в противовес принципу «преимущественных возможностей» появляется принцип «взаимодополняемости»: нужно не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины так, чтобы происходило взаимное усиление их возможностей [2].

Продолжением этой идеи является обсуждаемый в литературе последнего десятилетия подход, предполагающий отход от фиксированного, раз и навсегда специфицированного назначения функций. Это назначение должно определяться динамически, в зависимости от ситуации, загруженности оператора и качества функционирования системы [3]. Такой подход получил название адаптивного, а его проекция на управление АЭС сделана в [4].

Автоматизация функций порождает еще одну психологическую проблему, которая еще серьезно не обсуждалась в отечественной научной периодике: доверие человека автоматике. Первыми эту проблему отметили исследователи в области искусственного интеллекта (например, как относиться к советам, генерируемым экспертными системами – беспрекословно следовать им или проверять их), в то время как разработчики стали говорить о ней лишь в сер. 2000-х гг. Совершенно очевидно, что крайние позиции – абсолютное доверие и абсолютное недоверие ни к чему хорошему привести не могут, хотя и возникают довольно часто. В то же время, принцип «доверяй, но проверяй» реализовать не так просто – он возлагает на человека дополнительную работу.

Еще один фактор, влияющий на распределение функций, является значимым для потенциально опасных технических объектов. Здесь возникает задача обеспечения безопасности, которая требует высокой надежности субъекта управления и выполнения четких и хорошо формализованных алгоритмов. В этой связи в отчете [5] сформулированы следующие критерии распределения функций:

- если существует требование некоторого нормативного документа, предписывающее назначение определенной функции человеку или машине (например, правило тридцати минут), то это требование должно быть выполнено;

- если выполнение функции требует высокой надежности ($P_{\text{ошибки}} < 0,01$), точности, быстрого исполнения (простая задача за несколько секунд, сложная за несколько минут или необходимое время выполнения сравнимо с имеющимся) или ее ручное выполнение может нанести вред здоровью, то она должна быть автоматизирована;

- если функция требует логического вывода, предполагает множество повторяющихся действий, создает высокую когнитивную нагрузку, содержит длительные периоды безделья, вызывает утомление или должна выполняться в мультизадачном режиме, то ее следует полностью или частично автоматизировать. К сожалению, в настоящее время в отрасли отсутствуют и/или не применяются процедуры обоснованного распределения функций. Действуют устоявшиеся традиции и принцип «автоматизировать все, что можно автоматизировать».

Проблема поддержки когнитивной деятельности

Несмотря на то, что работа операторов стала намного более формализованной, зарегламентированной и консервативной по сравнению, например, с 70–80-х гг., мы все же оставляем за ними функцию «интеллектуального агента», демонстрирующего поведение, основанное на знаниях [6]. Особая надежда возлагается на оператора в ситуациях, которые выходят за границы работы автоматики – это сложные аномалии с наложением событий, тяжелые аварии, задачи глобальной оптимизации работы АЭС (в противовес задачам локального регулирования процесса). В то же время, объем знаний и количество факторов, которые необходимо учитывать в таких ситуациях, велики, что ставит проблему поддержки интеллектуальной деятельности оператора.

Известны два способа такой поддержки. Первый заключается в компьютерной имитации рассуждений человека и выдаче ему возможного решения. На этом подходе базируются большинство существующих систем поддержки операторов, основанных на принципах искусственного интеллекта. Второй способ – активизация и ускорение мышления за счет перевода части когнитивной деятельности на уровень восприятия. Этот способ состоит в проектировании таких визуальных образов, которые отображают не просто информацию, но некоторые операции ее ментальной обработки, такие как сложение, сопоставление, сравнение, выявление зависимостей и др. В нашей стране этот подход получил название «когнитивная графика», в то время как в западных странах он называется «экологический интерфейс».

Элементы такого подхода встречаются у разработчиков отечественных АСУ ТП АЭС (например, отображение «рабочей точки» в пространстве технологических параметров), однако системные исследования не ведутся. Аналогичная ситуация наблюдается и с интеллектуальными системами поддержки. После всплеска работ в 1980–90-е гг. активность в этой области угасла и сегодня, к сожалению, значимые достижения здесь отсутствуют.

Проблема больших объемов данных

Современные модульные аппаратные средства АСУ ТП, способы передачи и концентрации данных позволяют регистрировать и создавать огромные массивы. Это порождает соблазн «вывалить» всю собранную информацию на оператора. Однако принцип «информация лишней не бывает» в данном случае в корне неверен. Конечно, с одной стороны, в спокойной обстановке в стационарном режиме, оператор имеет возможность получить сведения обо всех системах. Однако при возникновении аномальных событий и быстром развертывании переходного режима подавляющая часть информации становится нерелевантной и, по существу, «зашумляет» полезные данные. Другим последствием больших объемов данных является то, что автоматизированные рабочие места оператора – это всего лишь несколько мониторов, образующих так называемую «замочную скважину». Оператор видит одновременно только малую часть информации, уместяющуюся на двух-трех из нескольких десятков (а то и сотен) видеокладов [7]. Это вынуждает его постоянно перемещаться от одного видеоклада к другому, что порождает проблему навигации.

Проблема вторичной деятельности и навигации

Разработчики ЧМИ АСУ ТП уделяют много внимания мнемознакам, их динамике, проектированию окон для ввода управляющих воздействий, выбору и назначению цветов и другим важным вопросам отображения информации. Большие усилия тратятся на алгоритмы ввода управляющих воздействий, предотвращающие ошибочные или непреднамеренные действия. Как правило, это вынуждает человека выполнять дополнительные операции по активации окна управления, манипулированию виртуальными кнопками (и другими диалоговыми элементами), подтверждению действия, закрытию окна.

Однако оператора дополнительно загружают не только действия, связанные с вводом управляющих воздействий (т.е. с «первичной» деятельностью). Другой существенной составляющей является работа с экраном (прокрутка, если таковая имеется, позиционирование курсора) и навигация. Все дополнительные действия, не связанные напрямую с контролем и управлением АЭС, в западной литературе называются «вторичной» деятельностью. Наиболее сложно дела обстоят с навигацией, несмотря на выработку нескольких довольно эффективных способов, таких как:

- представление на видеокадре ссылок на смежные системы (видеокадры);
- контекстная генерация «горячих» ссылок на системы (видеокадры), релевантные ситуации или вводимому управляющему воздействию;
- обобщенная сигнализация, выводящая оператора на нужный видеокадр.

Тем не менее, объем представляемой информации и количество видеокадров пока растет быстрее, чем повышается (благодаря перечисленным способам) эффективность навигации. Об этом свидетельствуют результаты опросов операторов.

В настоящее время на зарубежных АЭС обсуждается вопрос использования носимых устройств для ввода информации. Это полезно для выполнения программ (бланков) переключений, в частности, для местных операторов, изменяющих состояние неконтролируемого с блочного щита управления (БЩУ) оборудования. Отметка действия на планшете позволяет, с одной стороны, зафиксировать факт, что действие выполнено и, с другой стороны, информирует всех пользователей сети об этом, облегчая коммуникацию. Использование таких устройств также можно отнести ко вторичной деятельности, а организация удобного взаимодействия с оператором, особенно в «полевых» условиях – серьезная задача. Одним из способов облегчения вторичной деятельности является использование сенсорных устройств ввода. Однако их внедрение должно происходить очень осторожно, т.к. это связано с проблемами калибровки, ввода числовой информации и особенно риском скелетно-мышечных расстройств.

Проблема коммуникации и создания единой информационной модели

Использование носимых устройств является одним из путей облегчения коммуникации, особенно между местными операторами и персоналом БЩУ и ЦЩУ. Другая проблема – коммуникация операторов БЩУ. Дисплейный способ управления дает полноценную индивидуальную информацию, однако разобщает операторов и не позволяет им общаться, используя общий визуальный образ. В этом плане, внедрение экранов коллективного пользования (ЭКП) облегчает работу, однако их необходимость и содержание до сих пор является предметом дискуссий. В то же время, ЭКП создает дополнительный «слой» информации (в терминах «многослойного» интерфейса [8]), проектирование которого должно быть результатом глубокого анализа и частью концепции управления, а не «побочным продуктом для красоты».

Проблема управления вниманием

В опросах операторов, проводимых автором в разное время, очень часто звучит замечание о перегруженности и бесполезности фрагментов (это отмечают более половины опрошенных операторов). Большой объем информации порождает проблему управления вниманием оператора с целью его концентрации на наиболее важных фактах и процессах. На сегодняшний день управление вниманием осуществляется лишь одним способом – сигнализацией.

Согласно [9] существуют два базовых подхода к управлению вниманием. Первый состоит в «физическом» привлечении внимания к определенному объекту, воздействуя на анализаторы человека. Именно это и делает традиционная сигнализация, направляя взгляд человека с помощью указателей или наделяя объект различными привлекающими внимание признаками, такими как мигание, изменение яркости, выделение цветом, сопровождение звуковым сигналом и др. Получая информацию, оператор начинает делать выводы и может таким образом выйти на идентификацию ситуации и ее причин. Такой способ логического рассуждения в искусственном интеллекте принято называть «прямым» в противовес «обратному», обсуждаемому ниже.

Второй подход к управлению вниманием – это формирование у человека побуждения обратить внимание на тот или иной объект или информацию. Наиболее простым примером может служить формирование автоматикой гипотезы о состоянии АЭС. Данный подход гораздо сложнее, но при этом гораздо более эффективнее, т.к. он основан на том, что человек обращается к информации предметно, с целью проверки определенной гипотезы, а не просто получает неизвестно к чему относящийся сигнал.

Достоинством сигнализации является простота ее реализации. Однако фактов, на которых следует концентрировать внимание оператора, становится все больше и больше, что

зачастую ведет к избыточности сигнализации и перегруженности оператора в сложных ситуациях. Определенным решением является фильтрация и назначение приоритетов сигнализации, однако полностью проблему это не решает.

Одним из наиболее перспективных современных подходов к оптимизации объема сигнализации является перенос акцента от привлечения внимания к событию (например, об отключении насоса или повышении давления) на привлечение внимания к состоянию технологической функции (например, функции обеспечения циркуляции или поддержания давления). Насос может отключиться, но циркуляция останется в норме за счет подключения резервного насоса или снижения мощности до уровня, соответствующего количеству оставшихся в работе насосов. Такой подход к контролю и управлению АЭС называется функциональным [10]. Его применение существенно меняет философию управления и больше соответствует концепции современной АСУ ТП, нежели традиционный подход, пришедший от больших приборных панелей.

Проблема виртуализации реальности

Сегодня виртуальная реальность стала термином, эмоционально окрашенным такими эпитетами, как современный, передовой, удобный и т.п. В то же время, воспроизводя с помощью компьютера различные объекты (неважно как – в виде мнемознака или 3D образа), мы теряем существенную часть информации о нем, такую как звук, реальный размер, тепло, вибрация. Если традиционные ключи управления сохраняют тактильные ощущения, имеют размер, фактурную поверхность, требуют усилий для поворота, то виртуальные органы и объекты управления превращают работу оператора в компьютерную игру. А этих условиях важно сохранить у оператора ощущение, что включая ГЦН, он управляет объектом размером с пятиэтажный дом. Конечно, путь любого оператора на БЩУ лежит через «полевую» работу, в ходе которой реальный образ оборудования навсегда укладывается в память. Особым опытом в этом плане обладает тот персонал, который застал период строительства и ввода блока в эксплуатацию. Однако благодаря тренажерам путь на БЩУ может сокращаться, а проблема виртуализации – становится более острой.

Список литературы

1. *Кантович В., Соркин Р.* Человеческий фактор. Т. 4. М., 1991.
2. *Голиков Ю. А., Костин А. Н.* Психология автоматизации управления техникой. М., 1996.
3. *Inagaki T.* Handbook on cognitive task design. Lawrence Erlbaum Associates, 2003.
4. *Анохин А.Н.* // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления: ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014. С. 6345–6356.
5. *Guidance for the design and use of automation in nuclear power plants (EPRI 1011851).* Washington DC, 2005.
6. *Rasmussen J.* The human as a system component. New York, 1980.
7. *Анохин А. Н.* // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2007. № 3. С. 18–23.
8. *Nihlwing C.* // Proceedings of the 7th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human-Machine Interface Technologies NPIC&HMIT 2010. Las Vegas, Nevada. November, 7–11, 2010. P. 459–471.
9. *Wickens C. D McCarley L. S.* Applied attention theory. FL, 2008.
10. *Pirus D.* // Proceedings of the 4th International Topical Meeting NPIC&HMIT 2004. Columbus, September, 19–22, 2004. P. 1165–1172.

УДК 621.039.4

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРОВ АЭС

А.Н. АНОХИН, А.С. ИВКИН, В.А. ЧЕПУРКО

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования
НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Студгородок, 1, Обнинск, 249040, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Рассматривается проблема эмпирической оценки человеко-машинного интерфейса для управления технологическим процессом, в ходе которой можно получить реалистичные значения показателей качества выполнения задач управления. Предлагается методика такой оценки, основанная на шести показателях качества и сравнительном анализе интерфейсов с помощью дисперсионного анализа. Обсуждаются результаты экспериментальной программы тестирования экологического интерфейса для контроля и управления уровнем воды в барабанах-сепараторах АЭС типа РБМК. Экспериментальная серия, проведенная на полномасштабном тренажере Ленинградской АЭС, продемонстрировала существенное превосходство экологического интерфейса над традиционным, однако степень этого превосходства зависит от типа выполняемой задачи.

В наши дни основным инструментом оценки качества интерфейса служит эргономическая экспертиза, проводимая как по формализованным критериям (например, угловые и физические размеры элементов, их взаимная компоновка, досягаемость и др.), так и по качественным характеристикам, таким как соответствие профессиональным стереотипам, удобство и т.п.. Другим способом оценки интерфейса являются его натурные испытания, для проведения которых используют различные симуляторы, модели и другие средства, воспроизводящие работу оператора и объекта управления. В отличие от эргономической экспертизы, натурные испытания позволяют оценивать конечную надежность и эффективность работы оператора, а также выявлять реальные величины факторов, влияющих на деятельность оператора при работе с тем или иным вариантом человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

В большинстве известных работ экспериментальная оценка основана на сравнительном анализе нового проекта ЧМИ и уже существующего, находящегося в промышленной эксплуатации. В качестве оцениваемых (измеряемых в ходе эксперимента) мер качества интерфейса обычно используются [1–3]: степень осведомленности оператора о ситуации; правильность выполнения задачи; рабочая нагрузка; время выполнения задачи; частота успешного выполнения задачи; количество управляющих действий, совершенных оператором; точность диагностики ситуации; время обнаружения и диагностики ситуации. В ряде работ эти показатели рассчитываются для каждого типа решаемых задач, что позволяет сделать вывод о зависимости эффективности интерфейса от типа сценария. В [4] сделана попытка оценивать качество деятельности оператора и, как следствие, интерфейса по поведению контролируемого технологического параметра, однако значимая зависимость не была выявлена. В то же время, использование этого признака в качестве показателя качества процесса управления, по мнению авторов, имеет большие перспективы. Целью статьи является разработка методики эмпирической оценки ЧМИ на примере экспериментального сравнения двух видов интерфейсов.

Исследуемые интерфейсы и метод исследования

Для исследования были взяты интерфейсы двух типов (рис. 1):

– традиционный (ТИ) – приборная панель и пульт для контроля и управления барабаном-сепаратором (БС) и питательным узлом – одной из наиболее значимых технологических систем АЭС с РБМК-1000;

– экологический (ЭИ) – компьютерный видеокادر, облегчающий контроль, оценку ситуации и управление этой же системой [5].

Основная гипотеза состояла в том, что экологический интерфейс существенно повышает надежность и эффективность деятельности оператора. Для проверки этой гипотезы была разработана экспериментальная программа опытной эксплуатации системы на полномасштабном тренажере (ПМТ) Ленинградской АЭС. В экспериментах участвовали шесть действующих лицензированных операторов БЩУ-2 ЛАЭС, Средний возраст – 42 года, средний стаж работы в должности – 5,5 лет. Каждый оператор выполнял на работающем ПМТ две серии из четырех последовательных тестовых упражнений и трех аварийных сценариев, используя ЭИ в первой серии и ТИ во второй серии. Действия оператора в процессе выполнения упражнений и сценариев и все релевантные технологические параметры автоматически регистрировались в журнале. По окончании экспериментов инструктор ПМТ заполнял лист оценки действий оператора, а оператор – лист оценки экологического интерфейса.

В классической литературе по теории автоматического управления указываются следующие группы критериев качества управления: точность, запас устойчивости, быстродействие, величина перерегулирования, длительность переходного процесса, число колебаний и др. В настоящем исследовании для оценки ЧМИ выделены следующие количественные показатели выполнения оператором поставленной задачи (рис. 2).

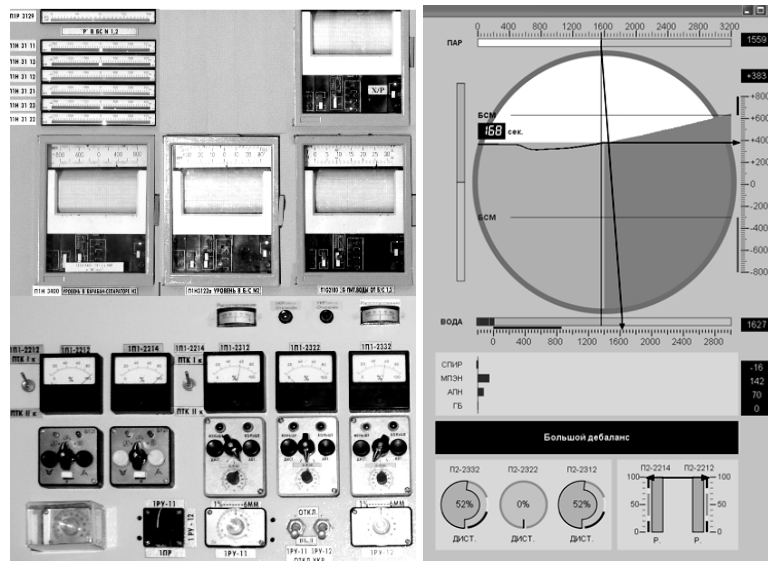


Рис. 1. Традиционный и экологический интерфейсы для контроля и управления БС

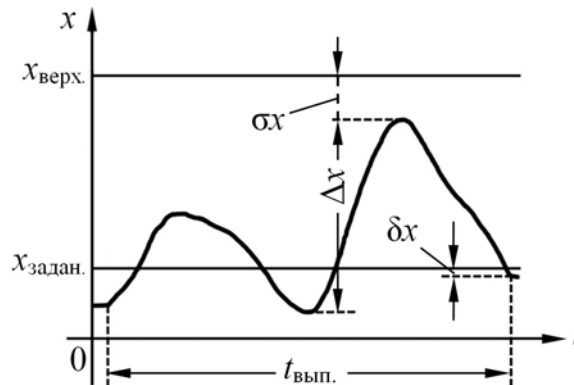


Рис. 2. Расчетные показатели качества выполнения задачи

1. Количество ошибок оператора $N_{\text{ош.}}$ – количество выходов технологических параметров за уставки срабатывания технологической защиты во время выполнения задачи.

2. Время реакции $t_{\text{реакц.}}$ – время, прошедшее с момента появления возмущения $t_{\text{возм.}}$ до первого воздействия оператора на органы управления $t_{\text{возд.}}$.

3. Время выполнения задачи $t_{\text{вып.}}$ – время, прошедшее с момента появления возмущения до момента удовлетворения критериев завершения задачи $t_{\text{заверш.}}$.

4. Точность установки регулируемого параметра δx – отклонение значения технологического параметра в момент времени $t_{\text{заверш.}}$ от заданного значения $x_{\text{задан.}}$. В описываемом исследовании используются два показателя этого типа: $\delta H_{\text{воды в БС}}$ – точность установки уровня воды в БС (отклонение уровня от значения +380 мм в конце каждого из четырех упражнений); $\delta G_{\text{пит. воды}}$ – точность установки расхода питательной воды (разность между расходом пара и суммарным расходом питательной воды).

5. Амплитуда изменения регулируемого параметра Δx – разность между максимальным и минимальным значениями регулируемого параметра. В данном исследовании амплитуда изменения рассчитывается для основного регулируемого параметра – уровня воды в БС: $\Delta H_{\text{воды в БС}}$.

6. Максимальное приближение регулируемого параметра к уставке σx . В описываемых экспериментах рассматривается максимальное приближение к уставкам уровня воды в БС $\sigma H_{\text{воды в БС}}$ и расхода питательной воды $\sigma G_{\text{пит. воды}}$.

Таким образом, для эмпирической оценки ЧМИ предлагается использовать шесть типов показателей: $R_k (k=1 \dots 6) = \{N_{\text{ош.}}, t_{\text{реакц.}}, t_{\text{вып.}}, \delta x, \Delta x, \sigma x\}$.

Каждый из этих показателей R_{ij}^k регистрируется по результатам выполнения j -м оператором ($j = 1 \dots m$, где m – число операторов, участвовавших в эмпирическом оценивании интерфейса) i -й задачи ($i = 1 \dots n$, где n – число задач, на которых тестировался интерфейс) с использованием l -го интерфейса ($l = 1 \dots q$, где q – количество оцениваемых/сравниваемых типов интерфейса). В нашем исследовании $m = 6$, $n = 7$ (4 упражнения и 3 сценария), $q = 2$ (ТИ и ЭИ).

Интерес представляют как абсолютные, так и относительные значения показателей. Абсолютные значения необходимы прежде всего для того, чтобы оценить, отвечает ли исследуемый интерфейс заданным ограничениям, например: время реакции оператора не должно превышать некоторое значение t^* ($t_{\text{реакц.}} \leq t^*$); время выполнения i -й задачи не должно превышать t^* ($t_{\text{вып.}} \leq t^*$) и др. Если такие ограничения отсутствуют, то показатели как в абсолютном, так и в нормированном виде могут быть использованы для сравнительной оценки двух и более интерфейсов. В этом случае для сравнения значений некоторого показателя R_j^k , полученных для различных интерфейсов (например, $N_{\text{ош.,ЭИ}}$ и $N_{\text{ош.,ТИ}}$ – количество ошибок, совершенных оператором при использовании экологического и традиционного интерфейсов, соответственно) можно использовать однофакторный дисперсионный анализ.

Учитывая возможные существенные различия между тестовыми задачами (например, разные величины возмущающих воздействий или разные возможности для управления), прямое обобщение показателя по всем задачам не всегда корректно. В этом случае целесообразно рассматривать применение того или иного интерфейса в контексте определенной задачи R_{il}^k , а для сравнения интерфейсов можно использовать двухфакторный дисперсионный анализ, где в качестве второго фактора (первым является тип интерфейса) выступает выполняемая задача. Важным результатом при этом является выявление тех типов задач, для которых тот или иной исследуемый тип интерфейса является наиболее эффективным и полезным.

Далее формируются обобщенные показатели, отражающие эффективность исследуемого интерфейса в целом. Частный рейтинг l -го интерфейса для обеспечения k -го показателя качества выполнения i -й задачи: $\tilde{R}_{il}^k = 1 - \bar{R}_{il}^k$ для $k = 1 \dots 5$, $\tilde{R}_{il}^k = \bar{R}_{il}^k$ для $k = 6$, где \bar{R}_{il}^k – нормированное среднее значение k -го показателя качества выполнения i -й задачи с использованием l -го интерфейса – $\tilde{R}_{il}^k = \bar{R}_{il}^k / \sum_{l=1}^q \bar{R}_{il}^k$, где \bar{R}_{il}^k – среднее по всем операторам

($j = 1 \dots m$) значение k -го показателя качества выполнения i -й задачи с использованием l -го интерфейса – $\bar{R}_{il}^k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_{ij}^k$.

Чем выше этот рейтинг, тем лучше интерфейс с точки зрения обеспечения k -го показателя качества. Следующий шаг – формирование и анализ общего рейтинга R_{ij} l -го интерфейса для i -й задачи (по всем показателям качества ее выполнения). Для этого к выборке значений \bar{R}_{il}^k ($i=1 \dots n$; $l=1 \dots q$; $k=1 \dots 6$) применяется многофакторный дисперсионный анализ, где в качестве факторов выступают интерфейс и задача.

Результаты и обсуждение

В качестве исходных экспериментальных данных выступали значения всех релевантных технологических параметров и состояние оборудования (всего около 150 переменных), регистрируемые один раз в секунду. В результате их обработки были рассчитаны 672 показателя: 2 интерфейса (экологический и традиционный) \times 7 задач (4 упражнения и 3 сценария) \times 6 операторов \times 8 показателей ($N_{\text{ош.}}$, $t_{\text{реакц.}}$, $t_{\text{вып.}}$, $\delta H_{\text{воды в БС}}$, $\delta G_{\text{пит. воды}}$, $\Delta H_{\text{воды в БС}}$, $\sigma H_{\text{воды в БС}}$, $\sigma G_{\text{пит. воды}}$). Часть этих показателей была подвергнута однофакторному, а часть – двухфакторному дисперсионному анализу, где в качестве факторов выступают тип интерфейса и выполняемая задача. Кроме того, были рассчитаны частные рейтинги исследуемых интерфейсов, для которых также выполнен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого показаны в таблице.

Результаты дисперсионного анализа показателей качества интерфейсов

Анализируемые данные	Факторы	p
$t_{\text{реакц.}}$	Задача \times Интерфейс	0,02
$t_{\text{вып.}}$	Задача \times Интерфейс	0,03
$\delta H_{\text{воды в БС}}$	Интерфейс	< 0,01
$\delta G_{\text{пит. воды}}$	Интерфейс	< 0,01
$\Delta H_{\text{воды в БС}}$	Задача \times Интерфейс	< 0,01
$\sigma H_{\text{воды в БС}}$	Задача \times Интерфейс	< 0,01
$\sigma G_{\text{пит. воды}}$	Задача \times Интерфейс	0,05
Частные рейтинги интерфейсов	Задача \times Интерфейс	< 0,01

Время реакции. Во всех задачах, кроме первого сценария, наблюдается превосходство ЭИ – от существенного до умеренного. Это связано с тем, что он обеспечивает наглядное представление факта нарушения материального баланса между входящими и выходящими из БС потоками. И наоборот, при использовании ТИ операторы узнают о материальном дебалансе только по его последствию – изменению уровня воды в БС.

Время выполнения задачи. Здесь также наблюдается стабильное превосходство ЭИ. В простых ситуациях – в упражнениях 1 и 2, к подаче питательной воды самопроизвольно подключаются различные насосы, вызывая не очень большой, но довольно ощутимый дебаланс. Компенсировать это возмущение несложно при условии его быстрой идентификации. Это обуславливает существенное преимущество ЭИ. Умеренное превосходство наблюдается в задачах, содержащих очень сильные возмущения или наложенные друг на друга события.

Амплитуда изменения уровня воды в БС. Можно предположить, что этот показатель зависит от двух факторов – от силы возмущения и от времени реакции оператора. Сильное возмущение, вносящее ощутимый материальный дебаланс, и даже небольшая задержка в реакции оператора способны существенно изменить уровень. Это подтверждается наличием довольно высокой положительной корреляции между $t_{\text{реакц.}}$ и $\Delta H_{\text{воды в БС}}$ ($\rho \approx 0,5$) и силой возмущения и $\Delta H_{\text{воды в БС}}$ ($\rho \approx 0,7$) при использовании ЭИ.

Во всех задачах наблюдается устойчивое преимущество ЭИ, используя который операторы успевали вовремя «перехватить» процесс и не допустить сильных отклонений уровня воды. Близкие значения для обоих интерфейсов наблюдаются в сценарии 1.

Максимальное приближение уровня воды в БС и расхода питательной воды к уставкам. Для уровня воды так же, как и в предыдущих случаях наблюдаются близкие

значения показателей при выполнении сценария 1. Это единственный момент, когда с ЭИ операторы довольно близко «подошли» к уставке срабатывания защиты. И наоборот, при использовании ТИ таких приближений наблюдается довольно много: в упражнении 2 по питательной воде и сценариях 2 и 3 по обоим технологическим параметрам.

Точность установки уровня воды в БС и расхода питательной воды. Эксперименты показали, что точность регулирования никак не зависит от выполняемой задачи, вследствие чего для обработки этого показателя был применен однофакторный анализ, показавший значимое преимущество ЭИ.

Общий рейтинг интерфейса. Наблюдается уверенное превосходство ЭИ над ТИ. Исключение составляет сценарий 1. В этом сценарии начинает самопроизвольно открываться регулирующий клапан питательной воды. Однако возникновению материального дебаланса препятствует другой клапан, стоящий на параллельной нитке. Этот клапан автоматически начинает закрываться, компенсируя в течение некоторого времени открытие неисправного клапана. Таким образом, существует латентный период между появлением неисправности и началом изменения уровня воды в БС. Этот период и дает операторам одинаковый шанс оценить ситуацию независимо от используемого интерфейса.

В целом, разные задачи обуславливают различную степень превосходства ЭИ, что совпадает с выводами авторов большинства работ, посвященных его эмпирической оценке.

Количество ошибок. При выполнении всех задач с использованием ЭИ было зафиксировано только два случая формирования режима аварийной защиты, тогда как при работе с ТИ таких срабатываний произошло восемь.

Общие замечания. Конечной целью сравнительного анализа интерфейсов является принятие решения о том, какой же из интерфейсов лучше. Такое решение должно приниматься на основании некоторого обобщенного показателя, характеризующего интерфейс в целом. Однако наиболее сложной проблемой на пути к этому показателю стало обобщение экспериментальных данных, полученных при выполнении разных задач. Начиная обработку данных, мы интуитивно полагали, что наиболее показательным и значимым фактором, характеризующим каждую задачу, является сила возмущения, порой далеко «уводящая» регулируемый параметр (уровень воды в БС) от нормы. Именно сила возмущения, которую несложно оценить количественно, могла бы лечь в основу весового коэффициента задачи, что позволило бы выполнить свертку рейтингов интерфейса по различным задачам в единый показатель. Однако, судя по результатам обработки и на основании некоторых размышлений, оказалось, что этот фактор не всегда играет отрицательную роль, а его влияние на показатели выполнения задачи не столь очевидно. Это означает, что в формирование весовых коэффициентов должны быть вовлечены и другие факторы, влияющие на деятельность оператора и для выявления которых необходим более глубокий теоретический анализ задач.

Список литературы

1. Дозорцев В.М., Назин В.А. // Экспериментальная психология в России. 2010. С. 491–496.
2. Burns C., Skraaning G., Jamieson G., e.a. // Human factors. 2008. Vol. 50, №. 4. P. 663–679.
3. Lau N., Jamieson G., Skraaning G., Burns C. Ecological interface design in the nuclear domain: an empirical evaluation of ecological displays for the secondary subsystems of a boiling water reactor plant simulator // IEEE Transactions on nuclear science. 2008. Vol. 55, № 6. P.3597– 3610.
4. Jamieson G.A. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. 2007. Vol. 37, № 6. P. 906–920.
5. Анохин А.Н., Ивкин А.С. // Человеческий фактор: Проблемы психологии и эргономики. 2013. № 3 (66). С. 69–75.

УДК 621.039.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Н.А. ТИТОВИЧ, В.В. ПОЛЗУНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 февраля 2015

По мере расширения сферы применения радиоэлектронных устройств, основными элементами которых являются полупроводниковые приборы (ПП) и интегральные микросхемы (ИМС), все большую актуальность приобретают вопросы защиты радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от влияния ВЧ и СВЧ электромагнитных помех (ЭМП). Основными факторами, обуславливающими повышенный интерес к данной проблеме, являются [1]:

– непрерывное повышение уровней мощностей современных радиопередатчиков до сотен киловатт в непрерывном и десятков мегаватт – в импульсном режиме. В связи с этим многие радиоэлектронные устройства вынуждены работать в электромагнитных полях, плотность потока мощности которых достигает нескольких десятков кВт/м² в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн (см. рис. 1);

– повышение степени интеграции современных ИМС. При этом снижаются уровни используемых напряжений и токов. Энергия полезных сигналов микросхемных устройств сравнима, а порой и меньше энергии ЭМП. Кроме того, в связи с ростом быстродействия современных цифровых систем, уменьшением длительностей рабочих сигналов до единиц и даже долей наносекунд, сами вычислительные устройства могут создавать уровни ВЧ помех, достаточные для наступления сбоев;

– постоянное усложнение радиоэлектронных систем (РЭС). Перед разработчиком нередко стоит задача насыщения небольшого по объему объекта РЭА различного функционального назначения. Неизбежная теснота размещения обуславливает взаимные помехи друг другу, обостряет проблему электромагнитной совместимости (ЭМС);

– развитие средств радиоэлектронной борьбы. Наличие источников сверхмощных СВЧ сигналов, построенных на гиротронах, клистронах, магнетронах, лазерах, генераторах плазменных пучков, делает вполне реальным целенаправленное воздействие на радиоаппаратуру на расстоянии с целью выведения ее из строя путем поражения чувствительной элементной базы.

Традиционные методы повышения помехоустойчивости РЭС можно условно разделить на конструкционные, схемотехнические и системные. Как правило, вопросами защиты аппаратуры от воздействия помех начинают внимательно заниматься лишь на стадии конструкторской проработки изделия. Поэтому конструкционные методы наиболее распространены. Чаще всего для борьбы с помехами используют экраны. Применяя идеальные непрерывные экраны можно достичь эффективности экранирования 100 дБ и выше. Однако на практике получить такое ослабление достаточно сложно. Наличие в стенках корпусов-экранов неоднородностей (отверстий и щелей для вентиляции и индикации, вводов, стыков, крышек и др.) создает дополнительные каналы для проникновения электромагнитных полей в экранируемую область. Более эффективными являются экраны специальной конструкции, например, с выполнением отверстий для вводов, вентиляции и индикации в виде заградительных волноводов. Однако при этом значительно возрастает стоимость всего изделия, его габариты и вес. Известные схемотехнические методы предполагают использование для снижения уровней

помех фильтров, дросселей, трансформаторов, защитных разрядников, элементов оптоэлектроники. Эффективным средством повышения помехоустойчивости являются системные методы, связанные с использованием корректирующих кодов, позволяющих исправлять системные и групповые ошибки. Однако когда помеха воздействует не только на линию связи, но и одновременно на все устройства обработки и информацию, содержащуюся в них, желаемого результата они также не дают.

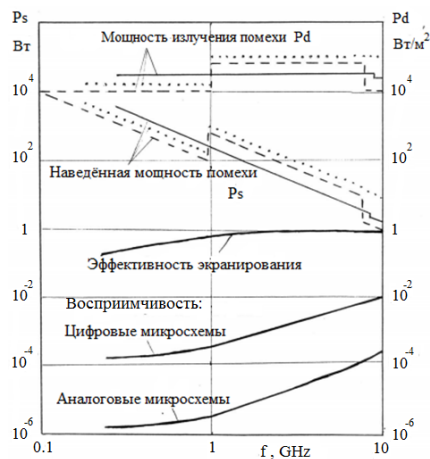


Рис. 1. Анализ электромагнитной обстановки в зоне действия современной РЭА



Рис. 2. Зависимость стоимости затрат по обеспечению ЭМС от этапа проектирования.

В таких условиях большим резервом повышения помехоустойчивости РЭС является учет восприимчивости к воздействию ЭМП элементной базы, в частности ПП и ИМС. Системный подход к проектированию РЭА предполагает рассмотрение вопросов, касающихся повышения надежности ее работы, уже на самой нижней ступени иерархической лестницы, а именно при выборе элементной базы и проектировании печатных плат. Так как наведенные помеховые сигналы в конечном итоге попадают в цепи радиоэлектронных устройств и воздействуют на их элементы, то помехоустойчивость систем связи, радиуправления, обработки информации во многом определяется восприимчивостью элементной базы, в особенности ПП и ИМС. Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показывают, что выбор менее восприимчивой к воздействию помех элементной базы позволяет в десятки раз снизить затраты по обеспечению ЭМС на стадии эксплуатации аппаратуры (рис. 2).

Исследования восприимчивости элементов схем, в частности ПП и ИМС, к воздействию ВЧ и СВЧ помех были начаты в 1970-х г. в связи с проблемами, возникшими при эксплуатации специальной техники. Результаты первых испытаний влияния радиопомех на характеристики и параметры ПП и ИМС достаточно подробно изложены в [1, 2]. Новый импульс данные исследования получили в наше время [3], что обусловлено не только дальнейшим развитием специальных систем радиопротиводействия, но также и требованиями обеспечения безопасной эксплуатации промышленного оборудования, транспорта, систем связи, бытовой техники.

При выборе метода исследования восприимчивости ПП и ИС к воздействию ЭМП необходимо руководствоваться следующими основными критериями: получение максимума информации об изменении характеристик и параметров ПП и ИС в условиях действия помех, точность определения уровней воздействующих помеховых сигналов и значений контролируемых параметров, минимизация затрат на проведение исследований, приближение условий эксперимента к реальной помеховой обстановке.

При оценке восприимчивости радиоэлектронных устройств и блоков для имитации воздействия радиопомех используется метод излучения, в котором помеховый сигнал поступает к антенне, излучающей его в направлении исследуемого объекта, расположенного обычно на расстоянии одного метра от облучателя. Такой способ применялся и при испытаниях на помехоустойчивость ПП и ИМС [1, 4, 5]. За критерий оценки принимался уровень воздействия, приводящий к необратимому отказу, т.е. к выходу из строя элемента. Исследования показали [4, 5], что чаще всего наступали деграционные изменения параметров в цепях ИМС, имеющих более длинные выводы, либо ориентированные перпендикулярно

вектору электромагнитного поля. При воздействии серии СВЧ-импульсов деградационные изменения накапливались. Чаще всего причиной отказа являлся пробой входных диодов Шоттки и р–n-переходов транзисторов ТТЛШ элементов. Однако при таком методе испытаний очень сложно точно определить энергию помехового сигнала, поглощенную транзистором, ИМС или р-n-переходом; при расчете уровней наводок ЭМП на выводы ПП и ИС и их внешние цепи приходится делать много допущений в связи с неопределенностью ориентации проводников различных конструкций испытываемых образцов по отношению к направлению вектора поля помехи. Кроме того, такие испытания экономически дороги. Поэтому метод излучения, эффективный при испытаниях отдельных узлов и блоков, в данном случае целесообразно заменить на кондуктивный способ подачи ЭМП на выводы ПП и ИМС. Подавая радиопомеху через разделительную емкость непосредственно на вывод исследуемого элемента, можно с помощью известных методов достаточно точно определить уровни поглощенной им энергии помехового сигнала. Однако при подаче ЭМП на один из выводов невозможно исключить ее воздействие на другие. Степень связи между ними, особенно для ИМС высокой степени интеграции, учесть сложно. Она зависит от конструкции корпуса микросхемы, ее включения в схему. Следствием этого является неопределенность эксперимента. Но она практически полностью устраняется, если имитировать ситуацию наихудшего случая, которой соответствует условие полного (или почти полного) поглощения подводимой мощности ЭМП в цепи исследуемого вывода. Исследуя изменения параметров ПП и ИМС при поочередной подаче радиопомех на все их выводы, можно определить наиболее восприимчивые из них. Методика испытаний значительно дешевле, результаты испытаний дают больше информации разработчикам аппаратуры.

На первом этапе исследований основное внимание уделялось изучению восприимчивости биполярных и полевых транзисторов, базового логического элемента (ЛЭ) И-НЕ, простейшего операционного усилителя (ОУ). Методика испытаний заключалась в анализе изменения вольтамперных характеристик диодов [6] (см. рис. 3) и транзисторов [7], передаточных характеристик ЛЭ (см. рис. 4) и ОУ. За критерий (порог) восприимчивости принимался уровень ЭМП, приводящий либо к сбою в работе схемы, либо к определенному изменению статических параметров ПП и ИМС.

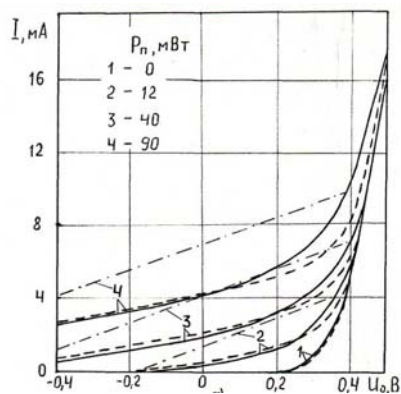


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные изменения характеристик диода Д9А под действием ЭМП с частотой 400 МГц

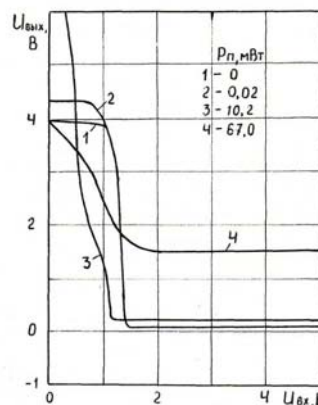


Рис. 4. Изменение передаточной характеристики ИС К155ЛА3 при воздействии на ее выход ЭМП с частотой 95 МГц

В ходе испытаний ИМС установлено, что целесообразнее оценивать их восприимчивость в динамическом режиме при подаче на вход тестовых рабочих сигналов [8]. В процессе исследований в БГУИР были разработаны и изготовлены несколько типов приборов, защищенных авторскими свидетельствами и патентом [9], предназначенных для измерения порогов восприимчивости, как простейших, так и более сложных ИМС. Исследуемая ИМС помещается в измерительную камеру, влияние помехи на другие цепи устройства исключается с помощью развязывающих фильтров. Изменение параметров исследуемой ИМС контролируется путем сравнения их с параметрами аналогичной эталонной микросхемы. Анализаторы восприимчивости могут работать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

В зависимости от диапазона частот для измерения уровня воздействующей ЭМП могут быть использованы селективный ВЧ вольтметр, осциллограф или ваттметр поглощенной СВЧ-мощности. Блоки обработки и индикации построены таким образом, что позволяют исследовать восприимчивость как по критерию «достоверного сбоя», связанного с изменением выходного состояния ИМС, так и «вероятного сбоя», т.е. отклонения одного или нескольких параметров за допустимые пределы. Контроль может осуществляться одновременно по нескольким выходам исследуемой микросхемы.

На рис. 5, 6 представлены экспериментальные и расчетные зависимости восприимчивости некоторых транзисторов и цифровых микросхем. Результаты испытаний были использованы в специальных справочных пособиях для разработчиков радиоаппаратуры, работающей в сложной помеховой обстановке.

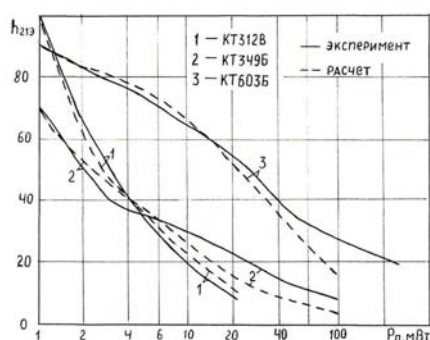


Рис. 5. Экспериментальные и расчетные зависимости изменения коэффициента передачи по току биполярных транзисторов от уровня поглощенной мощности помехового сигнала с частотой 450 МГц, воздействующего по цепи базы

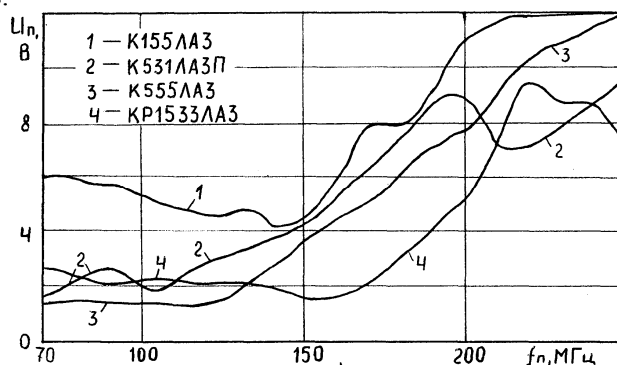


Рис. 6. Зависимость порога восприимчивости ТТЛ и ТТЛШ логических элементов И-НЕ от частоты радиопомехи, воздействующей на вход

Исследования различных типов диодов, транзисторов и ИМС [6–8, 10] показали:

- восприимчивость ПП и ИМС снижается с увеличением частоты воздействующих помеховых сигналов. На некоторых частотах могут наблюдаться резкие увеличения или уменьшения порога восприимчивости. Это объясняется влиянием паразитных индуктивностей и емкостей корпусов, а также особенностями включения ИМС;

- с ростом степени интеграции ИМС, т.е. с уменьшением размеров элементов и увеличением плотности их расположения, восприимчивость к воздействию помех растет. Так, при исследованиях БТ установлено, что менее восприимчивыми являются приборы с большим периметром эмиттера, т. е. имеющие встречно-штыревую конструкцию эмиттерного перехода;

- наиболее восприимчивы к воздействию радиопомех чувствительные схемы ОУ, маломощные БТ, быстродействующие цифровые ИМС. Более устойчивы к воздействию помех ПТ, КМОП ИМС, микросхемы с повышенной нагрузочной способностью;

- у микросхем различных серий динамика изменения параметров с ростом уровня помехового сигнала неодинакова. Так, в метровом диапазоне длин волн ЭМП у ЛЭ И-НЕ серии 155 (ТТЛ), 531 и 555 (ТТЛШ) чаще всего наступают недопустимые изменения динамических параметров – времени задержки распространения при выключении, в то время как у элементов серии 1533 (ТТЛШ) наиболее критичными к действию помех оказываются статические параметры: уровни логического нуля и единицы.

Накопленный учеными БГУИР за последние 25 лет опыт работы является хорошей базой для продолжения дальнейших исследований по данной тематике. Разработанная методика исследования ПП и ИМС может быть положена в основу экспериментов по оценке восприимчивости отдельных блоков и устройств в целом [10]. Систематизация полученных результатов позволяет использовать их не только в качестве справочных пособий для разработчиков современной радиоаппаратуры, но и как учебные материалы для подготовки специалистов в области ЭМС.

Список литературы

1. Бригидин А.М., Титович Н.А., Кириллов В.М., и др. // Электронная техника. 1992. Вып. 1 (148). С. 3–13.
2. Mardiguian M. A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility. Vol. 5. Electromagnetic Control in Components and Devices. Virginia, 1988.
3. Авдеев В.Б., Авдеева Д.В., Бердышев А.В. // Информационное противодействие угрозам терроризма: Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет». 2011. № 16. С. 11–16.
4. Титович Н.А. // Тез. докл. науч.-технич. конф. «Современные проблемы радиотехники, электроники и связи». Минск, 1995. С. 189–191.
5. Титович Н.А., Ползунов В.В., Мурашкина З.Н. // Матер. XV Междунар. науч.-технич. конф. «Современные средства связи». Минск, 27–29 сентября 2011 г.
6. Титович Н.А., Бригидин А.М. // Радиотехника и электроника. 1992. Вып. 21. С. 157–160.
7. Титович Н.А. // Междунар. симп. по ЭМС: сб. науч. докладов. Санкт-Петербург, 1993. С.171–175.
8. Титович Н.А. // Радиотехника и электроника. 1991. Вып. 20. С. 84–87.
9. Титович Н.А., Бувевич Е.А. Устройство для контроля параметров цифровых интегральных схем при воздействии электромагнитных помех / Патент РФ 2069865.
10. Титович Н.А., Ползунов В.В. / Матер. Междунар. НТК, посвящ. 45-летию МРТИ-БГУИР. Минск, 19 марта 2009 г. С. 73–74.

УДК 001.891.572

ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В ЗАДАЧАХ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТАМИ

Е.А. ЛАВРОВ, А.С. КРИВОДУБ, А.А. СУСИК

*Сумский государственный университет
Римского-Корсакова, 2, Сумы, 40007, Украина*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Задача управления инцидентами

Инцидент – любое событие, которое не является частью стандартного функционирования услуги, и которое приводит или может привести к остановке в предоставлении этой услуги или к снижению ее качества (пользователь не может отправить электронную почту, ошибки в бизнес-приложении). Главная цель процесса управления инцидентами – как можно быстрее восстановить предоставление потребителям согласованной услуги и минимизировать отрицательное влияние инцидентов на бизнес-процессы, тем самым, обеспечив поддержку наилучших уровней качества обслуживания и доступности. Основные действия, выполняемые в процессе управления инцидентами:

- обнаружение и регистрация инцидента;
- классификация и первичная поддержка;
- расследование и диагностика;
- разрешение и восстановление;
- закрытие инцидента.

Из схемы процесса управления инцидентами [1] (рис. 1) видно, что необходимо определить приоритет инцидента, который определяется его влиянием на бизнес и срочностью, с которой необходимо обеспечить разрешение или обходное решение. Скорейшему разрешению подлежат инциденты критического типа. Оператор-руководитель (часто вместе с потребителем услуг) определяет, что является критическим инцидентом и изменяет обычный порядок реализации процесса управления инцидентами. Оператор-руководитель назначает оператора-исполнителя или группу операторов для устранения такого инцидента.

Все действия о любом инциденте фиксируются занесением информации в базу данных. Окончательное закрытие инцидента происходит после того, как от пользователя, сообщившего об инциденте, получено подтверждение, что этот инцидент устранен, и предоставление услуги восстановлено.

Управление инцидентами является достаточно сложным процессом при реализации всех процедур. Поэтому при внедрении описанного процесса, как правило, прибегают к средствам автоматизации. Однако, представленные на рынке программных продуктов системы не в полной мере решают проблему информационной поддержки принятия решений оператором-руководителем. Известные программы [1] не позволяют оператору-руководителю оценить последствия распределения работ и выбрать оптимальный вариант с учетом требований эргономики.



Рис. 1. Схема процесса управления инцидентами

Эргономические проблемы систем управления инцидентами и задачи построения системы поддержки принятия решений

Основными проблемами становятся следующие вопросы:

- Сколько должно быть операторов?
- Какая должна быть квалификация операторов?
- Как организовать выполнения заявок?
- Каким операторам поручить работы по устранению нарушений?
- Как диагностировать причины нарушения?

В связи с этим необходимо разработать систему поддержки принятия решений (СППР), позволяющие:

- определять основные параметры системы, обеспечивающие:
 - заданные параметры качества выполнения заявок
 - выполнение эргономических норм и требований
- оценивать вероятность безошибочного проведения алгоритмов деятельности по устранению нарушений при различных вариантах организации системы (количество операторов на смену, квалификация операторов, закрепление заявок за операторами);
- документировать возникающие дефекты с указанием возможных причин их возникновения (База данных «Проблемы (ошибки)»);
- на основе анализа информации, накопленной в Базе данных «Проблемы» оценивать возможные источники нарушений.

Принцип построения СППР для эргономического обеспечения управления инцидентами

В основу подхода положен антропоцентрический принцип [2] проектирования систем «человек-машина». Кроме обеспечения заданных параметров качества выполнения заявок система управления инцидентами должна обеспечивать требования к допустимым условиям труда на рабочем месте в т.ч. [2] коэффициент загрузки оператора; среднюю длину очереди; время работы в условиях очереди.

В связи с тем, что имеет место «обслуживающий прибор» особого типа – человек-оператор, предлагается СППР строить на базе комплексирования моделей:

- систем массового обслуживания (общая организация процессов выполнения заявок);

– функциональных сетей [2–4] (моделирование вариантов процесса выполнения конкретной заявки с учетом особенностей человека оператора).

Имитационное моделирование процессов выполнения заявок

Учет всех особенностей процесса выполнения заявок приводит к достаточно сложным моделям, которые, обеспечивая проведение имитации, позволяют формировать область допустимых решений для разнообразных оптимизационных задач эргономического проектирования. Простейшая SIMULINK-модель (фрагмент) приведена на рис. 2–4. Использование даже этой простой модели позволяет решать некоторые базовые задачи эргономического проектирования [5–6].

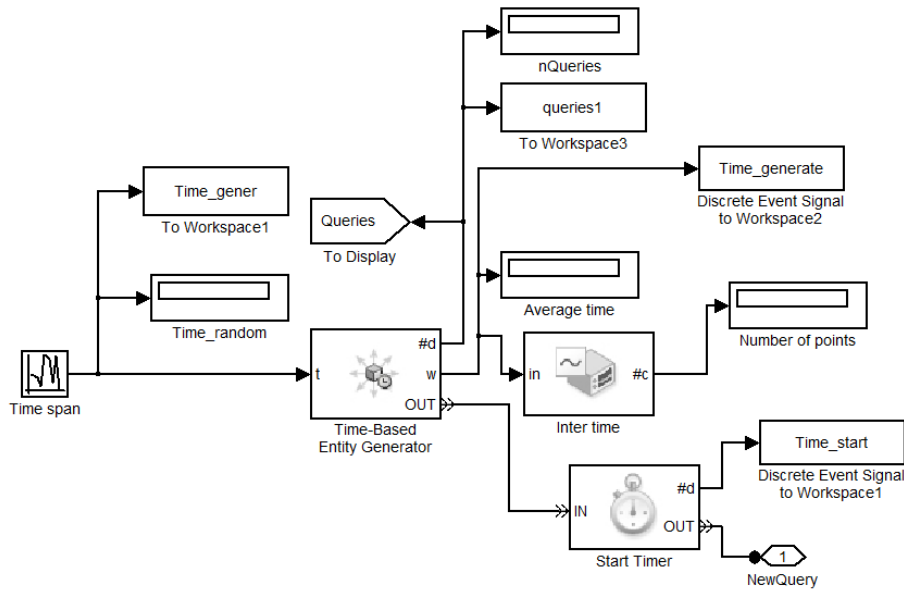


Рис. 2. Схема подсистемы источника заявок

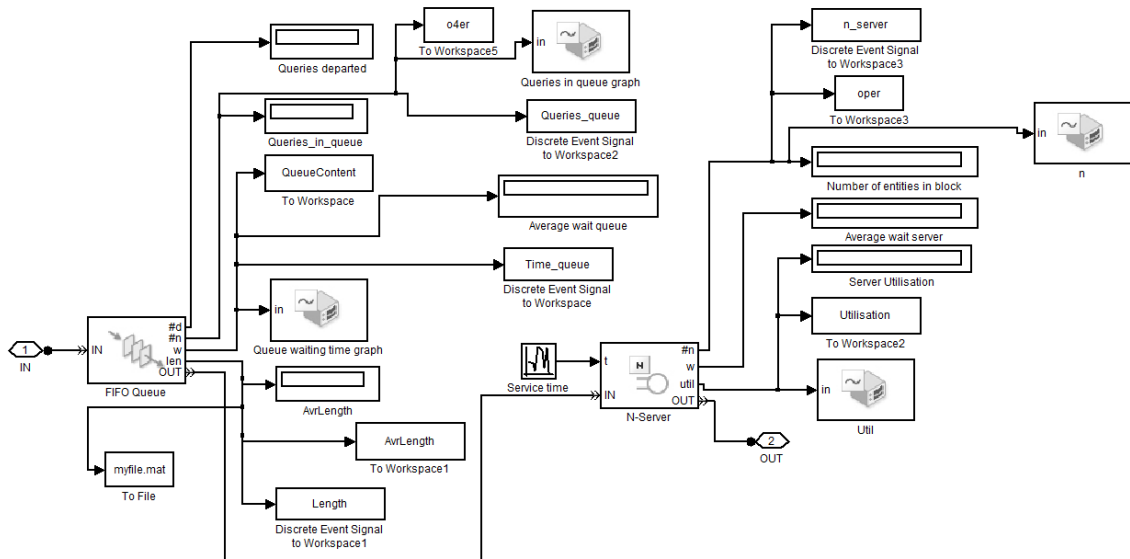


Рис. 3. Схема подсистемы канала обслуживания

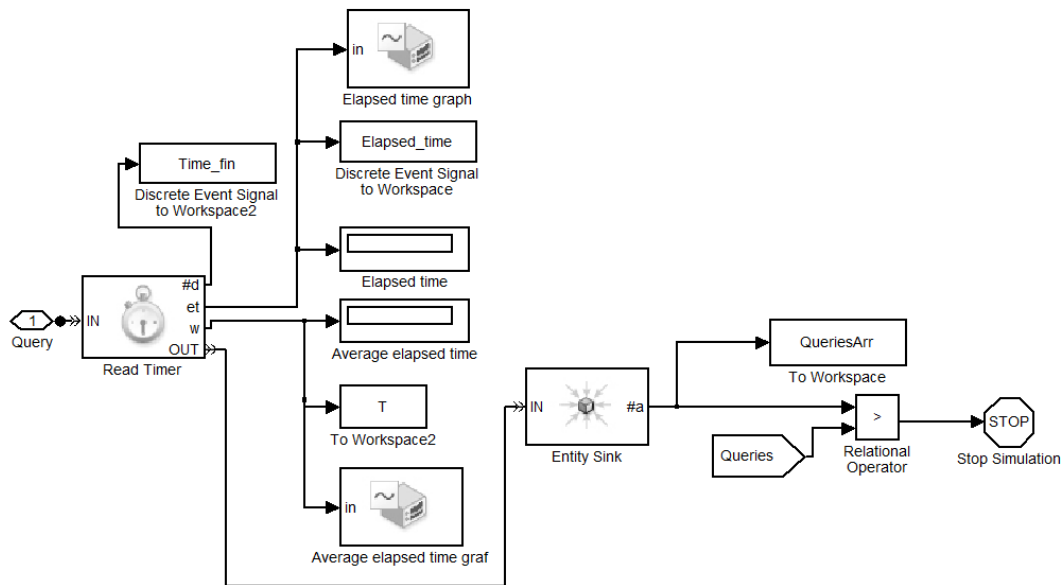


Рис. 4. Схема підсистеми приймача заявок

Перспективи и выводы

В дальнейшем предполагается:

– многовариантное комплексирование функциональных сетей с моделями систем массового обслуживания.

– разработка широкого класса моделей для различных классов систем управления инцидентами.

– широкая апробация моделей.

Система поддержки принятия решений для эргономического обеспечения систем управления инцидентами может быть основана на комплексной модели «система массового обслуживания + функциональная сеть».

Список литературы

1. Лавров Е.А., Пасько Н.Б., Семенов Д.Н. // Збірник матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта», Київ, 14–15 листопада 2013 р. С. 234–236.
2. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: Справочник. М., 1993.
3. Лавров Е.А. Пасько Н.Б. // Вестник Сумского государственного университета. Серия "Технические науки". 2013. № 3. С. 15–27
4. Лавров Е.А. // Научная мысль. 2013. № 2–3 (10). С. 73–79
5. Криводуб А.С. // Матер. Наук.-техніч. Конф. «Інформатика, Математика, Автоматика». Суми. 2014. С. 73.
6. Криводуб А.С., Лавров Е.А., Рыбка А.В. // Матер. III міжнар. Наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні системи і технології AIST». Суми, 2014. С. 56.

УДК 001.891.572

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВАРИАНТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕРВИСОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е.А. ЛАВРОВ, А.С. КРИВОДУБ

Сумский государственный университет
Римского-Корсакова, 2, Сумы, 40007, Украина

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Введение

Операторы технической поддержки телекоммуникационных систем работают в условиях жесткого дефицита времени. Качество выполнения заявок определяется многими факторами, в том числе подготовленностью операторов, условиями труда на рабочем месте, временем суток, структурой деятельности. Основная задача – разработать подход к исследованию влияния структур деятельности оператора телекоммуникационных систем на безошибочность и время выполнения заявок.

Результаты

Исходные предпосылки. Принцип организации системы обработки заявок на техническую поддержку информационных сервисов показан на рис. 1. Исходные данные о качестве выполнения отдельных операций деятельности (получаются из базы данных системы при заданных значениях характеристик операторов и остальных влияющих факторов) считаем заданными.

Проведенные исследования [1–3] реальных телекоммуникационных систем, таких, например, как PortaOne, NetCracker [4, 5], позволили выявить:

- алгоритмический характер деятельности операторов;
- наличие некоторого множества альтернативных алгоритмов выполнения заявок.

Выбор математического аппарата для моделирования. Наиболее удобным способом моделирования алгоритмизированной деятельности является функционально-структурная теория (ФСТ) эрготехнических систем (ЭТС) проф. А.И. Губинского [6]. Стимулом к использованию метода является наличие моделирующего квалиметрического комплекса [7, 8].

Цель работы – демонстрация целесообразности и возможностей использования ФСТ ЭТС для моделирования альтернативных вариантов деятельности операторов технической поддержки в телекоммуникационных системах.

Примеры альтернативных вариантов реализации функционального элемента обработки заявок клиентов. Содержательный анализ инструктивной подсистемы реальных процессов технической поддержки позволил выявить альтернативные варианты организации деятельности, некоторые из них приведены в табл. 1.

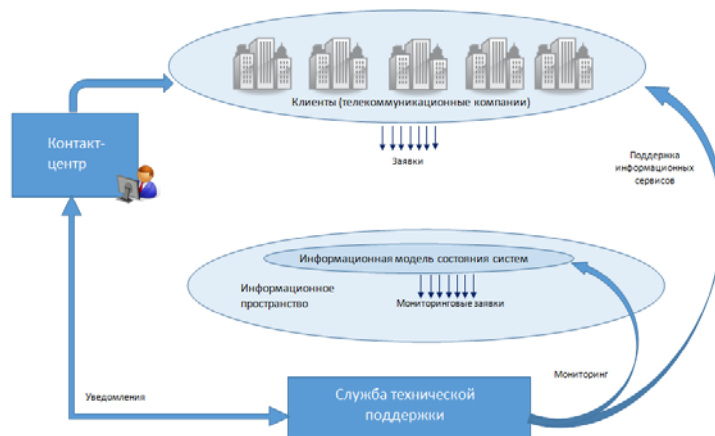
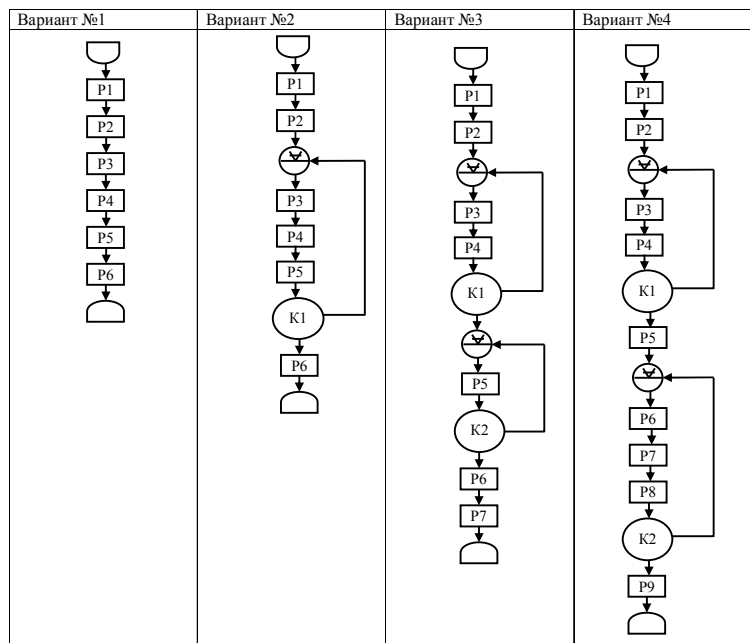


Рис. 1. Принцип организации системы обработки заявок на техническое обслуживание информационных сервисов в телекоммуникационных системах

Таблица 1 Примеры формализованного описания алгоритмов деятельности (в терминах [6])



Технология редукции функциональной сети. Для оценивания вариантов использован программный комплекс, основанный на технологии выделения типовых функциональных структур и сворачивании функциональной сети.

Пример результатов моделирования. Исходные данные приведены в табл. 2 и 3. Здесь: B^1 – вероятность безошибочного выполнения рабочей операции; K^{11} – вероятность признания правильно выполненных операций правильными; K^{00} – вероятность обнаружения ошибки при ее наличии; M – математическое ожидание времени выполнения операции; D – дисперсия времени выполнения операции.

Таблица 2. Показатели качества выполнения рабочих операций

Показатель	Операция								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
B^1	0,99	0,98	0,998	0,987	0,997	0,999	0,998	0,995	0,998
M, c	41	100	55	27	25	30	40	35	20
D, c^2	0,3	0,4	0,7	0,4	0,5	1,1	0,8	0,7	0,35

Таблица 3. Показатели качества выполнения контрольных операций

Показатель	Операция	
	К 1	К 2
K^{11}	0,997	0,997
K^{00}	0,995	0,985
M, c	40	30
D, c^2	0,7	0,8

Пример протокола редукции для структуры 4 приведен на рис. 2.

ПРОТОКОЛ РЕДУКЦИИ						
Номер шага редукции	Сворачиваемые ТФЕ	Эквивалентная ТФЕ	Вероятность выполнения эквивалентной операции без ошибки	Мат.ожидание времени выполнения операции эквивалентной операции	Дисперсия времени выполнения эквивалентной операции	Тип сворачиваемой ТФС
1	P1,P2	P _{э1}	0,9702	141,00	0,70	RR
2	P3,P4	P _{э2}	0,9850	82,00	1,10	RR
3	P6,P7,P8	P _{э3}	0,9920	105,00	2,60	RR
4	P _{э2} ,K1	P _{э4}	0,9999	124,22	277,32	RK
5	P _{э3} ,K2	P _{э5}	0,9999	136,48	205,34	RK
6	P _{э1} ,P _{э4} ,P5,P _{э5} ,P9	P _{э6}	0,9652	446,70	484,21	RR
Шаг редукции:	1 - RR: P1,P2=P _{э1}	2 - RR: P3,P4=P _{э2}	3 - RR: P6,P7,P8=P _{э3}	4 - RK: P _{э2} ,K1=P _{э4}	5 - RK: P _{э3} ,K2=P _{э5}	6 - RR: P _{э1} ,P _{э4} ,P5,P _{э5} ,P9=P _{э6}

Рис. 2. Протокол свертки функциональной сети (фрагмент)

Фрагмент результатов моделирования показан в табл. 4 и на рис. 3.

Таблица 4. Результаты оценки вариантов деятельности оператора технической поддержки

Показатель	Директивное время T_0, c	Вариант			
		1	2	3	4
Вероятность безошибочности выполнения алгоритма B		0,944	0,959	0,962	0,962
Математическое ожидание времени выполнения алгоритма M(T)		318	399,47	360,71	450,99
Дисперсия времени выполнения алгоритма D(T)		4,2	104,96	343,43	433,03
Вероятность своевременного выполнения алгоритма P_{св}(T₀)	320	0,683	0,224	0,453	0,381
	345	1,000	0,302	0,482	0,403
	380	1,000	0,426	0,522	0,435
	480	1,000	0,779	0,636	0,527
	550	1,000	0,924	0,709	0,590
	650	1,000	0,992	0,800	0,677
Вероятность безошибочного и своевременного выполнения алгоритма B*P_{св}(T₀)	320	0,645	0,215	0,436	0,367
	345	0,944	0,290	0,464	0,388
	380	0,944	0,409	0,503	0,419
	480	0,944	0,747	0,612	0,507
	550	0,944	0,887	0,683	0,568
	650	0,944	0,951	0,770	0,652

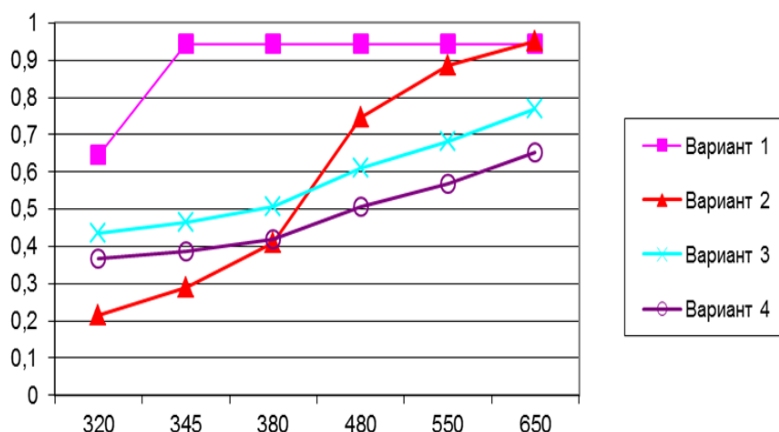


Рис. 3. Зависимость вероятности своевременного и безошибочного выполнения алгоритма от директивного времени

Выводы

Эффективность деятельности операторов технической поддержки телекоммуникационных систем существенно зависит от организации деятельности. Оценивание вариантов удобно проводить с помощью аппарата функциональных структур проф. А.И. Губинского и моделирующего квалиметрического комплекса ЭТС.

Направление дальнейших исследований – «встраивание» моделей алгоритмической деятельности операторов в комплексную модель контакт-центра по обработке заявок, построенную на основе теории систем массового обслуживания.

Список литературы

1. *Криводуб А.С.* // Матер. наук.-техн. Конф «Информатика, Математика, Автоматика». Суми, 2014 г. С. 73.
2. *Криводуб А.С., Лавров Е.А., Рыбка А.В.* // Матер. III міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні системи і технології AIST 2014». Суми, 2014 г. С. 56.
3. *Лавров Е.А., Пасько Н.Б., Семенов Д.Н.* // Збірник матер. IV міжнар. Наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта». Київ, 14–15 листопада 2013 г. С.234-236.
4. VoIP Software for ITSP. Электронный ресурс. – Режим доступа: www.portaone.com. – Дата доступа: 02.02.2015.
5. Netcracer. . Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.netcracker.com>. – Дата доступа: 02.02.2015.
6. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: Справочник / Под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. Москва, 1993.
7. *Лавров Е.А., Пасько Н.Б., Панов Б.В.* Компьютерная технология моделирования дискретного человеко-машинного взаимодействия // Научная мысль. 2014. №1. С. 48–60.
8. *Лавров Е.А., Пасько Н.Б.* «Комп'ютерна програма «Комп'ютерна технологія моделювання дискретної людино-машинної взаємодії»» // Авторское свидетельство № 45262.

УДК 621.039.53

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ

К.Н. СУРИКОВ, И.Н. АРИСТОВ, Г.В. ПОЛЁТОВ

*Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации
115230, г. Москва, Варшавское шоссе, д.46, Москва, 115230, Россия*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Приведено описание промышленно доступных российских блоков детектирования (БД) ионизационных камер для регистрации нейтронных полей в системах управления и защиты реакторных установок. Выполнен анализ существующих технологий производства блоков детектирования для решения различных задач. Приведены результаты испытаний опытных образцов БД при температурах минус 120 °С и 500 °С. Определены дальнейшие пути совершенствования блоков детектирования и ионизационных камер для систем управления и защиты ядерных установок.

Введение

Блоки детектирования на основе ионизационных камер и газоразрядных счетчиков играют важнейшую роль в управлении технологическими процессами на ядерных энергетических установках. С их помощью осуществляют контроль нейтронного поля около и в активной зоне реактора при выводе на мощность, работе на номинальной мощности в системах управления и защиты ядерных реакторов [1]. Разнообразие типов ядерных установок отличающихся габаритными размерами активной зоны, рабочими температурами, диапазонами регистрации плотности потока нейтронных полей и т.д., требует от разработчиков блоков детектирования создания большой номенклатуры серийно выпускаемых изделий.

Типичный блок детектирования на основе нейтронной камеры состоит из одной или нескольких ионизационных камер (ИК) и линии связи. Количество камер выбирается, исходя из поставленной задачи. Сама по себе ИК уязвима к внешним воздействующим факторам, а именно, к повышенной влажности, электромагнитным помехам различных частотных диапазонов, дезактивирующим растворам, повышенным температурам (могут достигать 500 °С) и т. д. Таким образом, корпус блока детектирования служит защитой ИК, а линия связи передает полезный сигнал выработанной ИК к аппаратуре для дальнейшей обработки.

Ионизационная камера представляет из себя герметичный корпус, изготовленный чаще всего из нержавеющей стали, заполненный смесью инертных газов. Внутри ИК расположены электродные системы, изолированные друг от друга и от корпуса камеры. Как правило, одна или несколько электродных систем покрыты специальным веществом – радиатором. Радиаторы – это вещества, имеющие достаточно высокие сечения деления при взаимодействии с нейтронами. Именно наличие радиатора в конструкции ИК позволяет регистрировать нейтроны. Количество электродных систем зависит от решаемых задач ИК; их, как правило, две или больше. На одну электродную систему подается, например, положительное напряжение, а другую подключают к регистрирующей аппаратуре. Для регистрации тепловых нейтронов в ИК в качестве радиаторов используют: уран-235, бор-10, гелий-3. Уран-235, бор-10 наносят тонкими пленками на электродные системы ИК, так называемые твердые радиаторы. Газообразными радиаторами гелий-3 и трифторидом бора (при производстве газа используют

бор-10) наполняют рабочий объем ИК. При взаимодействии тепловых нейтронов с радиаторами происходит деление или расщепление ядра радиатора с образованием двух осколков деления или иных частиц, разлетающихся в противоположных направлениях. Эти осколки, при попадании в газовый промежуток, создают свободные электроны и ионы газов, наполняющих ИК. При движении в электрическом поле между электродными системами свободные заряды во внешней цепи создают импульс тока, регистрируемый аппаратурой. Как правило в системе управления и защиты (СУЗ) применяются ИК с радиаторами уран-235 и бор-10.

Камеры деления – ионизационные камеры с радиатором уран-235 эксплуатируются в импульсном, флуктуационном и токовом режимах. ИК с радиатором бор-10 из-за малой величины заряда в импульсе эксплуатируются только в токовом режиме.

Серийно выпускаемые ионизационные камеры и блоки детектирования

АО «НИИТФА» продолжает более чем 60-летние традиции исследований, разработок и серийного производства ионизационных камер и блоков детектирования на их основе. Родоначальником направления ионизационных камер были специалисты Отдела 100 НИИВТ имени А.С. Векшинского, созданного в 1951 г., большая часть которых перешла в АО «НИИТФА» в 1989 г. [2].

На данный момент подразделения АО «НИИТФА» являются ведущими разработчиками и производителями ионизационных камер, газоразрядных счетчиков и блоков детектирования на их основе. АО «НИИТФА» серийно выпускает более 40 наименований ионизационных камер и блоков детектирования для регистрации тепловых нейтронов. Выпускаемые изделия эксплуатируются на ядерных установках типа БН-800, ВВЭР, РБМК.

Результатом последних разработок является широкодиапазонная камера с урановым и борным радиаторами КНУ-3. Камера содержит две электродные системы с урановым радиатором, работающие в импульсном режиме, и одну электродную систему с борным покрытием, работающую в токовом режиме. Диапазон регистрации камеры КНУ-3 перекрывает двенадцать десятичных порядков и обеспечивает контроль плотностей нейтронного потока в диапазоне от 0,1 до 1011 нейтр. \cdot см⁻² \cdot с⁻¹. Пластинчатая конструкция электродных систем с борным покрытием позволяет достигать в токовом режиме коэффициент гамма-компенсации более 400.

Камеры деления условно можно разделить на высокочувствительные и низкочувствительные. Образцом низкочувствительной камеры является малогабаритная камера деления с коаксиальной конструкцией КНТ 26. Диаметр камеры 3 мм. Конструкция имеет охранный электрод и позволяет подключать камеру к аппаратуре по дифференциальной схеме. Камера КНТ 26 является первичным преобразователем блока детектирования СУЗ-В. Конструкторские решения блока детектирования позволяют эксплуатировать ее как в импульсном, так и в токовом режимах при температурах до 300 °С. Диаметр блока детектирования в месте расположения камер деления не более 5 мм. Чувствительность блока детектирования СУЗ-В к тепловым нейтронам в импульсном и токовом режимах равны 0,01 имп. \cdot см² и 1 \cdot 10⁻¹⁵ А \cdot см² \cdot с соответственно. Образцом высокочувствительной камеры деления является камера КНТ 27. Чувствительность к тепловым нейтронам в импульсном режиме составляет 10 имп \cdot см² \cdot с⁻¹. Диаметр камеры КНТ 27 – 80 мм, длина 300 мм. В АО «НИИТФА» на основе камеры деления КНК 15М, камеры с твердым радиатором бор-10 КНК 17-1 и коронного счетчика тепловых нейтронов с твердым радиатором бор-10 разрабатываются блоки детектирования с линией связи из триаксиального кабеля с минеральной изоляцией типа КНММС. Чувствительность к тепловым нейтронам блока детектирования на основе коронного счетчика составляет 8 имп/см²с при гамма устойчивости 1,93 \cdot 10⁻³ Гр/с (800 Р/ч). В настоящий момент разработки находятся на завершающей стадии.

За счет оптимизации состава газового наполнения камер деления удалось увеличить амплитуду на ~20 % к ранее выпускаемым камерам.

Исследования стойкости БД к внешним воздействиям

В рамках работы по расширению рабочего температурного диапазона детекторов в АО «НИИТФА» были проведены испытания экспериментальных образцов блоков детектирования с камерами деления по определению возможности эксплуатации при минус 120 °С и при 500 °С.

Испытания при пониженных температурах были выполнены с помощью программного замораживателя Кгуо 360 – 3.3 фирмы Planer. Экспериментальный образец БД помещался в крио камеру и охлаждался до минус 120 °С. После выдержки в течение двух часов БД облучали нейтронами и сравнивали с показаниями при нормальных условиях. Амплитудный спектр импульсов экспериментального образца БД не изменился по сравнению с нормальными условиями, что свидетельствует о сохранении чувствительности БД. При этом было замечено, что время собирания заряда при температуре минус 120 °С по сравнению с нормальными условиями сократилось на 25 %.

На основе камеры деления КНТ 54-2 был создан опытный образец высокотемпературного блока детектирования. Испытания БД при температурах эксплуатации до 500 °С были выполнены в муфельной печи типа СНОЛ. При различных температурах измерялись дискриминационные характеристики БД при облучении тепловыми нейтронами, показанные на рис.1. При температуре 500 °С ложный выходной сигнал возрастает с $1,1 \cdot 10^{-8}$ до $1,4 \cdot 10^{-8}$ А. Результаты измерений показывают возможность создания высокотемпературного блока детектирования на основе камеры деления. Также с помощью ускоренных испытаний было выполнено подтверждение температуры эксплуатации 500 °С с минимальной наработкой на отказ 20000 ч.

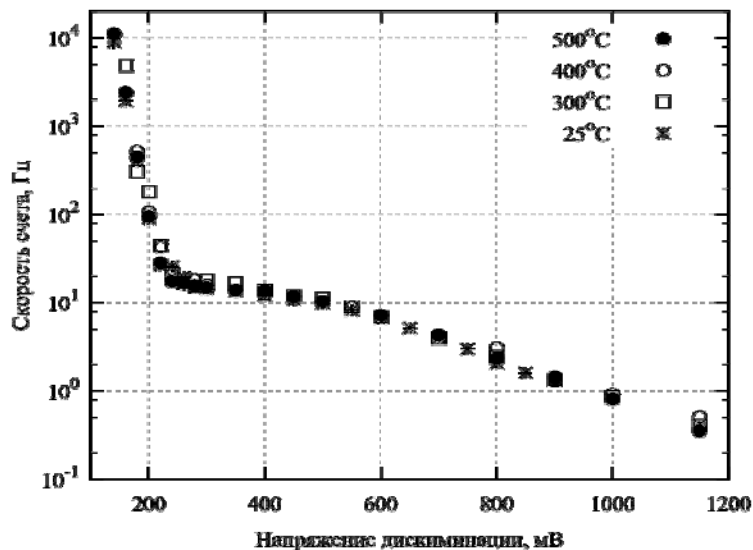


Рис. 1. Дискриминационные характеристики БД на основе камеры деления, измеренные при различных температурах

Выполнено исследование влияния фотонного излучения в импульсном режиме работы камер деления. Работа выполнялась на гамма-установке ГУ 200М. Блок детектирования на основе камеры деления облучался нейтронами при различных мощностях фотонного излучения. Результаты измерения дискриминационных характеристик приведены на рис. 2. Анализ этого рисунка показывает, что выбором уровня дискриминации можно полностью исключить влияние внешнего фотонного излучения.

Блоки детектирования, разрабатываемые АО «НИИТФА», по электромагнитной совместимости технических средств имеют III группу исполнения по устойчивости к помехам и устойчивы к механическим воздействиям, возникающим от удара самолета, падающего на АЭС, и от ударной воздушной волны.

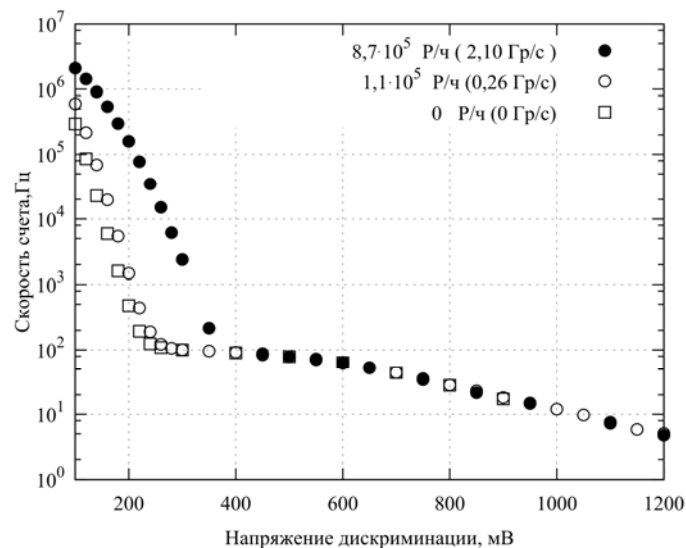


Рис. 2. Дискриминационные характеристики БД на основе камеры деления, измеренные при различных мощностях доз фотонного излучения

Выводы

АО «НИИТФА» обладает широкими технологическими возможностями производства ионизационных камер и блоков детектирования на их основе, необходимыми для удовлетворения потребностей разработчиков систем управления и защиты ядерных установок.

Опытные образцы БД, разработанные АО «НИИТФА», показали возможность создания изделий, эксплуатируемых в широком температурном диапазоне от минус 120 °С до 500 °С. Следующим этапом развития блоков детектирование планируется увеличение температуры штатной эксплуатации до 600 °С.

Список литературы

1. Малышев Е.К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С.А. Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов. М., 1991.
2. Борисов В.П., Аммосова Л.М., Золотенина Н.С. и др. Научно-исследовательский институт вакуумной техники им. С.А. Векшинского (1947–2007 гг.) М., 2007.

УДК 621.039-78

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ПОСТРОЕНИЯ

А.Н. НОВИК, П.В. КУЧИНСКИЙ, И.В. БЕЛЫЙ, С.Г. ТАМАШЕВИЧ

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ
Курчатова 7, Минск, 220045, Беларусь*

Поступила в редакцию 29 января 2015

Республика Беларусь, как одна из наиболее пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС, уделяет большое внимание ликвидации последствий для безопасности проживания и жизнедеятельности населения на территории государства. Необходимость радиационно-экологического контроля территории обусловлена, также, наличием вблизи границ четырех АЭС сопредельных государств и строительством в самой республике АЭС.

Авторами разработан и создан аппаратно-программный комплекс автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) окружающей среды в зоне наблюдения АЭС с открытой архитектурой построения. Эта разработка послужит отправной точкой для создания современной комплексной системы контроля радиационной обстановки в зоне наблюдения будущей белорусской АЭС и создания Единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки. Разработанная современная аппаратно-программная база и открытая структура построения базового комплекса позволит путем расширения охватить всю территорию республики непрерывным радиационно-метеорологическим контролем с организацией необходимой иерархии центров контроля и реагирования, включая зону влияния белорусской АЭС [1, 2]. Демонстрация готовности страны к реагированию на возможные радиационные аварии до ввода АЭС в эксплуатацию позволяет существенно снизить социальную напряженность, которая, в большей степени, была обусловлена аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 г. и аварией на АЭС Фукусима-1 в Японии в 2013 г. Разработанная система позволяет также способствовать решению задач административного управления в случае чрезвычайных ситуаций. В местах размещения аппаратуры автоматических пунктов измерения (АПИ) установлены информационные электронные табло для отображения уровней мощности дозы гамма-излучения, что обеспечивает информирование населения, проживающего в регионе АЭС, объективными данными о радиационной обстановке [3]. Соответствующая информация о радиационной и метеорологической обстановке направляется также в администрации управления.

Структура АСКРО

Автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) состоит из сети автоматических пунктов измерения (АПИ), располагаемых в зоне влияния ядерно-опасного объекта, и центров реагирования (ЦР) регионального и национального уровней. Структура системы представлена на рисунке и представляет собой иерархическую информационную сеть, состоящую из территориально разнесенных узлов различных типов, имеющих различные функциональные возможности и различные информационные каналы, обеспечивающие интеграцию узла в пространство сети. Каждый узел сети включает в себя

аппаратные и программные средства, различающиеся по составу и выполняемым функциям, в зависимости от типа узла.

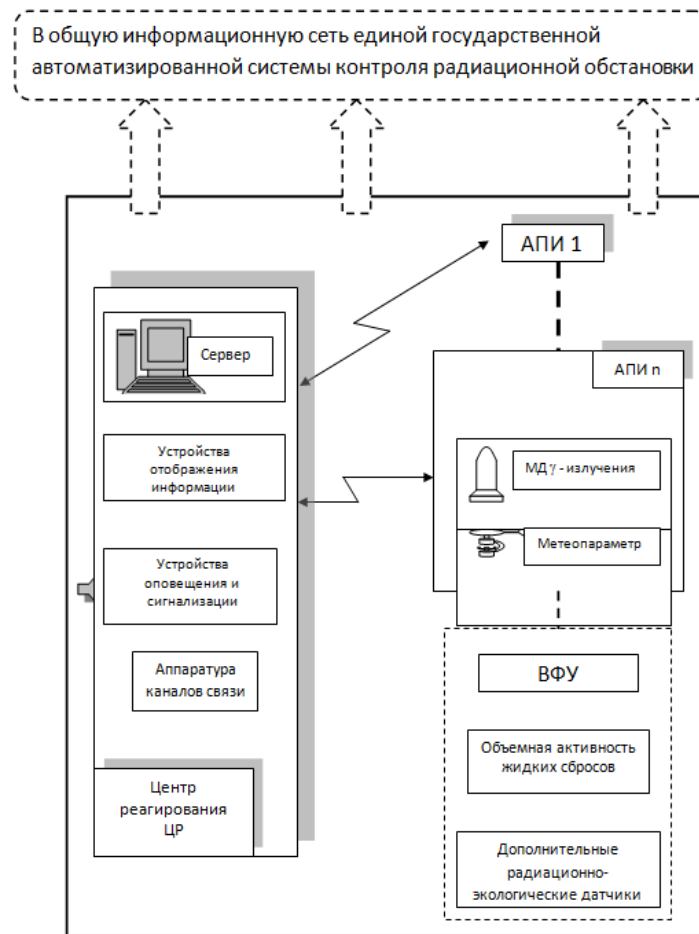


Рис. 1. Структура автоматизированной системы контроля радиационной обстановки

Функционирование АСКРО

Программное обеспечение АСКРО имеет распределенную архитектуру и состоит из встроенного ПО АПИ и ПО ЦР, которое использует векторные многослойные электронные карты в формате ГИС MapInfo и современную СУБД, имеющую клиент-серверную архитектуру.

Под управлением встроенного ПО АПИ функционируют аппаратные средства терминального контролера АПИ. Одной из основных особенностей ПО контролера АПИ является обеспечение высокой надежности его функционирования, что обеспечивается структурой построения как аппаратной, так и программной частей. Аппаратные средства модулей коммуникаций контролера используют GSM/GPRS и радиоканалы связи, функционирующие с учетом обеспечения 100 % горячего резерва при дублировании. Программные средства разработаны с учетом этого дублирования и поддерживают заданную аппаратную конфигурацию.

ПО ЦР обеспечивает функционирование сервера узлов контроля и обработки информации в иерархической информационной сети. Аппаратная структура сервера построена с учетом обеспечения 100 % горячего резерва и состоит из двух ПЭВМ, объединенных в локальную сеть с установленным ПО зеркального накопления информации в базах данных. Программное обеспечение компьютеров сервера функционирует в среде операционной системы Windows, используя векторные многослойные электронные карты в формате ГИС MapInfo и современную СУБД, имеющую клиент-серверную архитектуру.

Отличительной чертой АСКРО является как использование различных типов блоков детектирования гамма-излучения, так и применение блоков детектирования, позволяющих

измерить спектр гамма-излучения с последующей идентификацией радионуклидного состава. Также в информационную сеть системы могут входить фильтровентиляционные установки для отбора проб радиоактивных аэрозолей и естественных выпадений из атмосферы с тем, чтобы получать фоновые характеристики радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, характерные для района расположения АЭС.

Отображение оперативной информации осуществляется на фоне векторных многослойных электронных карт в формате ГИС MapInfo или в табличном виде. Пример отображения на векторной электронной карте представлен на рис. 2.

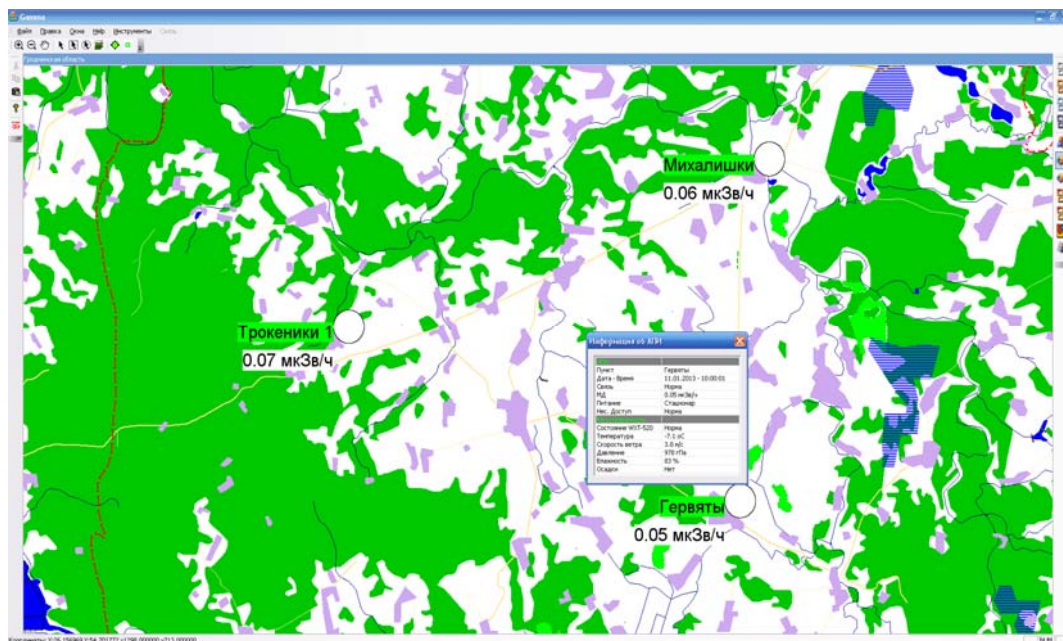


Рис. 2. Отображение радиационной обстановки на электронной карте контролируемой территории

Следует отметить, что оператор может в интерактивном режиме не только просматривать измеренные величины уровней радиации в пунктах размещения АПИ, но и запрашивать информацию о метеорологических параметрах и состоянии аппаратуры.

Основные технические характеристики АСКРО

Основные технические характеристики АСКРО следующие:

- количество автоматических пунктов измерения (АПИ) в составе АСКРО – не ограничено;
- количество датчиков (радиационных, метеорологических и др.) на одном АПИ – до 128;
- количество и иерархия центров обработки информации, отображения и принятия решений – в зависимости от структуры АСКРО – не ограничено;
- режим работы оборудования АСКРО: автоматический, непрерывный, всепогодный, с дублированием и автоматической поддержкой исправного состояния;
- интеллектуальные блоки детектирования гамма-излучения (ИБД) – УП «АТОМТЕХ» РБ (сертификат РБ средств измерений);
- измерения в широком диапазоне мощности дозы гамма-излучения;
- два режима работы АСКРО – «нормальный» и «аварийный»;
- передача информации по GSM/GPRS и радио каналам связи;
- надежность и помехозащищенность передачи данных;
- внешние информационные табло;
- звуковая и световая сигнализация;
- энергоснабжение компонентов АСКРО от источников бесперебойного питания;
- низкое энергопотребление;
- полная адресная диагностика работоспособности оборудования;
- измерение метеорологических параметров;

- защищенность от неблагоприятных атмосферных и климатических явлений;
- надежность программного обеспечения функционирования и возможность сопряжения с информационными каналами других систем радиационно-экологического мониторинга;
- дистанционное изменение параметров и установок системы;
- отображение результирующей оперативной информации на серверах ЦР в реальном масштабе времени с использованием ГИС.

Список литературы

1. *Новик А.Н., Белый И.В., Тамашевич С.Г., Кучинский П.В.* // Матер. междунар. конф. «Приборостроение 2014». Минск, 2014. С. 137–138.
2. *Новик А.Н., Белый И.В., Тамашевич С.Г., Кучинский П.В.* // Материалы республиканского научного семинара «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии». Минск, 2014. С. 59.
3. *Шамаль В.А., Новик А.Н., Белый И.В., и др.* // Матер. междунар. конф. «Приборостроение 2009». Минск, 2009. С. 117–118.

УДК 621.039.53

ОТРАСЛЕВАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Д.А. ГЛЕНЬ

ОООНПП «Радиационный контроль. Приборы и методы»
пр. Маркса, 14, Обнинск, 249035, Россия

Поступила в редакцию 3 февраля 2015

Отраслевая автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля (ОАСИДК) концерна «Росэнергоатом» разработана в целях реализации Федерального закона «О радиационной безопасности населения» на основании Постановления Правительства Российской Федерации № 718 от 16 июня 1997 г. «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан.

Основными целями создания и функционирования ОАСИДК являются:

- контроль и учет индивидуальных доз облучения персонала предприятия;
- анализ и планирование дозовых затрат при проведении радиационно-опасных работ;
- управление дозовыми затратами на основе реализации принципа ALARA;
- повышение качества ведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) внешнего и внутреннего облучения персонала в области соблюдения принятых норм и правил радиационной безопасности;
- информационное обеспечение эксплуатирующей организации в области разработки мероприятий по снижению доз облучения, по прогнозированию дозовых нагрузок;
- учет лиц из числа персонала, подвергшихся облучению выше установленных пределов;
- информационный обмен между предприятиями об успешной практике в области разработки защитных мероприятий и снижению доз персонала при проведении радиационно-опасных работ;
- уменьшение ошибочных действий связанных с человеческим фактором.

Создавалась ОАСИДК в виде распределенной системы, состоящей из локальных АСИДК атомных станций и АСИДК кризисного центра концерна «Росэнергоатом» (рис. 1). Впервые система была установлена на Нововоронежской АЭС в 1998 г., за 16 лет АСИДК была внедрена на все АЭС РФ и был разработан проект уже Отраслевой АСИДК во главе с кризисным центром концерна «Росэнергоатом». Раз в сутки все данные по дозовой нагрузке персонала АЭС поступают в концерн, а оттуда в виде отчетов поступает в различные надзорные органы.

Помимо АЭС РФ АСИДК была установлена на предприятия Элемаш, ГХК, ХФТИ, на Игналинской и Тяньваньской АЭС. В 2012 г. на Тяньваньской АЭС была проведена комплексная модернизация оборудования и программного обеспечения. С каждым годом функционал расширяется, добавляются новые программные модули и оборудование, осуществляется интеграция с разными автоматизированными системами.

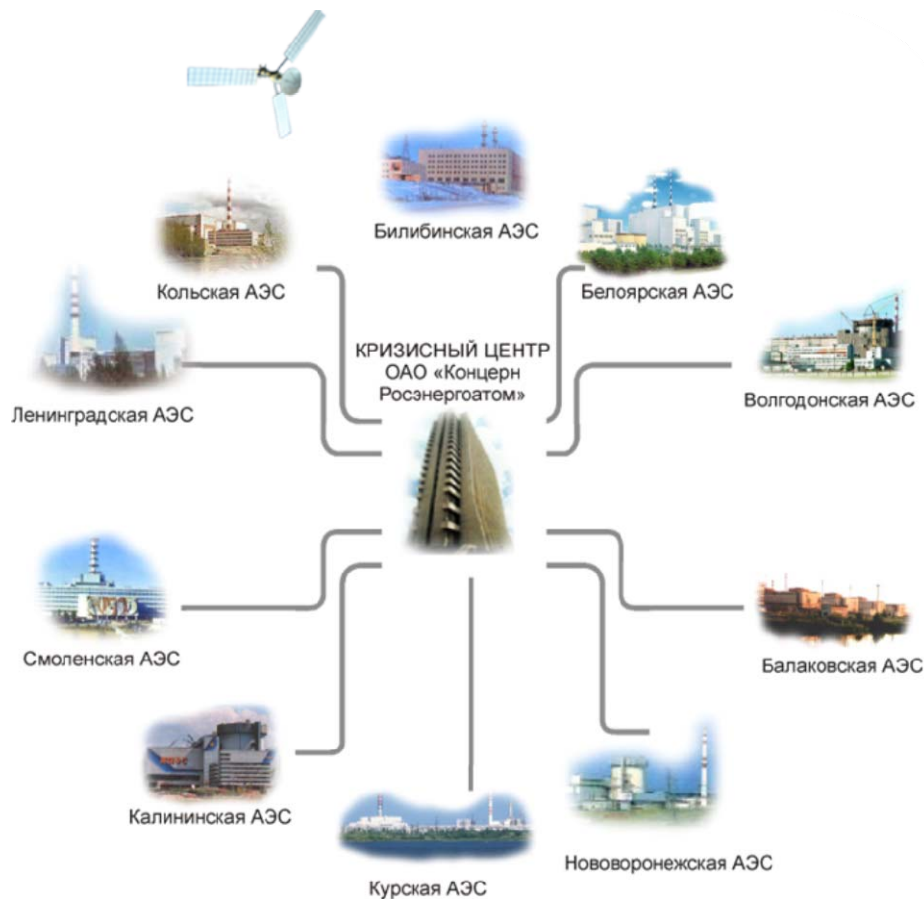


Рис. 1. Отраслевая структура ОАСИДК

Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля уровня АЭС состоит из верхнего и нижнего уровней. Верхний уровень подразделяется на серверную и клиентскую части. Нижний уровень представлен измерительным оборудованием (счетыватели электронных прямопоказывающих дозиметров, электронные прямопоказывающие дозиметры, оборудование СИЧ, счетыватели ТЛ-дозиметров, ТЛ-дозиметры и т.д.).

Серверная часть представлена двумя серверами: основным сервером БД и дополнительным/резервным сервером. Одновременно с этим каждый из серверов выполняет функции резервирования другого.

Клиентская часть ИДК состоит из автоматизированных рабочих мест (АРМ). К автоматизированным рабочим местам может подключаться измерительное оборудование нижнего уровня. Структурная схема подсистем и оборудования представлена на рис. 2.

На уровне АЭС АСИДК можно разделить на 5 функциональных подсистем:

- серверная подсистема (часть) в которую входят 2 сервера, дублирующие работу друг друга;
- подсистема текущий контроль, данная подсистема включает в себя учет персонала предприятия и учет доз внешнего облучения полученного с помощью ТЛД дозиметрии;
- подсистема «Оперативный контроль», которая обеспечивает нарядно-допускной системы и оборудования для электронных прямопоказывающих дозиметров;
- подсистема контроля доз внутреннего облучения, данная подсистема включает в себя программное обеспечение и оборудование по расчету доз полученных из-за ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека;
- подсистема отчетов, содержащая программное обеспечение по созданию и формированию отчетной информации.

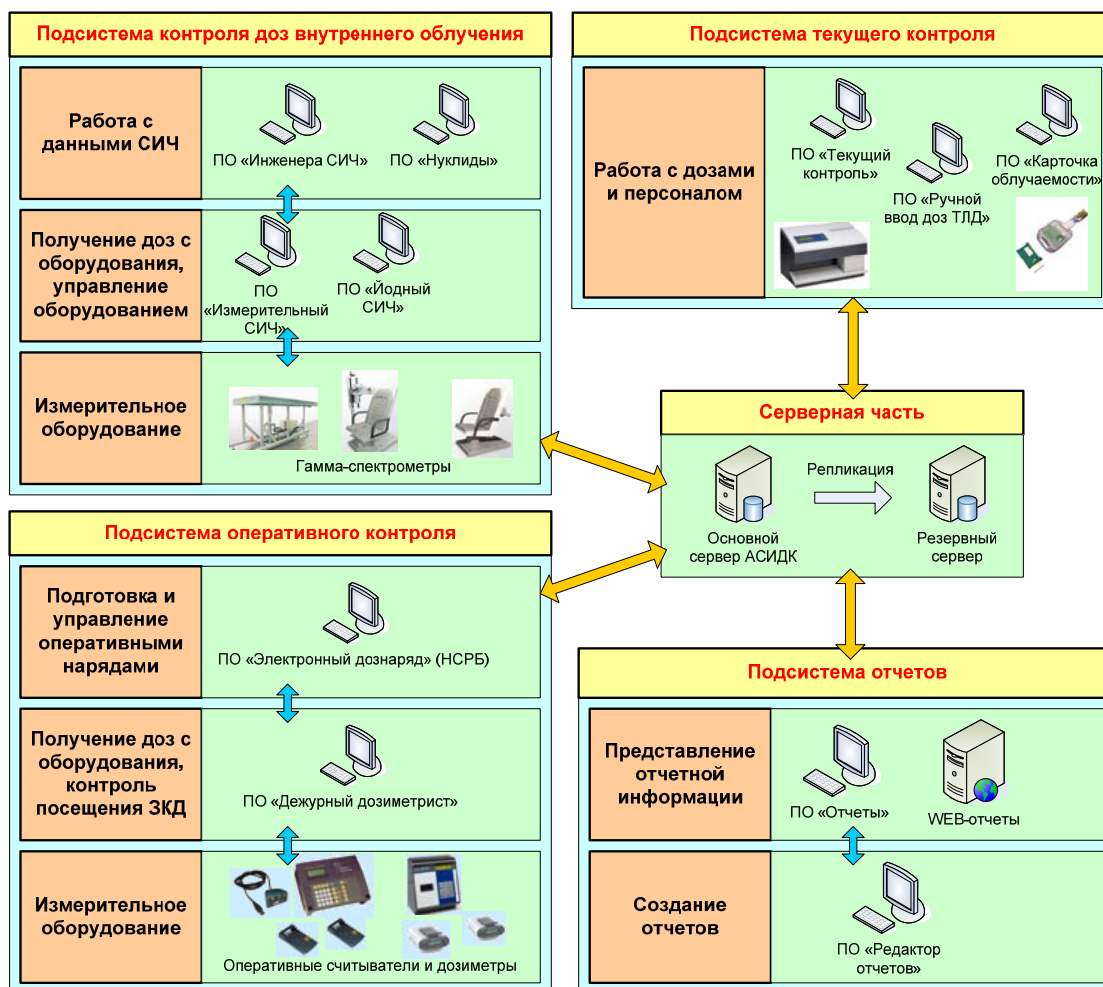


Рис. 2. Структурная схема АСИДК уровня АЭС

Все программное обеспечение выполнено по технологии «клиент-сервер». Обмен информацией между подсистемами осуществляется через сервер АСИДК. Основные функции, выполняемые АСИДК, представлены ниже.

Функции серверной подсистемы:

- хранение данных АСИДК.
- резервирование данных на второй сервер;
- обработка данных, получаемых с автоматизированных рабочих мест;
- передача данных на автоматизированные рабочие места;
- передача данных в кризисный центр.

Функции подсистемы «Текущий контроль»:

- наполнение и корректировка справочной информации базы данных системы ИДК по подразделениям предприятия и подрядным организациям и т.д.;
- ведение базы данных персонала, состоящего на дозиметрическом;
- подготовка, вывод на экран и на принтер отчетов;
- установление соответствия номеров ТЛ-дозиметров персоналу предприятия и подрядных организаций;
- наполнение, поиск и корректировка информации по дозовым нагрузкам персонала;
- наполнение, поиск и корректировка информации по дозам, полученным вне контроля системы ИДК с указанием организации, где была получена доза;
- предоставление данных о превышениях персоналом дозовых контрольных уровней и запретах работы с источниками ионизирующего излучения.

Функции подсистемы «Оперативный контроль»:

- наполнение, поиск и корректировка информации по дозиметрическим нарядам в соответствии с требованиями, предъявляемыми при заполнении стандартного бланка;
- печать бланка дозиметрического наряда с занесенной информацией;
- подготовка, вывод на экран и на принтер отчетов по оперативному контролю;
- автоматизация процедуры допуска персонала к производству радиационно-опасных работ по дозиметрическим нарядам и распоряжениям;
- регистрация посещения зоны контролируемого доступа персоналом предприятия;
- регистрация оперативных доз, полученных персоналом при работе в зоне контролируемого доступа;
- программирование уставок предупредительной сигнализации прямопоказывающих дозиметров в соответствии с разрешенной дозой и параметрами радиационной обстановки в месте производства работ.

Функции подсистемы «Контроль доз внутреннего облучения»:

- определение содержания ^{60}Co в легких и фиксирование его значения при уровне, превышающем 300 Бк;
- оценка наличия радионуклидов в легких и принятие решения о дальнейшем обследовании или допуске к продолжению работ в местах с источниками радиации;
- проведение измерений при ежегодном информационном контроле внутреннего облучения персонала атомных станций и для проведения предварительных измерений при текущем и оперативном контроле внутреннего;
- контроль возможного присутствия ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{110}Ag , ^{124}Sb , ^{141}Ce , ^{144}Ce в легких с суммарной активностью, обеспечивающей излучение 150 γ квантов/сек во всем объеме легких;
- определение содержания ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{110}Ag , ^{124}Sb , ^{241}Am в легких на момент измерений;
- оценка наличия гамма-излучающих нуклидов, в т.ч. ^{131}I и ^{133}I в щитовидной железе человека, и принятие решения о дальнейшем обследовании или допуске к продолжению работ в местах с источниками радиации;
- редактирование справочников типов измерений на СИЧ, типов результатов измерений на СИЧ, типов контроля;
- подготовка и печать отчетов по измеренному содержанию нуклидов и дозам внутреннего облучения персонала;
- просмотр графика прохождения СИЧ; просмотр и модификация данных измерений на СИЧ;
- ручной ввод данных измерений на СИЧ;
- регистрация действий оператора при работе с программой;
- хранение характеристик распада нуклидов.

Функции подсистемы «Отчетов»:

- создание скриптов отчета;
- формирование отчетов уровня предприятия;
- формирование отчетов уровня государственных органов контроля;
- поддержка web-интерфейса.

УДК 621.039.4

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА ДЛЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ АЭС

Н.М. КАЗЮЧИЦ, Л.Ф. МАКАРЕНКО, М.С. РУСЕЦКИЙ, А.С. ШУЛЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет
Ленинградская, 14, Минск 220050, Беларусь***Минский научно-исследовательский институт радиоматериалов
Лейтенанта Кижеватова, 86-2, Минск, 220024, Беларусь**Поступила в редакцию 09 февраля 2015*

Прочные ковалентные связи между атомами углерода обеспечивают высокую химическую и радиационную стойкость алмаза. Высокие значения скорости насыщения носителей заряда ($2,7 \cdot 10^7$ см⁻¹ для электронов и $1,1 \cdot 10^7$ см⁻¹ для дырок) и подвижности (2200 см²В⁻¹с⁻¹ для электронов и 1600 см²В⁻¹с⁻¹ для дырок) наряду с низким значением их времени жизни (единицы нс) определяют высокое быстродействие алмазных приборов. Большая ширина запрещенной зоны алмаза (5,5 эВ) обеспечивает малые токи утечки и низкий уровень шума приборов. Собственная концентрация носителей заряда, составляющая всего 10^5 см⁻³ даже при 1000 К, позволяет рассматривать алмаз как наиболее перспективный материал для высокотемпературной электроники. Тканезквивалентность алмаза позволяет непосредственно измерять поглощенную дозу радиации без соответствующей коррекции на природу материала детектора. Совокупность этих характеристик делает алмаз привлекательным также и для изготовления детекторов ультрафиолетового (УФ) и ионизирующих излучений [1]. Кроме того высокая теплопроводность алмаза (до 22 Вт см⁻¹К⁻¹) позволяет создавать эффективные теплоотводы и быстрые датчики температуры [2].

Цель работы – создание экспериментальных образцов терморезисторов, детекторов ультрафиолетового и ионизирующих излучений на основе синтетических алмазов.

Приборные структуры были созданы из монокристаллов алмаза, синтезированных методом высоких давлений и высоких температур в РУП «Адамас» [3]. Торговая марка продукции – сверхтвердый материал (СТМ) «Алмазот». Из кристаллов изготавливали полированные плоскопараллельные пластины толщиной около 300 мкм. С использованием имплантации ионов бора и последующего активационного отжига на пластинах создавали омические контакты. Структуры со сплошными контактами на обеих поверхностях пластин служили для регистрации глубоко проникающих ионизирующих излучений. Для регистрации УФ излучений использовали контакты встречно-штыревого типа, нанесенные на одну из поверхностей пластины. Термочувствительные слои в терморезисторах создавали имплантацией ионов фосфора по описанной в работах [4, 5] технологии.

На основании данных исследований распределения примесей и дефектов в СТМ Алмазот [6, 7] была установлена корреляция между примесно-дефектным составом и основными эксплуатационными характеристиками приборных структур [8], что позволило выработать критерии отбора синтетических алмазов «детекторного качества». Основные характеристики терморезисторов, детекторов УФ и ионизирующих излучения на основе СТМ Алмазот приведены ниже на рис. 1 – 3 и в табл. 1–3.

Исследования характеристик алмазного теплоотвода проводились в условиях, имитирующих эксплуатацию мощных полупроводниковых приборов [9]. Для этого пластина СТМ Алмазот с терморезисторами (рис. 1а) устанавливалась на медный радиатор. Толщина

алмазной пластины составляла 360 мкм, площадь – 16 мм², размеры медного радиатора – 62×42×4,9 мм. Тепловой контакт между алмазным теплоотводом и медным радиатором обеспечивался 10 мкм слоем теплопроводящей пасты марки КПТ-8. Тепловыделение от работающего прибора имитировала одна из контактных площадок терморезистора размером 200×200 мкм, которая использовалась в качестве нагревателя. С помощью игольчатых зондов к ней подводилась электрическая мощность равная 0,7 Вт. Матрица терморезисторов вокруг нагревателя позволяла исследовать распределение температуры вдоль поверхности алмазного теплоотвода. Для получения абсолютных значений температуры терморезисторы предварительно калибровались на автоматизированной установке для измерения температурных зависимостей проводимости [10]. Температура перегрева алмазного теплоотвода относительно равновесной температуры окружения показана на рисунке 1а. В окрестности источника тепла перегрев составляет всего 1,6 °С, а перепад температуры вдоль поверхности теплоотвода не превышает 0,8 °С. На рис. 1, б приведены кинетики разогрева алмазного теплоотвода на различных расстояниях от «точечного» нагревателя мощностью 0,7 Вт. Кинетики разогрева характеризуются быстрой (10 мс) и медленной (450 мс) составляющими, связанными с нагревом алмазной пластины и медного радиатора, соответственно.

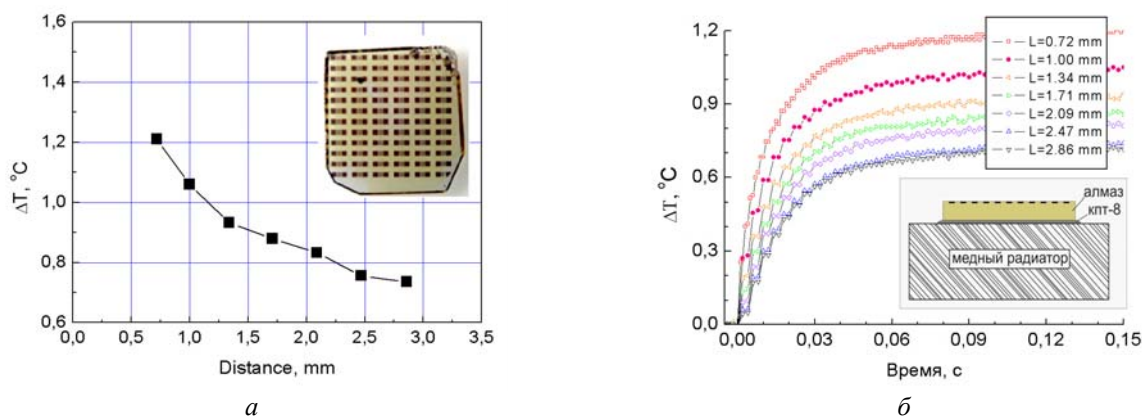


Рис. 1. Перегрев алмазного теплоотвода на различных расстояниях от нагревателя (а), на вставке показана фотография алмазной пластины с терморезисторами; кинетики разогрева алмазного теплоотвода на различных расстояниях от «точечного» нагревателя мощностью 0,7 Вт (б), на вставке показана схема размещения теплоотвода на медном радиаторе

Таблица 1. Основные характеристики терморезисторов на основе СТМ «Алмазот»

Сопротивление при 20 °С, МОм	0,1–4
Энергия активации проводимости, эВ	0,10–0,15
Постоянная времени, мс	4–10

Типичные характеристики детекторов УФ излучения на основе СТМ «Алмазот» приведены на рис. 2 и в табл. 2. Спектры чувствительности (рис. 2, а) содержат область собственной фотопроводимости на участке длин волн 200–230 нм с максимумом в окрестности 220 нм и более длинноволновую область примесной фотопроводимости. В бесцветных областях кристалла с пониженным содержанием азота чувствительность детекторов в максимуме приблизительно на 6–7 порядков превышает уровень шума, в обогащенных азотом желтых областях чувствительность на 2–3 порядка ниже. Отношение сигналов в максимуме спектра и при 400 нм составляет 5–6 порядков величины.

С ростом температуры от комнатной до 350 °С фоточувствительность детекторов уменьшается в области собственной фотопроводимости (рис. 2, б) и возрастает в области примесной фотопроводимости. Изменение чувствительности с температурой в собственной и примесной областях спектра определяется примесно-дефектным составом СТМ «Алмазот». Предельная рабочая температура детекторных структур на основе «беспримесных» алмазов, полученная экстраполяцией температурной зависимости фототока к уровню шумов, составляет около 800 °С. Оценка быстродействия фотодетекторов на основе СТМ «Алмазот» проводилась путем регистрации импульсного лазерного излучения. Для излучения длительностью 12 нс с

длиной волны 213 нм и энергией в импульсе 0,01 мДж величина регистрируемого на 50 Ом нагрузке сигнала составляла до 50 % от приложенного напряжения смещения (рис. 2, в). Регистрируемая длительность импульса на половине высоты составляла 14 нс. Для излучения с длиной волны 532 нм чувствительность детекторов близка к уровню шумов, но большие значения энергии в импульсе, составляющие 15 мДж, позволили надежно записать осциллограмму (рис. 2, з). Короткая длительность возбуждающего примесную фотопроводимость импульса (0,07 нс) позволяет определить быстродействие детектора, составляющее 2,3 нс на половине высоты регистрируемого импульса.

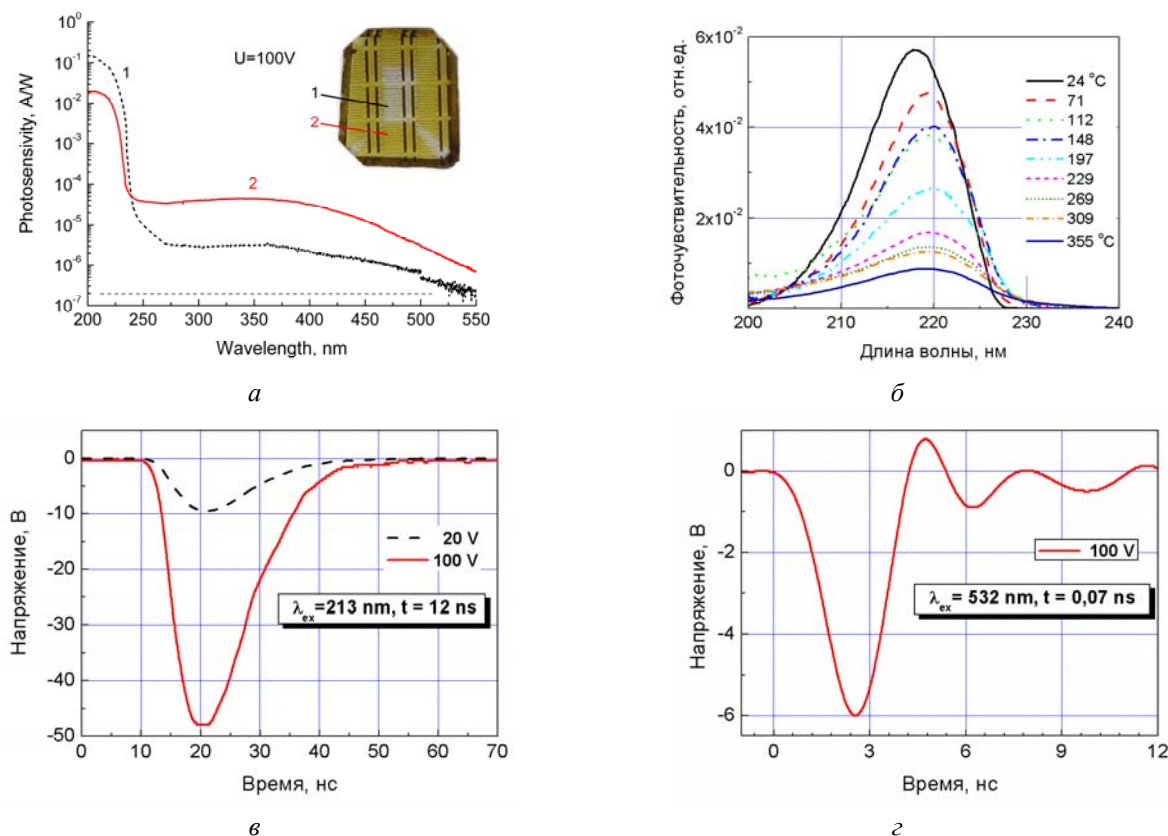


Рис. 2. Типичные спектры фотопроводимости СТМ «Алмазот» с низким (кривая 1) и высоким (кривая 2) содержанием примеси азота (а), на вставке показана фотография тестовой структуры; изменение спектров фотопроводимости в собственной области с ростом температуры (б); записанные детектором из СТМ «Алмазот» осциллограммы импульсного лазерного излучения длительностью 12 нс, длина волны 213 нм (в) и длительностью 0,07 нс, длина волны 532 нм (з)

Таблица 2. Характеристики детекторов УФ излучения на основе СТМ «Алмазот»

Спектральный диапазон, нм	200 – 280
Максимум чувствительности, нм	225
Чувствительность в максимуме, А/Вт	0,1–1
Диапазон напряжения смещения, В	0 – 100
Темновой ток при напряжении 100 В, пА	< 1
Быстродействие, нс	< 10
Отношение сигнала в УФ к сигналу в видимой области	10^3 – 10^6

Дозиметрические детекторы должны иметь стабильный во времени и достаточный для надежной регистрации уровень сигнала, линейно зависящий от мощности дозы. Зависимость ионизационного тока от мощности дозы γ -квантов ^{60}Co и ^{137}Cs для детекторов на основе природного и синтетического алмазов приведена на рисунке 3а. Величина сигнала слабо зависит от энергии γ -квантов. Типичный уровень сигнала для детекторов из природного алмаза типа Па не превышает 20 нА. Детекторы из СТМ «Алмазот» в большинстве случаев менее чувствительны, чем детекторы из специально отобранных природных алмазов. Однако в кристаллах СТМ «Алмазот» имеются области, обладающие аномально высокой чувствительностью. Так, чувствительность детектора из СТМ «Алмазот», приведенная на рис. 3а, на порядок превышает типичные значения чувствительности детекторов из природного

алмаза. Зависимость между током детектора и мощностью дозы γ -квантов может быть описана степенной функцией $I \sim D^\Delta$. Показатель степени для исследованных детекторов равен $\Delta = 1,011$ для природного алмаза и $\Delta = 0,993$ – для СТМ «Алмазот».

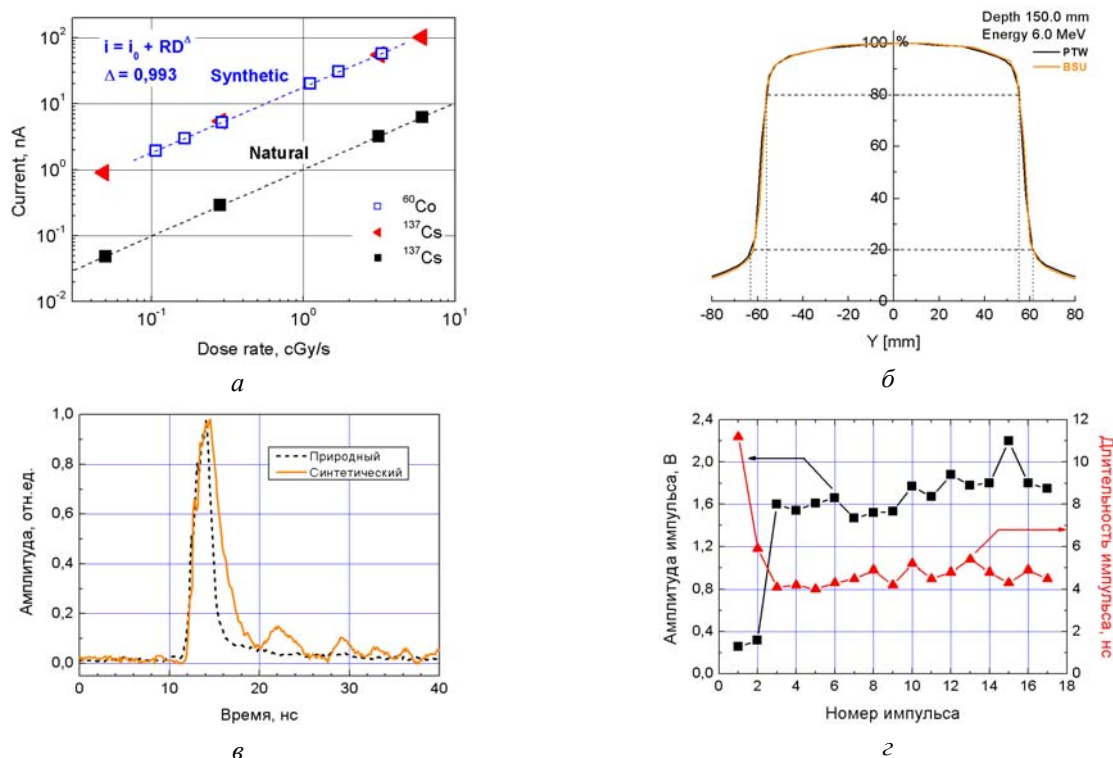


Рис. 3 – Зависимость тока фотоионизации от мощности дозы γ -квантов для детекторов на основе природного алмаза и СТМ Алмазот (а); распределение радиационного поля линейного ускорителя «Varian», измеренное детектором фирмы PTW и детектором из СТМ Алмазот (б); осциллограммы импульса тормозного излучения установки «Аргумент-1000», записанные детектором из природного алмаза и детектором из СТМ Алмазот (в); регистрация последовательности импульсов тормозного излучения установки «Аргумент-1000» (г)

Таблица 3. Характеристики дозиметрических детекторов на основе СТМ «Алмазот»

Диапазон энергий фотонов, МэВ	0,08 – 20
Чувствительность, мкКл/Гр	до 1,8
Диапазон мощностей доз, сГр/с	0,05 – 10
Линейность в номинальном диапазоне мощностей доз	0,978
Стабильность сигнала	3%
Напряжение смещения, В	до 100
Темновой ток при напряжении 100 В, пА	< 1

Сравнительные испытания детектора из СТМ «Алмазот» в клинических условиях (рис. 3б) на примере регистрации поперечного распределения плотности потока фотонного излучения линейного ускорителя «Varian» показали практически одинаковые результаты с детектором из природного алмаза фирмы PTW [11].

Детекторы из СТМ «Алмазот» эффективны при регистрации мощных импульсных потоков ионизирующего излучения. На рис. 3в, 3г приведены результаты регистрации импульсного тормозного излучения установки «Аргумент-1000». Мощность дозы тормозного излучения установки составляла 10^{11} Р/с, длительность импульса на полувысоте 3,5 нс. Из рис. 3г видно, что, начиная с третьего импульса, регистрируемые детекторами из СТМ Алмазот сигналы стабилизируются по амплитуде и длительности. При этом длительность регистрируемых сигналов сопоставима с длительностью импульса тормозного излучения.

Таким образом, чувствительные элементы дозиметров, импульсных детекторов и фотоприемников УФ-диапазона, изготовленные из специально отобранных СТМ «Алмазот», имеют высокие эксплуатационные характеристики, сопоставимые с характеристиками лучших прототипов детекторов ионизирующих излучений на основе природных алмазов типа Па.

Список литературы

1. *Tapper R.J.* Diamond detectors in particle physics. Rep. Prog. Phys. 2000. Vol. 63. P. 1273–1316.
2. *Бормашов В.С., Буга С. Г., Бланк В.Д., и др.* Быстродействующие терморезисторы из синтетических монокристаллов алмазов. ПТЭ 2009. № 5. С. 134–139.
3. Adamas. Электронный ресурс. – Режим доступа: www.adamas.by. – Дата доступа: 02.02.2015.
4. *Русецкий М.С., Казюциц Н.М., Казюциц В.Н., Наумчик Е.В.* // Матер. 4-й Междунар. науч.-технич. Конф. «Приборостроение-2011». Минск, 16–18 ноября 2011 г. С. 393–394.
5. *Rusetsky M.S., Kazuchits N.M., Naumchik E.V.* // 4th International Conference «Radiation interaction with material and its use in technologies». Kaunas, May, 14–17 2012. P. 320–323.
6. *Казюциц Н.М., Коновалова А.В., Азарко И.И. и др.* // Неорганические материалы. 2014. Т. 50, № 2. С. 1449–1461.
7. *Gaubas E., Ceponis T., Jasiunas A., Kalendra V., Pavlov J., Kazuchits N., Naumchik E. and Rusetsky M.* // Diamond and Related Materials. 2014. Vol. 47. P. 15–26.
8. *Казюциц Н.М., Макаренко Л.Ф., Наумчик Е.В. и др.* // Труды XXIII Междунар. конф. «Радиационная физика твердого тела». Севастополь, 8 – 13 июля 2013 г. С. 446–453.
9. *Хорунжий И.А., Мартинович В.А., Русецкий М.С., Казюциц Н.М.* / Матер. 6 Междунар. науч.-технич. Конф. «Приборостроение-2013». Минск, 20–22 ноября 2013 г. С. 382–383.
10. *Русецкий М.С., Казюциц Н.М.* / Матер. 7 Междунар. науч.-технич. Конф. «Приборостроение-2014». Минск, 19–21 ноября 2014 г. С. 131–133.
11. *Казюциц Н.М., Наумчик Е.В., Русецкий М.С. и др.* / Труды XXI междунар. конф. «Радиационная физика твердого тела». Севастополь, 22–27 августа 2011 г. С. 644–651.

УДК 681.51.01

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЭС И АЭС

Г.Т. КУЛАКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Независимости 65, Минск 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 29 января 2015*

Основной проблемой внедрения современных систем автоматического управления является обеспечение высокого качества их функционирования, включая оптимизацию по соответствующим критериям, относительно основных воздействий [1, 2].

Опираясь на многолетний опыт проведения экспериментально-наладочных работ по внедрению технических средств автоматизации на энергоблоках мощностью 150, 200 МВт и 300 МВт тепловых электрических станций, обоснована необходимость существенной модернизации промышленных регуляторов, применяемых для автоматизации теплоэнергетических процессов [3]. Кроме того, выявлен ряд принципиальных проблем, снижающих эффективность использования типовых промышленных регуляторов серийного производства: однотипность промышленных регуляторов, ограничивающая возможность выбора типа регулятора в зависимости от сложности регулирования объекта; «техническое противоречие», обусловленное использованием типовых регуляторов для автоматизации сложных многоемкостных объектов с запаздыванием, между быстродействием и устойчивостью систем; нестабильность динамических характеристик объектов, связанных с изменением режимов работы энергоблоков.

Широкое распространение в области автоматизации технологических процессов получили пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы, реализуемые на базе промышленных контроллеров. На базе ПИД-регуляторов можно получить как частный случай, любой типовой регулятор (П-пропорциональный, И-интегральный, ПИ-пропорционально-интегральный и ПД-пропорционально-дифференциальный). В большинстве ПИД-регуляторов используют методы настройки, основанные на аналитических формулах. Меньше применяют контроллеры на базе нейронных сетей и различных методов оптимизации. Однако доля патентов на контроллеры, использующие правила, в основном за счет регуляторов с нечеткой логикой, в последнее время значительно увеличилось. Возросла также доля патентов на регуляторы, использующие эволюционные алгоритмы и градиентные методы [4].

Алгоритмы функционирования ПИД-регуляторов были перенесены в промышленные контроллеры из аналоговых технологий, на базе которых можно реализовать простые алгоритмы регулирования, что ограничивает повышение качества регулирования и обуславливает ряд нерешенных проблем. Несмотря на сложность и разнообразие реальных объектов управления, в ПИД-регуляторах применяют, как правило, только две структуры математических моделей объектов регулирования: модель первого порядка с запаздыванием и модель второго порядка с запаздыванием. Это приводит к тому, что структура регуляторов в большинстве случаев не соответствует динамике объектов регулирования. Ограничение применения более точных, но сложных моделей обусловлено сложившимся «мифом» о невозможности аналитического решения систем уравнений, описывающей динамику регуляторов, структура которых соответствует динамике моделей объектов управления высокого порядка.

Кроме того, существуют нетиповые объекты, динамику которых описывают передаточными функциями колебательных звеньев; в числителе передаточных функций которых содержатся дифференциальные звенья, а также объекты, в которых входная величина в начальный момент времени после появления воздействия начинает падать, а затем – расти или наоборот. Такие процессы характерны для паровых котлов высокого давления (эффект «набухание» уровня воды в барабане) и др. Для указанных объектов нет простых методов аналитического расчета оптимальных параметров динамической настройки типовых регуляторов.

В настоящее время имеется около полусотни коммерческих продуктов [4] для динамической настройки ПИД-регуляторов. Среди них Foxboro EXACT™ (760/761), ПИД-регуляторы фирмы ABB и Emerson, Protuner фирмы Techmation Inc., LabVIEW PID Control Toolset фирмы National Instruments, Intelligent Tuner (Fisher-Rosemount), Profit PID (Honeywell), P.I.D. – expert («Техноконт») и др. При этом подавляющее большинство программ использует модели объектов первого порядка с запаздыванием для описания динамики объекта регулирования.

Развитие современных средств автоматизации технологических процессов идет в направлении расширения функциональных возможностей ПИД-регуляторов, применения методов искусственного интеллекта и методов диагностики, увеличения объема пользовательского интерфейса (анализ износа клапанов, оценка работоспособности, построение графиков спектральной плотности мощности и функций авто- и взаимной корреляции, оптимизация инверсий модели объекта управления и т.д.).

Точные аналитические решения задач оптимального управления традиционными методами удается получить лишь в редких случаях для простых объектов. Это привело к развитию вычислительных и приближенных методов построения систем оптимального управления.

Основной теоретических методов и алгоритмов расчета параметров динамической настройки в задачах синтеза типовых регуляторов является принцип динамической компенсации, который разделяет задачи синтеза регуляторов на два этапа: нахождение эталонной динамической характеристики (например, передаточной функции) замкнутой системы по задающему воздействию и последующий синтез регулятора, обеспечивающий равенство эталонной и реальной динамических характеристик системы, т.е. определение типа регулятора и параметров его динамической настройки.

При этом синтез оптимального регулятора в соответствии с рассматриваемым принципом динамической компенсации предполагает компенсацию динамики объекта. Так как в передаточную функцию оптимального регулятора входит обратная передаточная функция объекта, которую в большинстве случаев физически реализовать считается невозможным, то с учетом того, что структура типовых регуляторов не соответствует динамике сложных объектов, в инженерных расчетах стремятся приблизить, в известном смысле, равенство реального выходного сигнала эталонному процессу.

Для решения большинства современных проблем автоматизации технологических процессов разработаны основы теории структурно-параметрической оптимизации динамических систем, позволяющей существенно улучшить качество регулирования технологических процессов [4–8] и служащей основой внедрения базисных инноваций в области автоматизации теплоэнергетических процессов ТЭС и АЭС.

Предложено отказаться от структур классических типовых регуляторов, которые в частных случаях, для простых объектов регулирования получаются автоматическими. На первое место ставятся алгоритмы формирования оптимальной структуры регулирующего устройства и системы в целом, в зависимости от требований заказчика. При этом оптимальная структура регулирующего устройства зависит от трех основных факторов:

- математической модели участков объекта регулирования;
- вида возмущающего воздействия и места его приложения;
- заданного оптимального критерия качества, который входит в математическую модель регулятора.

Существенной особенностью первого фактора является то, что на структуру и порядок дифференциального уравнения, описывающего динамику объектов регулирования никаких ограничений не накладывается.

При синтезе оптимальной структуры регулирующего устройства определяющим фактором является отработка задающего воздействия. Традиционно требования к системе формируются заданием эталонного оператора системы, который определяет качество системы как переходных, так и в установившемся режимах при выполнении следующих условий [1, 9]:

- нулевая ошибка регулирования при подаче на вход сигнала вида $y(t) = 1(t)$;
- перерегулирование в системе, не превышающее допустимую, или должно быть нулевым;
- время переходного процесса не должно превышать допустимое;
- максимальное ускорение выходной переменной при заданных условиях не должно превышать допустимого значения.

Таким образом, оптимальным переходным процессом традиционно считают такой, который находится в пределах «коробочки» В.В. Солодовникова.

В предложенной теории оптимальный переходный процесс в системе задают в виде одной кривой (2 или 3), которая интегрально учитывает необходимые требования [9] и описывается передаточной функцией вида:

$$W_{зд}(p) = W_{y, X_{зд}}(p) = \frac{e^{-\tau_y p}}{(T_{зд} p + 1)^n}, \quad (1)$$

где $W_{y, X_{зд}}(p)$ – передаточная функция системы по задающему воздействию; p – оператор Лапласа; τ_y – условное запаздывания по каналу регулирующего воздействия; $T_{зд}$ – заданная постоянная времени инерционного звена n -го порядка, выполняющая функцию параметра оптимальной динамической настройки регулирующего устройства, численное значение которой зависит от максимально-допустимого значения регулирующего воздействия и допустимой скорости выходной переменной.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет так выбрать структуру системы управления и рассчитать численные значения $T_{зд}$, чтобы сразу обеспечить реализацию оптимального задающего графика переходного процесса без перерегулирования. Так, например, в [5] показано, что модернизация регуляторов температуры перегретого пара за котлом с использованием предлагаемой теории структурно-параметрической оптимизации динамических систем позволяет уменьшить время отработки задающего воздействия и крайнего внешнего возмущения в 2 раза по сравнению с типовым ПИД-алгоритмом регулирования, а использование при этом инвариантной системы автоматического регулирования (САР) при плановом изменении нагрузки сокращает максимальную динамическую ошибку регулирования при отработке крайнего внешнего возмущения расходом перегретого пара в 5,3 раза и уменьшить абсолютное значение интегральной ошибки регулирования в 10 раз.

Для оценки экономической эффективности внедрения инновационных технологий, основанных на предложенной теории, и очередности их внедрения, была разработана соответствующая методика применительно к САР технологических процессов тепловых электрических станций [10, 11]. Показано, что модернизация основных систем автоматического регулирования энергоблока мощностью 300 мВт, включая систему автоматического управления мощностью энергоблока, работающего в широком диапазоне изменения нагрузок от 30 до 100 %, обеспечит годовую экономию условного топлива на одном энергоблоке 858,2 т у.т. При этом ежегодная экономия топлива на четырех энергоблоках 300 мВт, суммарная мощность которых соответствует мощности 1200 мВт энергоблока АЭС, который планируется в Белорусской энергосистеме ввести в эксплуатацию в 2018 году, составит 3432,8 т у.т., что эквивалентно 892 450 у.е. в год при цене 1 т у.т. в 260 у.е., при этом суммарный годовой экономический эффект от внедрения инновационных технологий составит 1,45 млн у.е.

Решение задачи структурно-параметрической оптимизации динамических систем осуществляется по следующему алгоритму. На первом этапе аналитическим или экспериментальным путем с использованием разомкнутых, разомкнуто-замкнутых и замкнутых контуров определяется исходная динамика участков объекта регулирования, которую затем описывают соответствующей передаточной функцией без ограничения ее порядка и структуры. На втором этапе по передаточной функции объекта формируется заданная (не эталонная, как обычно) передаточная функция замкнутой САР по задающему воздействию, исходя из того, что реальный переходной процесс замкнутой САР всегда будет соответствовать заданному. Затем формируется структура регулирующего устройства на базе передаточной функции оптимального регулятора с использованием принципа динамической компенсации. При этом оптимальный оператор представляется как произведение обратной передаточной функции объекта на заданную (оптимальную) передаточную функцию разомкнутой системы. На этом этапе учитываются требования заказчика. Если необходимо оптимизировать отработку как внутренних, так и задающих воздействий, то вначале находят структуру стабилизирующего устройства внутреннего контура системы, затем – передаточную функцию эквивалентного объекта регулирования, учитывающего динамику внутреннего контура. На основе передаточной функции эквивалентного объекта формируется заданная передаточная функция внешнего контура системы по задающему воздействию основной регулируемой величины. Заданные передаточные функции внутреннего и внешнего контуров по задающему воздействию являются одновременно критериями оптимальности и содержат по одному параметру динамической настройки – заданную величину постоянной времени передаточной функции n -го порядка (вместо трех, как у ПИД-регулятора), которые выбирают по правилу золотого сечения с учетом максимальной величины регулирующего воздействия. При этом за целое принимают величину запаздывания по каналу регулирующего воздействия. «Техническое противоречие» между быстродействием и устойчивостью системы разрешается использованием линейного, модернизированного или комбинированного упредителя Смита. Для существенного улучшения на заключительном этапе синтеза оптимальной структуры САР в замкнутый контур системы добавляют устройство компенсации эквивалентного внешнего возмущения.

Предложенный метод структурно-параметрической оптимизации динамических систем позволяет повысить быстродействие системы при отработке скачка задания по сравнению с ПИД-регулятором в 3–4 раза и уменьшить с использованием принципа инвариантности значение линейной интегральной ошибки регулирования при отработке крайнего внешнего возмущения до 10 раз по сравнению с типовой двухконтурной САР при плановом изменении нагрузки.

Литература

1. Егунов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления. М., 2000.
2. Кузьмицкий И.Ф., Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления: учеб. Минск, 2010.
3. Коновалов М.А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов. К., 2009.
4. Демченко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М., 2009.
5. Кулаков Г.Т. // Матер. XVII МНПК «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики»/ Киев-Симферополь-Алушта, 2012 г. С. 252–254.
6. Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н. // Матер. II МНПК «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино-и приборостроении». Минск, 2013. С. 21–22.
7. Кулаков Г.Т., Кравченко В.В. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2012. № 2. С. 40–45.
8. Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Корзун М.Л., Басалай Д.В. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2012. № 3. С. 67–71.
9. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М., 1993.
10. Кулаков Г.Т., Кравченко В.В., Макоско Ю.В. // Наука и техника. Международный научно-технический журнал. 2012. № 5. С. 92–97.
11. Кулаков Г.Т. // Наука и техника. Международный научно-технический журнал. 2013. № 2. С. 77–82.

УДК 620.179.12

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ, МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ И ТУРБОАГРЕГАТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

П.Ю. БРАНЦЕВИЧ, С.Ф. КОСТЮК, Е.Н. БАЗЫЛЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 20 января 2015

Введение

Возрастающая конкуренция на потребительских рынках требует от производителей продукции и поставщиков услуг повышения эффективности производства и производительности труда, снижения эксплуатационных издержек. При этом в ряде случаев, это приводит к тому, что повышается интенсивность эксплуатации машин и оборудования, увеличиваются нагрузочные режимы их работы, а это, в свою очередь, приводит к их скорейшему износу и повышению вероятности возникновения отказов и аварийных ситуаций.

В таких условиях важнейшей задачей является разработка эффективных средств контроля параметров технического состояния эксплуатируемых оборудования, устройств, машин и агрегатов. Для контроля целесообразно выбирать те параметры процессов, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением (турбины, генераторы, двигатели, редукторы, насосы, компрессоры, вентиляторы и т.д.), которые считаются наиболее изнашиваемыми, такими являются параметры вибрации [1–4].

Вибрационный мониторинг

В зависимости от важности выполняемых оборудованием функций, его стоимости и величины возможного ущерба при внезапной аварии, реализуют периодический или непрерывный стационарный мониторинг параметров вибрации.

При периодическом мониторинге через некоторые промежутки времени (раз в неделю или месяц) с помощью переносных приборов или сборщиков виброданных определяются параметры вибрации подшипниковых опор [5–6], а полученные результаты заносятся в специальный журнал или базу данных. Важно, чтобы измерения проводились в сопоставимых условиях при одинаковых или близких режимах работы контролируемого оборудования и частоте вращения ротора. В качестве параметров вибрации чаще всего фиксируют среднее квадратическое значение (СКЗ) в нормированной частотной полосе (для механизмов с частотой вращения ротора более 600 об/мин это 10 – 1000 Гц), а также, при наличии возможности, определяются амплитуда оборотной составляющей вибрации (составляющая с частотой, равной частоте вращения ротора), интенсивность низкочастотной вибрации, амплитудный спектр. В результате обработки полученных данных отслеживается выход параметров за нормированные допусковые зоны, строятся тренды изменения параметров вибрации для отдельных механизмов. Далее принимаются решения о проведении расширенных обследований вибрационного состояния подозрительных механизмов, планируются мероприятия по

техническому обслуживанию и ремонту. Периодический мониторинг позволяет отследить динамику изменения технического состояния и дать исходные данные для прогнозных оценок, но не позволяет оперативно отреагировать на внезапные аварийно-опасные ситуации путем отключения оборудования или изменения режимов его работы.

Системы непрерывного стационарного мониторинга, выполняющие непрерывного вибрационного контроля, внедряют на сложных дорогостоящих агрегатах (турбогенераторах, газоперекачивающих агрегатах и т.п.) [7]. Это многоканальные, в большинстве случаев компьютерные системы, определяющие и регистрирующие на каком-то носителе информации значения параметров вибрации через небольшие (не более нескольких секунд) промежутки времени, а также осуществляющие допусковый контроль, функции сигнализации и даже защитного отключения. Примером такой системы является измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) серии «Лукомль», разработанный и производимый научно-исследовательской лабораторией вибродиагностических систем БГУИР [8].

Структурно ИВК представляет собой компьютер с типизированным модулем АЦП, подключаемым к ее стандартному интерфейсу (PCI, USB), блока аналоговой обработки сигналов, к которому подключаются первичные виброизмерительные каналы, и блока управления сигнализацией и защитным отключением. По сути, это перепрограммируемый компьютерный измерительный прибор, решающий специальные задачи. Его основными функциями являются:

- определение в режиме реального времени интенсивности вибрации в стандартизованных или задаваемых частотных диапазонах, частоты вращения вала, значений амплитудных и фазовых параметров, по крайней мере, до десяти спектральных составляющих вибрации, кратных частоте вращения (порядковый анализ), пик-фактора исходного сигнала;
- сравнение реально полученных значений с контрольными (величина которых может изменяться от точки к точке и с течением времени) и выработка по определенным алгоритмам сигналов сигнализации, выдаваемых на отображающие и исполнительные устройства.
- реализация алгоритмов защиты технических объектов по вибрационным параметрам.

Комплекс используется в качестве штатной системы вибрационного контроля, мониторинга и защиты крупнейших турбоагрегатов на электростанциях Беларуси (рис. 1).

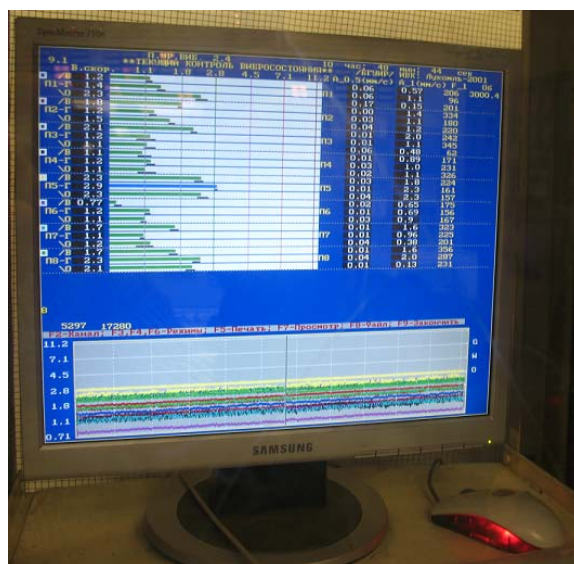


Рис. 1 Представление результатов вибрационного контроля турбоагрегата в ИВК серии «Лукомль»

За время эксплуатации комплекса получен ряд достаточно интересных данных. На рис. 2 представлен пример развития вибрационной ситуации на турбоагрегате мощностью 250 МВт, повлекшей за собой остановку турбоагрегата.

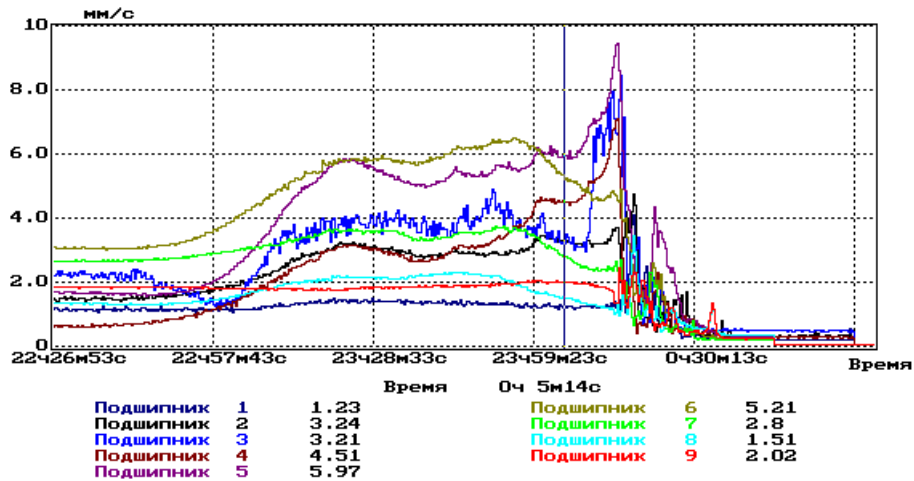


Рис. 2. Изменение СКЗ виброскорости вибрации подшипниковых опор турбоагрегата мощностью 250 МВт

Данная ситуация характерна тем, что ухудшение вибрационного состояния контролируемого объекта происходило на достаточно длительном (более 1,5 ч.) временном интервале. Технический персонал предпринимал действия режимного плана, направленные на снижение вибрации, которые, к сожалению, не увенчались успехом, и турбоагрегат был остановлен. Последующий анализ показал, что причиной повышения вибрации стало неравномерное смещение скользящих подшипниковых опор при прогреве. На рис. 3 и 4 показаны тренды вибрации подшипниковых опор турбоагрегатов, которые были зафиксированы при обрывах лопатки.

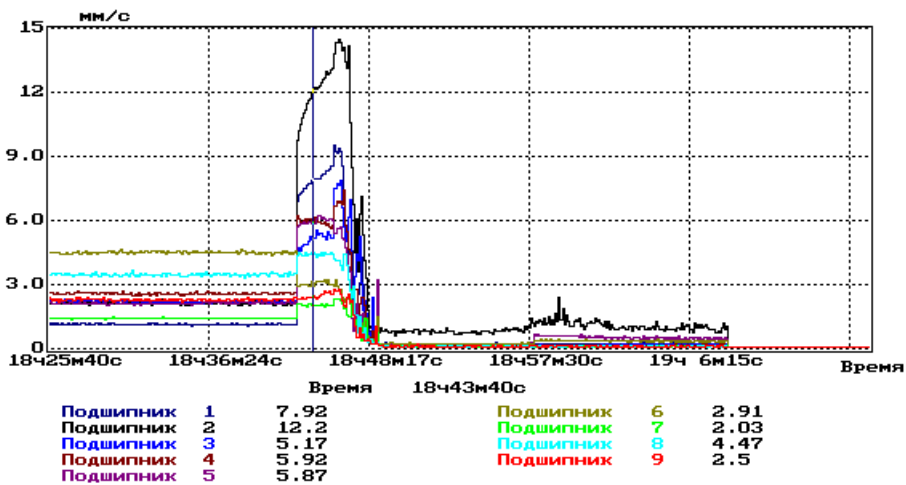


Рис. 3. Пример изменения СКЗ виброскорости вибрации подшипниковых опор турбоагрегата мощностью 300 мегаватт при обрыве лопатки

В этом случае (рис. 3) обрыв лопатки привел к возникновению большого дисбаланса, при этом изменение общего уровня СКЗ виброскорости было большим и, в основном, обуславливалось изменением амплитуды первой оборотной составляющей вибрации. Фаза первой оборотной составляющей вибрации изменилась почти на 180 градусов, что говорит об изменении вектора первой оборотной составляющей на значительно большую величину, чем просто изменение ее амплитуды. Решение об остановке турбоагрегата было принято в считанные минуты.

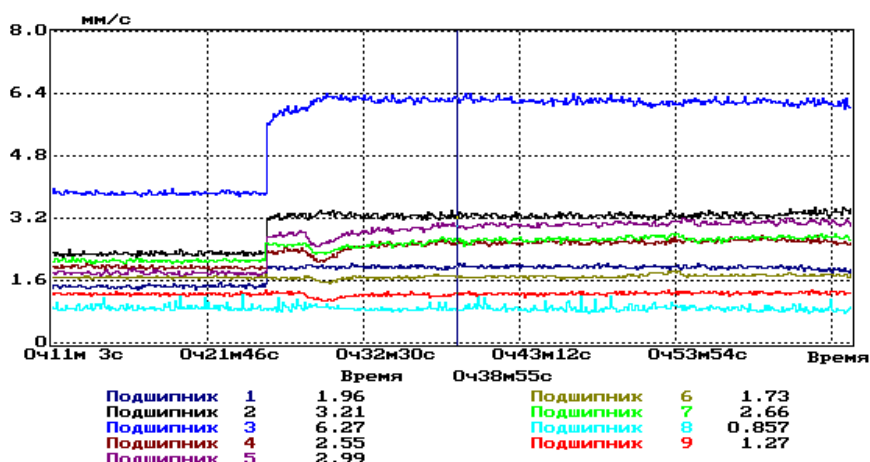


Рис. 4. Пример изменения СКЗ виброскорости вибрации подшипниковых опор турбоагрегата мощностью 100 МВт при обрыве лопатки

В примере, представленном на рис. 4, обрыв нескольких лопаток также привел к скачкообразному изменению СКЗ виброскорости вибраций подшипниковых опор. Однако это изменение было не слишком велико, а абсолютные уровни вибрации не достигли критических значений. При этом изменение общего уровня вибрации обуславливалось изменением амплитуды не только первой оборотной составляющей вибрации, но и второй, третьей и четвертой оборотных составляющих, а фаза первой оборотной составляющей вибрации практически не изменилась. Решение об остановке турбоагрегата было принято после дополнительного анализа возникшей ситуации в течение нескольких часов. Рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что изменение вибрационного состояния сложных технических объектов при возникновении дефектов даже одинакового типа может быть весьма сложным и разнообразным, и реализовать системы автоматической защиты таких механизмов, руководствуясь только рекомендациями стандартов [7], весьма проблематично.

Защита по параметрам вибрации

Наиболее важной задачей современных систем вибрационного контроля, мониторинга и защиты является предотвращение аварийного повреждения технического объекта при внезапном возникновении неисправностей или поломок в его узлах или при существенном отклонении каких-либо технологических параметров от номинальных. Однако факт возникновения ситуации, требующей остановки технического объекта, во многих случаях имеет неоднозначное отображение в параметры вибрации. Стандартизованные критерии защиты отражают наиболее общие взаимосвязи, полученные на основе длительного опыта эксплуатации и исследования механизмов с вращательным движением, и далеко не всегда в полной мере могут удовлетворить эксплуатирующий и управляющий персонал.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных срабатываний защитного отключения («ложная тревога») и не допустить «пропуска дефекта».

Реализован и прошел апробацию на ряде турбоагрегатов алгоритм защитного отключения по вибрации, в котором учитывается несколько факторов.

1. *Фактор низкочастотной составляющей вибрации.* Под низкочастотной вибрацией (НЧВ) понимается СКЗ виброскорости в зоне частоты, равной половине оборотной. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если для любой подшипниковой опоры турбоагрегата возникла следующая ситуация: СКЗ виброскорости НЧВ, измеренное для вертикального направления и для поперечно-горизонтального направления любой подшипниковой опоры, на протяжении 4–6 с превышает v мм/с и, при этом, хотя бы для одного из этих направлений, оно на протяжении этого же времени превышает $3v$ мм/с. Уровень v определяется типом и рабочими частотами механизма.

2. *Фактор оборотной составляющей вибрации.* Под оборотной составляющей вибрации понимается СКЗ виброскорости спектральной составляющей с частотой равной частоте вращения вала агрегата.

2.1. Величина СКЗ оборотной составляющей. Для каждой подшипниковой опоры и каждого из направлений измерения вибрации устанавливается значение СКЗ виброскорости оборотной составляющей, соответствующее аварийному уровню, который выбирается с учетом конструктивных, функциональных и эксплуатационных особенностей контролируемого механизма. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если в четырех или более точках контроля СКЗ виброскорости оборотной составляющей превысило заданный, для соответствующей точки, аварийный уровень.

2.2. Вектор приращения оборотной составляющей. Для каждой подшипниковой опоры и каждого из направлений измерения вибрации устанавливается значение вектора приращения оборотной составляющей, соответствующее аварийному уровню. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если в четырех или более точках измерений вектор приращения оборотной составляющей превысил заданный, для соответствующей точки измерений, аварийный уровень.

3. *Фактор высокочастотной составляющей вибрации.* Под высокочастотной составляющей вибрации понимается СКЗ виброскорости в частотной полосе, нижняя граница которой равна двойной оборотной частоте, а верхняя – верхней границе частотного диапазона, в котором производится вибрационный контроль наблюдаемого механизма. Сигнал защитного отключения вырабатывается в том случае, если для любых двух направлений измерения вибрации для любой подшипниковой опоры высокочастотная вибрация превысила значение аварийного уровня, установленного для данного объекта в промежутке времени 3-6 сек.

Сигнал на защитное отключение контролируемого механизма вырабатывается в том случае, если он выработан по одному или по нескольким из указанных критериев одновременно.

Заключение

Опыт эксплуатации систем вибрационного мониторинга показывает их достаточно высокую эффективность. Однако решение задач вибрационной диагностики до настоящего времени остается проблематичным. Для более достоверных заключений представляется целесообразным проведение регистрации непрерывных вибрационных сигналов, отражающих техническое состояние объекта на достаточно длительном временном интервале (минуты, часы и даже сутки) и выполнение многофункционального анализа полученных данных.

Список литературы

1. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва, 1996.
2. Bently D.E., Hatch C.N., Grissom B. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics. Canada, 2002.
3. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М., 1999.
4. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. СПб, 2000.
5. Бранцевич П.Ю. // Сборник матер. 12-ой науч.-технич. конф. «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления». М., 2000. С. 170–171.
6. Бранцевич П.Ю., Костюк С.Ф. // Мат. 4-ой Междун. науч.-техн. конф. «Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов». Гродно, 2001. Ч.2. С. 69–72.
7. ISO 10816. Mechanical vibration. Evolution of machine vibration by measurements on non- rotating parts. Part 1–5.
8. Бранцевич П.Ю. // Энергетика и ТЭК. 2008. № 12 (69). С. 19–21.

УДК 620.179.12

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ И ТУРБОАГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУСКА-ВЫБЕГА

П.Ю. БРАНЦЕВИЧ, Е.Н. БАЗЫЛЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 20 января 2015

Основными этапами решения задачи выявления развивающихся дефектов по параметрам вибрации, являются [1, 2]:

- формулирование множества дефектов, требующих обнаружения, для конкретного механизма;
- определение множества информативно значимых признаков (параметров), характеризующих техническое состояние объекта;
- установка базовых значений, соответствующих исправному состоянию исследуемого объекта, для каждого из параметров;
- определение одного или группы информативно значимых признаков для каждого дефекта, по которым можно идентифицировать его развитие;
- выбор решающих функций и определение их настроечных коэффициентов для каждого дефекта.

Важную информацию об изменении технического состояния механизма можно получить путем сравнительного анализа вибрационных характеристик, получаемых с помощью современных систем виброконтроля, при пусках или остановках турбоагрегата [3].

Стандартами предусматривается контроль вибрационного состояния механизмов роторного типа в единицах виброскорости (мм/с) [4]. Однако в большинстве современных систем вибрационного контроля в качестве первичных преобразователей применяются пьезоэлектрические акселерометры, осуществляющие преобразование виброускорения в электрический сигнал, поэтому для перехода к единицам виброскорости требуется интегрировать исходный сигнал.

Для слежения за частотой вращения вала используются датчики, реагирующие на метку, зафиксированную на вращающемся роторе. Сигналы от датчика датчиков вибрации и датчика фазовой метки принимаются синхронно (рис. 1), а затем производится их обработка и вычисляются параметры вибрации [5].

При остановке механизма или при его пуске частота вращения вала изменяется от номинального значения до нуля или наоборот. На рис. 2 показан пример, отражающий изменение СКЗ виброскорости для вертикального направления подшипниковых опор турбоагрегата при стационарном режиме работы и при остановке турбоагрегата. Также часто вычисляют СКЗ или амплитуды частотных составляющих, кратных частоте вращения вала (порядковый анализ) и их начальные фазы [6]. На рис. 3 представлен пример изменения таких параметров.

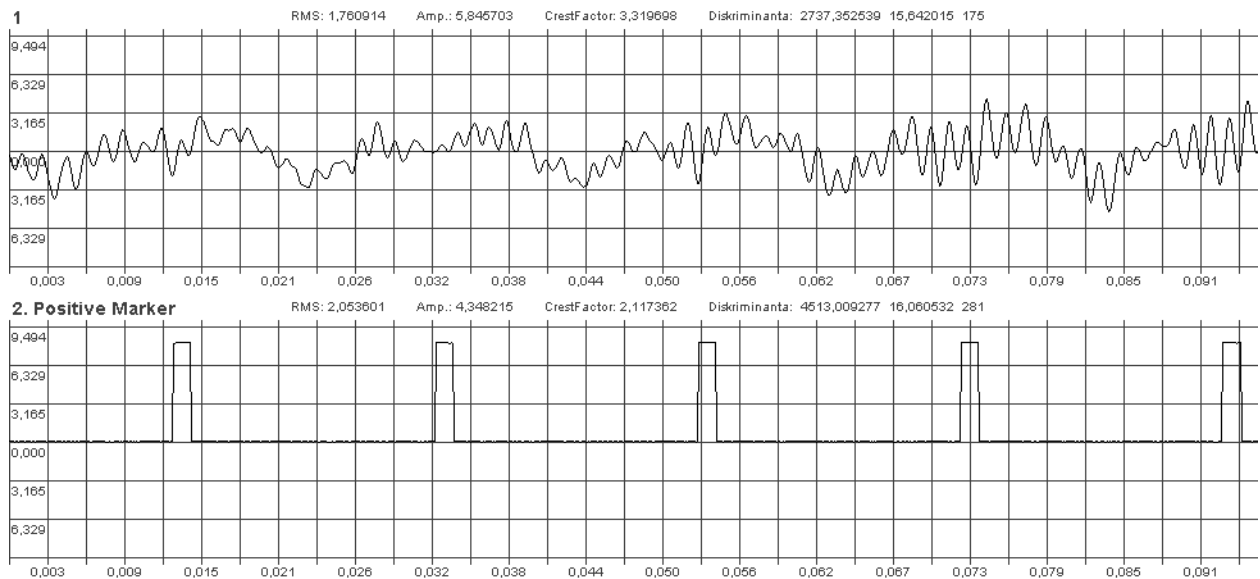


Рис. 1. Сигналы от датчиков вибрации и фазовой метки

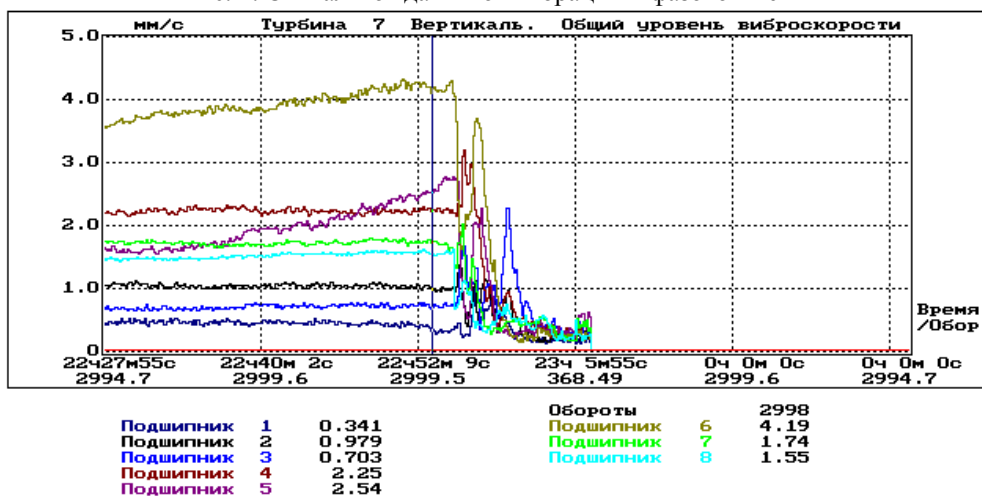


Рис. 2. Изменение СКЗ виброскорости подшипниковых опор турбоагрегата в стационарном режиме работы и при выбеге

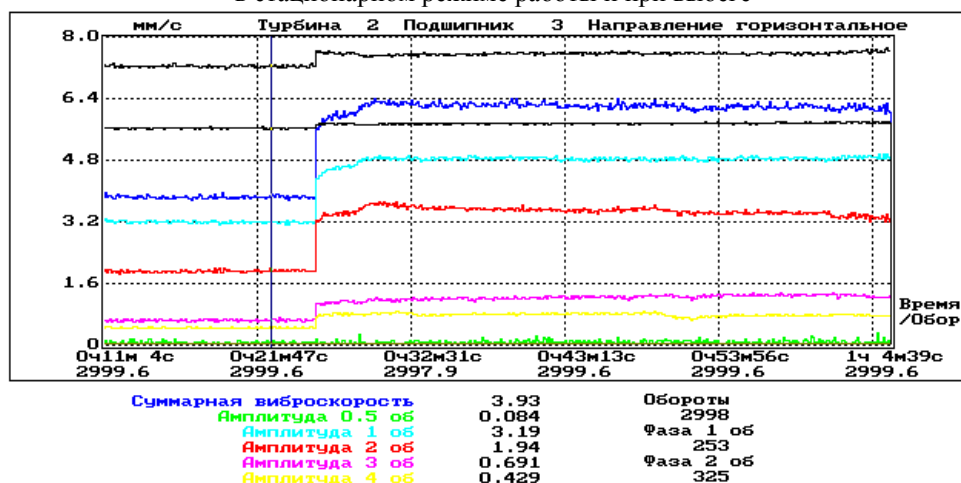


Рис. 3. Изменение СКЗ виброскорости оборотных составляющих вибрации подшипниковой опоры турбоагрегата

На переходном режиме работы можно определить вибрационную характеристику выбега (пуска), представляющую зависимость изменения параметра вибрации (СКЗ или амплитуды, а также начальной фазы) оборотной составляющей от частоты вращения вала. Такие характеристики обычно строятся для единиц виброперемещения (рис. 4, где ось

абсцисс – частота вращения вала в оборотах в минуту). Вибрационные характеристики выбега более точно, по сравнению с характеристиками пуска, отражают вибрационное состояние технического объекта, так как получаются при свободном замедлении частоты вращения ротора.

Вид вибрационных характеристик выбега достаточно разнообразен, причем существенные отличия наблюдаются даже для одноименных подшипников разных турбоагрегатов одного и того же типа. Однако для переходных вибрационных характеристик имеются и некоторые закономерности, например, наличие максимумов (глобального и локальных), которые по форме напоминают параболу, а также плавность изменения характеристик, по крайней мере в какой-то частотной зоне.

Для специалистов в области вибрации интерес представляет изменение переходных вибрационных характеристик, полученных для одного и того же подшипника в разное время, так как их причиной может быть, например, смещение в частотной области значений собственных частот, или изменение величины дисбаланса ротора, или какие-то еще причины.

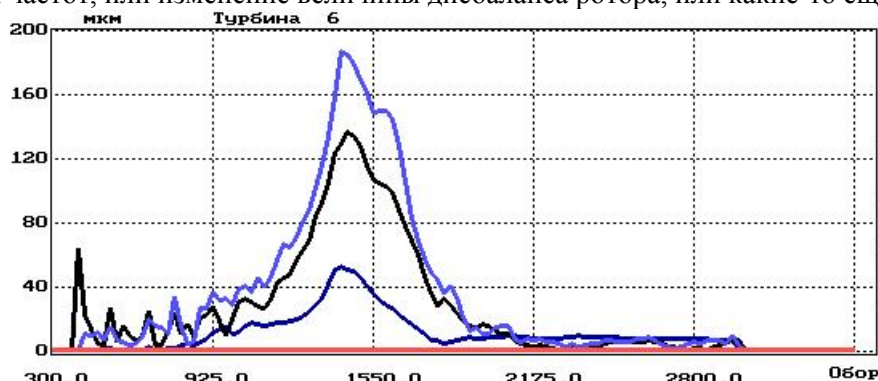


Рис. 4. Вибрационные характеристики выбега для вертикального направления подшипниковой опоры турбоагрегата, полученные в разное время

Но проводить сравнение переходных вибрационных характеристик, полученных непосредственно контрольно-измерительными приборами или системами, может быть достаточно сложно, так как они могут содержать помеховые составляющие и приборные погрешности. Поэтому представляется целесообразным провести аппроксимацию исходных характеристик, а сравнительный анализ выполнять по аппроксимированным характеристикам.

Форма вибрационных характеристик выбега позволяет сделать предположение, что они успешно могут быть аппроксимированы некоторым числом гармонических составляющих, параметры которых вычисляются с помощью дискретного преобразования Фурье. На рис. 5 приведен пример такой аппроксимации двадцатью гармоническими составляющими.



Рис. 5. Аппроксимация вибрационной характеристики выбега

Визуально можно заметить, что аппроксимирующая кривая, полученная с помощью двадцати гармонических составляющих, с практической точки зрения достаточно хорошо представляет исходную вибрационную характеристику выбега, так как наблюдается их близкое совпадение по значению частот и амплитуд, в точках, где фиксируется большинство локальных максимумов, и лишь незначительные отклонения по амплитудам для островершинных локальных экстремумов.

Для реализации алгоритмов сравнительного анализа вибрационных характеристик выбега, следует сформировать для каждой из них массив информативных параметров. Предлагается ряд параметров вычислять для исходной характеристики, а ряд – для аппроксимированной. При выборе типов параметров следует учитывать, что при сравнении характеристик выбега важны различия их амплитуд и форм. Поэтому используются следующие параметры: постоянная составляющая; максимум размаха виброперемещения; частота вращения вала, соответствующая максимуму размаха виброперемещения; коэффициент амплитуды; начальные и центральные моменты от 1-го до 4-го; среднее квадратическое отклонение частоты вращения вала от среднего значения; коэффициент асимметрии; коэффициент островершинности [7].

Для нахождения локальных максимумов и минимумов используются первая и вторая производные аппроксимированной характеристики выбега, а затем производится их упорядочивание по убыванию и возрастанию, соответственно. В алгоритмах сравнительного анализа представляется целесообразным учитывать значения трех-четырех локальных максимумов и двух-трех локальных минимумов. В качестве информативно-значимых параметров также используются амплитуды и фазы первых трех-четырех аппроксимирующих гармоник.

В результате функционирования систем непрерывного вибрационного контроля на достаточно длительном промежутке времени накапливаются данные о вибрационных характеристиках выбега. На этапе предварительной обработки проводится их нормализация и вычисляются векторы информативно-значимых параметров.

Специалист в области вибрационной диагностики, проводя визуальный анализ этих характеристик, может сделать выводы об изменении технического состояния механизма. Но, вместе с тем, актуальной является задача автоматизации процессов такого анализа.

При сравнении характеристик (функций) выбега одна из функций принимается за базовую, а вторая – за сравниваемую. Амплитудные свойства характеристики предлагается оценивать с помощью следующих параметров: амплитуды трех первых (по величине) максимумов аппроксимирующей функции (локальных максимумов); амплитуды четырех первых гармонических составляющих аппроксимирующего разложения; основного максимума.

Форма функции характеризуется такими параметрами: частота максимума функции; частоты трех первых максимумов аппроксимирующей функции; фазы четырех первых гармонических составляющих аппроксимирующего разложения; коэффициент амплитуды; коэффициент асимметрии; коэффициент островершинности.

Заключение о подобии сравниваемых характеристик, базовой и текущей, и формулирование выводов о развитии тех или иных дефектов принимается на основе решающих функций, которые, к примеру, могут иметь следующий вид [8]:

$$FR(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq X_1; \\ 0,25, & \text{если } X_1 < x \leq X_2; \\ 0,5, & \text{если } X_2 < x \leq X_3; \\ 0,75, & \text{если } X_3 < x \leq X_4; \\ 1, & \text{если } X_4 < x; \end{cases} \quad (1)$$

где x – параметр, относительно которого определяется значение решающей функции; X_j – значения пороговых уровней, причем $X_1 < X_2 < X_3 < X_4$. Их количественные значения выбираются на основе экспертных оценок и накапливаемых экспериментальных данных.

В качестве обобщающего, при сопоставлении характеристик выбега, предлагается параметр, вычисляемый в соответствии с выражением

$$r = \frac{d(V_i, V_j)}{A_{\text{прив.},i}}, \quad (2)$$

где $d(V_i, V_j)$ – расстояние по Манхеттену между двумя функциями, базовой V_i и текущей V_j , представленными векторами (массивами) значений, приведенное к одному отсчету и вычисляемое как [9]; $A_{\text{прив.},i}$ – приведенная амплитуда базовой функции.

Применение решающей функции (1) к параметру r позволяет сделать смысловые выводы о степени подобия сравниваемых характеристик. Если $FR(r) < 0,25$, то следует вывод «очень похожи», если $0,25 \leq FR(r) < 0,5$, то – «похожи, но есть и отличия», если $0,5 \leq FR(r) < 0,75$, то – «существенно отличаются», если $0,75 \leq FR(r) < 1$, то – «сильно отличаются», если $1 \leq FR(r)$, то – «совершенно не похожи». На основе значений этих решающих функций делаются уточняющие выводы о подобии сравниваемых характеристик выбега.

Применение рассмотренной системы позволяет автоматизировать процесс обработки вибрационных характеристик выбега, сократить время технических специалистов на принятие правильного решения, расширить функциональные возможности современных виброизмерительных систем.

Список литературы

1. Бранцевич П.Ю. // Труды четвертого международного симпозиума «Интеллектуальные системы». Москва, 2000. С. 244–247.
2. Бранцевич П.Ю. // Матер. междунар. науч.-технич. конф. «Наука и технологии на рубеже XXI века», Минск, 2000. С. 259–264
3. Бранцевич П.Ю., Базылев Е.Н. // Материалы 5-й междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Могилев, 2014. С. 213–215.
4. ISO 10816. Mechanical vibration. Evolution of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 1–5.
5. Бранцевич П.Ю. // Сб. статей II междунар. заоч. науч.-технич. конф. «Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях», Тольятти, 2014. С. 63–71.
6. Бранцевич П.Ю. // Сб. статей I междунар. заоч. науч.-технич. конф. «Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях». Ч. 2, Тольятти, 2013. С. 236–243.
7. Бранцевич П.Ю. // Энергетика и ТЭК. 2009. № 12 (81). С. 20–23.
8. Бранцевич П.Ю. // Матер. I междунар. конф. «Информационные системы и технологии». Ч. 1. Минск. 2002. С. 117–121.
9. Фор А. Восприятие и распознавание образов. М., 1989.

УДК 521.643.8

Д-АНАЛОГ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБОБЩЕННОЙ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ ДРАЗИНА, ОСНОВАННЫЙ НА КАНОНИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ МАТРИЦЫ

Г.А. АСЛАНЯН, С.О. СИМОНЯН

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)
Теряна, 105, Ереван, 0009, Армения*

Поступила в редакцию 5 февраля 2015

Введение

Пусть $A(t)$ – однопараметрическая квадратная матрица порядка n с рангом r (параметр t может быть временем, оператором Лапласа ($S \sim \frac{d}{dt}$) или другим параметром), а индекс матрицы $A(t)$ равен $k = \text{index}(A(t))$ (k – наименьшее неотрицательное целое число, при котором $\text{rank}(A^{k+1}(t)) = \text{rank}(A^k(t))$). Псевдообратной Дразина $A^D(t)$ к матрице $A(t)$ по аналогии с числовыми матрицами назовем матрицу, которая удовлетворяет нижеприведенным равенствам [1]:

$$\begin{aligned} A^D(t)A(t)A^D(t) &= A^D(t), \\ A(t)A^D(t) &= A^D(t)A(t), \\ A^{k+1}(t)A^D(t) &= A^k(t). \end{aligned} \tag{1}$$

Обобщенная обратная матрица Дразина находит применение в теории типа конечных цепей Маркова, в решении нестационарных линейных систем дифференциальных уравнений, в модели населения Лесли и ее обратной проекции, при решении рекуррентных уравнений [1], а также при решении алгебро-дифференциальных систем [2], часто встречающихся при моделировании энергоблоков ТЭС [3].

Если $\text{index}(A(t)) = k > 0$, тогда существует невырожденная матрица $P(t)$ такая [1], что

$$A(t) = P(t) \begin{bmatrix} C(t) & 0 \\ 0 & N(t) \end{bmatrix} P^{-1}(t), \tag{2}$$

где $C(t)$ – невырожденная матрица, а $N(t)$ – k -нильпотентная матрица, т.е. $N^k(t) = 0$ [4]. Более того, если $P(t)$, $C(t)$ и $N(t)$ матрицы, удовлетворяющие соотношению (2), то обобщенная обратная Дразина может быть представлена следующим образом:

$$A^D(t) = P(t) \begin{bmatrix} C^{-1}(t) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} P^{-1}(t). \tag{3}$$

Разложение матрицы $A(t)$ (2) называется ее каноническим представлением.

Математический аппарат

Пусть $A(t)$ – матрица с аналитическими элементами. Также пусть $p \geq k$ – некая целочисленная константа (которая всегда может быть выбрана равной n , если более малое значение не известно заранее) [1]. Если $A^p(t) = 0$, то $A^D(t) = 0$. Следовательно, будем считать, что $A^p(t) \neq 0$.

Представим алгоритм вычисления однопараметрической обобщенной обратной Дразина, аналогичный предложенному в работе [1] для числовых матриц.

Шаг 1. Вычисляется нормальная эрмитова форма $A^p(t)$, т.е. $H_{A^p}(t)$ [4].

Шаг 2. Составляется ряд столбцов $\left\{ a^{\downarrow} p_j(t) \right\}$ из матрицы $A^p(t)$, где j – индекс тех строк/столбцов $H_{A^p}(t)$, у которых элементы на диагонали не равны нулю.

Шаг 3. Вычисляется матрица $I - H_{A^p}(t)$, где I – единичная матрица порядка n .

Шаг 4. Составляется матрица $P(t)$ из столбцов, вычисленных на шаге 2, добавляя к ним ненулевые столбцы матрицы $I - H_{A^p}(t)$.

Шаг 5. Вычисляется обратная к матрице $P(t)$, т.е. $P^{-1}(t)$.

Шаг 6. Вычисляется произведение $T(t) = P^{-1}(t)A(t)P(t)$, которое будет иметь следующий вид:

$$T(t) = P^{-1}(t)A(t)P(t) = \begin{bmatrix} C(t) & 0 \\ 0 & N(t) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Шаг 7. Вычисляется обратная $C^{-1}(t)$.

Шаг 8. Вычисляется обобщенная обратная Дразина $A^D(t)$ используя формулу (3).

Теперь представим Д-аналог определения однопараметрической обобщенной обратной Дразина. При этом приведенный выше алгоритм в области дифференциальных преобразований [5] будет выглядеть следующим образом.

Шаг 1. Вычисляются следующие матричные дискреты:

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K A(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \bullet \underline{\quad} \quad A(t) = \mathfrak{N}_1(t, t_v, H, A(K)), \quad (5)$$

$$A^p(K) = A^{p-1}(K) * A(K) = \sum_{l=0}^K A^{p-1}(l) A(K-l), \quad (6)$$

где $K = \overline{0, \infty}$ – целочисленный аргумент; $A(K)$ и $A^p(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – матричные дискреты матричных оригиналов $A(t)$ и $A^p(t)$ (прямые дифференциальные преобразования), H – масштабный коэффициент; t_v – центр аппроксимации, $\mathfrak{N}_1(t, t_v, H, A(K))$ – обратное дифференциальное преобразование, восстанавливающее оригинал – матрицу $A(t)$, $*$ – знак Т-умножения (свертка), а знак \bullet это знак перехода из области оригиналов в область Д-изображений и наоборот [6].

Шаг 2. Вычисляются дискреты нормальной эрмитовой формы $A^p(K)$, т.е. $H_{A^p}(K)$ с помощью алгоритма, предложенного в работе [5].

Шаг 3. Вычисляются дискреты столбцов $\left\{ a^{\downarrow p}_j(K) \right\}$ матрицы $A^p(K)$, где j – индекс тех строк/столбцов $H_{A^p}(K)$, у которых элементы на диагонали не равны нулю при некотором $k \in \overline{0, K}$.

Шаг 4. Вычисляются дискреты матрицы $[I - H_{A^p}](K)$.

Шаг 5. Составляются матричные дискреты $P(K)$ из дискрет-столбцов, вычисленных на шаге 3 и ненулевых столбцов матричных дискрет $[I - H_{A^p}](K)$.

Шаг 6. Вычисляются матричные дискреты $P^{(-1)}(K)$ с помощью алгоритма, предложенного в [7] (заметим, что $P^{(-1)}(K)$ – K -я матричная дискрета обратной матрицы $P^{-1}(t)$, а не обратная матрица K -й матричной дискреты $P(K)$).

Шаг 7. Вычисляются матричные дискреты

$$T(K) = P^{(-1)}(K) * A(K) * P(K) = \begin{bmatrix} C(K) & 0 \\ 0 & N(K) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Шаг 8. Вычисляются матричные дискреты $C^{(-1)}(K)$ с помощью предложенного в работе алгоритма [7].

Шаг 9. Вычисляются матричные дискреты псевдообратной Дразина

$$A^D(K) = P(K) * \begin{bmatrix} C^{(-1)}(K) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} * P^{(-1)}(K). \quad (8)$$

Таким образом, имея матричные дискреты (8), в соответствии с некоторым обратным дифференциальным преобразованием $\aleph(\bullet)$ можно восстановить оригинал обобщенной обратной матрицы Дразина $A^D(t)$.

Пример

Пусть имеется параметрическая матрица $A(t) = \begin{bmatrix} 2t & 0 & 0 \\ -t & t & t \\ t & -t & -t \end{bmatrix}_{3 \times 3}$.

Так как индекс матрицы неизвестен, выберем $p = n = 3$. Вычислим матричные дискреты (6) при $t_v = 1, H = 1, K = 4$:

$$A^3(0) = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 \\ -8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^3(1) = \begin{bmatrix} 16 & 0 & 0 \\ -16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^3(2) = \begin{bmatrix} 16 & 0 & 0 \\ -16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^3(K) = [0], K \geq 3.$$

Дискреты нормальной эрмитовой формы $A^p(K)$, т.е. $H_{A^p}(K)$ будут равны [5]:

$$H_{A^p}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, H_{A^p}(K) = [0], K \geq 1.$$

Следовательно, первый столбец матричного дискрета $P(K)$ будет равен первому столбцу матричного дискрета $A^p(K)$. Вычисляется шаг 4:

$$[I - H_{A^p}](0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, H_{A^p}(K) = [0], K \geq 1.$$

Следовательно, матричные дискреты $P(K), K = \overline{0, \infty}$ будут равны:

$$P(0) = \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 \\ -8 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, P(1) = \begin{bmatrix} 16 & 0 & 0 \\ -16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, P(2) = \begin{bmatrix} 16 & 0 & 0 \\ -16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, P(K) = [0], K \geq 3.$$

Вычисляются матричные дискреты $P^{(-1)}(K)$ с помощью алгоритма, предложенного в [5]:

$$P^{(-1)}(0) = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, P^{(-1)}(1) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, P^{(-1)}(2) = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, P^{(-1)}(K) = [0], K \geq 3.$$

Вычисляются матричные дискреты (7):

$$T(0) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}, T(1) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}, T(K) = [0], K \geq 2.$$

Следовательно, $C(0) = [2], C(1) = [2], C(K) = [0], K \geq 2$. Вычисляются матричные дискреты $C^{(-1)}(K)$

$$C^{(-1)}(0) = \left[\frac{1}{2} \right], C^{(-1)}(1) = \left[-\frac{1}{2} \right], C^{(-1)}(2) = \left[\frac{1}{2} \right], C^{(-1)}(3) = \left[-\frac{1}{2} \right], \dots$$

Отсюда матричные дискреты псевдообратной Дразина будут выглядеть так:

$$A^D(0) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^D(1) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^D(2) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A^D(3) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots$$

Используя обратные дифференциально-падеевские преобразования [5], для оригинала обобщенной обратной матрицы Дразина получим:

$$A^D(t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2t} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ который точно удовлетворяет условиям (1).}$$

Заключение

Предложен достаточно простой численно-аналитический метод определения обобщенной обратной однопараметрической матрицы Дразина. Метод легко реализуем средствами современных информационных технологий [8], и может использоваться при моделировании ТЭС.

Список литературы

1. *Campbell S. L., Meyer C.D.* Generalized Inverses of Linear Transformations. Philadelphia, 2008.
2. *Орлова И.В.*, // Вестник Красноярского государственного университета. Физико-математические науки. 2006. №4. С. 125–134.
3. *Логинов А.А., Таиров Э.А., Чистяков В.Ф.* // Труды XI между Байкальской школы-семинара "Методы оптимизации и их приложения", т. 4. Иркутск, 1998. С. 119–122.
4. *Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц. М., 1967.
5. *Симонян С.О., Аветисян А.Г.* Прикладная теория дифференциальных преобразований. Ереван, 2010.
6. *Пухов Г.Е.* Дифференциальные преобразования функций и уравнений. Киев, 1984.
7. *Симонян С.О., Тамазян М.Д.* // Вестник ГИУА. Серия «Информационные технологии, электроника, радиотехника». 2012. № 1. С. 35–41.
8. *Stroustrup B.* The C++ Programming Language, 4th Edition. Boston, 2013.

УДК 621.039-78

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОГО ОБЪЕКТА, ИСХОДЯЩЕЙ ОТ ВНУТРЕННЕГО НАРУШИТЕЛЯ

Е.В. АНДРЕЕВСКИЙ, П.И. ПАДЕРНО

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Профессора Попова, 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Сопряженная с деятельностью по использованию атомной энергии опасность для работников атомных производств, прилегающих населенных пунктов и соседних регионов, риски долговременного радиоактивного загрязнения окружающей среды, угрозы общественной и национальной безопасности – все это обуславливает необходимость постоянной работы по всестороннему повышению уровня физической защиты ядерно-опасных объектов. При этом налицо противоречие между высокой важностью исследований в области психологии профессиональной пригодности и эргономики в контексте обеспечения безопасной работы и физической защиты ядерных объектов, и недостаточной научной освещенностью проблематики возможных отклонений в поведении военных специалистов по охране ядерно-опасных объектов. Данная проблематика остается во многом закрытой темой в силу своей специфики и необходимости защиты государственной и служебной тайны, что и обуславливает недостаточную научную освещенность.

Согласно законодательству РФ, при обеспечении физической защиты ядерно-опасных объектов всегда необходимо принимать во внимание существующий риск несанкционированных действий [1]:

– совершения или попытки совершения диверсии (преднамеренное действие в отношении ядерных материалов, ядерных установок, пунктов хранения или транспортных средств, перевозящих ядерные материалы или ядерные установки, способное привести к аварийной ситуации и создать угрозу здоровью или жизни людей в результате воздействия радиации или привести к радиоактивному загрязнению окружающей среды),

– хищения ядерных материалов, ядерных установок,
– несанкционированного доступа,
– проноса (провоза) запрещенных предметов,
– вывода из строя или нарушения функционирования инженерно-технических средств физической защиты.

Задачи системы физической защиты ядерно-опасного объекта заключаются в следующем:

- предупреждении несанкционированных действий;
- своевременном обнаружении несанкционированных действий;
- задержке (замедлении) продвижения нарушителя;
- пресечении несанкционированных действий;
- задержании лиц, причастных к подготовке или совершению несанкционированных действий.

Перечисленные выше несанкционированные действия могут быть совершены нарушителем из числа лиц, имеющих право доступа без сопровождения в охраняемые зоны, т.е. «внутренним нарушителем». Кроме этого, при наличии у внутреннего нарушителя оружия, нейтрализация охраны увеличивает возможность успешной реализации целей, преследуемых нарушителем.

Для выполнения задач физической защиты, руководство ядерного объекта совместно с

руководством воинских частей или подразделений охраны обеспечивает проведение анализа уязвимости объекта и существующей системы физической защиты [2].

Целями и задачами проведения анализа уязвимости являются:

- определение важных для жизнедеятельности объекта предметов защиты (наиболее вероятных целей злоумышленных действий нарушителей);
- определение возможных угроз и моделей вероятных нарушителей;
- оценка возможного ущерба от реализации прогнозируемых угроз безопасности;
- оценка уязвимости объекта и существующей системы безопасности;
- разработка общих рекомендаций по обеспечению безопасности объекта.

Военнослужащие и лица военизированных подразделений охраны ядерного объекта, при возникновении отклонений в поведении, способны совершить несанкционированные действия и, таким образом, представлять собой угрозу безопасности ядерного объекта в роли внутреннего нарушителя (в особенности, действуя в составе организованной группы). Модель внутреннего нарушителя в лице военнослужащего по охране ядерно-опасного объекта описана в соответствии с определением модели нарушителя, установленном Постановлением Правительства РФ от 19.07.2007 № 456 (в ред. от 14.03.2014) «Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» (табл. 1).

На основании вышесказанного можно предложить формулу для определения степени угрозы физической безопасности ядерного объекта, исходящей от внутреннего нарушителя в лице военнослужащего по охране объекта:

$$Y = \sum_{i=1}^N (1 + K_{i\text{осн}}) \cdot (1 + K_{i\text{нод}}) \cdot (1 + K_{i\text{осв}}) \cdot (1 + K_{i\text{им}}) \cdot (1 + K_{i\text{мот}}) \cdot (1 + K_{i\text{реу}}),$$
 где Y – степень угрозы

физической безопасности ядерного объекта, $K_{i\text{осн}}$, $K_{i\text{нод}}$, $K_{i\text{осв}}$, $K_{i\text{им}}$, $K_{i\text{мот}}$, $K_{i\text{реу}}$ – коэффициенты, перечисленные в табл. 1. Для каждого нарушителя из множества $i = (1, \dots, N)$ определяется свой индивидуальный набор коэффициентов.

Возникает проблема интерпретации результатов, получаемых при использовании данной формулы, так как этим результатам сложно придать точную, объективную количественную оценку. Для решения данной проблемы, предлагается использовать методы «нечеткой логики» [3]. Теория нечеткой логики (Fuzzy Logic) – новый подход к описанию процессов, в которых присутствует неопределенность, затрудняющая и даже исключающая применение точных количественных методов и подходов. Для интерпретации результатов, полученных по описанной выше формуле, введем понятие «лингвистической» переменной – такой переменной, значениями которой являются слова или предложения естественного языка [4]. Введем четыре лингвистических значения угрозы физической безопасности ядерного объекта – «низкая», «средняя», «высокая» и «очень высокая».

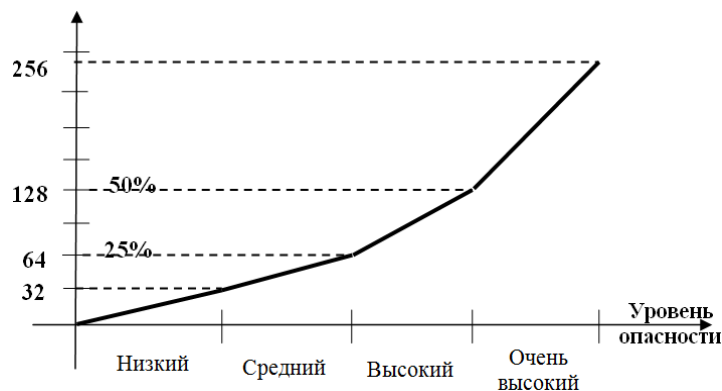
Для перевода лингвистических переменных на математический язык, введем математический инструмент – функцию принадлежности. Функцией принадлежности является некая математическая функция, задающая степень или уверенность, с которой элементы некоторого множества принадлежат заданному нечеткому множеству A [5].

Воспользуемся прямым методом построения по экспертным оценкам функции принадлежности нечеткого множества, принимая во внимание недостаток данного метода – большую долю субъективизма [6]. Зададим критические точки для построения графика функции принадлежности $M(Y)$: $Y = 1$ (минимальное значение согласно предложенной модели внутреннего нарушителя, что соответствует нарушителю неоснащенному, неподготовленному, немотивированному и не готовому убивать и рисковать жизнью, угроза в таком случае низка); $Y = 64$ (значение угрозы максимально оснащенного, подготовленного, осведомленного, мотивированного, решительного нарушителя с определенной тактикой действий – согласно предложенной модели, такой внутренний нарушитель даже в единственном числе представляет собой высокую угрозу); $Y = 32$ (среднее значение между высокой и низкой угрозой); $Y = 128$ (значение угрозы для двух максимально оснащенных, подготовленных, осведомленных, мотивированных, решительных нарушителей с определенной тактикой действий); $Y = 256$ (значение угрозы для четырех максимально оснащенных, подготовленных, осведомленных, мотивированных, решительных нарушителей с определенной тактикой действий –

максимальная угроза, предусмотренная предложенной моделью нарушителя, хотя в чрезвычайных ситуациях опасность может и превышать данный уровень).

Таблица 1. Описание модели внутреннего нарушителя в лице военнослужащего по охране ядерно-опасного объекта

Модель нарушителя	Переменная	Внутренний нарушитель в лице военнослужащего по охране ядерно-опасного объекта	
Численность	N	1 человек или группа, обычно 2–4 человека	
Оснащенность	Коэффициент оснащенности: $(1+K_{юсн})$, где $K_{юсн}=0$ при отсутствии вооружения у нарушителя, $K_{юсн}=1$ при наличии вооружения у нарушителя	Штатное вооружение	
Подготовленность	Коэффициент подготовленности (складывается из коэффициента навыков рукопашного боя и коэффициента навыков обращения с огнестрельным оружием): $(1+K_{инод})$, $K_{инод}=K_{ирук}+K_{юсн}$, где $K_{ирук}=0$ при низких навыках рукопашного боя, $K_{ирук}=0,5$ при высоких навыках рукопашного боя, $K_{юсн}=0$ при низких навыках обращения с огнестрельным оружием, $K_{юсн}=0,5$ при высоких навыках обращения с огнестрельным оружием	На основе учебно-методических материалов по боевой подготовке: навыки рукопашного боя от низких до высоких, навыки обращения с огнестрельным оружием от низких до высоких (зависит от индивидуального уровня подготовленности военнослужащего)	
Осведомленность	Коэффициент осведомленности: $(1+K_{юсв})$, где $K_{юсв}=0$ при низкой осведомленности нарушителя, $K_{юсв}=1$ при высокой осведомленности нарушителя	Знание ранее охраняемых участков на объекте	
Тактика действий	Коэффициент тактики (складывается из коэффициента продуманности действий и коэффициента использования вооружения и физической силы): $(1+K_{ит})$, $K_{ит}=K_{инд}+K_{ифф}$, где $K_{инд}=0$ при спонтанности действий, $K_{инд}=0,5$ при продуманности действий, $K_{ифф}=0$ при отсутствии применения вооружения и физической силы, $K_{ифф}=0,5$ при использовании вооружения и физической силы	Продуманные, спланированные	С использованием вооружения и применением физической силы
		Непродуманные, спонтанные	Без использования вооружения и применения физической силы
Мотивация	Коэффициент мотивированности: $(1+K_{имот})$, где $K_{имот}=0$ при отсутствии мотивации, $K_{имот}=1$ при наличии мотивации	Немотивированное нарушение (случайное), вызванное возможным низким уровнем интеллекта, слабым знанием правил несения службы	Корыстная мотивация (возможен сговор с другими лицами)
		Давление, шантаж со стороны других лиц (возможные угрозы родственникам)	Идеологическая мотивация, экстремистские воззрения
		Желание отомстить другим лицам (в случае произошедшего ранее конфликта)	Низкая нервно-психическая устойчивость, суицидальные наклонности
Решимость	Коэффициент решимости: $(1+K_{иреш})$, где $K_{иреш}=0$ при отсутствии готовности погибнуть, $K_{иреш}=1$ при наличии готовности убивать и пожертвовать своей жизнью.	Готов погибнуть ради своей цели	Не готов убивать и жертвовать своей жизнью
Преследуемые цели	–	Привлечь внимание к своим убеждениям; Обезопасить близких людей (при шантаже, угрозах); Заработать денег; Отомстить обидчику (сослуживцу, офицеру-начальнику, командиру части); Совершение суицида; Членовредительство, уклонение от службы (желание демобилизоваться из-за психических отклонений); Самовольное оставление части.	



Функция принадлежности для оценки угрозы физической безопасности ядерного объекта, исходящей от внутреннего нарушителя в лице военнослужащего по охране объекта

Для оценки входной переменной (У) методом экспертной оценки, опираясь на график функции принадлежности, эмпирически составим таблицу критериев для определения угрозы физической безопасности ядерного объекта, исходящей от внутреннего нарушителя в лице военнослужащего по охране объекта.

Таблица 2. Критерии для оценки угрозы физической безопасности ядерного объекта (опасности)

Опасность	Критерий	Шкала
«Низкая»	Внутренний нарушитель в количестве одного человека, с низкими показателями оснащенности, подготовленности, осведомленности; действует необдуманно, спонтанно; не готов убивать и жертвовать своей жизнью. Скорее всего, находится в состоянии нервного перенапряжения, или руководствуется корыстными мотивами.	до 32
«Средняя»	Внутренние нарушители в количестве 1-2 человек, хорошо оснащены и подготовлены, либо хорошо осведомлены, либо заранее спланировали свои действия, хотя бы один из них руководствуется какими-либо мотивами, и, возможно, готов убивать или даже пожертвовать своей жизнью, вероятно, по причине состояния нервного перенапряжения, психоза, сильной обиды либо в результате шантажа.	32–64
«Высокая»	Внутренний нарушитель с полным боекомплектом, из числа хорошо подготовленных военнослужащих, осведомлен о состоянии СФЗ на объекте, действует по плану и, возможно, по предварительному сговору с другими нарушителями, имеет свои мотивы на совершение несанкционированных действий, готов убивать и пожертвовать своей жизнью. Вероятная причина – идеологическая мотивация, экстремистские воззрения.	65–128
«Очень высокая»	В состав группы нарушителей, скорее всего, входят 4 сообщника, из числа хорошо подготовленных военнослужащих – такое возможно в случае предварительного сговора, вероятно, эти нарушители длительное время подбирали возможность войти вместе в состав одного караула. Члены группы осведомлены о состоянии СФЗ на объекте, действуют по плану, готовы убивать и пожертвовать своими жизнями. Такая ситуация возможна в случае экстремистской, идеологической мотивации.	129–256
Превышение значений, предусмотренных описанной моделью нарушителя	Подобная ситуация не предусматривалась предложенной моделью нарушителя, но это не исключает ее возможности. Вероятен сговор внутренних и внешних нарушителей, проникновение на объект диверсантов извне. Для ядерных объектов, расположенных относительно близко к государственной границе, целесообразно учитывать вероятность прорыва штурмовой группы бандформирований или сил иностранного враждебного государства.	свыше 256

Выводы

Полученные критерии для определения степени угрозы физической безопасности ядерного объекта можно (на усмотрение экспертов аналитических отделов) использовать при проведении анализа уязвимости объекта и существующей системы физической защиты. Предложенный подход и математический аппарат (систему коэффициентов для описания модели нарушителя, а также формулу для определения степени угрозы физической безопасности ядерного объекта) предполагается применять для описания и других моделей нарушителя. Научная новизна статьи состоит в формулировке нового подхода и модели для проведения анализа уязвимости ядерного объекта и существующей на нем системы физической защиты. Анализ предложенной модели нарушителя показал, что наибольшую опасность представляют собой экстремистские воззрения среди военнослужащих.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 19.07.2007 № 456 (в ред. от 14.03.2014).
2. Постановление Правительства РФ от 19.07.2007 № 456 (в ред. от 14.03.2014).
3. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. Рига, 1990.
4. *Zadeh L., Bellman R.* // Management Science. 1970. Vol.17. № 4.
5. *Фиронова Е.* Применение нечеткой логики для анализа рисков инвестиционных проектов. М., 2007.
6. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. Рига, 1990.

УДК 621.039.53

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ

Ю.М. КОВРИГО, Т.Г. БАГАН

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина*

Поступила в редакцию 29 января 2015

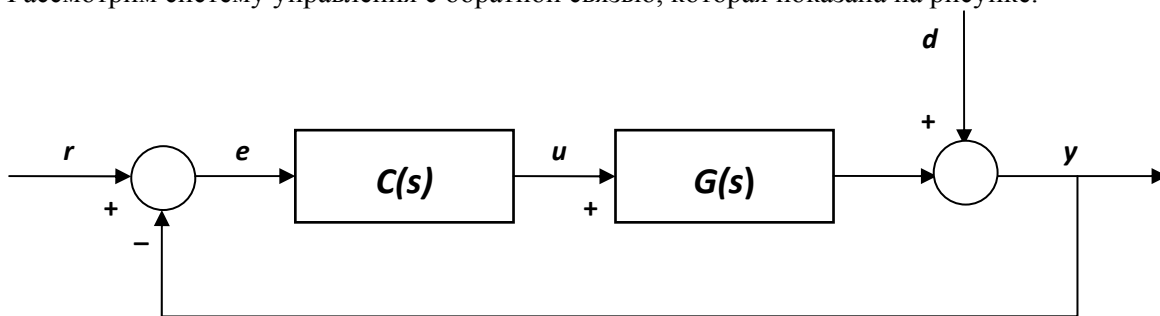
На сегодняшний день одним из ключевых направлений является синтез систем управления в условиях неопределенности. Это связано с различными факторами, такими как неточное задание математической модели объекта, упрощение в описании модели, понижение степени сложности или неучитывание существующих нелинейностей. Неопределенности также могут возникать в результате старения элементов объекта при эксплуатации, при воздействии на объект внешних возмущений. Поэтому возникает необходимость создания таких автоматических систем, которые при переменных параметрах объекта и воздействии внешних возмущений оставались бы не только в устойчивом состоянии, но и обеспечивали необходимое качество функционирования. Исследования и синтез таких систем проводятся в рамках теории адаптивного и робастного управления. Идея робастного проектирования заключается в том, что необходимо подобрать такие настройки управляющих параметров, чтобы влияние неучтенных факторов на выходные характеристики было минимальным.

Реальная работа действующей АСУ не может быть абсолютно точной в силу многих причин: наличие запаздывания в регулирующем канале объекта управления, наличие ограничений на запас устойчивости и робастность замкнутых контуров, ограничения на возможный диапазон изменения регулируемых переменных и др. В процессе работы всегда существует отклонение регулируемой величины от заданного значения. Для оценки этого отклонения вводится понятие качества процесса управления, вызванного типичным возмущением. Обычно типичным возмущением выбирается ступенчатое, а качество переходных процессов определяют прямыми показателями качества: максимальным отклонением регулируемой величины, длительностью переходного процесса и его колебательностью. Чем меньше эти показатели, тем качество управления считается лучшим. При этом количество таких показателей значительно и нет одного-двух, которые реально и постоянно лучше остальных удовлетворяют разработчиков и пользователей систем управления. Наоборот, что хорошо для одних, то менее интересно другим. На практике существуют другие приоритеты лучшей АСУ, а именно: безопасность и надежность, то есть – робастность; экономическая эффективность, удобство применения, понятность; конкретные прямые показатели качества функционирования АСУ.

Для следящих систем, когда входным возмущением является изменение задания регулятору, реакция системы на ступенчатое задающее влияние одновременно является и переходной характеристикой замкнутого контура. И тогда колебательность будет характеризоваться запасом устойчивости системы. Однако качество функционирования АСУ технологическими процессами определяется не только реакциями на изменение задания, но и реакциями на внешние возмущения. Возмущений может быть много, они могут входить в объект с разных сторон и с разной динамикой. Кроме того, среди них могут быть недоступные для измерения возмущения. Таким образом, помимо прямых показателей качества, АСУ должна иметь достаточный запас устойчивости.

Несмотря на современные достижения в теории управления, популярной стратегией управления на практике по-прежнему остается ПИД-регулятор. По оценкам экспертов, его использование в системах управления достигает более 95 % [1]. В последние годы появилось

много работ, посвященных робастному управлению, но почти все они носят чисто теоретический характер и направлены на круг математиков, а не инженеров. Широко распространены эмпирические методы настройки ПИД-регуляторов, однако они несовершенны, поскольку используют частичную информацию и дают ожидаемые результаты лишь при выполнении определенных условий и ограничений. Для проектировщика важно знать, в какой мере в результате синтеза система приближается к оптимальному состоянию, как настроить регулятор для обеспечения количественных показателей качества и запаса устойчивости и как достичь разумного компромисса между этими противоречивыми целями синтеза. Хорошая теория проектирования должна давать инженеру понятную связь между ее положениями и практическими требованиями и ограничениями. Только тогда она будет пригодна для приложений и решения практических задач. То есть результаты должны иметь теоретическую основу, и в то же время, должны быть понятны и приняты практиками. В последнее время было предложено немало способов решения этой проблемы на базе традиционных ПИ-, ПИД-алгоритмов и упредителя Смита. Однако в некоторых из них соотношение времени запаздывания к постоянной времени ограничено, а остальные не имеют достаточной робастности и очень чувствительны к изменениям параметров объекта, особенно запаздывания. Применение традиционных методик для настройки объектов с большим временем запаздывания приводят к плохому качеству или неустойчивости системы. Рассмотрим систему управления с обратной связью, которая показана на рисунке.



Структурная схема системы управления с обратной связью:
 $C(s)$ – регулятор, $G(s)$ – объект с самовыравниванием, r – задание, y – выход системы,
 d – внешнее возмущение, u – выход регулятора, и e – сигнал рассогласования

Согласно параметризации Юллы [2], все устойчивые регуляторы могут быть выражены как

$$C(s) = \frac{Q(s)}{1 - G(s)Q(s)}, \quad (1)$$

где $Q(s)$ является устойчивой передаточной функцией.

Таким образом, если определенным образом найти структуру и параметры функции Q , то, используя (1), можно достаточно легко получить структуру и настройки регулятора C . Для решения поставленной задачи рассматривается возможность применения регулятора с использованием в своей структуре модели объекта – ИМС (Internal Model Control – внутренняя модель управления) [2, 3], но с использованием прямых показателей качества функционирования [4 – 6]. Если модель является точной, то передаточная функция от $d(s)$ к $y(s)$, которая представляет собой функцию чувствительности, представляется как

$$S(s) = 1 - G(s)Q(s). \quad (2)$$

Возьмем в качестве критерия оптимальности H^∞ норму (2):

$$\min \|W(s)S(s)\|_\infty, \quad (3)$$

где $W(s)$ – некоторая весовая функция.

Такой выбор основан на том, что эта норма представляет собой верхнюю границу коэффициента усиления системы между 2-нормой входа и 2-нормой выхода. Поэтому H^∞ -норма – это корень квадратный из энергии выхода при действии на вход возмущения с

единичной энергией [3]. Таким образом, минимизация H_∞ -нормы означает минимизацию энергии ошибки для наихудшего варианта входного возмущения.

Предположим, что на вход системы подается скачкообразное возмущение, т.е. $d(s) = 1/s$. Весовая функция в H_∞ оптимальном управлении должна удовлетворять условию: $\|d(s)/W(s)\|_\infty \leq 1$. Тогда весовая функция может быть просто принята как $W(s) = 1/s$.

На практике простота использования является одним из важных требований. Основная идея заключается в синтезе регулятора на основе приближенной модели, а затем использования его для обеспечения нужных показателей качества функционирования реального объекта.

Для синтеза рационально использовать модель соответствующей сложности. В большинстве случаев для описания динамики поведения объектов в энергетике достаточно использовать модель, которая описывается аperiодическим звеном 1-го (4) или 2-го порядка (5) с запаздыванием:

$$G(s) = \frac{K_o \exp(-\tau s)}{(T_o s + 1)} \quad (4)$$

$$G(s) = \frac{K_o \exp(-\tau s)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (5)$$

где T_o , T_1 и T_2 – постоянные времени, K_o – коэффициент передачи объекта, τ – запаздывание.

Время запаздывания является одним из самых сложных факторов в процессе управления. Это иррациональное термин с математической точки зрения. Тем не менее, оно может быть аппроксимировано рациональной передаточной функцией с использованием разложения Тейлора (6) [5, 6] или Паде (7) [4].

$$e^{-\tau s} \approx 1 - \tau s, \quad (6)$$

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1 - \tau/2 s}{1 + \tau/2 s} \quad (7)$$

Таким образом, с учетом разложения (6) или (7), модель объекта (4) или (5) может быть аппроксимирована и решив (3) относительно Q , предположив, что на систему подано единичное ступенчатое возмущение, можно определить единственное оптимальное решение $Q_{\text{опт}}$. Так как полученная функция представляет собой неправильную дробь, то вводится следующий фильтр:

$$J(s) = \frac{1}{(\lambda s + 1)^2}, \quad (8)$$

где λ – некий временной коэффициент.

Вследствии чего получаем правильную $Q(s)$, а используя (1), определим структуру регулятора для (4) – (9) и для (5) – (10).

$$C(s) = \frac{Q(s)}{1 - G(s)Q(s)} = \frac{1}{K_o} \frac{(T_o s + 1)(\tau/2 s + 1)}{\lambda^2 s^2 + (2\lambda + \tau/2)s} \quad (9)$$

$$C(s) = \frac{Q(s)}{1 - G(s)Q(s)} = \frac{1}{K_o} \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{\lambda^2 s^2 + (2\lambda + \tau)s} \quad (10)$$

После несложных преобразований регуляторы (9, 10) можно привести к структуре ПИД-регулятора, в настройках которого присутствует регулируемый параметр λ , который является степенью качества в H_∞ -ПИД-регуляторе. Этот параметр имеет прямое отношение к номинальному качеству и робастности замкнутой системы. Изменяя этот параметр, можно получать различные количественные показатели качества замкнутой системы и робастности. Обычно λ попадает в интервал $0,2 \tau - 1,2 \tau$.

Номинальное качество и робастность системы конфликтуют друг с другом. Выбрав соответствующую степень качества, можно достичь компромисса между показателями качества системы и ее робастностью. Монотонность изменения степени качества означает, что компромисс в процедуре настройки регулятора можно достичь довольно просто.

Так как приближенная модель не совсем точно описывает оригинальный объект, то существует возможность того, что регулятор стабилизирует приближенную модель, но не сможет стабилизировать реальный объект. Использование степени качества может решить эту проблему. То есть приближенная модель рассматривается как реальный объект, а аппроксимация ошибки считается неопределенностью. Наличие погрешности приближения устанавливает нижний предел устойчивости на степень качества. Пока степень качества больше, чем нижняя граница, замкнутая система устойчива.

Проведенные исследования показали наличие однозначной зависимости настраиваемой степени качества λ от основных показателей качества функционирования системы [4-6]. Получены зависимости, которые позволяют синтезировать H_∞ -ПИД-регулятор под заданные показатели качества. При этом управляемый параметр регулятора только один.

Если же имеем дело с объектом, у которого изменяются параметры, тогда необходим синтез для неопределенной системы. В этом случае, существует дополнительная неопределенность на погрешность приближения. Если совокупность неопределенностей известна, точная степень качества может быть рассчитана с необходимым и достаточным условием для робастной работы.

Процедура настройки может включать следующие этапы:

- 1) Разработка регулятора для номинального объекта с заданным показателем качества.
- 2) Замена номинального объекта на объект в худшем случае (т.е. коэффициент передачи объекта и время запаздывания принимается за их максимальное значение, а постоянная времени – минимальное значение).
- 3) Подбор степени качества по известным зависимостям для обеспечения показатель качества функционирования системы нужного значения.

Использование структуры ИМС с критерием оптимальности в виде H_∞ -нормы позволяет осуществить простую и быструю настройку ПИД-регулятора для объектов 1-го и 2-го порядка с запаздыванием. Эти настройки напрямую зависят от параметров объекта и от выбранной величины λ . Изменяя этот коэффициент, можно гарантированно получить заданный прямой показатель качества, удобный для практики, либо достичь желаемого сочетания нескольких показателей качества, которое выполняется во всем диапазоне работы системы, тем самым обеспечивая ее робастность.

Список литературы

1. O'Dwyer A. Handbook of PI and PID controller tuning rules. 3rd ed ICP, 2010.
2. Morari. M., Zafiriou E. Robust Process Control. New Jersey, 1989.
3. Astrom K.J., Hagglund T. PID controllers: Theory, design, and tuning. NC, 1995.
4. Ковриго Ю.М., Баган Т.Г. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". 2013. № 1.
5. Ковриго Ю.М., Баган Т.Г., Бунке А.С. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. Том 3, № 3 (63). С. 58–63.
6. Ковриго Ю.М., Баган Т.Г., Бунке А.С. // Теплоэнергетика. 2014. № 3. С. 9–14.

УДК 621.039.4

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ БАРАБАННОГО ПАРОВОГО КОТЛА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Л.А. КОРОПОВА, А.В. СТЕПАНЕЦ

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина*

Поступила в редакцию 31 января 2015

Качество разрабатываемых систем автоматического управления во многом зависит от полноценности используемых на этапе функционального проектирования математических моделей технологических объектов управления. Парогенерирующие тепловые машины являются технологическим базисом многих промышленных объектов. Эта роль предполагает пристальное внимание со стороны как технологов, так и специалистов промышленной автоматизации, потому что современный технологический прогресс требует обеспечения оптимальности работы оборудования, снижения энергопотребления, увеличения надежности, экономичности, экологичности при росте КПД.

Паровой котел как объект регулирования представляет собой сложную динамическую систему с большим количеством входных и выходных взаимосвязанных величин, поэтому, исследуя его, в большинстве случаев проводят декомпозицию на отдельные участки регулирования. При этом автоматически исключается влияние других контуров на исследуемый, что усложняет задачу практического применения новых разработанных алгоритмов управления. Исходя из этого, для исследования синтезируемых алгоритмов и систем управления предлагается использовать комплексную математическую модель динамики объекта, что позволит учесть взаимовлияние контуров регулирования через объект и приблизить поведение тестируемой системы к промышленным реалиям.

Модель позволяет провести расчетную и стендовую отладку систем автоматического регулирования (САР) как в штатных режимах эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. А это то, что на реальных объектах либо невозможно сделать, либо понесет за собой большие финансовые затраты на эксперименты. Не претендуя на всеохватность и аутентичность моделированной динамики реальному объекту, что труднореализуемо из-за огромного числа взаимовлияющих факторов, модель все же позволяет отследить поведение комплекса контуров регулирования и адекватность их реакции на физические процессы в котле.

Как пример инструментария тестирования алгоритмов управления рассмотрим разработанную для котла ДКВР 10-13 математическую модель динамики (см. рис. 1). Разработана методика имитационного моделирования поведения котла с учетом влияния как управляющих воздействия со стороны алгоритмов управления, так и неконтролируемых, но имитируемых внешних возмущений. Для выбранной модели котла в модели реализовано 6 основных контуров регулирования [1]: тепловой нагрузки, разрежения в топке, экономичности горения, уровня воды в барабане, непрерывной продувки для обеспечения допустимого содержания в котловой воде, температуры первичного пара. Технически основой моделирования выступило инструментальное средство для моделирования динамических систем SIMULINK, входящее в состав пакета MATLAB.

Что касается реализации самой модели объекта регулирования, то она позволяет исследовать новые алгоритмы управления, сравнивать с уже существующими [2] и при этом наблюдать поведение объекта в целом. Разработки сводятся к исследованию влияния всех

контуров регулирования и сводят модель к набору элементарных звеньев и рассмотрению контура не в отрыве от других компонентов САУ. При сложном объекте управления и взаимосвязанности работы различных подсистем, а также при наличии многочисленных особенностей протекания технологического процесса, в котором присутствуют процессы различной физической природы, возможно исключить влияние человека-оператора и правильно сформировать алгоритмы управления и регулирования. Поэтому алгоритмическую часть АСУ ТП выгоднее проверить сначала на модели объекта, прежде чем ставить неотлаженные алгоритмы на объект.

Ключевым преимуществом модели является возможность ее реализации на промышленных и/или лабораторных программно-технических комплексах (ПТК) с физическими входами-выходами. Модель осуществляет вычислительные операции для расчета значений технологических параметров. Далее эти значения передаются в SCADA-систему, которая обеспечивает вывод информации на экран оператора станда. В свою очередь программируемый логический контроллер (ПЛК) в соответствии с заложенными алгоритмами формирует управляющие воздействия на объект, и так же передает данные на верхний уровень. Математический аппарат модели позволяет имитировать ситуацию, которая происходит во время наступления аварии на объекте. Они имитируют поведение реальных датчиков и воспринимают реальные управляющие команды от ПЛК, далее устанавливаемого в АСУ ТП котла. Модель и алгоритмы моделируются не в пределах одного компьютера, а уже в составе готового ПТК, с контроллерами. Таким образом, можно достичь уже отладки не только алгоритмической части АСУ, но и ее «железа», и также верхнего уровня, в ситуациях различного рода приближенных к действительности.

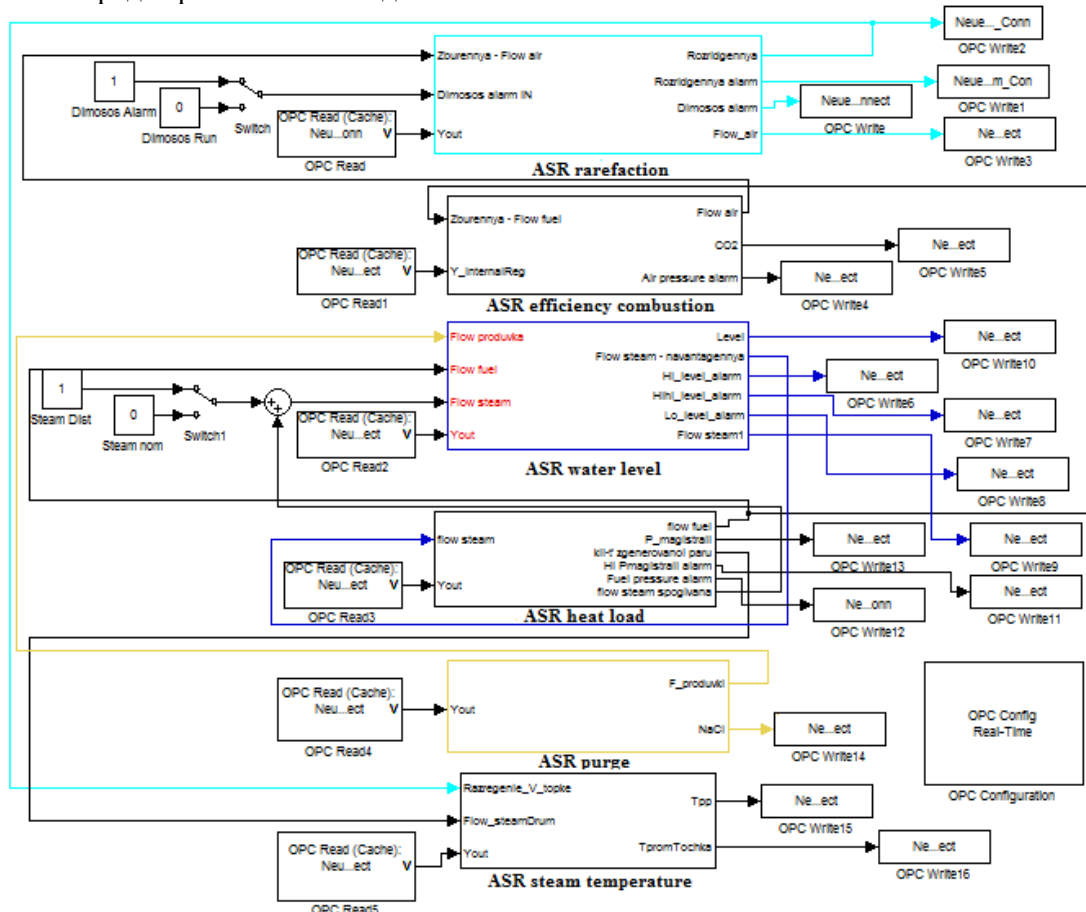


Рис. 1. Математическая модель динамики котла ДКВР 10-13

Синтез пригодных к использованию систем управления осложняется изменением динамических характеристик отдельных элементов котельных агрегатов в зависимости от нагрузки и других факторов, а также существенным транспортным запаздыванием, характерным для контуров управления теплоэнергетическими процессами. Таким образом, для обеспечения нужного качества управления параметры регулятора надо менять в значительных

диапазонах. Для проведения анализа динамических свойств по перечисленным каналам разгонные кривые контуров аппроксимированы инерционными звеньями первого порядка с запаздыванием. В результате аппроксимации были получены передаточные функции $W(s)$.

Производительность дымососа – разрежения в топке котла

$$W(s) = \frac{20.6s + 278}{0.0566s^2 + 1.67s + 1}.$$

Расход воздуха – разрежения в топке котла $W(s) = \frac{80.3s + 1080}{0.0566s^2 + 1.67s + 1}.$

Производительность вентилятора – расход воздуха $W(s) = \frac{0.00455s + 0.224}{0.000347s^2 + 0.748s + 1}.$

Производительность вентилятора – давление воздуха $W(s) = \frac{0.5}{16s + 1}.$

Расход воздуха – содержание O_2 $W(s) = \frac{2.74s + 0.224}{56s^2 + 16s + 1}.$

Расход топлива – содержание O_2 $W(s) = \frac{-39.8}{56s^2 + 16s + 1}.$

Подача питательной воды – уровень в барабане $W(s) = \frac{0.022}{s} e^{-20s}.$

Расход топлива – уровень в барабане $W(s) = \frac{0.015}{60s + 1} + \frac{-1}{100s + 1}.$

Расход пара – уровень в барабане $W(s) = \frac{0.26}{s} e^{-70s}.$

Количество сгенерированного пара – давление в магистрали $W(s) = \frac{1}{32s + 1}.$

Количество сгенерированного пара – расход потребляемого пара:

$$W(s) = \frac{0.8s}{28.25s + 1} \cdot \frac{1}{43.67s + 1}$$

Расход пара – давление в магистрали $W(s) = \frac{30.03s + 1}{28.25s + 1} \cdot \frac{40s + 1}{43.67s + 1}.$

Расход пара – расход потребляемого пара $W(s) = 0.0195 \cdot \frac{41s}{41s + 1}.$

Расход топлива – давление топлива $W(s) = \frac{0.2}{20s + 1}.$

Расход топлива – тепловосприятие топки $W(s) = \frac{0.5}{10s + 1}.$

Расход топлива – количество сгенерированного пара $W(s) = \frac{0.6}{20s + 1}.$

Физическая реализация модели возложена на промышленный программируемый логический контроллер модульного типа Phoenix Contact PLC [4]. Это позволяет привязать необходимое количество логических входов/выходов модели к физическим унифицированным интерфейсам контроллера, а, следовательно, и к внешнему аппаратному обеспечению, в котором были реализованы алгоритмы управления. В ПО контроллера были реализованы типовые законы управления контуров регулирования [3]. В результате работы были получены следующие переходные процессы, отраженные на рис. 2 и 3.

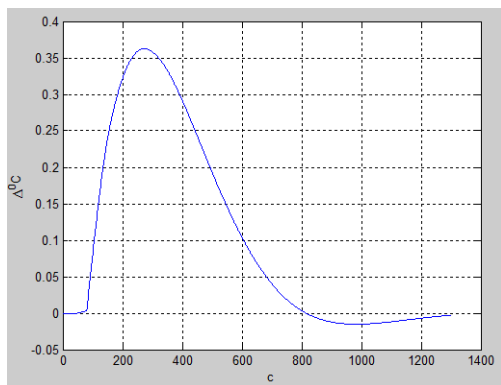


Рис. 2. Переходный процесс по каналу возмущения – выход в системе регулирования температуры перегретого пара

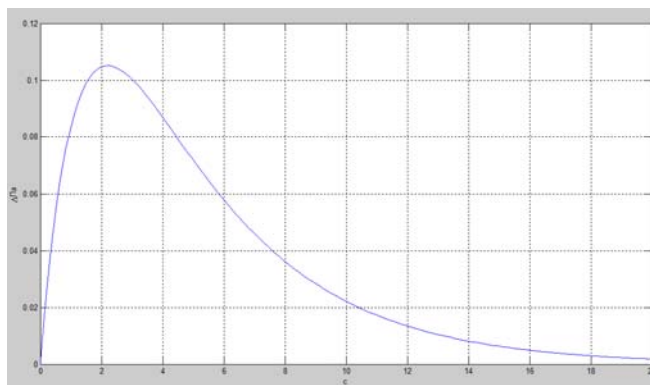


Рис. 3. Переходный процесс по каналу возмущения – выход в системе регулирования разрежением

Таким образом, системы регулирования должны определять окончательные параметры настроек регуляторов при вводе объекта в эксплуатацию, после его модификации или значительного изменения характеристик. Фактически, автоматизированные адаптивные системы управления используются все время, просто функции модулей адаптации выполняет опытный оператор. Поэтому разработка систем, которые могут самостоятельно или под наблюдением оператора подстраиваться под изменения объекта управления, является актуальной научной и практической задачей. Сохранение высокого качества управления контурами и элементами оборудования способствует экономии ресурсов и энергоносителей, повышению срока службы оборудования, положительно отразится на общей работе подконтрольных технологических процессов и инженерных систем. И решению этой задачи способствует стендовое исследование динамики подконтрольного объекта в составе с реальными промышленными ПТК.

Выводы

Описано место комплексной математической модели объекта управления в проектировании высокоэффективных АСУ ТП энергетической отрасли. На примере модели динамики барабанного котла серии ДКВР показаны преимущества использования комплексной модели для тестирования, отладки и оптимизации алгоритмов управления на этапе стендовых испытаний промышленного ПТК. Результаты исследования модели свидетельствуют о возможности создания настраиваемой нелинейной динамической имитационной модели барабанного парового котла, которую с соответствующими программно-аппаратными средствами ПТК возможно использовать в АСУ ТП для целей управления и диагностирования.

Список литературы

1. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. М., 1981.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М., 1981.
3. Ключев А. С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. М., 1970.
4. Control Technology, I/O Systems and Automation Infrastructure 2013/2014. Germany, 2013.

УДК 621.039-78

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АТОМНЫМИ СТАНЦИЯМИ

В.Л. КИШКИН^{1,2}, С.А. КОРОЛЕВ²

¹Всероссийский НИИ Автоматики Им. Н. Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия

²НИЯУ «Московский инженерно-физический институт»
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Россия

Поступила в редакцию 30 января 2015

Введение

Интенсивное развитие атомной энергетики в условиях приоритетности задач обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации атомных станций (АС) определяет необходимость соответствующего кадрового обеспечения отрасли, в том числе специалистами по системам автоматизации, контроля и управления АС.

Система подготовки специалистов для атомной энергетики должна обеспечить:

- кадровое обеспечение новых вводимых в РФ энергоблоков;
- текущее кадровое возмещение персонала действующих АС;
- подготовку персонала для зарубежных АС, поставляемых ГК Росатом;
- подготовку специалистов для научно-исследовательских, проектно-конструкторских, регулирующих, образовательных и других организаций и предприятий атомной отрасли.

Сфера и объекты деятельности специалистов по системе контроля и управления (СКУ) современных АС включает все уровни АСУТП – от измерительных каналов и низовых средств автоматизации до систем верхнего блочного и станционного уровней. Однако при этом система подготовки должна обеспечить формирование не только специализированных, но и общих для всех специалистов по СКУ компетенций, необходимых для создания и эксплуатации АСУТП атомных энергоблоков.

Академическое образование и отраслевая профессиональная система подготовки

Система подготовки специалистов включает взаимодействующие компоненты: академическое университетское образование и отраслевую систему подготовки на базе предприятий и организаций. Границы ответственности каждой из компонент и формы их взаимодействия различны в отдельных странах, они базируются на национальных традициях и концепциях подготовки специалистов. Для Российской Федерации характерно сближение содержания академического образования с потребностями работодателя с целью достижения большей готовности выпускников к профессиональной деятельности на рабочих местах и должностях. Не отрицая целесообразности данной концепции, следует подчеркнуть, что основная цель образовательных программ университетов – не подготовка специалиста на конкретные рабочие места, а формирование эрудированного профессионала, способного эффективно адаптироваться к конкретным профессиональным задачам, работать и активно развиваться во всех областях, входящих в сферу деятельности по специальности.

Отраслевая система профессиональной подготовки персонала на штатные должности реализуется непосредственно на предприятиях и в организациях (для АС – в учебно-тренировочных центрах (пунктах) и в производственных цехах), в центральном институте повышения квалификации (ЦИПК), на заводах-изготовителях оборудования и т.д. Естественно,

что энергетические предприятия заинтересованы в сокращении сроков профессиональной подготовки на должности и снижении соответствующих затрат.

Координация и интеграция академической и отраслевой систем подготовки персонала включает:

– определение и разграничение спектров компетенций специалистов, формирование которых находится в сфере ответственности высшего профессионального образования (ВПО) и отрасли;

– привлечение ресурсов отрасли для реализации образовательных программ ВПО по соответствующим специальностям (например, в форме производственных практик студентов) с одной стороны, и ресурсов университетов для реализации задач отраслевой системы профессиональной подготовки (например, теоретические компоненты программ подготовки на должности, курсы повышения квалификации и т.д.), – с другой.

Данная концепция определяет целесообразность создания «сетевых» форм построения и реализации образовательных и отраслевых программ, для создания которых необходима совместная деятельность специалистов ВПО и отраслевых предприятий.

Образовательные и профессиональные стандарты для специалистов по СКУ АС

Система подготовки специалистов по СКУ, ориентированных на работу в сфере ядерных технологий, в частности, в атомной энергетике, в РФ осуществляется, в основном, по следующим федеральным образовательным стандартам специалитета:

– «Электроника и автоматика физических установок», специализация «Автоматизация и информационно-измерительные системы физических установок»;

– «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», специализация «Системы контроля и управления АС».

НИЯУ МИФИ осуществляет подготовку специалистов по АСУ АС по обоим приведенным стандартам.

Профессиональные требования к специалистам по СКУ АС обобщены и сформулированы в недавно разработанных при участии НИЯУ МИФИ проектах профессиональных стандартов, опубликованных на сайте Минтруда РФ:

– «Специалист в области тепловой автоматики и измерений (АС)»;

– «Специалист в области КИПиА атомных станций».

Учитывая, что персонал АС, обслуживающий ПТК АСУТП, как правило, входит в состав цеха тепловой автоматики и измерений (ТАИ), профессиональные требования к данным специалистам включены в стандарт для специалистов по ТАИ.

Образовательные и профессиональные стандарты для специалистов по СКУ были разработаны во взаимосвязи с точки зрения отражения областей и видов деятельности, а также компетенций специалистов.

Образовательные стандарты специалистов по СКУ АС определяют описанные ниже области и объекты профессиональной деятельности и соответствующие им компетенции выпускников.

Область профессиональной деятельности: совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с проектированием, созданием и эксплуатацией атомных станций (АС) и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Объекты профессиональной деятельности: ядерно-физические, тепло-гидравлические и электрические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; ядерно-энергетическое, тепломеханическое и электрооборудование атомных электрических станций и других ядерных энергетических установок (ЯЭУ); процессы контроля параметров, управления, защиты и диагностики состояния ЯЭУ; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ЯЭУ, автоматизированные системы

управления технологическими процессами (АСУТП) атомных электростанций; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок.

Образовательные стандарты для специалистов по СКУ АС предусматривают формирование компетенций для следующих видов профессиональной деятельности: научно-исследовательская; проектная; производственно-технологическая; организационно-управленческая.

В образовательных стандартах вводится следующая структура компетенций: общекультурные компетенции; общепрофессиональные компетенции; профессиональные компетенции (по видам деятельности); профессионально-специализированные компетенции (по видам деятельности).

Структура образовательных программ включает обязательную базовую часть, а также вариативную часть, определяемую университетом при выполнении требований по формированию у выпускников заданных стандартом компетенций.

С целью обеспечения профильной подготовки по видам профессиональной деятельности в образовательных программах предусмотрены дисциплины по выбору, а также возможность выполнения НИРС и учебных практик на профильных отраслевых предприятиях и организациях.

Вводимые в действие профессиональные стандарты, в том числе для специалистов по ТАИ и КИПиА, базируются на:

- определении обобщенных трудовых функций для соответствующих квалификационных уровней персонала;
- декомпозиции каждой обобщенной трудовой функции на набор трудовых функций;
- задании перечня трудовых действий для каждой трудовой функции;
- определении набора знаний и умений, необходимых для реализации данных функций.

Требования профессиональных стандартов в части компетенций, которые являются предметом образовательной деятельности (в отличие от компетенций, формирование которых происходит в процессе трудовой деятельности), достаточно полно учтены в приведенных выше образовательных стандартах. При этом необходимо отметить, что актуальной задачей совершенствования образовательных программ для специалистов по СКУ АС является развитие инженерных компетенций, в том числе обусловленных спецификой профессиональной деятельности.

Опыт НИЯУ МИФИ

НИЯУ МИФИ имеет многолетний опыт подготовки молодых специалистов для работы в области технологии, методов, систем и аппаратуры контроля и управления ядерными установками. Образовательная деятельность университета по данным направлениям подготовки осуществляется в тесном взаимодействии с головными предприятиями ГК Росатом, в их числе: АО «ВНИИАЭС», ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», ОАО «НИКИЭТ», АО «Атомэнергопроект», концерн «Росэнергоатом», включая АС, ОАО «СНИИП», НИЛ «Курчатовский институт» и др. Важнейшими формами участия данных предприятий и организаций в реализации образовательных программ являются:

- участие в разработке и экспертиза образовательных программ;
- помощь в оснащении специализированных учебных лабораторий образцами оборудования и программными системами, используемыми в практической профессиональной деятельности специалистов. Примером такого сотрудничества является непосредственное участие ВНИИА и ВНИИАЭС в оснащении лаборатории «ПТК АСУТП АЭС с ВВЭР» на кафедре автоматики НИЯУ МИФИ;
- обеспечение выполнения студентами на их базе, начиная с четвертого курса, НИРС, учебных практик и дипломного проектирования по тематике научно-технической и производственной деятельности этих предприятий. Как правило, студенты, прошедшие практику на базовых предприятиях, становятся членами трудового коллектива и в дальнейшем продолжают на этих предприятиях работать после окончания университета.

Наиболее сложный в данном аспекте вопрос – организация полноценной практики и последующее трудоустройство выпускников на атомных станциях. Решение данной актуальной

для отрасли и высшей школы задачи требует реализации комплекса мер профессиональной ориентации молодежи, последующей их целевой подготовки в системе ВПО и организации объемной практики студентов на АС, например на базе станционных УТЦ (УТП).



Специализированная учебная лаборатория «ПТК АСУТП АЭС с ВВЭР»

Международное сотрудничество

Активная коммерческая деятельность ГК «Росатом» по поставке АС в зарубежные страны, необходимость подготовки персонала для эксплуатации этих АС, стремление стран, где строятся АС, создать инфраструктуру атомной отрасли, а также современная тенденция создания открытой международной образовательной среды обуславливают необходимость развития международного академического сотрудничества в области атомной инженерии, в том числе в направлении АСУТП АС.

НИЯУ МИФИ во взаимодействии с ГК «Росатом», целенаправленно расширяет свою международную образовательную деятельность. Следует отметить следующие ее основные направления:

- обучение зарубежных студентов для работы на поставляемых в их страны АС;
- реализация стажировок и обучение студентов и преподавателей зарубежных университетов;
- разработка совместных с зарубежными университетами образовательных программ, обучение студентов вузов-партнеров по данным программам;
- сотрудничество с МАГАТЭ в области развития ядерных знаний, разработки магистерских программ по ядерной инженерии, включая программу «Nuclear Engineering: NPP I&C».

Активно развивается академическое сотрудничество НИЯУ МИФИ с университетами Беларуси – БГУИР, БГУ, БНТУ. В области подготовки специалистов по системам контроля и управления АС основным партнером НИЯУ МИФИ является БГУИР. В рамках сотрудничества с университетами Беларуси ведется разработка совместных образовательных программ ядерно-инженерных направлений, в НИЯУ МИФИ обучаются и проходят практику студенты и аспиранты, преподаватели белорусских университетов проходят стажировку. При содействии МАГАТЭ НИЯУ МИФИ поставил в БГУИР, БГУ и БНТУ современные учебные лаборатории на базе компьютерных тренажерных систем. Планируется дальнейшее расширение сотрудничества в образовательной и научно-технической сферах.

УДК 621.039-78

**УЧЕБНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ПАРУС» ПО РЕАКТОРНОЙ ФИЗИКЕ,
УПРАВЛЕНИЮ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС С ВОДО-ВОДЯНЫМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ**

С.А. КОРОЛЕВ, С.Б. ВЫГОВСКИЙ, Е.В. ЧЕРНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет
«Московский инженерно-физический институт»
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Россия**Поступила в редакцию 29 января 2015*

На современном этапе развития атомной энергетики все страны и компании, развивающие ядерные технологии и эксплуатирующие атомные станции, с возросшей ответственностью относятся к проблемам ядерного образования, сохранения, управления и развития ядерных знаний.

Активно создаются и совершенствуются образовательные программы университетов, обеспечивающих выпуск специалистов в области ядерных технологий и смежных инженерно-технических областях, программы профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации работников атомных станций и других предприятий и организаций атомной отрасли. Образовательные программы все активнее опираются на современные информационные технологии и использование разнообразных технических средств обучения (ТСО). Происходит компьютеризация лабораторных практикумов – от обработки результатов работы до замены лабораторных установок компьютерными моделирующими программами. Для образовательных программ университетов характерно стремление активно использовать специализированные лабораторные практикумы и компьютерные обучающие системы (курсы), которые уже давно используются в профессиональной подготовке персонала АЭС.

Системы профессиональной подготовки персонала атомных станций в обязательном порядке используют тренажерные системы различных классов: тренажеры базовых принципов, тренажеры отдельных технологических систем и элементов оборудования, полномасштабные тренажеры (ПМТ). Тренажеры основаны на достаточно полной и точной модели физических и технологических процессов атомной станции и при этом предназначены для формирования практических навыков контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока.

При этом современный уровень развития компьютерной техники, математических методов моделирования и средств создания программных моделей ядерных энергетических установок позволяет создавать компактные и относительно недорогие моделирующие вычислительные комплексы реального времени. Данные комплексы вполне доступны с точки зрения их использования не только в тренажерных системах, но и в специализированных учебных лабораториях, предназначенных для оснащения университетов и учебных центров АЭС.

На кафедре «Автоматика» НИЯУ МИФИ создана учебная лаборатория «ПАРУС» для студентов и специалистов атомной отрасли в области реакторной физики, контроля, управления, защиты и безопасной эксплуатации реакторных установок действующих, проектируемых и строящихся АЭС с ВВЭР (рисунок). Математическое и программное обеспечение лаборатории базируется на программных комплексах, входящих в состав полномасштабных, компьютерных тренажеров и анализаторов режимов работы АЭС. В частности компьютерная система лаборатории включает компоненты моделирующего обеспечения полномасштабных тренажеров (ПМТ) блоков № 2, № 3 и № 4 Калининской АЭС и

анализаторов реакторных установок для 1, 2, 3 энергоблоков Ростовской АЭС и 6-го энергоблока Ново-Воронежской АЭС. Основу этих тренажеров и анализаторов составляет аттестованный ГАН РФ для расчетов ЯЭУ с ВВЭР-1000 программный комплекс «ПРОСТОР».



Учебная лаборатория «ПАРУС»

По точности расчета основных параметров реакторной установки ЯЭУ модели вышеупомянутых анализаторов не уступают штатным программам расчетного сопровождения эксплуатации АЭС с реактором ВВЭР-1000. Комплексность и высокая адекватность используемых в лаборатории моделей физических процессов в оборудовании АЭС и алгоритмов систем управления и защиты ЯЭУ позволяют решать широкий спектр учебных и исследовательских задач, а также обеспечивают возможность их дальнейшего развития.

Учебная лаборатория «ПАРУС» обладает в сравнении с моделями для тренажерных систем и, в частности для ПМТ, следующими дополнительными возможностями:

- модель позволяет реализовать широкую вариативность учебных и практических задач: от расчета основных нейтронно-физических и теплофизических характеристик ЯЭУ и исследования алгоритмов управления до задач анализа тяжелых аварий, приводящих к расплавлению топлива в активной зоне;

- модель дополнена удобными для пользователя средствами проектирования сценариев учебных занятий и внешнего управления моделью для решения практических задач;

- модель базируется на библиотеке нейтронных сечений и тепло-гидравлических характеристик, насчитывающих до 100 различных конструкций ТВС реактора ВВЭР, позволяющих проводить изучение различных топливных загрузок;

- модель содержит средства воспроизведения режима выгорания топлива с его произвольной перегрузкой и задания произвольного графика тепловых нагрузок на активную зону в зависимости от времени выгорания;

- в модель включены средства поддержания критичности реактора как с помощью штатных средств на АЭС, так и с помощью автоматического борного регулятора (не штатное средство), работающего как в стационарных, так и в нестационарных режимах;

- модель обладает возможностью ускорения по времени в десятки тысяч раз, что позволяет обеспечить эффективность учебного и исследовательского процессов при воспроизведении инерционных процессов в оборудовании АЭС;

- модель позволяет проводить расчетный анализ технической безопасности оборудования ядерных энергетических установок (ЯЭУ) при задании специальных условий моделирования гидродинамики теплоносителя в главном циркуляционном контуре (ГЦК), приводящих к консервативной оценке уровня безопасности.

Лаборатория предназначена для обеспечения:

- образовательных программ высшего профессионального образования специалистов, бакалавров, магистров по направлениям подготовки и специальностям: Ядерная физика и технологии, Ядерные реакторы и материалы, Атомные станции: проектирование, эксплуатация и

инжиниринг, Электроника и автоматика физических установок, Ядерная энергетика и теплофизика;

– программ послевузовского образования (аспирантуры) по ряду специальностей, в том числе: Ядерные энергетические установки, Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, Теплофизика и теоретическая теплотехника;

– программ повышения квалификации специалистов соответствующих специальностей;

– программ профессиональной подготовки работников отраслевых предприятий и организаций, области ответственности и деятельности которых связаны с проектированием, созданием и эксплуатацией технологического оборудования и систем управления ядерных энергетических установок.

В рамках данных направлений подготовки учебная лаборатория обеспечивает практические занятия по спектру дисциплин специальностей, связанных с физикой ядерных реакторов и ядерных энергетических установок, проектированием и эксплуатацией АЭС, управлением ядерным реактором и ЯЭУ, системами управления и защиты ядерных реакторов, АСУТП АЭС, безопасностью эксплуатации ЯЭУ, моделированием процессов в оборудовании ЯЭУ.

Учебная лаборатория предназначена:

– для практического освоения теоретических знаний по конструкции активной зоны и оборудованию ЯЭУ, назначению и составу технологических систем ЯЭУ, нейтронно-физическим и технологическим процессам в оборудовании ЯЭУ, эксплуатационным режимам и принципам безопасной эксплуатации ЯЭУ, назначению и структуре систем управления и защиты, принципам и алгоритмам управления ЯЭУ;

– для приобретения практических навыков по управлению ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000 (1200) в режимах нормальной эксплуатации и режимах с нарушениями нормальной эксплуатации, по формированию различных топливных загрузок при реализации различных стратегий топливного цикла, по определению нейтронно-физических характеристик активной зоны;

– для выполнения научно-исследовательской работы студентами и аспирантами, проведения курсового проектирования, выпускных квалификационных работ, магистерских диссертаций;

– для приобретения теоретических знаний и практических навыков специалистами отрасли по управлению и эксплуатации ЯЭУ.

Функциональные возможности модели ЯЭУ позволяют на средствах учебной лаборатории «ПАРУС» проводить научные исследования студентов, магистрантов, аспирантов и научных сотрудников университетов для исследования и уточнения алгоритмов управления энергоблоком в тех режимах эксплуатации, для которых в настоящее время имеется дефицит эксплуатационного опыта и, соответственно, процедуры управления недостаточно регламентированы.

Учебные цели программ обучения достигаются посредством реализации практических задач при выполнении комплекса лабораторных работ в соответствии с предварительно разработанными сценариями их выполнения, или в виде индивидуальных заданий студентам на проведение курсового и дипломного проектирования с разработкой сценариев совместно с преподавателем.

В настоящее время в рамках учебной лаборатории реализованы лабораторные практикумы, охватывающие следующие учебные темы:

– Изучение статических и динамических характеристик реактора как объекта управления. Управление мощностью реактора. Определение оптимальных параметров алгоритма регулирования мощности ЯЭУ в регуляторах, задействованных в этом управлении.

– Изучение системы управления и защиты реактора (СУЗ), знакомство со структурой СУЗ ЯЭУ с ВВЭР-1000 (АРМ, РОМ, АЗ), алгоритмами работы СУЗ в различных режимах (режимы работы АРМ, ПЗ-3, ПЗ-4, АЗ-1, УПЗ), включая аварийные ситуации.

– Изучение эксплуатационных режимов с нарушениями условий нормальной эксплуатации и решение ряда эксплуатационных задач по управлению энергоблоком в нестандартных ситуациях с целью обеспечения локальных защит по распределению энерговыделения в активной зоне.

– Изучение пусковых режимов реакторной установки. Приобретение базовых знаний по технологии пуска и решения ряда практических задач по пуску энергоблока после ликвидации последствий аварийной ситуации.

– Изучение пространственной неустойчивости нейтронного поля в активной зоне реактора. Изучение причин возникновения аксиальных ксеноновых колебаний локальной мощности в активной зоне реакторов ВВЭР-1000 и механизмов их подавления на практике эксплуатации реакторов ВВЭР-1000. Решение задач по нахождению оптимального алгоритма подавления колебаний.

– Изучение нейтронно-физических характеристик органов управления, особенностей их измерения на АЭС с реактором ВВЭР-1000, сопоставление измеренных по БИК характеристик с расчетными данными. Исследование причин рассогласования измеренной эффективности групп ОР СУЗ с расчетной эффективностью и определение методов устранения этого рассогласования.

– Изучение основных свойств самозащищенности активной зоны реактора ВВЭР-1000 (1200): температурного и плотностного коэффициентов реактивности. Определение основных параметров и факторов, определяющих величину данных коэффициентов реактивности.

– Изучение явления повторной критичности в реакторах ВВЭР-1000 и причин его возникновения. Изучение мер по устранению явления повторной критичности в проекте АЭС-2006. Расчет основных параметров, характеризующих явление повторной критичности и последствий данного явления в реакторах ВВЭР.

– Изучение основных характеристик топливного цикла в реакторах ВВЭР-1000. Исследование зависимости этих характеристик от базового обогащения топлива подпитки по урану-235. Расчетное обоснование экономических показателей и показателей технической безопасности выбранного топливного цикла. Сопоставление показателей топливных циклов, реализованных с использованием различных схем перегрузок топлива.

– Изучение явления кризиса теплоотдачи на поверхности ТВЭЛ в активной зоне реактора ВВЭР-1000 (1200). Изучение причин возникновения кризиса теплоотдачи и мер по уменьшению последствий данного явления на состоянии основных защитных барьеров реактора. Моделирование и анализ ряда аварий, приводящих к данному явлению, включая аварию на АЭС «Three Mile Island» с расплавлением топлива в активной зоне.

Для каждого из указанных выше тематических направлений сформировано одно или несколько учебных занятий. Разработано методическое обеспечение лабораторного практикума с описанием учебных занятий и задач, входящих в состав каждого занятия, инструкций по проведению занятий и обработки результатов их выполнения.

Использование учебных лабораторий, оснащенных комплексной моделью ЯЭУ, является эффективным средством решения задач сохранения и развития ядерных знаний, что является актуальной задачей международного ядерного сообщества. С этой целью МАГАТЭ регулярно проводит технические совещания и семинары, в том числе направленные на распространение имеющейся практики создания и использования подобных лабораторий. На ряде таких совещаний и семинарах был представлен опыт НИЯУ МИФИ в данном направлении. Так, в период с 2010 г. по настоящее время опыт НИЯУ МИФИ был представлен на следующих технических совещаниях, семинарах и обучающих курсах:

– Семинар МАГАТЭ «Применение компьютерных тренажеров АЭС для подготовки специалистов в высшей школе», БГУ, Минск, Беларусь, 24 – 28 мая 2010.

– IAEA Technical Meeting «On the Use of Nuclear Facilities and Simulators as Effective Tools for Education and Preserving Knowledge», Nuclear Training Centre of Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, June 21 – 24, 2010.

– Курс лекций и лабораторных работ «Моделирование физических процессов в оборудовании АЭС», Физический факультет, БГУ. Минск, Беларусь, Ноябрь – Декабрь 2010.

– Техническое совещание МАГАТЭ «Разработка технических требований для учебных лабораторий «Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ЯЭУ» для инженерно-физических специальностей технических университетов» для Армении, Беларуси, Украины. Вена, МАГАТЭ, Апрель 2011 г.

– IAEA Technical Meeting to «Promote the Awareness and the Use of Nuclear Facilities and Related Simulators as Effective Tools for Education and Research and for Capacity Building»,

Gesellschaft für Simulatorschulun gmbH (simulator training company), Essen, Germany, May 23 –25, 2011.

– IAEA Interregional Training Course on Operating Fundamentals of Pressurized Water Reactors with PC-Based Simulators. Nuclear Training & Education Center, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Republic of Korea, 3–7 June 2013.

– TECNATOM - IAEA Course on Physics and Technology of WCR Through the Use of PC-Based Simulators. TECNATOM, Madrid, Spain, 4–15 November 2013.

– Научно-технический семинар НИЯУ МИФИ – МАГАТЭ «Роль учебных лабораторий с использованием компьютерных систем в ядерно-инженерных образовательных программах университетов». НИЯУ МИФИ, Москва, Россия, 12 – 15 ноября 2013.

– IAEA Technical Meeting on «Effective Utilization of Nuclear Power Plant Simulators as Introductory Educational Tools», IAEA, Vienna, Austria, 19 – 22 May 2014.

– IAEA Consultancy Meeting on «Optimal Integration of NPP Simulators for Educational and Training Centers», IAEA Vienna, Austria, 20–22 October 2014.

УДК 371.693

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ЭНЕРГОБЛОКОВ № 3,4 КАЛИНИНСКОЙ АЭС С ЦИФРОВЫМИ АСУ ТП

А.Н. ЛУПИШКО, В.А. ЧЕРНАКОВ, А.П. МОЛЕВ, С.А. МИЩЕРИН,
С.А. КОРОЛЕВ*, С.Б. ВЫГОВСКИЙ*, Е.В. МИНАЕВ*, Ю.В. КРАЮШКИН*

*Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
Ферганская, 25, Москва, 109507, Россия,*

**Национальный исследовательский ядерный университет
«Московский инженерно-физический институт»
Каширское шоссе, 31, Москва, 115409, Россия*

Поступила в редакцию 3 февраля 2015

На энергоблоке № 3 Калининской АЭС, общий вид блочного пульта управления (БПУ) которого представлен на рис. 1, впервые в России была внедрена современная цифровая автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП). Эта АСУ ТП представляла собой новый проект, опыт внедрения которого отсутствовал, и имела два принципиальных отличия от АСУ ТП атомных блоков предыдущего поколения:

1. Система верхнего блочного уровня (СВБУ) АСУ ТП разработана и внедрена Главным конструктором АСУ ТП АЭС с ВВЭР – АО «ВНИИАЭС». Основной способ управления в СВБУ – компьютерный, через экранные форматы управляющих рабочих станций СВБУ, расположенных на БПУ/РПУ. Органы индикации и управления на пультах и панелях БПУ лишь «резервируют» основной компьютерный способ управления на случай сбоев в работе СВБУ. Навыки компьютерного управления у персонала Калининской АЭС до пуска 3-го блока полностью отсутствовали, и их нужно было своевременно сформировать. Эта задача была решена с помощью поставленного АО "ВНИИАЭС" тренажерного комплекса для подготовки оперативного и эксплуатационного персонала блока, разработанных совместно с НИЯУ МИФИ.

2. Нижний уровень АСУ ТП систем нормальной эксплуатации построен на базе программно-технических комплексов ТПТС-51 (далее – ПТК ТПТС). Эти средства – цифровые, так же впервые применялись на российских АЭС. Конфигурирование ПТК ТПТС производится на объектно-графическом языке высокого уровня в специализированной оболочке GET-R инженерной GET-станции ТПТС. В ней разрабатываются GET-проект (проект прикладного ПО, загружаемого в модули ТПТС) и NET-проект (проект связей модулей ТПТС с датчиками, исполнительными механизмами и другими ПТК АСУ ТП). По GET-проекту автоматически генерируется STER-код, непосредственно загружаемый в модули ТПТС. Объем GET-проекта для энергоблока ВВЭР-1000 огромен и составляет более 50 000 листов GET-планов, из-за чего усвоение логики работы нижнего уровня АСУ ТП крайне сложно для оперативного персонала энергоблока. К тому же в ходе развития проекта АСУ ТП GET-проект многократно (десятки раз) меняется, в особенности на завершающей стадии проекта – в ходе ПНР по АСУ ТП. Поэтому для разработки адекватной модели нижнего уровня АСУ ТП обычно применяемые методы моделирования нижнего уровня АСУ ТП (прорисовка в специализированной САПР графических образов алгоритмов и генерации по ним модели) не подходят из-за огромных трудозатрат. Выход в этой ситуации только один – создание специализированного программного комплекса, позволяющего генерировать модель нижнего уровня АСУ ТП

непосредственно по текущей версии GET-проекта автоматизированным способом, без его перерисовки вручную.



Рис. 1. Общий вид БПУ 3 энергоблока Калининской АЭС.

Все тренажеры тренажерного комплекса для подготовки персонала энергоблоков № 3,4 Калининской АЭС были разработаны на базе интегрированной системы ENICAD (далее ЭНИКАД), созданной коллективом сотрудников кафедры «Автоматика» НИЯУ МИФИ. ЭНИКАД работает под ОС Windows на стандартных ПЭВМ и обеспечивает эффективную разработку различных моделирующих комплексов для АЭС и ТЭС, включая сложные многомашинные сетевые комплексы полномасштабных тренажеров. В состав программных средств ЭНИКАД входят следующие.

- Специализированный графический редактор с широкими интерактивными возможностями.

- САПР моделей систем автоматики, позволяющий строить интерактивные схемы моделей систем управления из широкого набора функциональных блоков и предоставляющий средства их отладки. Имеется возможность создания макроэлементов. САПР охватывает средства УКТС, ТПТС-51,ЕМ и КТПС-ПН.

- САПР моделей тепло-гидравлических систем для создания интерактивных моделей тепло-гидравлических сетей из набора функциональных блоков (баков, теплообменников, запорно-регулирующей арматуры и т.д.) со средствами их отладки.

- САПР моделей электрических систем, позволяющий создавать интерактивные электрические схемы из набора функциональных блоков (трансформаторов, выключателей, двигателей, линий, генераторов и т.д.) и предоставляющий средства их отладки.

- Средства интеграции. В их состав входят средства ведения проекта, диспетчеризации и поддержки многопроцессорных, многомашинных сетевых и многомониторных конфигураций, средства интеграции программных модулей, средства ведения базы переменных модели.

- Система поддержки процесса обучения. Она предоставляет возможность создания учебных задач и средства контроля их выполнения обучаемым.

- Средства разработки модели (СВБУ) цифровой АСУТП на базе RTA PLS.

- Средства полной эмуляции (СВБУ) цифровой АСУТП на базе ПОРТАЛ по файлам прикладного ПО штатной СВБУ.

По составу программных средств платформа ЭНИКАД аналогична платформам ведущих зарубежных производителей тренажеров, таких как GSE (США), CORYS (Франция), STN ATLAS ELEKTRONIK (Германия). ЭНИКАД создавался более 15 лет, постоянно дополняется и модернизируется коллективом его разработчиков, чтобы удовлетворять современным требованиям. Так, например, в ходе работ по энергоблокам Калинин-3,4 и Ростов-2 ЭНИКАД был дополнен новыми средствами (выделены на слайде курсивом) для автоматизированной генерации моделей ПТК технологических программно-технических средств (ТПТС) вышеуказанным способом, непосредственно по GET-проекту, средствами

разработки моделей ПТК на базе средств КТПС-ПН, а также средствами разработки модели СВБУ на базе RTA PLS и ПОРТАЛ. Более подробно платформа ЭНИКАД описана в [1].

Новые средства платформы ЭНИКАД для генерации моделей ПТК ТПТС и СВБУ, разработанные в ходе проекта энергоблока № 3 Калининской АЭС, обеспечили не только генерацию в темпе проекта адекватных моделей АСУ ТП для тренажерных комплексов 3-го энергоблока Калининской АЭС, но и эффективное тестирование проекта АСУ ТП на всех стадиях ее создания и внедрения, включая пусконаладочные работы (ПНР). Это стало возможным вследствие практически полной адекватности модели АСУ ТП, генерируемой этими новыми средствами ЭНИКАД, которые впоследствии стали основой для создания программного комплекса статического тестирования (ПКСТ). ПКСТ обеспечил комплексное тестирование прикладного ПО ПТК ТПТС в контуре «ПТК ТПТС-СВБУ-БПУ/РПУ» не только в процессе его разработки на площадках разработчиков с помощью моделей (в том числе и на полигоне Главного конструктора АСУ ТП – АО «ВНИИАЭС», представленном на рис. 2), но и непосредственно на площадке АЭС – путем тестирования прикладного ПО, уже загруженного в аппаратуру ПТК ТПТС. По своей функциональности ПКСТ соответствует аналогичным средствам современных платформ для создания АСУ ТП, имеющихся у ведущих зарубежных производителей средств АСУ ТП и подробно описан в [2].



Рис. 2. Полигон Главного конструктора АСУ ТП - АО «ВНИИАЭС»

В состав тренажерного комплекса для подготовки персонала энергоблока № 3 Калининской АЭС входят:

- полномасштабный тренажер (ПМТ-3);
- тренажер оборудования и систем АСУ ТП (ТОС АСУ ТП);
- компьютерный тренажер по системе химводоочистки (КТ ХВО).

Программный комплекс ТОС АСУ ТП был разработан в дополнение к ПМТ-3 в связи с тем, что освоение новой цифровой АСУ ТП для персонала Калининской АЭС оказалось крайне сложным. Поэтому, еще до готовности ПМТ-3, потребовалось начать опережающую подготовку персонала к работе с новой цифровой АСУ ТП. В состав программного комплекса ТОС АСУ ТП вошла полномасштабная модель АСУ ТП (модель СВБУ, модели всех ПТК, электронные панели БПУ/РПУ) и сервисные средства, обеспечивающие изучение работы алгоритмов и структуры АСУ ТП на стандартном персональном компьютере только с использованием графически представленной модели АСУ ТП, но без использования модели физических процессов в технологических системах энергоблока. ТОС АСУ ТП обеспечил в массовом порядке:

- изучение структуры АСУ ТП;
- детальное изучение алгоритмов управления и индикации;
- выработку практических навыков работы с цифровой АСУ ТП.

Компьютерный тренажер по системам химводоочистки был разработан в связи с тем, что система химводоочистки на блоке имела собственную рабочую станцию СВБУ со своим форматами и не входила в состав систем, моделируемых в ПМТ-3.

В связи с задержкой начала финансирования работ по ПМТ-3 и длительным сроком изготовления полномасштабного имитатора БПУ было принято решение о создании ПМТ-3 в

два этапа. На первом этапе был создан пусковой комплекс ПМТ-3, разработанный на базе стандартных персональных компьютеров, которые можно было быстро поставить. На нем, задолго до готовности полномасштабного имитатора БПУ ПМТ-3 была полностью отлажена и начала функционировать полномасштабная модель энергоблока.

На втором этапе на базе пускового комплекса ПМТ-3, путем подключения через устройства связи (УСО), изготовленной производителем штатного БПУ точной реплики штатного БПУ энергоблока, была завершена разработка ПМТ-3. Общий вид пускового комплекса и итогового ПМТ-3 представлены на рис. 3.

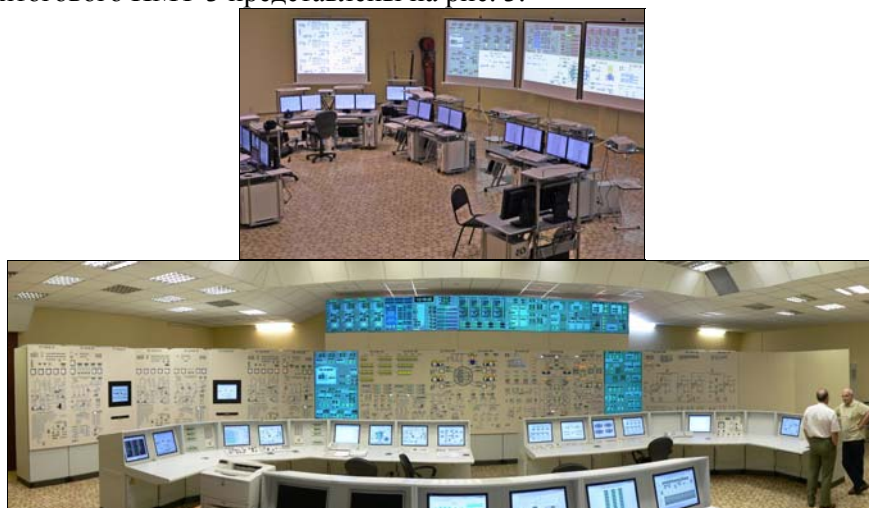


Рис. 3. Пусковой комплекс ПМТ-3 и общий вид итогового ПМТ-3

Следует отметить, что принятые при разработке ПМТ-3 технические решения (использование в тренажере штатного БПУ без каких-либо изменений и использование в качестве УСО аппаратуры ТПТС) позволили, при уже отлаженной на пусковом комплексе полномасштабной модели ПМТ-3, провести его интеграцию и отладку в кратчайшие сроки – 6 недель. Но платой за эту скорость стала цена этих решений, т.к. БПУ/РПУ производства ФГУП «НИИИС» и аппаратура ТПТС производства ФГУП «ВНИИА», применяемые в АСУ ТП реального блока, очень дороги для ПМТ. Кроме того, конструкция мозаичных панелей БПУ ФГУП «НИИИС» крайне неудобна для их последующих модернизаций. Тем не менее, принцип отладки полномасштабной модели ПМТ на виртуальном БПУ и поставки полномасштабного имитатора БПУ на площадку АЭС прямо с завода-изготовителя, минуя площадку поставщика – АО «ВНИИАЭС» – оказался очень эффективен и позволил сократить срок ввода ПМТ-3 на 6 мес. Поэтому он был применен впоследствии и при разработке ПМТ блока № 4 Калининской АЭС.

Введенный в эксплуатацию в декабре 2012 г. энергоблок № 4 Калининской АЭС, в том числе его БПУ, имеет значительные отличия от энергоблока №3, что обусловило необходимость создания для блока № 4 отдельного ПМТ (ПМТ-4). Поставщиком ПМТ-4 также являлось АО «ВНИИАЭС». Разработчиком технического проекта, специализированного программного комплекса, математического и программного обеспечения ПМТ-4 являлся НИЯУ МИФИ. Поставщиком специализированного аппаратного комплекса ПМТ-4, включающего полномасштабный имитатор БПУ и виртуальный имитатор резервного и блочного пунктов управления (РПУ/БПУ) – ФГУП УЭМЗ (г. Екатеринбург).

ПМТ-4 был спроектирован, изготовлен, введен в эксплуатацию в сентябре 2012 г. в рекордно короткие сроки – менее, чем за 18 месяцев. Поставка полномасштабного имитатора БПУ для ПМТ-4 так же, как и для ПМТ-3, осуществлялась с завода-изготовителя сразу на площадку АЭС, минуя площадку АО «ВНИИАЭС». ПМТ-4 является на сегодня наиболее современным действующим ПМТ в России и примером успешного сотрудничества в области разработки технических средств обучения для подготовки персонала АЭС предприятий ГК «Росатом» и НИЯУ МИФИ. ПМТ-4, так же, как и ПМТ-3, был допущен к обучению по стандарту ОАО «Концерн Росэнергоатом» СТО 1.1.1.01.004.0680-2006 «Технические средства обучения», комиссией ОАО «Концерн Росэнергоатом» 14.02.2013.

Кратко остановимся на двух основных компонентах ПМТ-4.

Комплекс технических средств ПМТ-4. Является сложным программно-техническим моделирующим комплексом и включает в себя следующие компоненты:

- полномасштабный имитатор БПУ энергоблока № 4 КАЭС;
- виртуальный имитатор РПУ/БПУ энергоблока № 4 КАЭС, способный работать самостоятельно в качестве аналитического тренажера;
- специализированный моделирующий компьютерный комплекс (МКК), подключенный к полномасштабному имитатору БПУ и виртуальному имитатору РПУ/БПУ, включающий два комплекта моделирующих, архивных и файловых серверов с предустановленным специальным программным обеспечением;
- устройства связи МКК с полномасштабным имитатором БПУ (УСО);
- систему электропитания комплекса технических средств ПМТ-4;
- систему управления тренажером – станцию инструктора (СИ);
- систему поддержки обучения (класс предтренажерной подготовки);
- систему аудио-видеонаблюдения и регистрации;
- систему оперативной связи.

Внешний вид полномасштабного имитатора БПУ и расширенного виртуального имитатора РПУ, позволяющего имитировать и БПУ, представлены на рис. 4. Такой расширенный РПУ позволил провести на нем полную отладку и тестирование полномасштабной модели энергоблока в НИЯУ МИФИ параллельно с длительным изготовлением полномасштабного имитатора БПУ во ФГУП УЭМЗ и резко сократить срок поставки ПМТ-4. Структурная схема КТС ПМТ-4 приведена на рис. 5.



Рис. 4. Полномасштабный имитатор БПУ ПМТ-4 и виртуальный имитатор РПУ/БПУ ПМТ-4

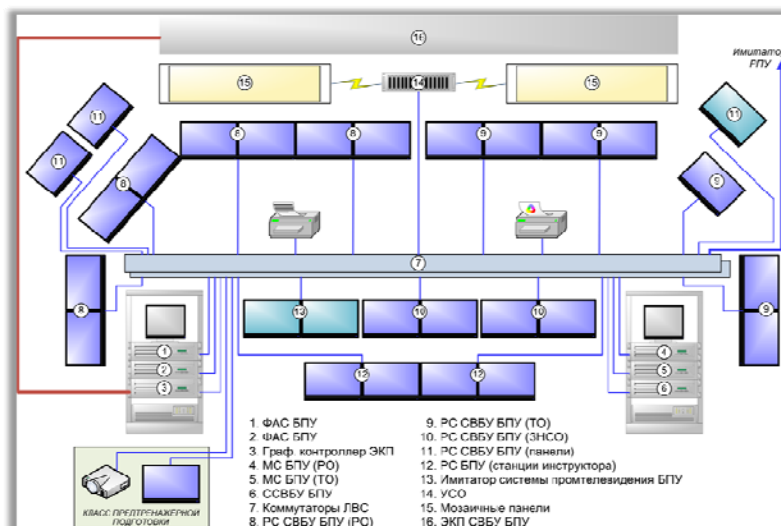


Рис. 5. Структурная схема КТС ПМТ-4

Система информационного обмена моделирующего компьютерного комплекса (МКК) с УСО имитатора БПУ строится на базе серверов ОРС и клиентов ОРС на узлах моделирующего комплекса. И сервер, и клиент ОРС являются программами и могут обеспечивать обмен как в пределах одного узла, так и между узлами.

Устройство связи МКК ПМТ-4 с пультами имитатора БПУ выполнено на базе современных контроллеров семейства Wago750. Для связи с контроллерами Wago используется протокол Modbus TCP. Применение контроллеров Wago750 вместо средств ТПТС, ранее использованных в устройстве связи с объектом УСО ПМТ блока № 3 Калининской АЭС, резко увеличило быстродействие, уменьшило объем УСО и сделало его регулярным, при одновременном резком уменьшении его стоимости, а использование стандартного протокола Modbus TCP сделало УСО более открытым и легко настраиваемым. Контроллеры установлены непосредственно в пультах и панелях имитатора БПУ, что уменьшило количество оборудования и резко упростило его монтаж и наладку. Всего через 31 контроллер Wago750 подключено 13334 сигнала пульта. Сигналы на имитаторы спецсистем (100 сигналов) передаются по 12 каналам RS-485. На рабочие станции СВБУ ПМТ-4 передаются 95304 дискретных и 18854 аналоговых сигналов, определяемых штатной рабочей базой данных СВБУ энергоблока. Организация связи МКК с имитатором БПУ ПМТ-4 представлена на рис. 6.

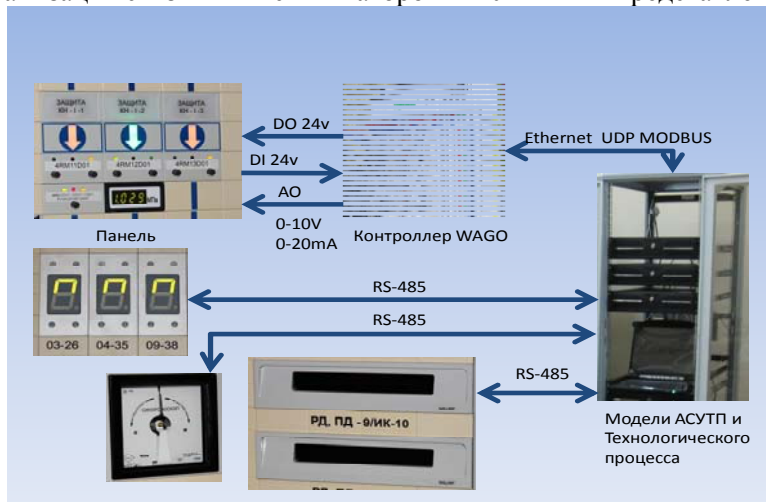


Рис.6. Организация связи МКК с имитатором БПУ ПМТ-4

Полномасштабная модель энергоблока ПМТ-4. Моделирование процессов и систем АЭС в ПМТ-4 осуществляется функционирующим в среде специального системного ПО (платформа ЭНИКАД) комплексом расчетных программ, составляющим моделирующее программное обеспечение (МПО). Структура МПО ПМТ-4 представлена на рис. 7.

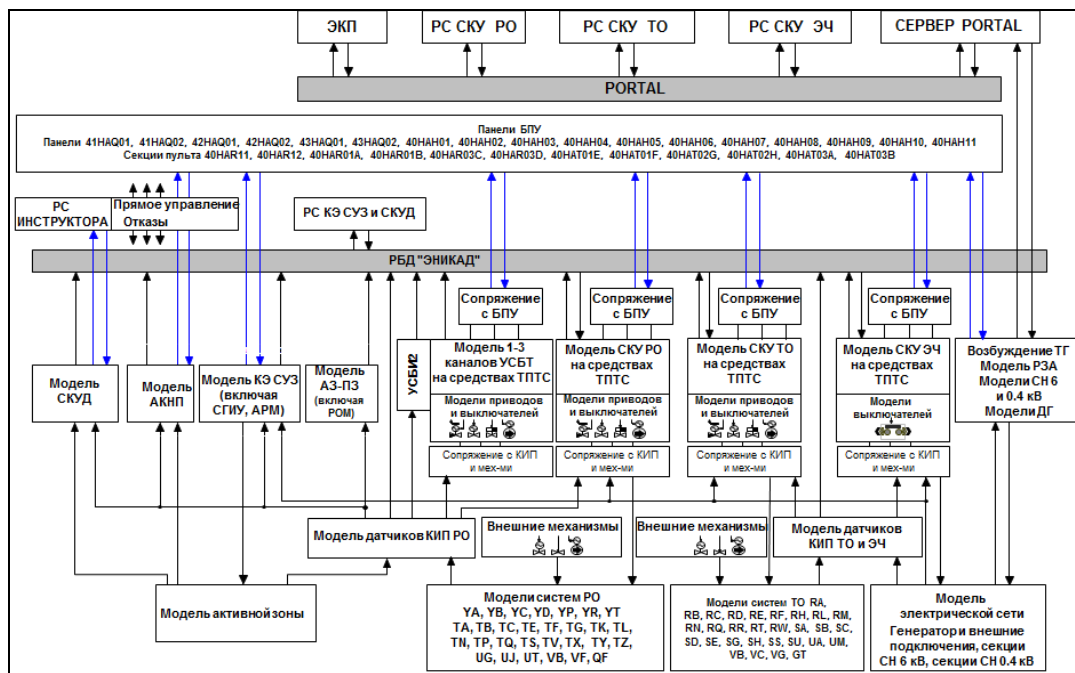


Рис. 7. Структура моделирующего ПО ПМТ-4

Объем моделирования систем АЭС и перечень воспроизводимых эксплуатационных режимов соответствуют требованиям, установленным стандартом ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Технические средства обучения. СТО 1.1.1.01.004.0680-2006». В объем моделирования включены все технологические системы и оборудование, оперативный контроль и управление которыми осуществляются с БПУ/РПУ, а также, в необходимом объеме, оборудование и технологические системы, не управляемые с БПУ/РПУ, но оказывающие существенное влияние на моделируемые режимы. Объем и глубина моделирования обеспечивают адекватное поведение полномасштабной модели энергоблока в ходе тренажерного занятия или других видов сессий функционирования ПМТ-4, в том числе при его использовании в противоаварийных тренировках с воспроизведением ряда запроектных аварий. Состав моделируемых программным комплексом ПМТ-4 технологических систем и оборудования энергоблока обеспечивает воспроизведение:

- режимов нормальной эксплуатации;
- отклонений от режимов нормальной эксплуатации с нарушениями пределов и/или условий безопасной эксплуатации;
- аварийных режимов, вызванных отказами оборудования или ошибочными действиями персонала;
- запроектных аварий до точки плавления активной зоны.

В ПМТ-4 впервые в России использована не модель СВБУ, как в ПМТ-3, а тренажерная версия штатного прикладного ПО системы верхнего блочного уровня АСУ ТП - СВБУ (сервер, рабочие станции), что обеспечивает полную адекватность функций и интерфейса, а также возможность модернизации этой части полномасштабной модели ПМТ-4 путем простой загрузки актуальной версии ПО штатной СВБУ. Такое решение, в сочетании с уже применявшейся на ПМТ-3 автоматизированной генерацией средствами ПКСТ моделей ПТК ТПТС, составляющих более 90 % нижнего уровня АСУ ТП, позволило обеспечить в ПМТ-4 практически полную адекватность моделирования всей АСУ ТП.

Моделирование процессов и систем АЭС осуществляется расчетными серверами МКК. Моделирующее ПО, за исключением модели активной зоны, разработано средствами систем автоматизированного проектирования моделей (САПР) платформы ЭНИКАД, в состав которых входят:

- САПР моделей тепло-гидравлических систем;
- САПР моделей электрических систем;
- САПР моделей систем автоматики, включая вышеописанные средства генерации моделей ПТК ТПТС по GET-проекту.

Здесь следует отметить основную особенность вышеуказанных САПР. САПР моделей систем автоматики, включая средства генерации моделей ПТК ТПТС, нацелены на создание максимально точной и полной модели АСУ ТП и реально позволяют создавать практически полностью адекватные модели АСУ ТП. Для САПР модели физических процессов в технологических системах энергоблока выбран другой подход – принцип разумной достаточности. Эти САПР используют только те исходные данные, которые можно получить от Генпроектанта блока и нацелены на минимизацию затрат на разработку и отладку полномасштабной модели энергоблока, гарантированно обеспечивающих точность расчета параметров, установленных стандартом ОАО «Концерн Росэнергоатом» СТО 1.1.1.01.004.0680-2006 «Технические средства обучения», до пределов моделирования.

Таким образом, в ходе работ по энергоблокам № 3,4 Калининской АЭС на платформе ЭНИКАД был разработан целый набор программных комплексов, которые обеспечили как создание тренажерного комплекса, обеспечившего своевременную и качественную подготовку персонала этих блоков к эксплуатации, так и эффективный анализ, и тестирование проекта АСУ ТП в ходе его внедрения.

Список литературы

1. Чернаков В.А., Королев С.А., Выговский С.Б. и др. // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2009. № 2.
2. Краюшкин Ю.В., Минаев Е.В., Чернаков В.А. // 1-я Междунар. науч.-технич. конф. «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС». Минск, 25–27 февраля 2015 г.

УДК

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЯДЕРНЫЕ ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ» В УРАЛЬСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Н.Ф. ШКОЛА, В.Ю. ИВАНОВ

*Уральский федеральный университет
Мира, 19, Екатеринбург, 620002, Россия**Поступила в редакцию 30 января 2015*

Уральский регион – один из регионов России, где сосредоточен комплекс предприятий, использующих в производственном цикле ядерные и радиационные технологии. Направление «Ядерные физика и технологии» в Уральском федеральном университете – эффективная система подготовки высококвалифицированных кадров для предприятий ядерно-промышленного комплекса Урала. В основу системы положена проверенная временем концепция генерации новых знаний за счет интеграции собственно учебного процесса, фундаментальной науки и производства. Ресурсы участников процесса подготовки кадров от кафедры с ее образовательным и научно-техническим потенциалом до работодателя с технологическими и инновационными возможностями реализации этого потенциала консолидированы в рамках образовательного кластера.

Кафедра экспериментальной физики физико-технологического института формирует образовательный кластер по профилю «Электроника и автоматика физических установок» направления «Ядерные физика и технологии», развивая как традиционные (специалитет), так и новые (бакалавриат и магистратура) формы обучения. Одна из составных частей кластера – научно-техническое направление «Ядерное приборостроение» кафедры, обладающее весомым потенциалом для решения ряда задач отечественного приборостроения в части ядерной электроники. По направлению имеется более чем тридцатилетний опыт реализации инновационных разработок от «start-up» идеи до промышленного образца. На вооружении Минобороны РФ стоят комплексы специального технического (радиационного) контроля разработки УрФУ. По заданию Главного таможенного комитета разработаны, сданы заказчику, а впоследствии существенно модернизированы более 400 высокотехнологичных рентгенофлуоресцентных анализаторов состава вещества. В содружестве с институтами УрО РАН разработан и выпущен малой серией многомерный быстродействующий мессбауэровский спектрометр. В последние годы для задач импортозамещения контрольно-измерительной аппаратуры АЭС разработаны и апробированы опытные образцы спектрометров на современной технологической основе. На кафедре реализуются крупные инновационные проекты Программы развития УрФУ по созданию высокотехнологичных производств, использующих радиационные и ядерные технологии – Центр радиационной стерилизации и модификации материалов на основе линейного ускорителя электронов до энергии 10 МэВ и Циклотронный центр ядерной медицины на базе циклотрона с энергией протонов до 24 МэВ, представляющие собой весьма сложные полнофункциональные физико-технические комплексы. Опыт собственной научно-практической деятельности по направлению «Ядерное приборостроение» является гарантом подготовки специалистов, способных разрабатывать, создавать и обслуживать самое высокотехнологичное оборудование, в котором наряду со сложной электроникой и современной информационной техникой используются источники ионизирующего излучения.

Учебно-методическое обеспечение кластера представляет собой интегрированную совокупность необходимых компонентов учебного процесса, достаточных для поддержания

образовательного процесса на всех его этапах, включая трудоустройство обучающихся и обеспечивающих его функционирование и динамичное развитие. Учебно-методическое обеспечение представлено учебно-методическими комплексами (УМК) третьего поколения по всем дисциплинам профиля, оформленным в модули, системой контроля учебных достижений обучающихся, лабораторными комплексами с необходимым оборудованием и программным обеспечением, средствами дистанционного сопровождения учебного процесса и удаленного доступа к образовательным ресурсам, программами сквозной производственной практики на предприятиях – партнерах образовательного кластера.

Концепцию развития учебно-методического обеспечения образовательного кластера апробировали при создании учебно-методического модуля «Аналоговые электронные устройства: схемотехника и проектирование». Модуль предназначен для активного применения в различных учебных ситуациях и рассчитан на использование как в аудиторных условиях, так и в самостоятельной работе студентов, включая дистанционное образование. Основу модуля составляют УМК 3-го поколения соответствующих дисциплин бакалавриата, специалитета и магистратуры. Ключевыми особенностями УМК 3-го поколения представляются наличие виртуальной реализации экспериментальных лабораторных работ, средств компьютерного тестового контроля, размещение УМК в среде дистанционного образования. Такая структура модуля максимально соответствует современной концепции развития университетского образования – созданию среды открытого университета.

При разработке образовательного модуля были проведены следующие виды работ:

- разработана структура построения учебно-методического обеспечения модуля, содержащего дисциплины «Схемотехника аналоговых устройств 1»; «Схемотехника аналоговых устройств 2»; «Системы автоматизированного проектирования»; «Расчет и проектирование электронных систем» с учетом имеющегося собственного опыта разработок электронных образовательных ресурсов [1, 2];

- проведено наполнение разделов модуля учебными материалами с ориентацией на все образовательные уровни по направлениям «Ядерная физика и технологии» и «Биотехнические системы и технологии»;

- обеспечен тестовый текущий, рубежный и итоговый контроль на разных этапах обучения с учетом многолетнего опыта тестирования и реализована балльно-рейтинговую оценка результатов обучения;

- обеспечена возможность реализации удаленного доступа к ресурсам модуля.

Исходя из поставленных целей, была разработана структура материалов дисциплин, которые вводятся как составные части модуля:

- программа изучения дисциплины: в программе дается краткая характеристика курса, обозначаются цели и задачи курса, назначение, место и взаимосвязь с другими дисциплинами программы по специальности; описываются навыки, необходимые для успешного его усвоения; даются требуемая литература, порядок обучения, проводится инструктаж как работать с данным курсом;

- электронный конспект полного варианта лекций для студентов и презентации лекций для преподавателя с целью возможной адаптации к текущей форме обучения;

- методическое обеспечение лабораторных занятий, состоящее из разделов, обеспечивающих виртуальный лабораторный практикум с набором заданий и файлов для моделирования и макетный лабораторный практикум;

- тестовые задания для самоконтроля, промежуточного и выходного контроля;

- текущий и выходной компьютерный контроль знаний, в том числе и дистанционный; расписание, экзаменационные материалы;

- дополнительный материал для самостоятельной работы: электронные ресурсы по тематике курса, информационные базы по компонентам, свободно-распространяемые демо-версии программных продуктов (схемотехнических САПР), видео-лекции и методические пособия по виртуальному лабораторному практикуму, базы SPICE-моделей отечественных и зарубежных компонентов, ссылки на сайты производителей компонентов и программных средств проектирования электронных устройств; источники информации.

Модульный принцип построения образовательной программы полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов последнего поколения, регламентирующих подготовку по направлению «Ядерная физика и технологии».

Для достижения высокого уровня профессиональных и специальных компетенций при подготовке специалистов в области электроники в модуле «Аналоговые электронные устройства: схемотехника и проектирование» учтены современные тенденции по использованию элементной базы, новые подходы к обработке сигналов в электронных устройствах, использованы современные решения в области моделирования и технологии проектирования схем приборов. Разработка модуля проведена в расчете на постоянно возрастающие возможности современной измерительной базы лаборатории «Информационной электроники и САПР» [3]. Использование новых компонентов при проектировании электронных устройств кардинально изменило их схемотехнику и способы проектирования [4], при этом на передний план выдвинута задача схемотехнического моделирования электронных устройств, предшествующая их макетированию и экспериментальной проверке. Поэтому в структуру лабораторного практикума по дисциплинам модуля «Аналоговые электронные устройства: схемотехника и проектирование» введены виртуальные практикумы в программной системе схемотехнического проектирования Micro-CAP [5], на базе которого у обучающихся формируются специальные компетенции в анализе и проектировании на современном уровне аналоговых электронных устройств.

Компьютерные лабораторные практикумы дисциплин размещены на базе лаборатории «Информационной электроники и САПР», в которой оборудованы 5 рабочих мест студентов. В состав рабочего места, помимо компьютера и программного обеспечения, входит базовый комплект измерительного оборудования в составе запоминающего осциллографа TDS2002, функционального генератора DAGATRON 8210, источника питания XY3202/2. Лабораторные практикумы дисциплин обеспечены методическими пособиями и содержат две составные части: виртуальную и макетно-экспериментальную. Макетирование схем проводится на макетной плате «Project Board» GL48, GL36. С целью автоматизации проводимых исследований в учебный процесс введен лабораторный практикум в среде LabVIEW с использованием лабораторной станции NI ELVIS и многофункциональной платы PCI-6251 со стандартным набором виртуальных приборов. Лабораторные работы, входящие в состав практикума на станции NI ELVIS, позволяют изучать характеристики аналоговых полупроводниковых приборов и схем детекторных устройств на их основе. Возможности лабораторных практикумов по автоматизации процесса измерения и тестирования исследуемых устройств существенно расширились благодаря использованию сетевых технологий. Использование приборов TOP-уровня – генератора сигналов AFG-3102 и запоминающих осциллографов TDS2012B и TDS5034B, – обеспечивает полностью компьютерное управление ходом выполняемых работ и документирование полученных результатов.

В состав образовательного ресурса введен также виртуальный лабораторный практикум. По всем лабораторным работам подготовлены в электронном виде методические указания. Для самостоятельного изучения практикума разработан регламент его установки на локальные компьютеры пользователя. В настоящее время лабораторные работы используются в учебном процессе и были размещены на образовательном портале el.ustu.ru.

Вопросы компьютерного контроля компетенций представляют большой интерес для преподавателей вузов и создателей средств реализации такого контроля. В вузах компьютерный контроль наиболее распространен по дисциплинам гуманитарного и естественно-научного циклов, поэтому актуальная задача сегодняшнего дня – создание тестовых баз разного уровня по профессиональным и специальным дисциплинам. Для организации эффективного тестового контроля по дисциплинам модуля «Аналоговые электронные устройства: схемотехника и проектирование» созданы банки тестовых заданий и системная база данных в среде адаптивного тестирования АСТ. Тестовая система – двухуровневая, содержит 2 банка тестовых заданий и системную базу данных в среде адаптивного тестирования АСТ. Содержание и структура накопителя тестовых заданий представлены в [2]. Разработанные средства контроля обеспечивают текущий и рубежный контроль по дисциплинам модуля, обучения студентов в режиме тренировки, а также промежуточный контроль на стыке смежных дисциплин. Опыт эксплуатации системы контроля

с 2006 г. показал ее высокую эффективность. За это время тестовый компьютерный контроль прошли более 500 обучающихся.

Профильными предприятиями образовательного кластера по профилю «Электроника и автоматика физических установок» являются ведущие предприятия электронной индустрии региона – инженерная компания «Прософт-системы» и НПО «Автоматики им.акад. Семихатова». На правах участника кластера предприятие обеспечивает следующие виды совместных мероприятий:

- разработка образовательных программ профиля «Электроника и автоматика физических установок»;
- чтение лекций по дисциплинам базового цикла;
- проведение тематических семинаров и экскурсий с привлечением ведущих специалистов предприятия;
- обеспечение квалифицированного руководства практиками всех видов;
- формирование парка приборов и компьютерного оборудования лаборатории «Информационной электроники и САПР»;
- внедрение инновационных технологий в образовательный процесс;
- трудоустройство выпускников профиля «Электроника и автоматика физических установок».

Перспективным представляется опыт создания распределенной учебной лаборатории «Информационной электроники и САПР» в УрФУ и инженерной компании «Прософт-системы». Динамика разработки и вывода на рынок современных САПР весьма высока и делает весьма сложной задачу обновления методических и материальных ресурсов образовательного процесса в ВУЗе. Вместе с тем, производственные предприятия, решая задачу производства конкурентоспособной продукции, обновляют свои материальные и программные ресурсы с более высоким темпом. Поэтому стратегия создания распределенных (ВУЗ+предприятие) учебных лабораторий открывает новые возможности для образовательного процесса особенно там, где от обучающихся требуется знакомство с ресурсозатратными комплексами и технологиями. В распределенной лаборатории «Информационной электроники и САПР» в УрФУ обучающиеся осваивают вводный курс проектирования в системе Micro-CAD, которая представляет достаточные методические возможности в рамках демо-версии и не требует больших вычислительных ресурсов. На площадях инженерной компании «Прософт-системы» обучающиеся знакомятся со средой САПР Cadence Allegro, используемой предприятием в технологическом цикле проектирования новой продукции.

Участие производственного партнера в образовательном кластере является важным для решения кадровых проблем предприятия, особенно обострившихся в последние годы. Так на профильном предприятии кластера «Прософт-системы» за последние 15 лет прошли все виды практик более 50 студентов, из них 26 трудоустроены в компанию.

Модульная структура образовательных ресурсов кластера позволяет эффективно применять их для всех без исключения ступеней и форм образования. В течение десяти лет кафедрой экспериментальной физики ведется подготовка специалистов для ПО «Маяк» (г. Озерск) по очно-заочной форме. За это время целевым подготовлено более 50 инженеров-физиков по специальности «Электроника и автоматика физических установок» для одного из ключевых предприятий ядерно-промышленного комплекса России.

Одним из важных видов образовательной деятельности, реализуемой в кластере, является работа по привлечению талантливой молодежи к обучению в институте, научной и инновационной деятельности, подготовка к успешной карьере. Организована работа открытой школы «Экспериментальная электроника и физика». Проводятся стационарные и выездные мастер-классы в школах УрФО. Планами развития кластера предусмотрено создание портала – сформированной среды активного общения всех участников образовательного процесса профиля «Электроника и автоматика физических установок» направления «Ядерная физика и технологии». Активными участниками процесса могут быть студенты (бакалавры, магистры, специалисты), преподаватели кафедры, работодатели. Как информационный ресурс портал интересен абитуриентам и их родителям.

Список литературы

1. *Школа Н.Ф.* // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. научн. тр. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010, Вып. 26. С. 243-249.
2. *Школа Н.Ф.* // Новые образовательные технологии в вузе: сборник докладов седьмой международной научно-методической конференции, Екатеринбург, 8-10 февраля 2010 года. С.147–154.
3. *Школа Н.Ф., Иванов В.Ю.* // Безопасность АЭС и подготовка кадров. Сборник тезисов докладов IX Международной конференции. Обнинск, 2005. С. 123
4. *Школа Н.Ф., Шамиурин И.Л.* // II молодежная научно-практическая конференция «Ядерно-промышленный комплекс Урала: проблемы и перспективы»: Тезисы докладов, Озерск, 2003. С. 66–67.
5. *Школа Н.Ф., Иванов В.Ю., Ситников Е.Г.* Мультимедийная обучающая система по курсу САПР Micro-CAD: учебное пособие для студентов физико-технического факультета УГТУ-УПИ, обучающихся по специальностям направления 651000 "Ядерная физика и технологии". Екатеринбург, 2000.

УДК 371.693

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ АСУ ТП АЭС И ТЭС

С.Ф. СЕРГЕЕВ

*Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7-9, Санкт-Петербург, 199034, Россия,
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия*

Поступила в редакцию 20 января 2015

Системы управления технологическими процессами (ТП) АЭС и ТЭС являются сложными эргатическими системами, в которых определяющую роль играют квалификация и опыт обслуживающего персонала. В силу этого вопросы профессиональной подготовки, в том числе использование средств электронного обучения служат важным компонентом обеспечения эффективности энергетических производственно-технологических комплексов.

Несмотря на широкое распространение тренажеров и автоматизированных обучающих систем в системах управления энергетическими системами, многими авторами отмечается ряд проблем методологического плана в сфере Е-дидактики, которые сдерживают развитие данных технологий.

Основные проблемы тренажеростроения и автоматизированного обучения связаны с нерешенностью психолого-педагогических и методических вопросов использования обучающих сред. Возможности создания высокоточных имитаций рабочей среды, о чем многие годы мечтали тренажеростроители, не привели к появлению высокоэффективных тренажеров. Этому препятствует наблюдаемый в сложных обучающих средах эффект методической избыточности среды обучения, ведущий к появлению неопределенности в выборе и постановке учебных задач и целей. Моделирующая среда современного тренажера позволяет генерировать учебные задачи в практически неограниченном количестве. Однако их выбор и содержательное, методическое наполнение становятся неопределенными и зависимыми от произвола и квалификации инструктора.

Традиционные взгляды на обучающую среду как специально организованную часть предметного мира (среды обучающей системы) не конструктивны при обучении специалистов высокого класса, где особую роль играет качество и эффективность формируемых в обучаемом когнитивных структур.

Вместе с тем новые информационные технологии имеют значительный потенциал для реализации методологии обучающих иммерсивных сред [1], что позволяет создавать средоориентированные тренажеры для подготовки операторов сложных эргатических систем [2]. Теоретико-методологическому обоснованию возможности внедрения новых информационных технологий на основе новых методологических схем посвящена настоящая статья.

Классическая Е-дидактика

Основные вопросы, рассматриваемые во всех вариантах педагогического знания, связаны с решением проблемы эффективного управления учебным процессом. Делается акцент на обеспечении взаимодействия между преподавателями и учениками, активными элементами обучающей среды и ее обучающим контентом, образовательной средой и личностно-мотивационной и когнитивной сферами учеников.

Дидактическое содержание определяет внешнюю предметно-активную часть процесса обучения и связано с информационно-материальными ресурсами, реализующими педагогические воздействия. Внутренняя часть, определяемая индивидуально-психологическими и личностными качествами ученика, отражает субъектно-активную часть обучающей среды. Эффективное объединение данных ресурсов в рамках единой среды обучения, формирующей индивидуальные обучающие среды учеников, и является главной задачей педагогической науки и Е-обучения в частности.

Классические модели обучения, основанные на метафоре дидактического треугольника, включающего ученика, учителя и учебное содержание, отражают ряд широко используемых в педагогике дидактических принципов, в которых ученик в известной мере пассивен и является субъектом педагогического воздействия. Именно отношения педагога и ученика определяют качество педагогического процесса. Однако основная проблема такого подхода в электронном обучении заключается в том, что он отражает инженерное понимание обучения как управляемого извне информационного процесса, связанного с передачей знаний, рассматриваемых в виде порций структурированной информации. Это противоречит современным научным данным из области обучения человека, в соответствии с которыми процесс научения носит коммуникационную, ориентирующую ученика в зоне учебного содержания, природу [3]. При этом категории «знание» и «обучение» отражают процессы самоорганизации когнитивной системы человека в обучающей среде, а используемые в е-дидактике классические определения знаний излишне механистичны, метафизичны и метафоричны.

Наблюдаемая в эволюции систем АСУ ТП тенденция к тотальному охвату компьютерными технологиями всех сфер управления энергетическими процессами требует адекватных ответов со стороны создателей систем обучения и тренажеров. Необходим переход от моделей локального информирующего обучения к сетевому диалоговому обучению. Это возможно только при использовании неклассических представлений об обучающей системе как сложной коммуникационной системе порождающей обучающую среду.

Е-дидактика на основе представлений теории иммерсивных обучающих сред

Базовым понятием в неклассических представлениях педагогики и педагогической психологии служит понятие иммерсивной обучающей среды, под которой понимается системная самоорганизующаяся структура, проявляющаяся в виде динамического процесса в субъекте обучения, вовлекающая в свою структуру самые разнообразные элементы внешнего и/или внутреннего окружения с целью обеспечения аутопозиса организма, стабильности личности, непрерывности ее истории. Основные свойства иммерсивной обучающей среды отражены в понятиях: избыточность, наблюдаемость, доступность когнитивному опыту (конструируемость), насыщенность, пластичность, внесубъектная пространственная локализация, автономность существования, синхронизируемость, векторность, целостность, мотивогенность, иммерсивность, присутствие, интерактивность [1]. Научение в иммерсивных средах можно рассматривать как изменение через опыт в среде способа поддержания циклической организации организма обучающегося, что ведет к изменению его области взаимодействий. Обучение в среде связано с логикой развития и деятельностью организма как аутопоэтической системы, реализующей конструирование, сохранение и историческое развитие личности и биологической структуры организма, обеспечивающей его жизнедеятельность в среде опыта.

Отметим, что в тренажеростроении и компьютерных обучающих системах массовой подготовки в настоящее время начинают доминировать конструктивистские представления о сложности и сложных системах в обучении, пришедшие на смену логическим, теоретико-информационным и алгоритмическим концепциям классического системного подхода в педагогике. Можно говорить о переходе Е-обучения к моделям «сложного обучения». Однако существующих дидактических методов и средств, реализующих такое обучение пока явно недостаточно.

Подход к тренажерам как сложным системам требует от проектировщиков нового понимания, что среда и система являются взаимодополняющими понятиями, и рассмотрение

сложных систем вне среды их существования невозможно. Среда является, в сущности, внешней частью системы и во многом определяет ее поведение. Можно говорить о наличии исчезающего контроля в континууме «среда-система». Чем сложнее среда и выделенная в ней система, тем неопределеннее прогноз их взаимного сосуществования. Это ведет к априорной неопределенности поведения сложной системы, что естественно не нравится ее создателям, желающим контролировать все ее функции.

Неклассические и постнеклассические представления, положенные в основание методологии проектирования тренажеров сложных эргатических систем и сред, основаны на синергетических и конструктивистских моделях обучения, рассматривающих процессы самоорганизации и эволюции сложных систем и сред.

Тренажер, в соответствии с излагаемой концепцией, создает среду обучения, которая взаимодействуя с психофизиологической системой ученика, создает в последней особую форму психической реальности – обучающую среду. Именно в ней и происходит консолидация и приобретение нового опыта (обучение). Необходимо отличать среду обучения от обучающей среды. Последняя категория является индивидуальным конструктом, отражающим свойства психофизиологической системы человека в процессе обучения. Свойства обучающей среды являются определяющими для получения обучающего эффекта. На свойства обучающей среды влияет множество личностных и ситуативных факторов, связанных с особенностями участников учебной коммуникации и среды и ситуации обучения. Это, например, стили обучения [4], когнитивные стили и интеллект [5], особенности личности и ее мотивационной сферы. Однако практическое использование в проектировании обучающих систем знаний психодиагностики сталкивается с научной отсталостью используемых концептуальных и измерительных средств. Следует признать, что существующие технологии использования психологического знания в процессах автоматизации учебного процесса малоэффективны.

Концепция ориентирующей кооперации

Для объяснения процессов обучения в сложных операционально-замкнутых самоорганизующихся системах, к которым относится человек, предложена обобщенная модель ориентирующей кооперации, в соответствии с которой коммуникационная ориентация является основным механизмом научения в живой системе [3]. При этом коммуникация рассматривается как социальная автореферентная аутопоэтическая система, включающая в состав своих элементов участников коммуникации, которые играют свои роли в соответствии с формируемыми в данной системе смыслами.

Основные положения концепции ориентирующей кооперации следующие:

1. Мозг является физической системой аутопоэтического типа, создающей и поддерживающей целостность генерируемого в нем психического содержания.

2. Человек посредством ориентирующей коммуникации непрерывно ассимилирует в структуры своего конструирующего опыта позитивные аспекты интерактивных контактов перцептивных систем с миром, дающие потенциал для самосохранения и продолжения биологической и социальной эволюции.

3. В процессе обучения возникают связанные друг с другом циклы обработки информации и циклы формирования инструментов для обработки информации. Идет непрерывный на всех временных уровнях процесс поиска и создания эффективных когнитивных инструментов, позволяющих познавать мир в русле создания личной истории человека.

4. Обучение есть вмешательство в процессы порождения опыта и когнитивных инструментов посредством коммуникационной ориентации субъекта и внедрения соответствующей информации.

5. Самообучение человека строится на основе рефлексивной самоориентации, протекающей в форме процесса внутренней коммуникации субъекта с самим собой и своим внутренним миром. Сознание при этом является инструментом социальной и эго коммуникации, вовлекающим человека в процессы аутопоэзиса своего Я.

6. Знание как результат педагогического процесса формируется на социальном, психологическом и нейробиологическом уровнях и является системным, неотделимым от

человека, погруженного в профессиональную среду, свойством его психобиологической организации, воплощенным в нее.

7. Субъект работает со своим субъективным миром посредством обмена и интерпретации циркулирующей в нем информации, а мозг работает с физическим миром посредством фиксации изменений, возникающих на входах перцептивных систем [3].

В соответствии с концепцией ориентирующей кооперации, обучающие системы являются системами, организующими и поддерживающими информационную среду в виде динамической системы, в которой проходят процессы коммуникации ориентирующие когнитивные и личностные механизмы ученика в зоне учебного содержания направленного на порождение (конструирование) учебного результата.

Спецификой обучающей коммуникационной метасистемы является ее направленность на получение педагогического результата. Роль преподавателя заключается в поддержании вектора обучающей коммуникации, ориентирующей в направлении обеспечения обучающего эффекта. Заметим при этом, что педагог создает условия для возникновения обучающей коммуникации и в этом он самостоятелен. Однако при реализации коммуникации его свобода и активность ограничены свойствами и механизмами самоорганизации, возникающими и действующими в конкретной учебной ситуации.

Перспективные технологии ориентирующего обучения

Реализация рассмотренных выше методологических аспектов неклассической Е-дидактики в средоориентированном подходе возможна (хотя и частично) при использовании современных информационных технологий. К числу перспективных для электронного обучения можно отнести сетевые и облачные технологии, позволяющие создать гибкие информационные иммерсивные среды.

Термин «облачные вычисления» (cloud computing) обозначает сервисы, поддерживающие приложения, размещенные на удаленных серверах. Это парадигма удаленного и распределенного хранения и обработки данных. Поскольку обучение есть рекурсивная коммуникационная ориентация ученика в учебной информации, а облачные технологии позволяют осуществлять эту ориентацию независимо от природы информации, местоположения и времени участников информационного взаимодействия, то очевидно, что облачные сервисы могут расширить возможности тренажеров и обучающих систем. Среда обучения должна обеспечить существование дискурсного пространства для свободного обмена знаниями.

Облачные сервисы позволяют организовать сетевое обучение в рамках единой виртуальной среды, предоставляющей образовательные услуги широкому кругу распределенных территориально пользователей.

Вместе с тем использование транснациональных облачных технологий в профессиональном обучении и подготовке операторов АСУ ТП в определенной мере ограничено и связано с режимным характером и спецификой их деятельности:

- необходимостью обеспечения информационной безопасности;
- необходимостью ограждения облачных структур от специальной информации и решения проблем стыковки курсов созданных на разных технологических платформах;
- борьбой с системами глобального анализа циркулирующей в интернете информации.

Облачные технологии в ближайшем будущем могут стать основным технологическим элементом систем образования и профессионального обучения. Это альтернатива традиционному обучению, создающая возможности для персонального обучения, накопления и использования педагогического и учебного опыта. Сетевое облако предоставляет возможности для всех участников образовательного процесса вести совместную работу и вступать в обучающую ориентирующую коммуникацию широкому кругу пользователей, независимо от их местоположения.

Следующая технология позволяющая создать обучающие системы организованной сложности, связана с понятием «интернет вещей» (Internet of Things – IoT). Оно отражает в своем первоначальном значении вычислительную сеть объектов (вещей), оснащенных устройствами и технологиями для связи и взаимодействия между собой. В дальнейшем, после

появления в 2003 г. протокола IPv6, позволяющего присвоить адреса 1039 объектов, данная технология получила новое развитие, давая возможность создания компьютерных сетей связывающих в виртуальной цифровой реальности все объекты мира между собой, обеспечивая глобальное позиционирование и сбор информации о свойствах и истории каждого из них. Этими объектами могут быть и конкретные люди, и элементы изучаемого технологического оборудования.

Возникающий поток информации позволяет создавать исторические описания каждого предмета, а в отношении человека – фиксировать весь его опыт взаимодействий с материальным миром. Интернет вещей не ограничен только связью с вещами, снабженными метками радиочастотной идентификации (RFID), а рассматривается в контексте объединения с такими технологиями будущего, как всепроникающие компьютерные системы и интеллектуальная окружающая среда (Pervasive Computing, Ubiquitous Computing, Ambient Intelligence). Возникающие в результате такого объединения возможности по направленному влиянию на человека чрезвычайно велики и позволяют проводить тотальный контроль и управление его жизненным миром. Технологии IoT позволяют формировать непрерывный поток данных о человеке и среде его деятельности в реальном времени, на основании которого можно создавать индивидуальные обучающие среды-тренажеры, вовлекающие в свою организацию и функционирование только полезные в учебном контексте объекты мира и их виртуальные двойники. В зависимости от протекающих в обучающих сетях процессов возможно оперативное реконфигурирование обучающей сети для придания ей тех или иных свойств. Интересным вариантом сред обучения может стать управляемая среда профессиональной деятельности, вовлекающая в жизненный опыт операторов фрагменты отношений с реальными объектами/субъектами мира, которые ведут к приобретению нового опыта.

Выводы

1. Создание современных эффективных компьютерных обучающих систем для подготовки операторов сложных эргатических систем операторского профиля сдерживается ограничениями, вызываемыми классическими взглядами на обучение, формирующими дидактику E-обучения.

2. Развитие неклассической методологии средоориентированного обучения и появление сетевых глобальных технологий и методов сетевой интеграции разнородных данных позволяет реализовать перспективные технологии обучения, учитывающие процессы самоорганизации в психике человека и социальной коммуникации в условиях тотальной информационной интеграции виртуального и физического миров.

Список литературы

1. *Сергеев С.Ф.* Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. М., 2008.
2. *Сергеев С.Ф.* // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. 2013. Вып. 5. С. 13–38.
3. *Сергеев С.Ф., Сергеева А.С.* // Открытое образование. 2014. № 5 (106). С. 41–48.
4. *Сергеев С.Ф.* // Школьные технологии. 2010. № 5. С. 19–27.
5. *Сергеев С.Ф.* // Школьные технологии. 2010. № 4. С. 43–51.

УДК 371.693

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ НА ПОЛНОМАСШТАБНЫХ ТРЕНАЖЕРАХ АЭС

В.П. ТРЕТЬЯКОВ, Л.Н. ГОРЮНОВА

*ФГАОУДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации»
Авиационная, 23, Санкт-Петербург, 196135, Россия,*

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия*

Поступила в редакцию 02 февраля 2015

Обучение оперативного персонала блочных щитов АЭС на тренажерах решает задачу поддержания постоянной готовности обучаемых к действиям в экстремальной ситуации. Сегодня на всех Российских АЭС каждый оператор должен ежегодно проходить 80-часовое обучение на полномасштабном тренажере. В ближайшее время планируется увеличение срока этого обучения до 120 ч. Решив материальную и организационную стороны тренажерной подготовки, к сожалению, забыли о методической. Программа и, главное, методика обучения является творчеством опытных работников АЭС-инструкторов – хорошо знающих оборудование АЭС людей. Обучение на базе собственного опыта приводит к тому, что эффективность средств, вложенных в тренажерную подготовку, становится заложницей опять того самого «человеческого фактора», влияние которого на эксплуатацию АЭС в наши дни пытаются уменьшить.

Цель настоящей методической разработки – повысить КПД тренажеров за счет адекватного задаче методического обеспечения обучения. Под таковым авторы подразумевают методики, при разработке которых учитывается специфика профессиональной деятельности. Связано это во многом с тем, что работа человека, который включен в техническую систему, во многом определяется характеристиками самой системы. Человек везде один и тот же, а технические системы, в которые он включен, разные, что требует от него активизации разных психологических качеств. Например, в одном случае, это будут высокие требования к восприятию и моторному действию, в другом – к мышлению и коммуникативным особенностям человека.

При работе на атомных станциях, безусловно, важно отрабатывать процедуру пуска и останова блока, но такое использование тренажера это явное сужение его возможностей в сегменте обучения «человек-автоматизированная система». Дело в том, что вероятность возникновения нестандартной ситуации, требующей от оперативного персонала вмешательства в действия автоматики, достаточно велика. Считается, что для АЭС чаще всего максимально сложные ситуации являются следствием серии различных нарушений и отказов, обычно независимых друг от друга, и чаще возникают при работе в переходных режимах, так как многие неисправности проявляются только в этих условиях [1]. Одновременное возникновение различных независимых неисправностей может привести к внешне противоречивым, несогласованным показаниям приборов, требующим конкурирующих воздействий. Это сильно затрудняет и понимание того, что происходит, и выбор правильных действий. Так, понимание причин и своевременное вмешательство персонала при «зависании» предохранительного клапана компенсатора объема на АЭС «Три-Майл-Айленд» и «Норд-Анна-1» и несрабатывании клапана на нагнетательном патрубке ГЦН в инциденте на АЭС «Сан-Онофр-1» могло бы предотвратить развитие аварийной ситуации [2]. Именно это заставляет разработчиков при создании программы тренажа оперативного персонала АЭС не ограничиваться пуском и остановом блока.

Многолетние исследования, проводимые авторами на Кольской АЭС, Запорожской АЭС в 1990-е гг. [3], позволили сформулировать, какие эксплуатационные ситуации должны стать основой программы подготовки. Сравнение результатов исследований, проведенных на этих двух станциях, показывает важность учета опыта эксплуатации станций в целом и личного опыта оператора при планировании программы обучения. Авторы пришли к выводу о необходимости индивидуальных траекторий обучения персонала. Для составления индивидуальных траекторий обучения используется специальное диагностическое индивидуальное психофизиологическое обследование – «Методика определения индивидуальных приоритетов», которая и является основой построения программы обучения. [4].

Поиск ответа на вопрос о способах обучения заставляет операционализировать понятие «надежность профессиональной деятельности, учитывая эксплуатационные ситуации, которые могут ожидать персонал АЭС. Известно, что надежность деятельности в системах «человек-техника» обеспечивается сформированностью у человека пяти моделей деятельности (в целом они составляют мысленную модель объекта управления) [5].

1. Технологическая модель – это субъективное представление человека о структуре и топологии оборудования и протекающих в нем материальных и энергетических процессах.

2. Функциональная модель – это вырабатываемый человеком образ существующих причинно-следственных взаимосвязей между возможными изменениями и нарушениями в технологическом процессе. Благодаря функциональной модели оперативник осуществляет анализ тех ситуаций, с которыми он сталкивается в процессе эксплуатации оборудования.

3. Причинно-следственная модель – это образ существующих причинно-следственных взаимосвязей между возможными изменениями и нарушениями в технологическом процессе, но в отличие от функциональной модели, где единицами модели являются понятия о состояниях элементов технического процесса, здесь единицами являются отражения состояний технического процесса в приборной и другой информации, воспринимаемой оперативником в процессе деятельности. Такая замена единиц модели ускоряет процесс анализа за счет ускорения считывания информации.

4. Алгоритмическая модель предполагает, что дальнейшее ускорение процесса анализа эксплуатационных событий достигается за счет еще большего ускорения считывания информации, так как в процессе работы оперативный персонал замечает, что некоторые события можно опознать, не прибегая к перебору всех его признаков, не совершая всех логических шагов по причинно-следственным связям.

5. Образная модель является предельным случаем алгоритмической. О ее наличии можно говорить, когда оперативник схватывает сразу весь «образ» текущей ситуации.

В описываемом авторами случае при рассмотрении мысленных моделей оперативного персонала АЭС их можно представить таким образом: оборудование АЭС – это то пространство, где во временном режиме различных эксплуатационных ситуаций развертываются проявления основных физических законов. Мысленная модель оборудования АЭС – это модель оборудования, обладающая пространственно-временными характеристиками мыслительных процессов.

Практически для любой оперативной должности на АЭС человек готовится достаточно долго, но даже и тогда, когда он формально уже допущен до нее, он еще не оперативник, – пройдет год, а иногда два или три, и только тогда он полностью освоит деятельность. Психологическая природа этих сложностей заключается в том, что процесс формирования мысленной динамической модели представляет собой процесс преобразования технологической модели в функциональную, которая, в свою очередь, преобразуется в причинно-следственную, переходящую в алгоритмическую, а алгоритмическая – в образную [5]. Сформированность этих пяти моделей определяет глубину понимания персоналом объекта управления. Наиболее очевидна важность глубины понимания в максимально сложных ситуациях.

Существует два методических подхода формирования мысленной модели объекта управления, базирующихся на учете психологической структуры деятельности не вообще человека, а именно оператора энергоблока. Первый алгоритмический подход к подготовке операторов может быть кратко изображен в виде формулы: оперативные знания – оперативные

решения – оперативные навыки [6]. Основой этого метода обучения являются алгоритмические способы описания эксплуатационных событий. Таких способов два – это деревья оценки ситуаций и планы действий. Чтобы подготовить оперативный персонал к анализу технологической ситуации, обучить его приемам поиска причин отклонения режима от нормы, используют «деревья оценки». В целом дерево представляет собой как бы карту всех возможных путей возникновения нарушения. В реальной технологической ситуации имеет место один из этих путей. Оператор должен не только знать все пути, но и уметь найти единственный, соответствующий режиму блока. Когда причина отклонения определена оператором, необходимо устранить ее и восстановить нормальную работу энергоблока. Если устранить причину отклонения не удастся, оператор стремится к максимальной компенсации ее вредного влияния, наибольшему приближению к нормальному режиму эксплуатации. В любом случае требуется найти план ответных действий.

Планы действий – это карты путей достижения цели с помощью наличных средств и с учетом реальных ограничений. Достоинством планов действий является их графическая наглядность. Ценность предложенного подхода в том, что он хорошо соотнесен со спецификой деятельности операторов энергоблока, в очень детальной и полной проработанности многих методических вопросов. Однако автор алгоритмического подхода А.Г. Чачко видит его ограничения. В частности, подготовка операторов по жестким, вполне определенным алгоритмам обеспечивает четкие знания конкретных последовательностей действий, но подавляет возможности самостоятельного оперативного мышления в нестандартных ситуациях» [6]. Ценность алгоритмического подхода несомненна – все, что можно описать при помощи алгоритмических способов описания, должно быть описано.

Второй подход – порождающий. Основная идеологическая установка предложенного метода порождения дать возможность человеку-оператору максимально моделировать сложные, подчас экстремальные ситуации. Чем невероятнее сочетание событий, тем больше будет отдачи от предложенного метода. По сути дела идеология порождающих игр противоположена той, которая заложена в алгоритмическом подходе. Главным отличием предложенного авторами подхода является то, что обучаемый сам генерирует опасные события. Именно это позволяет основное внимание уделять развитию навыков оперативного мышления у человека, которые и являются основой антиципации, предсказания развития событий. Порождение возможных ситуаций снимает главный недостаток алгоритмического подхода [7]. Перенос акцент с действий на мыслительную основу деятельности оператора, порождающие методы в своей конструкции учитывают два базовых процесса инженерии знаний [8, 9].

Под Knowledge Sharing (англ. обмен знаний) понимается процесс передачи и получения знаний между людьми, способствующий появлению нового понимания относительно решаемых задач. Первыми порождающими играми стали игры, где карты описывали симптомы основных изменений ситуации на блоке. Правила игры позволяют моделировать из них достаточно большое количество ситуаций. В этих карточных играх может участвовать от двух до двенадцати человек одновременно. У участников игры есть общая цель – собрать максимальное количество симптомов ситуации и расположить их в логически связанную цепь событий. И еще доказать другому, что он прав, такая ситуация с такой последовательностью симптомов действительно может произойти. Таким образом, игра представляет собой площадку, где происходит интенсивный обмен знаниями между участниками. Игроки и их обучающие до начала игры не знают о том, какую ситуацию они будут создавать из карточек-симптомов. Приноса с собой на занятия свои знания и свой опыт люди, осуществляя процесс обмена знаний, создают новые знания, что либо позволяет им сохранить достигнутые компетенции (поддержание знаний), либо их улучшить (получение знаний).

Transactive memory – транзактная память – это знания о распределении мастерства внутри команды, которые позволяют отдельным участникам приспособить свое поведение в соответствии с ожиданиями других и компенсировать их индивидуальную слабость и силу. Транзактная память формируется в порождающих играх второго поколения: «Смена», «Город», «Идеальный муниципальный совет», «Стратегическое планирование организаций» [6]. Достигается это за счет введения в игру двух характеристик игроков-должности и игровой роли. Причем игровая роль некоторых игроков должна стимулировать их, создавать помехи на

пути успешной деятельности других игроков. Разработанная методика тренажерной подготовки – это рациональное сочетание двух методических подходов. В их сочетании, по мнению авторов, и лежит путь к повышению КПД полномасштабных тренажеров энергоблоков.

Список литературы

1. Общие принципы безопасности, учитываемые при проектировании атомных электростанций. Руководство по безопасности. Вена, 1988.
2. *Meclot B., Griffon-Fouco M.* // Man-machine interface in the nuclear industry. Vienna, 1988. P. 51–60.
3. *Третьяков В.П.* Психология обеспечения безопасности эксплуатации АЭС. М., 1993.
4. *Горюнова Л.Н., Третьяков В.П.* // Докл. II Росс. Междунар. энергетич. форума «Энергетическому комплексу России – квалифицированные кадры. Кадровое обеспечение отрасли», 17–20 июня 2014.
5. *Галактионов А.И.* Основы инженерно-психологического проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами. М., 1978.
6. *Чачко А.Г.* Подготовка операторов энергоблоков. М., 1986.
7. *Пушкин В.Н.* Оперативное мышление в больших системах. М., 1965.
8. *Третьяков В.П., Журавлева А.А.* // Вест. Санкт-Петербургского университета. 2012. Серия 12. Вып. 4. С. 35–40.
9. *Сергеев С.Ф., Заплаткин Ю.Ю., Захаревич М.А., Соколов В.Н.* // Российский научный журнал. 2012. № 27. С. 132–141.

УДК 001.891.572

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА В СРЕДЕ MATHCAD КАК УЧЕБНАЯ ЗАДАЧА

Н.Н. КУДРЯКОВ

*Институт ядерной энергетики
Солнечная, 41, Сосновый Бор, 188544, Россия*

Поступила в редакцию 6 февраля 2015

Математическое моделирование процессов и объектов является одной из профессиональных задач, которые должны решать специалисты в целом ряде технических областей. Это относится и к ядерным энергетическим технологиям. Обучение построению и исследованию математических моделей рассматривается как одна из задач высшей школы [1,2]. Закономерен вопрос о методах подготовки; т.е. об учебных задачах, в ходе которых происходит приобретение умений, носящих предварительный характер. Такой учебной задачей можно считать построение динамических моделей систем управления в среде Mathcad.

Недостатки Mathcad очевидны: это невозможность построения программ, работающих в «бесконечном», в т.ч. в реальном, времени, т.е. невозможность построения программных изделий, функционально аналогичных моделирующим и тренажерным комплексам. Ограничены возможности Mathcad в оформлении типовых вычислительных процедур.

Вместе с тем Mathcad можно считать почти идеальным средством по формированию первоначальных навыков в построении математических моделей и общей культуры математического моделирования. Обучение построению математических моделей следует считать самостоятельной педагогической задачей. Построение математической модели должно рассматриваться как познавательная и творческая деятельность, в ходе которой происходит выделение объекта моделирования и его содержательный анализ, принятие физических допущений, составление расчетной схемы, подготовка данных; запись уравнений сохранения и замыкающих соотношений; преобразование уравнений в численную схему, программная реализация вычислительной процедуры, оформление результатов.

Умение оформлять модель в виде изделия и документа, которым могут пользоваться другие, должно рассматриваться как профессионально значимое. Умение составлять руководство пользователя, руководство программиста и т.п., следует формировать осознанно; объектом, разработка которого требует создания документации, может стать оформленная в виде программного изделия расчетная модель. Все элементы и этапы разработки математической модели могут быть реализованы и отработаны в учебном процессе с использованием Mathcad.

В Mathcad можно построить модель системы управления, реализующую задачу Коши и воспроизводящую переходный процесс в течение конечного промежутка времени. В этом отношении Mathcad предоставляет те же возможности, что и язык высокого уровня, если он используется для отладки и эксплуатации программ в т.н. пакетном режиме. С точки зрения формирования общей культуры математического моделирования и с точки зрения методики Mathcad даже предпочтительнее, чем классические языки высокого уровня. В ряде российских вузов и НИИ ведется разработка учебных задач и методического обеспечения по моделированию кинетики и динамики ядерного реактора (ЯР) в Mathcad различных версий [3]. В Институте ядерной энергетики – филиале Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в г. Сосновый Бор с участием автора в Mathcad-15 построена в учебном процессе подборка математических моделей динамики ядерной паропроизводящей установки типа ВВЭР. Имеется подборка файлов и заданий к их построению, воспроизводящих

в виде задач отдельные физические эффекты и направленные на первоначальное ознакомление с Mathcad. К таким задачам относятся:

- построение точечных моделей нейтронной кинетики с одной и с шестью группами запаздывающих нейтронов и их сравнение; исследование зависимости периода реактора от реактивности, сравнение динамики при вводе положительной и отрицательной реактивности;
- принцип управления элементарным реактором;
- общий подход к описанию реактивности в задачах динамики и управления;
- действие органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ);
- описание динамики концентрации борной кислоты и ее воздействия на реактивность;
- кинетика реактора в подкритическом состоянии с внешним источником нейтронов;
- описание температурного режима ядерного топлива;
- описание температурного режима теплоносителя в обогреваемых и необогреваемых объемах;
- кинетика и динамика реактора с учетом обратных связей по температуре топлива и теплоносителя, управление реактором с действующими обратными связями;
- динамика ксенонового и самариевого процессов, получение стационарного отравления, эффект нестационарного отравления как положительной обратной связи, управление реактором в условиях нестационарного отравления.

На рис. 1 приведен результат учебной задачи, отображающей изменение долей источников запаздывающих нейтронов при переходном процессе, вызванном внесением положительной реактивности (+0.003). Доли групп с большими временами (1-я и 2-я) уменьшились, а доли групп с малыми временами жизни (особенно 3-я и 4-я) увеличились. Новый спектр источников запаздывающих нейтронов сформировался примерно через 30 с после начала процесса. Увеличение доли короткоживущих источников объясняет, почему переходные процессы в реальности происходят быстрее, чем это может показать одногрупповая модель.

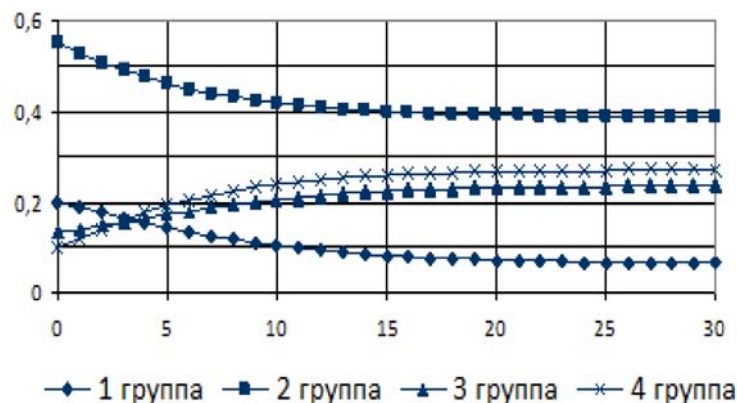


Рис. 1. Изменение спектра источников запаздывающих нейтронов в процессе с положительной реактивностью

На основании вычислительных процедур и данных, реализующих перечисленные выше задачи, формируется комплексная модель динамики реактора. На рис. 2, 3 представлены результаты моделирования регулирования мощности ВВЭР в полупиковом режиме в диапазонах $0,05 \div 0,95$ и $0,7 \div 0,95$ высоты активной зоны.

В момент $\tau = 0$ начинается уменьшение заданного значения мощности по линейному закону с тем, чтобы достичь значения 50 % в течение 2 ч. Принято, что регулирующая группа ОР СУЗ работает в диапазоне $0,05 \div 0,95$ высоты активной зоны. По достижении верхнего предела подается чистая вода, нижнего – борный раствор. Начальное положение ОР СУЗ – 0,9 высоты активной зоны.

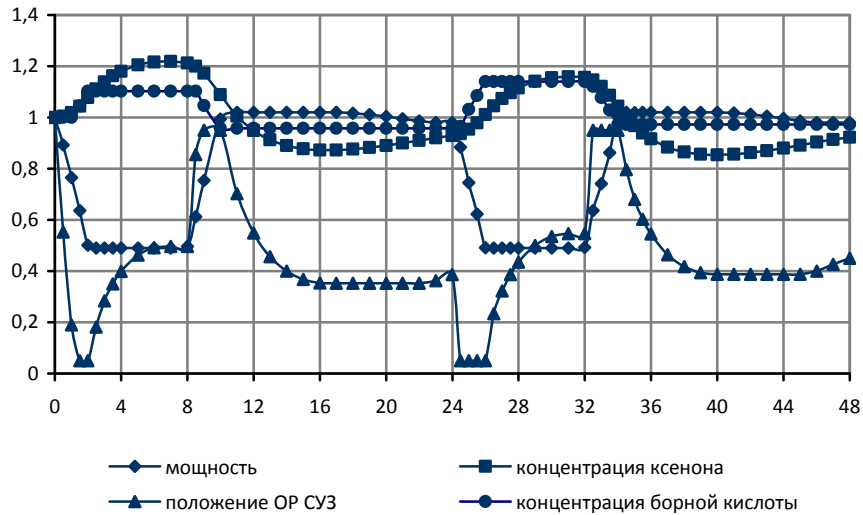


Рис. 2. Динамика параметров реактора в полупиковом режиме регулирования мощности при ходе ОР СУЗ в диапазоне 0,05÷0,95 высоты активной зоны

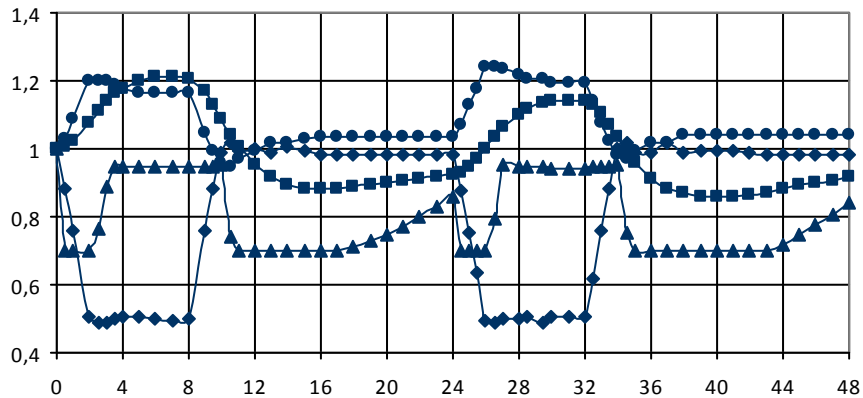


Рис. 3. Динамика параметров реактора в полупиковом режиме регулирования мощности при ходе ОР СУЗ в диапазоне 0,7÷0,95 высоты активной зоны

С началом снижения мощности начинается рост концентрации ксенона. В течение примерно получаса регулирующая группа достигает нижнего предела, начинается подача бора. В момент $\tau = 2$ ч. мощность достигает значения 50 %. Удержание мощности происходит за счет извлечения группы и преодоления тем самым нестационарного отравления. Что извлечение ОР СУЗ обусловлено именно необходимостью удержания мощности с компенсацией потери реактивности, говорит вид кривой извлечения ОР СУЗ: она подобна кривой накопления ксенона. В момент достижения максимума нестационарного отравления (между 6 и 8 ч) движение ОР СУЗ прекращается. В момент времени $\tau = 8$ формируется команда на увеличение заданного значения мощности, ОР СУЗ извлекается. По достижении группой ОР СУЗ своей верхней границы начинается вывод бора, группа останавливается.

Началу набора мощности соответствует изменение характера кривой ксенона: меняет знак не только первая, но и вторая производная – на распад накладывается усиление выгорания. Начинается разотравление, высвобождается реактивность, мощность удерживается на верхней границе зоны нечувствительности автоматического регулятора мощности (АРМ) работой ОР СУЗ вниз, причем кривая ОР СУЗ подобна кривой убывания ксенона. При достижении ксеноном минимума ход ОР СУЗ прекращается ($\tau \approx 16$). Начинается накопление ксенона, и в момент $\tau \approx 17$ начинается падение мощности. Мощность падает с верхней границы зоны нечувствительности АРМ и до нижней, и пока она остается в пределах этой зоны, управляющие команды не формируются. Вскоре после $\tau = 22$ значение мощности становится меньше нижней

границы зоны нечувствительности, формируется команда на отработку ОР СУЗ вверх, и падение мощности прекращается. Однако в момент $\tau = 24$ формируется команда на новый цикл суточного регулирования мощности. Движение ОР СУЗ вверх прекращается и начинается отработка вниз.

Далее повторяются логика и динамика, имевшие место в начале цикла. Некоторая разница обусловлена тем, что в момент $\tau = 0$ концентрация ксенона была равновесной, а в момент $\tau = 24$ происходит незавершившийся ксеноновый процесс. Также и ОР СУЗ начинает движение из другого положения. Однако качественно наблюдается повторение цикла.

На рис. 3 отображается тот же режим, но нижняя граница диапазона хода ОР СУЗ составляет 70 % высоты активной зоны. Видно, что качество регулирования мощности ухудшается – имеют место колебания мощности как на нижнем, так и на верхнем плато, а диапазон изменения концентрации борной кислоты существенно увеличивается [4, 5].

На рассмотренном примере видно, что средствами Mathcad возможно получить численную модель ЯР, позволяющую воспроизводить принципиально значимые эффекты управления и применимую в качестве учебного средства в целом ряде специальных учебных дисциплин. Умение построить такую модель следует считать безусловным достоинством студента или аспиранта, своего рода компетенцией. Построение и анализ подобных моделей может стать предметом или элементом курсового и дипломного проектирования.

Динамическая модель парогенератора насыщенного пара барабанного типа построена на основе уравнений нестационарного теплового и материального баланса и уравнения постоянства геометрического объема, а также замыкающих соотношений, описывающих свойства воды и водяного пара (плотностей, энтальпий) и их производные в виде полиномов Лагранжа. Входными параметрами модели парогенератора (ПГ) являются величины расходов пара и питательной воды; мощности, передаваемой через теплообменную поверхность, энтальпии питательной воды. Функциональная связь между реактором и парогенератором описывается через величину температуры на выходе из реактора – она же температура на входе в ПГ и через уравнение теплового баланса теплообменной трубки, решаемое относительно температуры на выходе из ПГ – она же температура на входе в реактор.

С использованием модели ПГ может быть решен ряд учебных задач из круга классической теории автоматического регулирования, в частности, воспроизведение динамики стопорно-регулирующего клапана турбины и регулятора питательной воды, влияние на вид переходного процесса структуры и параметров настройки регуляторов; приведение модели ПГ к линеаризованному виду и сравнение исходной – нелинейной – и линеаризованной моделей.

Описание в одном файле моделей ЯР и ПГ дает модель ядерной установки, воспроизводящей ряд динамических режимов и эффектов управления, и могущей служить средством выполнения вычислительного эксперимента по анализу и синтезу алгоритмов и структур управления, то есть – средством подготовки специалиста в области управления технологическими процессами по построению и использованию математических моделей.

Как показывает собственный педагогический опыт автора, работа над такими моделями стимулирует студентов к разработке более сложных программных изделий на языках высокого уровня, в т.ч. интерактивных систем реального времени.

Выводы

Полноценное включение в учебный процесс задач моделирования ядерных реакторов в среде Mathcad – как в виде специальной дисциплины, так и в качестве элемента дисциплин существующих (АСУ ТП АЭС и т.п.) требует решений в организации и методике учебного процесса. Наряду с разработкой учебно-методического обеспечения необходимо обратить внимание на объемы, содержание и методику преподавания общих курсов информатики и вычислительной математики и их обновление в ряде вузов.

Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 141401 «Ядерные реакторы и материалы». Приложение к Приказу Министерства образования и науки РФ № 2051 от 24.12.2010.
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 141403 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг». Приложение к Приказу Министерства образования и науки РФ № 2053 от 24.12.2010.
3. *Кряквин Л.В.* Сборник программ для расчета кинетики и динамики ядерного реактора. ВНИИАЭС . <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/kryakvin/index.asp>
4. *Кудряков Н.Н.* // Экология и атомная энергетика. Научно-технический сборник. 2006. №1. С.65–67.
5. *Кудряков Н.Н.* // Сб. науч. трудов 12-й Междунар. науч.-практ. конф. «Формирование профессиональной культуры специалистов XXI века в техническом университете». СПб, 2012. С. 81–89.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.51

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
СБОРА ИНФОРМАЦИИ С ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ЭНЕРГОБЛОКА АСУ ТП БЕЛОРУССКОЙ АЭС**

Н.Н. АКИМОВ, В.А. КОЛЬЦОВ, С.П. ХАРЧЕНКО

*ФГУПФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»
ГСП-486, Нижний Новгород, 603950, Россия**Поступила в редакцию 2 февраля 2015*

Программно-технический комплекс сбора информации с электротехнического оборудования энергоблока Белорусской АЭС (ПТК СИ), предназначен для контроля электротехнического оборудования энергоблока, питающих элементов СН 10,5 кВ и 0,4 кВ и оборудования АБП СНЭ, СНЭ НЭ и САЭ во всех режимах, предусмотренных проектом АЭС. ПТК СИ является составной частью автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока АЭС и по своим основным задачам дополняет систему контроля и управления электрической частью (СКУ ЭЧ) энергоблока и обеспечивает:

- сбор данных с устройств микропроцессорной релейной защиты (МППЗ), контроллеров электротехнического оборудования (ЭО) и датчиков электротехнического оборудования (через УСО);
- осциллографирование быстротекущих процессов в формате COMTRADE;
- регистрацию и архивирование данных и осциллограмм;
- формирование сообщений аварийной и предупредительной сигнализации и обобщенных сообщений;
- отображение информации о состоянии ЭО на автоматизированное рабочее место (АРМ) ПТК СИ;
- передачу данных в систему верхнего блочного уровня (СВБУ);
- передачу текущих и архивных данных и осциллограмм в локальную вычислительную сеть (ЛВС) АЭС.

Все оборудование ПТК СИ относится к элементам нормальной эксплуатации и соответствует классу 4 согласно НП-001-97. По характеру выполняемых функций ПТК СИ относится к информационным системам.

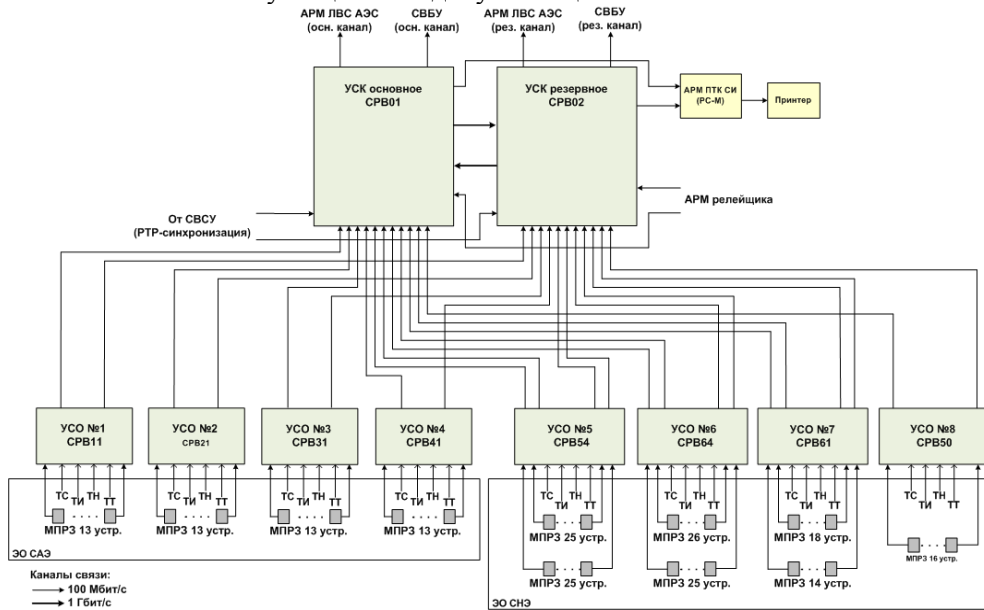
Устройства МППЗ и контроллеры электротехнического оборудования (из состава УСО) интегрируются в ПТК СИ по цифровым каналам связи с применением протоколов МЭК 61850, Modbus/TCP, ГОСТ Р МЭК-60870-5-104.

В электротехническом оборудовании, интегрируемом в ПТК СИ, используются датчики следующих типов:

- «сухой контакт» (дискретный сигнал о состоянии ЭО) на напряжение коммутации 24 В или 220 В;
- измерительный преобразователь (напряжения, тока) с унифицированным выходным сигналом постоянного тока от 4 до 20 мА;
- трансформаторы тока (по трем фазам) с номинальным током вторичной обмотки от 0 до 1 А, от 0 до 5 А;
- трансформаторы напряжения (по трем фазам) с номинальным напряжением вторичной обмотки от 0 до 100 В.

В состав ПТК СИ входят:

- программно-технические средства: устройство серверное коммуникационное (УСК) – 2 шт.; устройство связи с объектом (УСО) – 8 шт.; рабочая станция (РС-М); принтер;
- программное обеспечение (ПО);
- техническая и эксплуатационная документация.



Структура ПТК СИ

Основные принципы построения ПТК СИ перечислим ниже.

1. *Стандартные протоколы связи.* Интеграция устройств и смежных систем в ПТК СИ по стандартным протоколам интерфейсной связи МЭК 61850, Modbus/TCP, ГОСТ Р МЭК-60870-5-104.

2. *Современные аппаратно-программные решения.* Проектирование технических средств ПТК СИ на базе современных аппаратно-программных решений сферы электроэнергетики, отвечающих последним стандартам и требованиям при создании информационных и управляющих систем.

3. *Резервирование.* Архитектура ПТК СИ строится по принципу «дублированная звезда», при котором каждое УСО имеет основной и резервный каналы связи с основным и резервным УСК, обеспечивающая резервирование ЛВС и программно-технических средств верхнего уровня.

4. *Возможность развития.* Расширение ПТК СИ в части интегрируемых устройств и связи с внешними системами.

Основой программных решений является программный комплекс ARIS SCADA ООО «Прософт-Системы», состоящий из серверной и клиентской частей программного обеспечения. Сервер ARIS SCADA предназначен для централизованного сбора, обработки, хранения и предоставления полученной информации в клиентскую часть. Структура сервера ARIS SCADA включает в себя коммуникационный сервер (контроллер) и сервер баз данных (сервер архива). Клиент ARIS SCADA предназначен для отображения информации о состоянии ЭО на АРМ обслуживающего персонала энергообъекта.

ПТК СИ Белорусской АЭС построен на базе современных специализированных аппаратно-программных средств автоматизации объектов электроэнергетики, которые обеспечивают: широкие возможности интеграции электрооборудования различных типов; расширенные возможности по контролю состояния ЭО энергоблока АЭС; сокращение номенклатуры оборудования, применяемого в ПТК СИ; возможность дальнейшего развития, в том числе: в части расширения номенклатуры контролируемого ЭО, обработки и представления информации, а также интеграции с внешними системами.

УДК 621.039.4

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУТП ТЭС И АЭС

Э.К. АРАКЕЛЯН, А.В. АНДРЮШИН, А.П. МИНЗОВ

*Научно-исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Красноказарменная, 14, Москва, 111250, Россия*

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

Проблема обеспечения безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) возникла в 90-х гг., когда на смену отечественному оборудованию пришли зарубежные образцы с соответствующим АСУТП и программным обеспечением. Это, безусловно, увеличило вероятность скрытого управления элементами АСУТП, однако до 2010 года считалось, что закрытые промышленные сети имеют высокий уровень доверия к их безопасности. Появление инцидентов проникновения вредоносного кода StuxNet (2010 г.), Duqu (2011 г.) и особенно Regin (2014 г.) в промышленные сети повлияло на существующие взгляды создания систем защиты инфраструктуры критически важных объектов (КВО). По данным Лаборатории Касперского последний вредоносный код (Regin) направлен на скрытое управление объектами энергетики и промышленности и может быть использован киберпреступниками для достижения определенных целей в масштабах государства. Отсюда возникла необходимость создания отечественных систем АСУТП на основе аппаратных и программных элементов собственного производства и разработки новых механизмов защиты. Первую задачу (импортозамещения) решить в короткие сроки практически невозможно, но вторая задача актуальна уже сегодня, поэтому разработка новых документов, регулирующих деятельность в этой сфере деятельности, является важным этапом обеспечения защиты информации в КВО. С этой точки зрения, приказ ФСТЭК № 31 от 14 марта 2014 г. «Требования к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» является важным и своевременным регламентирующим документом.

Проблемы информационной безопасности АСУТП электростанций на базе современных программно-технических комплексов обусловлены следующими особенностями ТЭС и АЭС:

– технологический процесс ТЭС и АЭС отличается сложностью взаимосвязей между большим числом агрегатов, высокими параметрами рабочей среды, жесткими требованиями к точности их регулирования;

– значительную долю оборудования электростанций и ПТК, на базе которых созданы АСУТП, составляют оборудование и ПТК, произведенные зарубежными фирмами, особенно в последние годы при широком внедрении новых технологий производства энергии на базе газотурбинной установки (ГТУ) и парогазовой установки (ПГУ);

– имеет место тенденция к поставке основного оборудования (котлов, турбин и т.д.) со своей локальной системой контроля и управления, выполненные на различных технических средствах;

– развитие современных АСУТП ТЭС и АЭС идет в основном по пути применения территориально-распределенных АСУТП с установкой полевых контроллеров, перехода на

цифровую передачу информации, создания цифровых промышленных сетей, беспроводных систем передачи информации, интеллектуализация измерительных устройств и запорно-регулирующей арматуры.

Кроме того, переход энергетики на рыночные отношения привело к:

- созданию большого количества управляющих компаний (ОГК, ТГК и т.д.) со своими корпоративными сетями и с удаленным доступом к станциям (в основном – телефон, интернет);
- необходимости передачи большого объема информации со стационарного уровня на уровень управления энергосистемой и обратно (в основном по интернету);
- возможности оперативного управления текущих режимов со стороны СО-ЦДУ(РДУ) – (по интернету).

Указанные особенности при реализации требований указанного выше приказа требуют решения ряда методических и организационных проблем, в том числе наиболее существенные следующие:

1. Информационное обеспечение АСУТП современных ТЭС в зависимости от объема выполняемых функций содержит от 5,0 до 10 – 12 тыс. единиц информации различного рода (аналоговых, дискретных и цифровых), большое число программируемых логических контроллеров (ПЛК), регуляторов и другое оборудование, выполняющее одно из основополагающих положений «Требований» к системе – защиту АСУТП и информации так, чтобы не мешать нормальному функционированию системы АСУТП при указанном объеме обрабатываемой информации, связано с большими сложностями. Например, проблема, как определить необходимый экономически и технически обоснованный объем подлежащей защите функций АСУТП и информации АСУТП.

2. Одной из основных функций АСУТП, независимо от способа ее реализации (традиционное ручное или дистанционное управление, управление на базе программно-технического комплекса (ПТК)) является обеспечение надежной работы технологических защит и блокировок, для чего в АСУТП используется проверка достоверности сигналов, как правило, по схеме «два из трех» и в редких случаях по схемам «один из двух» или «два из двух». Правда, несмотря на это, на практике нередки случаи (особенно в АСУТП на традиционных технических средствах) «ложного» срабатывания технологических защит, и реже – не срабатывания защит (что еще опаснее). Проблема, при разработке систем защиты информации – каким образом будут сосуществовать указанные системы.

3. Концепция приказа № 31 определена из начального условия проектирования, разработки и внедрения АСУТП из элементов доверенной среды. Реально это далеко не так. Всеобщий технический контроль элементов АСУТП либо технически невозможен, либо экономически невыгоден владельцу АСУТП объекта энергетики. Поэтому требуется научная проработка другой концепции, рассчитанной на переходной период до полного импортозамещения элементов АСУТП. Суть этой концепции: создание методологии разработки, внедрения и безопасной эксплуатации АСУТП, работающих в недоверенной среде.

4. Актуальной является разработка нового направления по защите АСУТП с концепцией упреждающей или проактивной защиты. Это возможно в тех случаях, когда управление объектом энергетики проводится одновременно с анализом состояния системы информационной безопасности АСУТП и системы управления объектом энергетики с последующим моделированием его будущего состояния от очередного управляющего воздействия. Во всех случаях, когда управляющие воздействия могут привести к нестационарным процессам и критическим значениям параметров объекта, системой безопасности предпринимаются согласованные с персоналом действия по выводу объекта энергетики на стационарные заданные режимы управления. Следовательно, современные защищенные от внешнего и внутреннего воздействия АСУТП должны иметь легко настраиваемую интеллектуальную надстройку, позволяющую прогнозировать и выявлять заранее процессы, которые могут привести к техногенным катастрофам. Однако такие подходы требуют серьезной научной проработки и моделирования.

УДК 681.51

СИСТЕМА SAIPMS/SDS: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

К. БУТКУС, А.В. ВОЕВОДИН, А.Ф. ТЕРЕХОВ

*«Балтийские информационные системы»
Энергетику, 16D, Висагинас, LT-31220, Литва*

Поступила в редакцию 6 февраля 2015

Система SAIPMS/SDS – программный комплекс, разработанный фирмой SAIC, предназначенный для сбора, обработки, представления информации о работе АЭС в режиме реального времени персоналу АЭС, а также регистрации информации в архивах и протоколах. Система может обмениваться информацией с другими системами реального времени АЭС, а также выдавать управляющие сигналы (например, управляя сигнализацией на блочном щите управления (БЩУ)). В статье рассматривается опыт, накопленный при адаптации, эксплуатации, модификации, расширении системы в применении на АЭС с реакторами РБМК и ВВЭР. Программное обеспечение (ПО) SAIPMS работает под операционной системой HP OpenVMS на платформах HP Alpha/Itanium, а также на платформе Windows и представляет собой централизованную систему с горячим резервированием основных обрабатывающих узлов. Модульная архитектура ПО позволяет расширять функциональность системы, подключая дополнительные источники данных или дополнительные алгоритмы обработки информации, например, функции контроля и представления параметров безопасности. Это позволяет представлять на одном экране комплексную информацию об объектах управления от разных систем. Характерным примером расширения и адаптации системы SAIPMS/SDS является результат ее внедрения в качестве информационно-вычислительной системы (ИВС) на 1-м и 2-м блоках Игналинской АЭС в 1995-2000 гг. В исходную систему были внесены такие серьезные изменения, как:

- внедрение комплекса ПО СМО (специальное математическое обеспечение), содержащего более 20 задач расчета нейтронно-физических и тепловых характеристик реактора РБМК;

- внедрение информационных связей с внешними системами, основными из которых являются: система АЗ по снижению оперативного запаса реактивности (ОЗР) и по снижению раздаточно-группового коллектора (РГК), система дополнительных аварийных защит, АСУТ, САМРБ (радиационный мониторинг), СХВО (химводоочистка), ВИБРО (вибродиагностика ГЦН и ТГ), Кабель-радар (обнаружение течи теплоносителя);

- добавление функций СППБ;

- добавление многочисленных задач человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) представления информации и сопровождения системы;

- русификация системы.

Программно-технический комплекс (ПТК) модернизированной ИВС «Титан» ИАЭС обеспечивает весь комплекс обработки информации, начиная от непосредственного сбора данных с датчиков и заканчивая отображением на БЩУ, включая управление сигнализацией. Доработке под нужды АЭС с РБМК подверглось и ПО ЧМИ системы – SDS. Фрагменты (видеокадры) были разработаны совместно с экспертами-технологами станции на основе фрагментов старой ИВС, обеспечив представление информации операторам в знакомой форме. Положительные отзывы заслужило применение функции подавления паразитной сигнализации на БЩУ. Впоследствии система SAIPMS/SDS нашла применение на ИАЭС в качестве модели ИВС на полномасштабном тренажере, а также в качестве информационной системы радиационного мониторинга. Адаптированное ПО SAIPMS/SDS, прошедшее успешную

эксплуатацию на блоках с реакторами РБМК ИАЭС, было впоследствии использовано в качестве СППБ на 3-м, 4-м, 5-м блоках НВАЭС, а также на Армянской АЭС.

Дальнейшее применение системы SAIPMS/SDS в России было связано с блоками на реакторах ВВЭР. В 2004 г. ИВС на базе SAIPMS/SDS начал работать на 2-м энергоблоке Калининской АЭС. Как и на ИАЭС, здесь сбор информации с датчиков выполнялся контроллерами, входившими в состав «нижнего уровня» ИВС, однако нашла применение и функциональность SAIPMS сбора данных с внешних по отношению к ИВС систем (СВРК, АКРБ, АСКГ) с использованием шлюзовых компьютеров. Серьезное внимание было уделено разработке элементов ЧМИ, что было обусловлено необходимостью соблюдения требований стандартов ЧМИ в балансе с необходимостью обеспечить максимальную преемственность представления информации персоналу БЩУ.

Широкие возможности по настройке и доработке системы под нужды пользователя в полной мере проявились при модернизации ИВС, проведенной на блоках 1, 2 и 3 Балаковской АЭС. Характерной особенностью применения SAIPMS/SDS в данном проекте являлось требование сохранения нижнего уровня старой ИВС (оборудования сбора данных КСО). Сбор информации был реализован через дублированные шлюзовые компьютеры от КСО, а также от таких систем, как ПТК САР ТО, СВРК, АКРБ, АСКГ, СУЗ и других. Функциональность системы ИВС для Балаковской АЭС была расширена на этапе разработки за счет следующих новых функций:

- функций СППБ;
- функции мониторинга текущего состояния энергоблока;
- функции мониторинга состояния систем безопасности;
- функции идентификации аварийного состояния энергоблока;
- функции контроля работы защит и блокировок;
- функции централизованного опробования защит;
- функции диагностики состояния основного оборудования;
- функции представления технологических процедур «Реакция на сигнал»;
- функции «Состояние оборудования»;
- функции расчета технико-экономических показателей.

Значительное внимание было уделено обсуждению и согласованию элементов ЧМИ – на уровнях элементной базы видеокладов, использования цветовой гаммы, а также общего вида отображения информации. Широко применяются технологии подавления паразитной сигнализации, разделения сигнализации по рабочим местам, отображения краткой информации о важных отклонениях в виде технологических сообщений. Характерной чертой ИВС энергоблоков БалАЭС является применение большого количества видеокладов, обеспечивающих представление технологической информации в различных формах. Как и на Игналинской АЭС, система SAIPMS/SDS была использована в качестве модели ИВС на полномасштабном тренажере Балаковской АЭС. Стоит отметить еще и такую особенность системы – в течение этих лет она была портирована на другие платформы, как родственные исходной (HP OpenVMS 8.x для серверов на базе Intel Itanium), так и серьезно отличающиеся (MS Windows Server). Первый вариант был использован при создании ИВС для блока №3 Балаковской АЭС, а второй нашел свое применение при реализации проекта СВУ (системы валидации усовершенствований) на базе полномасштабного тренажера ЛАЭС-1. В рамках данной работы был реализован полномасштабный макет БЩУ, где экраны обратной проекции использовались в качестве панелей, а сенсорные мониторы – в качестве пультов. Связка системы с полномасштабным тренажером (ПМТ) обеспечивает отработку сценариев тренировок устранения аварийных ситуаций, а возможность легко изменять расположение органов отображения и управления на виртуальных пультах и панелях – проводить исследования по поиску оптимальных способов представления информации, помогающих оператору эффективнее справиться с ситуацией.

В процессе работ по внедрению систем на базе SAIPMS/SDS компания BIS плодотворно сотрудничала с производителем продукта – компанией SAIC / DS&S, а также с российскими и зарубежными организациями, такими, как ВНИИАЭС, ЭНИЦ и другими.

УДК 681.51.01

СИСТЕМЫ АСКРО НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ ООО НПП «РАДИКО», УП «АТОМТЕХ», НИИФП БГУ ИМ. А.Н. СЕВЧЕНКО

Л.М. КРЮЧКОВА

*Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие
«Радиационный контроль. Приборы и методы»
пр. Маркса, 14, Обнинск, 249035, Россия*

Поступила в редакцию 3 февраля 2015

Опыт эксплуатации автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО), предназначенных для непрерывного автоматизированного контроля радиационной обстановки в районе промышленных площадок, санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон наблюдения (ЗН) в режиме нормальной эксплуатации АЭС или в аварийной ситуации, составляет уже более 20 лет.

Автоматизированные системы радиационного контроля обычно строятся по распределенной схеме, состоящей из пяти уровней функционирования.

На первом уровне (блоки детектирования и автоматизированные метеостанции с блоками обработки/приема/передачи информации) производится сбор и первичное накопление информации на стационарных постах контроля;

На втором уровне (система передачи данных АСКРО, состоящая из проводных линий связи, радиоканалов с приемо-передающими антеннами, сотовых линий связи) происходит передача информации от стационарных постов контроля до центральных постов контроля АСКРО;

На третьем уровне (центральные посты контроля с блоками обработки/приема/передачи информации, АРМ) производится сбор, верификация, накопление и долговременное хранение измерительной информации и управление работой постов контроля;

На четвертом уровне (распределения данных) происходит доставка данных до конечного потребителя информации;

На пятом уровне (презентационном) происходит представление и использование полученной информации.

Посты радиационного контроля АСКРО содержат, как правило, следующие компоненты:

– интеллектуальные блоки детектирования мощности дозы гамма-излучения и спектрометрические блоки (с реализацией полного алгоритма измерений и выдачей результатов измерения через цифровой интерфейс);

– управляющую ЭВМ (микроЭВМ) с многозадачной операционной системой общего назначения;

– оборудование передачи данных, которое может представлять собой комбинацию технологий как проводных, так и беспроводных каналов связи (УКВ, TETRA, GSM/GPRS и т.д.);

– систему электроснабжения, обеспечивающую питание как от 220 В, так и автономное питание на срок до 72 ч.

Система передачи данных обеспечивает передачу данных на серверы базы данных (БД) АСКРО.

Центральные посты контроля состоят из оборудования приема/передачи/обработки данных, серверов и автоматизированных рабочих мест АСКРО. Серверы БД АСКРО предназначены для сбора, обработки, накопления и долговременного хранения измерительной информации.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) АСКРО предназначен для управления постами, непрерывного наблюдения за их работой, создания отчетов, проведения необходимых расчетов.

Распределение данных заключается в выделении отдельной подсети в пространстве IP-адресов предприятия и отделении подсети АСКРО межсетевым экраном, определении доступа к данным АСКРО.

Презентационный уровень представляет собой набор ПО, устанавливаемого на ПК пользователей, включая ГИС. Представителям служб Республики Беларусь АЭС за эти годы пришлось столкнуться с различным оборудованием измерения, обработки и приема/передачи данных в составе АСКРО. Известны и проблемы, возникающие в процессе эксплуатации. Основными из них являются: нарушение устойчивой связи, проблемы с удаленным тестированием и диагностикой неисправностей, отключение электроэнергии в местах размещения постов и ограниченное время работы их от аккумуляторов. Кроме того, в процессе моделирования аварийной ситуации и распространения выброса иногда необходимо знать не только мощность дозы на определенном расстоянии и в определенном направлении от источника выброса, но и радионуклидный состав, и объемную активность в приземном слое атмосферы. Эта проблема измерения спектров (определения радионуклидного состава и объемной активности) в автоматизированном режиме с передачей информации в центр сбора данных до сей поры не решалась.

Еще одной проблемой в процессе радиационной разведки при аварийном реагировании является непрерывно меняющаяся радиационная обстановка, что приводит к необходимости использования легких мобильных постов, обеспечивающих измерение и передачу. Эти мобильные посты оставляются по маршруту следования автомобиля передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ) при осуществлении радиационной разведки по оси следа факела, в автоматизированном режиме передают информацию о радиационной обстановке в центр сбора данных, а затем собираются. Они затем могут быть перемещены в другие проблемные места (при обнаружении предполагаемых «пятен» загрязнения).

Автоматизированный контроль метеопараметров входит в настоящее время в состав задач АСКРО. Поэтому возникает проблема интеграции в состав поста радиационного контроля оборудования контроля метеопараметров. Интересуют также возможности отслеживания из центра сбора данных: состояний аспирационных установок, установленных в СЗЗ и ЗН, информации об активности радионуклидов на фильтрах аспирационных установок.

Расширение информативности может достигаться за счет интеграции в АСКРО погружных блоков детектирования (спектрометров) для анализа загрязненности поверхностных водоемов и источников питьевой воды, передающих информацию в автоматизированном режиме по каналам связи в центр сбора данных. Все эти проблемы решаются при использовании АСКРО на базе оборудования УП «АТОМТЕХ», НИИПФП БГУ им. А.Н.Савченко, ООО НПП «РАДИКО».

В состав линейки оборудования для АСКРО входят:

- посты дозиметрического и спектрометрического контроля «Виляя» (УП «АТОМТЕХ», НИИПФП БГУ им. А.Н.Савченко) с передачей данных по каналам радиосвязи и GSM (на основе блоков детектирования БДКГ-22 и БДКГ-211М);
- погружные посты радиационного контроля в воде на основе спектрометра МКС-АТ6104ДМ (УП «АТОМТЕХ»);
- дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с БДКГ-24, адаптером интерфейсов, КПК и штативом (УП «АТОМТЕХ») – мобильный пост для групп радиационной разведки;
- метеокомплексы на базе оборудования WXT520 Vaisala;
- программно-технические комплексы верхнего уровня на основе серверных стоек баз данных ССБД-2С24, пультовых рабочих место оператора ПРМО-2М21 «АРМ Сменного инженера АСКРО», программного обеспечения (НПП «РАДИКО»).

УДК 621.039.4

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ДЛЯ ЗАДАЧ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ИЗОТОПОВ ЙОДА В ПЕРВОМ КОНТУРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА РБМК И ВВЭР

А.К. ЛАМШИН, В.В. ЧИГИР

*Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие
«Радиационный контроль. Приборы и методы»
пр. Маркса, 14, Обнинск, 249035, Россия*

Поступила в редакцию 29 января 2015

Требованиями НТД и технологическими регламентами по эксплуатации энергоблоков АЭС (НП-001-97 (ОПБ-88/97), НП-082-07) определены требования по контролю удельной активности йода-131 (суммы йодов) в теплоносители первого контура АЭС. Основным способом контроля является лабораторный анализ. К достоинствам лабораторного контроля можно отнести: точность выполнения измерения и радионуклидного состава теплоносителя первого контура (выполнение измерения на высокоточном лабораторном оборудовании). К недостаткам лабораторного контроля можно отнести такие аспекты как: недостаточная частота отбора – раз в сутки; дозовые нагрузки для персонала, связанные с отбором высокоактивных проб; наличие человеческого фактора.

Для повышения оперативности контроля и для исключения недостатков лабораторного контроля, ряд компаний предложили автоматизированный контроль на основании полупроводникового детектора из особо чистого германия (ОЧГ). Установки ОЧГ-контроля радионуклидного состава теплоносителя по сути являются лабораторным оборудованием, что влечет за собой некоторые особенности в его эксплуатации и обслуживании, а так же накладывает ряд ограничений – по квалификации обслуживающего его персонала. На рынке автоматизированных систем контроля присутствует много производителей. Но, несмотря на это, выбор комплектующих для установок на основе ОЧГ-детекторов останавливается на двух производителях: Ortec и Canberra (США), принципиальных различий в работе и конструкции спектрометрического оборудования практически не имеющих.

Основные недостатки установок созданных на основе ОЧГ-детекторов:

- сложное в эксплуатации оборудование;
- ограниченные эксплуатационные характеристики (требуется размещение в лабораторных условиях);
- необходим квалифицированный обслуживающий персонал для работы с оборудованием (инженер-спектрометрист).

Самым слабым звеном являются электроохладители, которые очень требовательны к температурному режиму, к качеству воздушной среды (запыленность помещения) и из-за механического износа рабочих элементов не подлежат ремонту. Конечно, возможно применение конструкций с сосудом Дьюара, но это перечеркивает преимущества автономной системы. Также нередки случаи отказа спектроанализаторов из-за слабой защиты от электрических помех и детекторов. Кроме того – ни один полупроводниковый детектор на основе ОЧГ не сможет обеспечить выполнение требований, предъявляемых к установкам класса безопасности ЗН, вследствие конструктивных особенностей, а это существенным образом ограничивает свободу размещения и компоновки оборудования.

Опыт эксплуатации подобных установок показал, что в случае отказа оборудования, ремонт по месту или даже у дилера оборудования на территории РФ затруднен и зачастую невозможен, ввиду сложности оборудования. Оборудование приходится отправлять производителю и в таком случае ремонт может продлиться до года и более. В результате чего АЭС остается без оперативного контроля.

Таким образом, можно выделить основные задачи, которые необходимо решить:

- повысить надежность оборудования;
- увеличить его ремонтпригодность, радикально уменьшить сроки ремонта, в случае выхода из строя оборудования;
- уменьшить стоимость системы.

Предложения по устранению недостатков существующих систем контроля радионуклидного состава теплоносителя представлены ниже.

1. Реализация в автоматизированной системе двух независимых измерительных каналов, работающих параллельно, что приведет, в свою очередь, к увеличению частоты получения измеренных данных и увеличению надежности работы системы.

2. Использование в установке детектора отечественного производства, что даст уменьшение стоимости установки, увеличение ремонтпригодности, уменьшение сроков ремонта и поставки комплектующих.

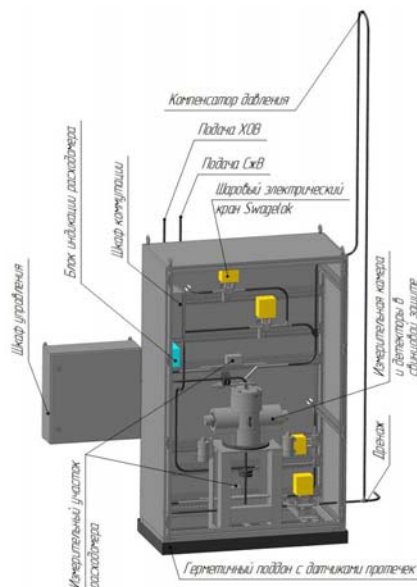


Рис. 1. Общий вид СГЖ-101

Из всех типов детекторов оптимально для решения данных задач подходят набирающие популярность во всем мире детекторы на основе кристалла бромид лантана ($\text{LaBr}_3(\text{Ce})$). Данные детекторы обладают лучшей разрешающей способностью по сравнению с детекторами на основе кристаллов NaI , CsI и др. что позволяет обеспечить селективную регистрацию гамма-излучения радионуклидов йода (^{131}I - ^{135}I) в теплоносителе первого контура АЭС. Детекторы на основе кристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ также обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками (температура работы от -30°C до $+100^\circ\text{C}$, максимальная загрузка спектрометрического тракта – не менее 200 000 имп/с), особенно при нарушениях условий нормальной эксплуатации АЭС. Также следует обратить внимание, что применение детектора на основе кристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ позволило повысить класс безопасности установки до 3Н, что невыполнимо при использовании полупроводниковых детекторов на основе ОЧГ.

В настоящее время компания ООО НПП «РАДИКО» выполнила изготовление опытного образца установки СГЖ-101, которая прошла опытно-промышленную эксплуатацию на Курской АЭС, а также завершила испытания и процедуры по сертификации утверждение типа СИ.

УДК 621.039.4

БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАЩИЩЕННЫХ КОРПУСАХ

А.В. АНТОНОВ, В.И. АНТОНОВ, А.Г. БАРЧЕНКО, Е.В. БЫСТРОВ,
В.И. КОЖЕМЯКИН, Р.В. ЛУКАШЕВИЧ

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Гикало, 5, Минск, 220005, Беларусь*

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

Необходимость контроля за радиационной обстановкой на объектах ядерного цикла, таких как АЭС, хранилища отработавшего ядерного топлива и т.д., а также в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения является неизменно актуальной темой для исследований и разработок. При этом часто возникает необходимость исследования и контроля захоронений ядерных материалов с неизвестным радионуклидным составом в жестких условиях эксплуатации. Для решения такого рода задач предприятием «АТОМТЕХ» была разработана серия спектрометрических блоков детектирования (БД) в защищенных корпусах.

В данной серии БД в качестве детектора применяется сцинтиллятор NaI(Tl). Разработано четыре типа конструкции с применением детекторов размером $\text{Ø}63 \times 63$ мм, $\text{Ø}40 \times 40$ мм, $\text{Ø}25 \times 40$ мм, $\text{Ø}25 \times 16$ мм. Варианты исполнения определяются исходя из поставленных задач: получение более широкого диапазона измеряемой амбиентного эквивалента мощности дозы гамма-излучения (МД) или более высокой чувствительности каждым отдельным блоком соответственно. Основные характеристики блоков детектирования представлены в табл. 2.

Корпуса приборов разработаны специально с учетом сложных условий эксплуатации. БД могут устанавливаться: в скважинах, на внешних стенах зданий, на открытой местности или погружаться в воду на глубину до 50 метров. Для подключения БД к компьютеру предусмотрены несколько возможных интерфейсов, описанных в табл. 1.

Таблица 1. Описание интерфейсов подключения БД к ПК

Интерфейс	Особенности	Примечание
RS-485	Подключение до 32-х БД в сеть Длина линии связи до 1000 м	Внешний источник питания от +7В до +32В Связь с ПК через интерфейсный адаптер RS-485/USB или RS-485/Ethernet
RS-232	Длина линии связи до 8 м	Связь с ПК через интерфейсный адаптер Питание от порта USB
USB	Прямое подключение БД к ПК	Питание от порта USB

Таблица 2. Основные параметры БД

Параметр	Блок детектирования			
	БДКГ-201М	БДКГ-203М	БДКГ-205М	БДКГ-211М
Детекторы	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø25×16 мм	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø25×40 мм	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø40×40 мм	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø63×63 мм
Энергетический диапазон	20 кэВ – 3000 кэВ			
Относительное энергетическое разрешение по ^{137}Cs	Не более 8 %	Не более 8 %	Не более 7,5 %	Не более 7,5 %
Диапазон измерения амбиентного эквивалента мощности дозы	0,01 – 1000 мкЗв/ч	0,01 – 500 мкЗв/ч	0,01 – 300 мкЗв/ч	0,01 – 150 мкЗв/ч
Основная относительная погрешность измерений	Мощности дозы гамма-излучения не более ± 20 %			
Чувствительность детектора NaI(Tl)	^{241}Am : 2500 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{137}Cs : 290 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{60}Co : 150 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹	^{137}Cs : 350 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹	^{241}Am : 5480 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{137}Cs : 850 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{60}Co : 420 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹	^{241}Am : 13000 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{137}Cs : 2590 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ ; ^{60}Co : 1330 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹
Количество каналов АЦП	1024			
Диапазон рабочих температур	От -40°С до +55°С			
Степень защиты	IP68			
Габаритные размеры	Ø68×300 мм	Ø68×320 мм	Ø68×320 мм	Ø90×350 мм
Масса	1 кг			2 кг

УДК 621.039.4

РАДИОМЕТР СУММАРНОЙ АЛЬФА- И СУММАРНОЙ БЕТА-АКТИВНОСТИ НА БАЗЕ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА УП «АТОМТЕХ»

Д.В. ГОРШКОВ, В.А. КОЖЕМЯКИН

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Гикало, 5, Минск, 220005, Беларусь

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

В практике радиометрических измерений при проведении радиационного контроля актуальной задачей является определение суммарной альфа- и суммарной бета-активности различных проб и счетных образцов.

Альфа-бета-радиометр РКС-АТ1319 предназначен для одновременного или отдельного измерения суммарной альфа-активности и суммарной бета-активности аэрозольных аналитических фильтров типа АФА-РМП и АФА-РСП, а также для радиометрии мазков. Радиометр позволяет проводить измерения суммарной бета-активности «толстослойных» счетных образцов, приготовленных из вещества пробы (например, путем выпаривания, либо любым другим методом, обеспечивающим получение «толстого» образца), а также измерения активности альфа-источников типа 1П9, 2П9, 3П9 и бета-источников типа 1С0, 2С0, 3С0.

Радиометр представляет собой функционально законченный прибор, состоящий из блоков детектирования, устройства обработки информации, блока защиты и устройства размещения образцов, смонтированных в едином корпусе.



Внешний вид альфа-бета-радиометра РКС-АТ1319

Принцип действия радиометра основан на использовании интеллектуальных сцинтилляционных блоков детектирования альфа- и бета-излучения. Для регистрации альфа-излучения исследуемых образцов используется блок детектирования БДПА-01, выполненный на основе сцинтиллятора ZnS(Ag), для регистрации бета-излучения – блок детектирования БДПБ-01, выполненный на основе пластмассового сцинтиллятора. Площадь входного окна каждого из блоков детектирования составляет 28 см². Данные блоки серийно выпускаются УП «АТОМТЕХ».

Для уменьшения влияния внешнего фона используется свинцовая защита толщиной от 1 до 3 см. Между входными окнами блоков детектирования установлено устройство размещения образцов с поворотной платформой.

Устройство обработки информации выполнено на базе встроенного промышленного панельного компьютера. Управление радиометром осуществляется посредством сенсорного цветного TFT-дисплея с диагональю 7" и разрешением 800×480. Результаты измерений также выводятся на дисплей.

Программное обеспечение радиометра позволяет выполнять следующие основные функции:

- выполнять подготовку прибора к работе, включая проверку параметров от контрольного источника и, при необходимости, подстройку блоков детектирования;
- проводить измерение и сохранение в памяти радиометра фоновых спектров, которые в дальнейшем используются при расчете активности;
- проводить измерения параметров исследуемых образцов в различных геометриях;
- производить выбор измеряемой величины (скорость счета, активность, объемная активность, удельная активность и т.д.);
- сохранять результаты измерения в базе данных с возможностью дальнейшей сортировки и передачи на внешний персональный компьютер, а также распечатывать результаты измерений.

Помимо этого предусмотрена возможность подключения радиометра в локальную сеть, и возможность подключения к прибору через USB-разъем внешних устройств, таких как принтер. Кроме заводских калибровок для геометрий измерения «Фильтр», «Мазок», «Источник», «Проба» имеется возможность использования пользовательских калибровок. К тому же есть возможность исполнения прибора в вариантах альфа-радиометра и бета-радиометра. Полученные на данный момент метрологические характеристики разрабатываемого радиометра представлены в таблице.

Метрологические характеристики разрабатываемого радиометра

Наименования технических показателей	Значение показателей
Чувствительность к α -излучению (^{239}Pu)	0,16 Бк ⁻¹ ×с ⁻¹
Чувствительность к β -излучению (^{90}Sr - ^{90}Y)	0,25 Бк ⁻¹ ×с ⁻¹
Эффективность регистрации α -частиц (^{239}Pu)	25 %
Эффективность регистрации β -частиц (^{90}Sr - ^{90}Y)	60 %
Диапазон энергий регистрируемого α -излучения	3 – 7 МэВ
Диапазон энергий регистрируемого β -излучения	155 кэВ – 3,5 МэВ
Диапазон измеряемых скоростей счета (α -канал)	0 – 10000 с ⁻¹
Диапазон измеряемых скоростей счета (β -канал)	0 – 100000 с ⁻¹
Диапазон измеряемых активностей (α -канал)	0,01 – 3000 Бк
Диапазон измеряемых активностей (β -канал)	0,1 – 10000 Бк
Фоновая скорость счета (α -канал)	Не более 0,001 с ⁻¹
Фоновая скорость счета (β -канал)	Не более 0,80 с ⁻¹
МИА за 1 час для α -канала (^{239}Pu)	0,02 Бк
МИА за 1 час для β -канала (^{90}Sr - ^{90}Y)	0,28 Бк
Диапазон рабочих температур	от -20 до 50 °С
Степень защищенности	IP 50 (для панели оператора IP 66)
Габаритные размеры	250×250×479 мм
Масса	38 кг

УДК 621.039.4

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТУРНЫХ ГАММА-СПЕКТРОВ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАТОРА КОНТЕЙНЕРОВ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Д.И. КОМАР, С.А. КУТЕНЬ, Е.В. БЫСТРОВ

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Гикало, 5, Минск, 220005, Беларусь*

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

Одним из основных факторов, обеспечивающих безопасность при обращении с радиоактивными отходами (РАО), включая их хранение, является достоверное определение таких учетных характеристик отходов, как радионуклидный состав, суммарная активность, удельная активность каждого радионуклида, масса РАО.

Подлежащие паспортизации РАО представляют собой фрагментированные твердые радиоактивные отходы, основную часть которых составляют металлические фрагменты оборудования и металлоконструкций (нержавеющая сталь, сплавы алюминия) и строительные отходы (бетон, дерево). Все отходы имеют поверхностное загрязнение с периодом полураспада от 2-х лет вследствие длительного периода выдержки. Основное загрязнение определяется радионуклидами Cs-137 и Co-60. С учетом неоднородности размещения и высокого самопоглощения РАО в подобной упаковке, необходимо проводить ее измерения в нескольких точках.

Разработано программное обеспечение паспортизатора, которое обеспечивает: контроль движения измерительной части вдоль контейнера, набор и обработку спектров гамма-излучения со всех блоков детектирования измерительной части паспортизатора, идентификацию радионуклидов и определение их удельной активности, сохранение измерений в базе данных и формирование паспорта контейнера с РАО. В измерительной части паспортизатора применяются интеллектуальные спектрометрические блоки детектирования гамма-излучения БДКГ-205м, специально разработанные на УП «АТОМТЕХ». Габаритные размеры упаковочных контейнеров: 1320×1032×740 мм. Контейнер представляет собой стальной каркас, облицованный листами стали толщиной 2 мм. На рис. 1 приведена фотография упаковочного контейнера.



Рис. 1. Упаковочный контейнер

Для калибровки измерительной части паспортизатора и отладки алгоритма определения удельной активности применялись аппаратные спектры блока детектирования БДКГ-205м, которые были получены Монте-Карло моделированием. Разработанная Монте-Карло модель приведена на рис. 2.

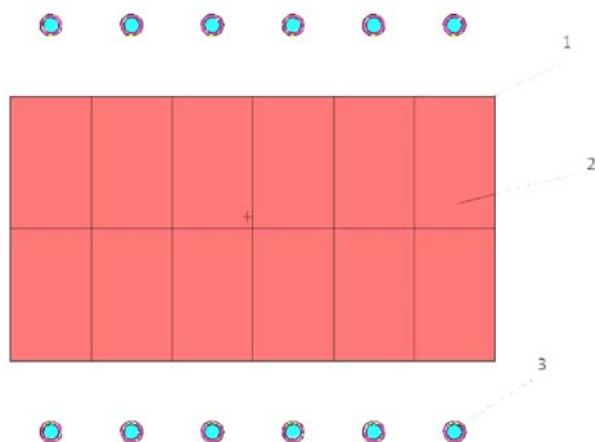


Рис. 2. Разработанная Монте-Карло модель, где 1 – контейнер; 2 – наполнение контейнера РАО; 3 – блоки детектирования БДКГ-205м.

При помощи моделирования были получены аппаратные спектры для блоков детектирования БДКГ-205м при различных вариантах размещения отходов в контейнере, их состава, массы отходов, средней плотности, различной активности отходов. На рис. 3 представлены модельные спектры при плотности заполнения контейнера железом $0,2 \text{ г/см}^3$ (А) и $2,0 \text{ г/см}^3$ (Б) и суммарной активности контейнера в обоих случаях 1 ГБк. В данной модели предполагалось, что контейнер равномерно заполнен железом и загрязнение определяется только радионуклидом Cs-137.

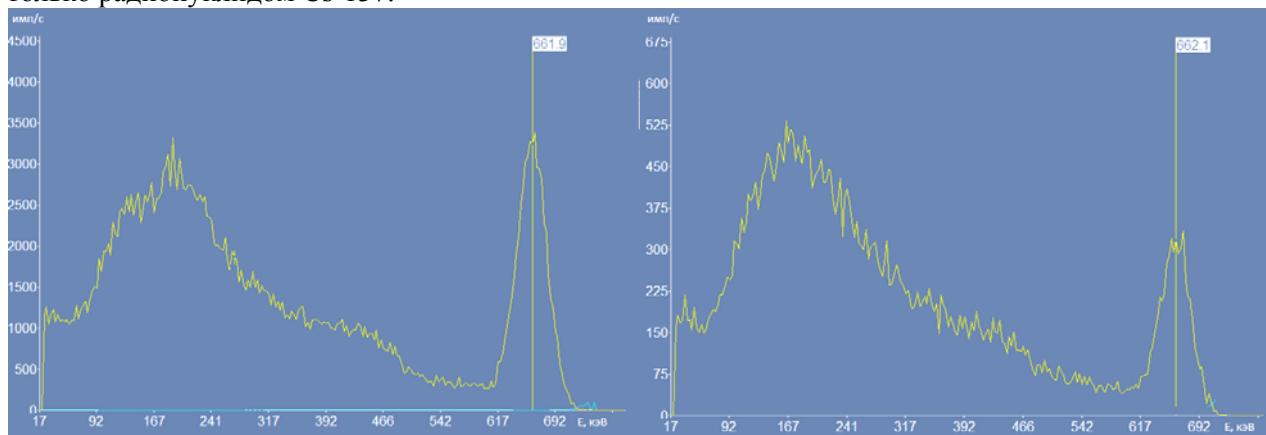


Рис. 3. Модельные спектры при средней плотности железа $0,2 \text{ г/см}^3$ и $2,0 \text{ г/см}^3$ при равномерном загрязнении радионуклидом Cs-137

Из спектров видно, что при большей средней плотности железа в контейнере интенсивность линии Cs-137 уменьшилась в 10 раз. Результаты работы будут использованы для создания опытного образца паспортизатора и его экспериментальной проверки.

УДК 621.039.4

**КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Р.В. ЛУКАШЕВИЧ, К.Г. СЕНЬКОВСКИЙ, Н.А. ПРЯМОСУДОВА

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Гикало, 5, Минск, 220005, Беларусь**Поступила в редакцию 04 февраля 2015*

В метрологическом обеспечении средств измерений ионизирующего излучения в качестве эталонных средств измерений используются поверочные установки, среди которых широкое применение получили установки с коллимированным полем излучения. Разработанный предприятием «АТОМТЕХ» комплекс оборудования – установки нового поколения, призванные обеспечить качественное метрологическое обслуживание средств измерений, радиационную безопасность и надежность в эксплуатации.

Комплекс оборудования включает поверочные установки для дозиметрии гамма-излучения – установку дозиметрическую гамма-излучения УДГ-АТ130 и дозиметрии и радиометрии нейтронного излучения – установку поверочную нейтронного излучения УПН-АТ1402.

Дозиметрическая установка гамма-излучения УДГ-АТ130 предназначена для поверки и калибровки дозиметрических средств измерений гамма-излучения в широком диапазоне мощности дозы. Поле излучения установки формируется радионуклидными источниками в условиях типового коллиматора по ГОСТ 8.087. Использование набора источников Cs-137 с максимальной активностью 2600 Ки обеспечивает воспроизведение мощности кермы в воздухе в пределах номинальных границ от 0,40 мкГр/ч до 50 Гр/ч в диапазоне рабочих расстояний от 0,3 до 7 м. Дополнительно в составе установки применяются источники из радионуклидов Co-60 и Am-241.

Установка предназначена для передачи рабочим и эталонным средствам измерений размеров единиц кермы в воздухе K_a , а также дозиметрических величин: экспозиционной дозы X ; поглощенной дозы в воздухе D ; AMBIENTНОГО эквивалента дозы $H^*(10)$; индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ и их мощности.

Установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140 предназначена для поверки, калибровки, градуировки и испытаний средств измерений нейтронного излучения. Совместно с комплектом источников нейтронов установка обеспечивает коллимированное поле быстрых и тепловых нейтронов в геометрии установок типа УКПН, а также формирует поле быстрых нейтронов в открытой геометрии.

УПН-АТ140 основана на применении закрытых радионуклидных источников нейтронов $^{238}\text{Pu-Be}$ и ^{252}Cf . В барабане магазина источников размещается до 3-х источников излучения.

В установке реализуется схема облучения с неподвижным облучателем и линейно-позиционируемой платформой калибровочного стенда в диапазоне от 0,3 до 3 м.

Установка передает рабочим и эталонным средствам измерений размеры единиц:

– плотности потока быстрых нейтронов в диапазоне $1 - 7 \cdot 10^3$ нейтр/с;

– плотности потока тепловых нейтронов в диапазоне $0,5 - 2,5 \cdot 10^3$ нейтр/с;

– мощности AMBIENTНОГО и индивидуального эквивалента дозы нейтронного излучения в диапазоне $0,5 - 1 \cdot 10^4$ мкЗв/ч.

В установках, входящих в комплекс, обеспечивается выполнение программных функций:

- дистанционное автоматическое перемещение источника излучения из положения «хранение» в положение «экспозиция» и обратно;
- автоматический перевод источника в положение «Хранение» по истечении заданного времени экспозиции;
- автоматическая оцифровка координат перемещения источника в облучателе Z и φ ;
- оцифровка координаты X калибровочного стенда с привязкой начала координаты к центру источника;
- позиционирование подвижной платформы на заданное расстояние от облучателя вдоль оси пучка излучения в автоматическом и ручном режимах.

Управление обменом данными с программируемым логическим контроллером (ПЛК) при выполнении программных функций осуществляется с использованием инсталлированного программного обеспечения.

В установках выполняются функции в соответствии с основными требованиями к эталонным установкам:

- обеспечивается размещение и крепление инспектируемых приборов на рабочем столе для их установки в пучке излучения;
- имеется юстировочная система для центрирования детектора в пучке излучения;
- имеется система дистанционного теленаблюдения за шкалами, индикаторами приборов.

В комплексе оборудования предусмотрены функции для обеспечения радиационной безопасности, обеспечиваемые системой сигнализации и блокировки (ССБ) совместно с СРК, а именно:

- системой блокировок (независимые блокировки входной двери в рабочую камеру, блокировка перевода источника из положения «хранение» в рабочее положение, автоматический перевод источника из рабочего положения в «хранение» при возникновении радиационно-опасных ситуаций);
- системой световой и звуковой сигнализации, связанной с положением источника и состоянием входной двери;
- системой сигнализации и контроля радиационной обстановки в помещениях установки.

СРК построена на основе измерителя-сигнализатора СРК-АТ2327. Блоки детектирования СРК осуществляют непрерывный радиационный контроль в комнате облучения, лабиринте и на рабочем месте оператора.

По результатам поверки, проведенной государственным метрологическим центром «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», установка дозиметрическая гамма-излучения УДГ-АТ130 признана соответствующей требованиям к рабочим эталонам I разряда, в соответствии с ГОСТ Р 8.804-2012. По результатам калибровки установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140 соответствует рабочему эталону плотности потока нейтронов и мощности амбиентного эквивалента дозы нейтронного излучения I разряда.

УДК 681.51.01

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ ВОДОЙ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ И ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ТЭС И АЭС

Г.Т. КУЛАКОВ, А.Н. КУХОРЕНКО

*Белорусский национальный технический университет
проспект Независимости 65, Минск 220013, Беларусь*

*Командно-инженерный институт МЧС
Машиностроителей, 25, Минск, 220118, Беларусь*

Поступила в редакцию 29 января 2015

Совершенствование автоматических систем управления технологическими процессами является средством повышения эффективности и надежности работы на тепловых и атомных электростанциях, главной задачей при построении которых является правильный выбор структуры и параметров динамической настройки систем регулирования. Тенденция замены аналоговых систем управления на цифровые реализует широкие возможности по внедрению самых совершенных алгоритмов регулирования, что гарантирует получение высокой точности и быстродействия в системе управления. Особая роль в решении данной задачи принадлежит разработке и внедрению более эффективных систем автоматического регулирования уровней воды в барабане котла или парогенератора при переменных режимах работы.

Регулирование уровня воды в барабане главным образом сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей питательной воды, поэтому параметром, характеризующим материальный баланс, является именно уровень воды в его барабане. К стабилизации уровня предъявляются довольно жесткие требования: при этом максимально допустимые отклонения по уровню воды в барабане котла при стационарном режиме и отсутствии резких возмущений по нагрузке не должны превышать ± 20 мм, а при скачкообразном возмущении по нагрузке на 10 % (исходная нагрузка – номинальная) – ± 50 мм [1, с. 53]. Точность поддержания заданного уровня в стационарных режимах парогенераторов ПГВ-1000 энергоблоков с ВВЭР-1000 АЭС составляет ± 50 мм [2, с. 422].

Трехимпульсная классическая система автоматического регулирования (САР) уровня воды в барабане и ее модификации получили широкое распространение на ТЭС и АЭС [1–6]. Типовая трехимпульсная САР совмещает принципы регулирования по отклонению и возмущению.

Охват ПИ-регулятора типовой САР с жесткой или гибкой обратной отрицательной связью по отношению к внешнему контуру системы превращает регулятор уровня во внешнем контуре регулирования в статический. В результате при отработке задающего сигнала отсутствует статическая ошибка регулирования, т.к. динамика участка «расход питательной воды – уровень в барабане котла» характеризуется отсутствием самовыравнивания. Вместе с тем, при отработке внутреннего возмущения и внешнего – с явлением «набухание уровня» появляются статические ошибки регулирования в конце переходного процесса, что является основным недостатком типовой классической 3-х импульсной САР.

Проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков модернизированной типовой САР [6]: каскадной САР (КСАР); с дифференциатором; с нелинейными элементами в канале измерения уровня и вместо дифференциатора; с сигналом по отношению к расходам

пара и воды; с сигналом по скорости изменения уровня; с динамическим фильтром вместо дифференциатора в канале изменения расхода пара. Для улучшения статических свойств трехимпульсного регулятора питания рекомендовано использовать схему с дифференциатором в канале сигнала по материальному небалансу расходов пара и питательной воды или КСАР. В этом случае можно отказаться от коррекции сигналов датчиков по параметру рабочей среды. Обе модификации близки по своим статическим и динамическим свойствам, однако в системе регуляторов МЗТА автор Гуревич Э.З. отдал предпочтение САР с дифференциатором [6].

Проведенные исследования типовой КСАР показали, что переходные процессы в них имеют характер затухающих колебаний, интенсивность которых, как правило, оказывается явно недостаточной. КСАР на базе оптимального регулятора без учета динамики внутреннего контура характеризуется существенным увеличением регулирующего воздействия при отработке внешнего возмущения. При этом учет динамики внутреннего контура системы существенно снижает регулирующее воздействие при отработке внешнего возмущения расходом пара, однако уменьшение динамической ошибки регулирования по уровню приводит к увеличению максимальной величины регулирующего воздействия, которые больше, чем в типовой САР.

Результаты моделирования переходных процессов САР с дифференциатором с использованием пакета Simulink программного обеспечения MATLAB показали, что они при малой величине регулирующего воздействия также не обеспечивают существенного улучшения качества регулирования.

Для разрешения указанного противоречия была разработана инвариантная САР с выделением эквивалентного внешнего возмущения без его непосредственного измерения и ограничением максимальной величины регулирующего воздействия (расхода питательной воды).

При этом структуру основного регулятора выбираем по передаточной функции опережающего участка на базе передаточной функции оптимального регулятора при отработке задающего сигнала:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{1}{W_{оп}^*(p)} \cdot \frac{W_{зд1}(p)}{1 - W_{зд1}(p)}, \quad (1)$$

где $W_{оп}^*(p) = \frac{k_{оп}}{T_{оп}^* + 1}$ (2) – передаточная функция опережающего участка (расход питательной

воды – перемещение стока регулирующего питательного клапана); $k_{оп}$ – коэффициент передачи; $T_{оп}^*$ – постоянная времени разгона экспоненты; $W_{зд1}(p) = \frac{1}{T_{зд1}p + 1}$ (3) – заданная

передаточная функция системы по задающему воздействию. Здесь $T_{зд1}$ – постоянная времени критерия оптимальности, определяющая полное время отработки скачка задания.

Подставив (2) и (3) в (1), получаем передаточную функцию ПИ-регулятора, у которого время интегрирования $T_{и}(p) = T_{оп}^*$, а коэффициент передачи $k_{оп} = T_{оп}^* / k_{оп} \cdot T_{зд1}$. При этом ПИ-регулятор охватываем гибкой обратной связью. С уменьшением численного значения $T_{зд1}$ повышается быстродействие системы при отработке задания и уменьшается максимальная динамическая ошибка регулирования при отработке внутреннего возмущения.

Для выделения эквивалентного внешнего возмущения параллельно инерционному участку объекта регулирования формируем динамическую модель последнего, выход которой в элементе сравнения вычитаем от основной регулируемой величины (уровня воды в барабане), а полученную разность подаем на устройство компенсации внешнего эквивалентного возмущения, ограниченный выход которого подается с противоположным знаком на вход основного регулятора. При этом структуру устройства компенсации выбираем из условия независимости уровня в барабане при скачкообразном изменении внешнего возмущения на выходе системы.

Для улучшения качества регулирования при возмущении расходом пара прежде чем переводить котел на новую нагрузку при плановом изменении последней, на дополнительный

элемент сравнения выходов датчика уровня воды и модели инерционного участка подают сигнал, пропорциональный плановому изменению нагрузки. Затем с запаздыванием, равным запаздыванию по каналу регулирующего воздействия, осуществляем плановый переход на новую нагрузку. В результате существенно повышается быстродействие системы (время регулирования сокращается в 4 раза) и улучшаются другие показатели качества переходных процессов при основных возмущениях с уменьшением максимальной величины регулирующего воздействия (расходом питательной воды) по отношению САР с дифференциатором на 30 %.

Список литературы

1. *Клюев А.С., Лебедев А.Т., Новиков С.И.* Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. М., 1985.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егунова. М., 2000.
3. *Плетнев Г.П.* Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. М., 2007.
4. *Демченко В.А.* Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса, 2001.
5. *Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н.* // Матер. II междунар. научн.-практ. конф. «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино-и приборостроении». Минск, 13–14 марта 2013 г. С. 21–22.
6. *Гуревич Э.З.* Состояние, перспективы развития и технико-экономическая оценка автоматизации питания барабанных парогенераторов. Минск, 1974.

УДК 621.039.4

ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ПГУ НА ПРОЦЕСС ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ТЭЦ СО СЛОЖНЫМ СОСТАВОМ ОБОРУДОВАНИЯ

Э.К. АРАКЕЛЯН, А.В. АНДРЮШИН, С.Ю. БУРЦЕВ, К.А. АНДРЮШИН

*Научно-исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Красноказарменная, 14, Москва, 111250, Россия*

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

Задача оптимального управления режимов работы электростанций и оборудования – традиционно одна из сложных научных и практических задач, обусловленная неопределенностью исходной информации, многовариантностью, трудностью учета реального технического состояния оборудования, а также другими факторами [1, 3–5]. В настоящее время, в связи с вводом новых правил функционирования рынка электроэнергии и мощности, особенно важной стала задача управления режимами работы ТЭЦ со сложным составом оборудования, особенно при наличии на ТЭЦ, помимо блочных, не блочных агрегатов и пиковых водогрейных котлов, а также парогазовых установок (ПГУ), обладающих рядом режимных особенностей, учет которых необходим при решении поставленной задачи. Режимные особенности ПГУ следующие [2]:

– зависимость максимальной и минимальной мощностей газотурбинной установки (ГТУ) и ПГУ в целом и их энергетических показателей от климатических условий района расположения станции и, в частности, от температуры наружного воздуха;

– уровень снижения экономичности работы ПГУ на пониженных нагрузках также зависит от температуры наружного воздуха, что обусловлено двумя факторами – уменьшением мощности ГТУ и ПГУ в целом при росте температуры наружного воздуха и снижением темпа уменьшения расхода топлива по отношению к темпу снижения мощности ГТУ.

– на пониженных нагрузках в общей мощности ПГУ снижается доля мощности ГТУ с соответствующим увеличением доли мощности паровой турбины. Так, при максимальных нагрузках ПГУ-450 доля мощности ГТУ составляет 63,0–68,8 % мощности ПГУ, а при минимальных нагрузках она снижается до 57,6–61,1 %. Это особенно важно при работе ПГУ в теплофикационном режиме, так как при разгрузке ПГУ по электрической мощности паровая турбина может обеспечить тепловую нагрузку на достаточно высоком уровне.

– принято считать, что при работе ПГУ типа ПГУ-450 (в составе оборудования 2ГТ+2КУ+1ПТ) на пониженных нагрузках суммарную нагрузку ГТУ следует распределять равномерно между двумя ГТ. Однако при нагрузке ПГУ ниже определенного значения оптимальное распределение нагрузки ГТУ между двумя ГТ может дать положительный эффект, т.е. суммарный расход топлива на ГТУ снизится при постоянной мощности ГТУ.

– одним из преимуществ ПГУ по отношению к традиционным энергоблокам ТЭС является ее высокая маневренность, обусловленная малой инерционностью процессов набора/сброса электрической нагрузки на газовых турбинах. Это преимущество ПГУ при прочих равных условиях может быть использовано для обеспечения высоких скоростей разгрузки/нагрузки диспетчерских графиков нагрузки.

В условиях работы ТЭЦ на рынке электроэнергии и мощности наиболее значим критерий экономичности. Поэтому в качестве критерия используется величина топливных затрат (при одинаковой стоимости топлива агрегатов станции – суммарный расход топлива).

$$S_{m\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ПГУ}}} [B_{\text{ПГУ}i}(N_{\text{ПГУ}i}, Q_{\text{ПГУ}i}) \cdot C_{i \text{топл}}] + \sum_{j=1}^{n_{\text{ПТ}}} [B_{\text{ПТ}j}(N_{\text{ПТ}j}, Q_{\text{ПТ}j}) \cdot C_{j \text{топл}}] + \sum_{k=1}^{n_{\text{ПВК}}} [B_{\text{ПВК}k}(Q_{\text{ПВК}k}) \cdot C_{k \text{топл}}] \Rightarrow \min_{N, Q}$$

где $B_{\text{ПГУ}i}(N_{\text{ПГУ}i}, Q_{\text{ПГУ}i})$ – расход топлива i -го блока ПГУ в зависимости от его электрической и тепловой нагрузки; $B_{\text{ПТ}i}(N_{\text{ПТ}i}, Q_{\text{ПТ}i})$ – расход топлива i -го паротурбинного блока (ПТ), $B_{\text{ПВК}i}(Q_{\text{ПВК}i})$ – расход топлива i -го пикового водогрейного котла (ПВК); $C_{i \text{топл}}$, $C_{j \text{топл}}$, $C_{k \text{топл}}$ – стоимость топлива i -ой ПГУ, j -го блока ПТ, k -го ПВК; $n_{\text{ПГУ}}$, $n_{\text{ПТ}}$, $n_{\text{ПВК}}$ – количество ПГУ, ПТ, ПВК на ТЭЦ соответственно.

При этом действуют балансовые уравнения и ограничения, накладываемые на оптимизационную задачу: для каждой группы точек – поставки на суммарную электрическую нагрузку; для каждой тепловой ветви – на суммарную тепловую нагрузку; для ПГУ при работе с одной и двумя газовыми турбинами – на диапазоны регулирования электрической и тепловой нагрузок блока; для блоков ПТ – на диапазоны регулирования электрической и тепловой нагрузок; для ПВК – на диапазон регулирования тепловой нагрузки. В силу нелинейных зависимостей расходных характеристик ПГУ и наличия разрывов в них, целевая функция является многоэкстремальной, поэтому в основе методики оптимизации необходимо использовать метод, который эффективен при поиске глобального экстремума.

За основу решения поставленной задачи принимается методика, изложенная в [4, 5]. Суть ее в том, что оборудование ТЭЦ со сложным составом разбивается на группы, в пределах которых оно разделено по групповым точкам поставки (ГТП) электроэнергии и тепловым ветвям поставки тепла внешним потребителям. Каждая группа представляется как «эквивалентный» блок (ЭБ) со своей оптимизированной энергетической характеристикой в виде функциональной зависимости расхода топлива $B_{\text{гп}i}^{**}$ от тепловой и электрической нагрузки ЭБ. Она получается в результате предварительной оптимизации внутри «эквивалентной» группы во всем диапазоне изменения тепловой и электрической нагрузок с учетом ограничений, накладываемых на оптимизируемые эквивалентные тепловые и электрические нагрузки. Задача решается в два этапа. На первом этапе осуществляется распределение заданных по всем ГТП и тепловым ветвям электрической и тепловой нагрузок между «эквивалентными» энергоблоками с использованием их обобщенных характеристик. Затем, с учетом полученных результатов ранее составленных «эквивалентных» характеристик, определяются оптимальные значения нагрузок для каждого агрегата ТЭЦ.

Оптимальное распределение нагрузок на станции во времени, как правило, необходимо проводить в два этапа: на этапе выбора и согласования с системным оператором энергосистемы состава генерирующего оборудования; в оперативном режиме, при генерации тепла и электроэнергии в соответствии с утвержденным диспетчерским графиком их отпуска. На первом этапе задача решается в условиях неопределенности и недостатка информации, поэтому она имеет приближенный характер и учитывать при этом все особенности ПГУ нет необходимости. На этом этапе следует учесть только влияние температуры наружного воздуха на декларируемые станцией значения верхней и нижней границ регулировочного диапазона по электрической нагрузке при подготовке предложений для участия на рынке электроэнергии и мощности. Особенности ПГУ в полном объеме необходимо учесть при проведении оптимального распределения нагрузок в оперативном режиме за каждый час оперативных суток при опережающем построении оптимизированных энергетических характеристик «эквивалентных» групп.

Список литературы

1. Цыгулев Д.Ю., Аракелян Э.К. // Теплоэнергетика. 2008. № 3. С. 67–73.
2. Аракелян Э.К., Хуришудян С.Р. // Новое в российской электроэнергетике. 2013. № 7. С. 5–14.
3. Болонов В.О., Аракелян Э.К. // Теплоэнергетика. 2007. № 11. С. 69–77.
4. Аракелян Э.К., Андрюшин А.В., Зройчиков Н.А. и др. // Теплоэнергетика. 2012. № 10. С. 12–18.
5. Андрюшин А.В., Макарьчян В.А., Черняев А.Н. // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 4. С. 31–35.

УДК 519.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ АЛЬБЕДО ОТРАЖАТЕЛЕЙ

Ф.А. СПЕРАНСКИЙ

*Департамент по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь
Берсона, 16, Минск, 220030, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 февраля 2015

В процессе лицензирования при строительстве АЭС в соответствии с законодательством необходимо выполнять экспертизу обосновывающих безопасность документов, представленных проектировщиком. Такого рода экспертиза включает в себя проверочные независимые расчеты, для которых должны использоваться программные средства, не задействованные при подготовке этих документов. Разработана Монте-Карло модель активной зоны реактора типа ВВЭР-1200 с радиальным и аксиальным гомогенными отражателями для проведения вычислений в программном коде MCNP [1]. В модели задано профилирование активной зоны различными типами ТВС-2М на основе картограммы стационарной загрузки, предполагаемой к реализации на Белорусской АЭС [2]. Создана программа в пакете Mathematica, позволяющая подготавливать входной файл для кода MCNP при выполнении расчета нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора. Описание периодического заполнения активной зоны тепловыделяющими сборками (ТВС) и самих ТВС твэлами в MCNP производится при помощи специального «решеточного языка», где определяется система координат (для данной активной зоны косоугольная с углом 60° между осями). Профилирование задается путем указания типа ТВС для конкретной ячейки. В программе, разработанной в пакете Mathematica, предусмотрена возможность менять число ТВС, загружаемых в активную зону, путем задания диапазона изменения индексов косоугольной системы координат.

Для определения соответствия номера ТВС (см. рис. 1) индексу элемента ячейки в файле Mathematica создан соответствующий алгоритм, что позволяет автоматизировать процесс заполнения активной зоны ТВС различного типа. Блок материальных параметров среды в файле Mathematica позволяет изменять характеристики материалов по всему файлу MCNP, эффективно описывать материалы в карте данных, задавать положение источников (ядерного топлива). Блок геометрических данных позволяет менять параметры активной зоны и отражателей. В модели твэла/твэга и ТВС граница верхнего аксиального отражателя начинается на высоте столба топлива, материальная среда представляется в виде гомогенной смеси веществ, ее заполняющих (см. рис. 2).

В рамках этого метода верхний отражатель представляется в виде трех слоев: первый слой длится от верхней границы столба топлива до блока направляющих каналов ТВС и имеет высоту 22,2 см, второй слой высотой 4,5 см занимает расстояние от верхних заглушек твелов/твэгов до головки ТВС, третий слой от отбойной решетки ТВС до начала обечайки нижней длиной 5,5 см. В сумме верхний отражатель занимает по высоте 32,2 см. На поверхности 1 (см. рис. 2) на границе верхнего отражателя вычисляются потоки в двух направлениях, совпадающих с осью OZ. В [3] группой авторов использована такая же методика для получения двухгрупповых диффузионных констант соответствующих отражателей с использованием ячеечной программы NESSEL и дополнительной программы DESET для модели ВВЭР-1000.

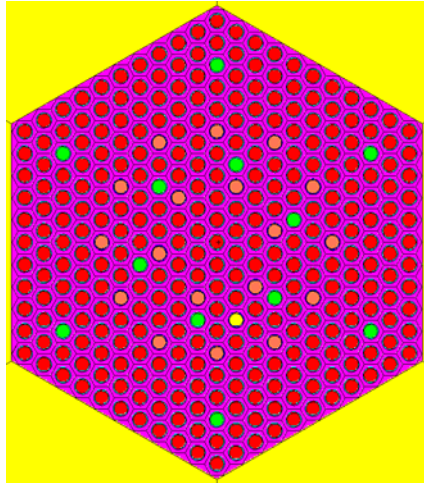


Рис. 1. Сечение плоскостью xz ТВС типов Z33Z2 и Z49A2

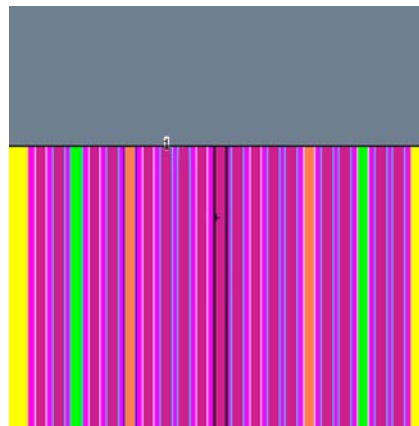


Рис. 2. ТВС Z40D, окруженная водой и первый слой верхнего аксиального гомогенного отражателя

Здесь следует отметить, что для вычисления альbedo нейтронов тепловых энергий следует ограничить распространение быстрых нейтронов в область отражателя. За счет того, что в гомогенной смеси отражателя вода занимает от 56 % до 98,9 %, а, следовательно, эффективно замедляет нейтроны, подавляющее число быстрых нейтронов, пересекающих поверхность 1 в направлении отражателя, в обратном направлении будут пересекать ее с тепловыми энергиями.

Расчет выполнен для модели с одной ТВС, загруженной в центральную ячейку активной зоны. Отношение потоков, прошедших в направлении внутренней и внешней нормали к поверхности 1, для спектра быстрых нейтронов составляет 0,641, что хорошо коррелирует с альbedo для ВВЭР-1000 ТВСА [3]. Значение альbedo на отражателях используется в программном коде DIN3D, который моделирует основное реакторное поведение при установившихся и переходных процессах после внесения изменений в реактивность системы. В дальнейшем оценку полученных величин в программе DYN3D можно сделать путем сравнения результатов вычисления расчетного поля с восстановленным распределением в периферийных областях активной зоны.

Список литературы

1. *Briesemeister J.F., ed.* «MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code», Los Alamos National Laboratory Report LA-12625-M, Version 4B (March 1997).
2. ОКБ «ГИДРОПРЕСС», ПООБ Белорусской АЭС, Блок 1, гл. 4 «Реактор».
3. *Loetsch T., Khalimonchuk V. Kuchin A.* Proposal of a benchmark for core burn up calculations for a VVER-1000 reactor core, 2009; 57 p; 19. AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety; Varna (Bulgaria); 21-25 Oct 2009; INIS-BG--1279; 44 figs., 143 tabs., 23 refs.

УДК 621.039.53

РЕГУЛЯТОР С КОРРЕКТОРОМ ДЛЯ ИНЕРЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.С. БУНКЕ, Ю.М. КОВРИГО

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина

Поступила в редакцию 29 января 2015

Повышение качества регулирования параметров инерционных контуров промышленных агрегатов является актуальной научной проблемой. Чем больше запаздывание в контуре управления – тем больше динамические отклонения и колебательность переходных процессов [1]. Классический ПИ-регулятор имеет всего 2 параметра настройки, с помощью которых возможно добиться либо меньших отклонений (форсирование регулятора), либо меньшей колебательности (заглубление регулятора), при этом одновременно добиться минимизации этих показателей невозможно. Анализируя режим работы оператора-технолога при ручном управлении можно отметить, что после нанесения управляющего воздействия в начальной фазе переходного процесса в дальнейшем необходимо замедлить или даже приостановить движение исполнительного механизма, т. е. в системе должна наступить «пауза», когда система вообще не реагирует на изменение входных сигналов. Для инерционных объектов с запаздыванием «пауза» может составлять десятки секунд. Стандартные пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) (ПИ)-регуляторы не имеют специальных устройств для формирования «паузы» в таком широком временном интервале. Добиться желаемого результата («паузы») за счет «компромиссных» параметров настройки ПИД (ПИ)-регулятора технически не представляется возможным. В то время как опытный оператор-технолог, осуществляя «разумные» и своевременные действия при ручном управлении лишен этих недостатков и достигает цели, состоящей в снижении динамической ошибки и времени переходного процесса. Переходный процесс, полученный при ручном управлении, можно назвать оптимальным переходным процессом, поскольку он удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к качеству переходных процессов. Для реализации алгоритма управления, обеспечивающего приближенный к оптимальному переходной процесс, была разработана двухканальная структура регулятора с корректором, представленная на рис. 1.

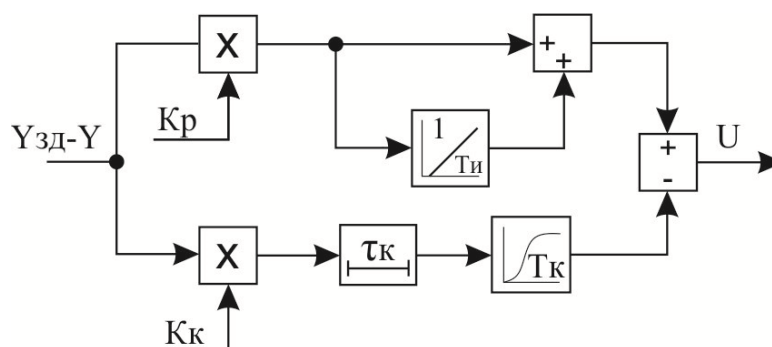


Рис. 1. Структура ПИ-К регулятора

Для увеличения запаса устойчивости и формирования нужного управляющего воздействия используется следующая структура: основной канал содержит стандартный ПИ-регулятор, а корректирующий канал содержит набор аperiodических звеньев и звено

запаздывания, при этом его сигнал вычитается из сигнала основного канала. Основной канал отвечает за быстроедействие системы, а канал коррекции, спустя время запаздывания (которое зависит от параметров объекта регулирования), компенсирует избыточный сигнал управляющего воздействия, обеспечивая устойчивость САУ на конечном участке переходного процесса, что позволяет использовать форсированные настройки основного канала без риска раскачивания системы. Регулятор с корректором назовем ПИ-К регулятором. Основными параметрами настройки корректирующего канала являются коэффициент усиления, запаздывание и постоянная времени. Эти параметры зависят от K и $(T + \tau)$ объекта, регулятор имеет пологий оптимум настройки, что говорит о его малой чувствительности к изменению параметров объекта [2].

Внедрение и исследование работы ПИ-К регулятора произведено на пылеугольном энергоблоке мощностью 300 МВт тепловой электростанции, в контуре регулирования температурного режима пароводяного тракта. Результаты сравнения переходных процессов с ПИ-К и классическим ПИ-регулятором приведены на рис. 2.

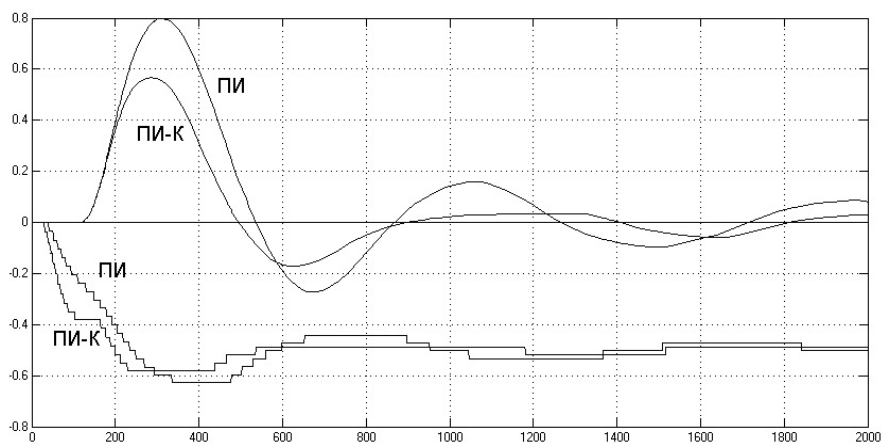


Рис. 2. Переходные процессы по каналу компенсации возмущения

Исследования показали, что для инерционных контуров (соотношение запаздывания к времени объекта больше 0,2) внедрение ПИ-К регулятора позволяет уменьшить перерегулирование (до 25 %) и увеличить степень затухания колебаний (с 75 % до 90 %). Перемещение исполнительного механизма (нижняя зона рис. 2.) также уменьшается, отмечается сокращение количества включений, что продлевает его срок службы.

Регулятор с каналом коррекции рекомендован к использованию в промышленных контурах регулирования с существенным транспортным запаздыванием и повышенными требованиями к качеству регулирования (минимальные отклонения и колебательность параметра), а также для объектов, работающих в нестационарных режимах.

Список литературы

1. Ковриго Ю.М., Коновалов М.А., Бунке А.С. // Теплоэнергетика 2012. № 10 С. 43–49.
2. Коновалов М.А., Бунке А.С. Основы новой стратегии синтеза систем оптимального управления. Киев, 2015.

УДК 621.039.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ОБУЧАЮЩИЙ СТЕНД КАФЕДРЫ АСУТП НИУ МЭИ, ОСНАЩЕННЫЙ ПРИБОРАМИ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ТЭС И АЭС

А.В. АНДРЮШИН, С.В. КИЕТ, Е.И. МЕРЗЛИКИНА., И.С. НИКИТИНА

*Научно-исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Красноказарменная, 14, Москва, 111250, Россия*

Поступила в редакцию 30 января 2015

В настоящее время большое внимание в энергетике уделяется надежности и безопасности основного и вспомогательного оборудования электростанций, бесперебойному снабжению потребителей электроэнергией, что невозможно без комплексного подхода к автоматизации энергетического производства. На все вышеуказанное влияет качество воды и пара (т.е. степень загрязнения теплоносителя), которое необходимо контролировать в режиме реального времени. Это, в свою очередь, обуславливает широкое внедрение автоматических систем химико-технологического мониторинга водно-химического режима (СХТМ ВХР) и оснащение энергоблоков ТЭС приборами автоматического химического контроля. Кроме того, сейчас очень актуальна проблема химических измерений состава водного теплоносителя для исключения так называемого человеческого фактора, так как до сих пор ряд измерений выполняется с помощью лабораторных приборов [1, 2], а результаты их вводятся вручную [1], что может стать причиной ошибок и неисправностей оборудования.

Приборы химического контроля качества различного типа вод в промышленности и особенно в энергетике на тепловых станциях становятся неотъемлемыми элементами оборудования. На ТЭС использование приборов автоматического химического контроля (АХК) регламентируется нормативными документами [2].

Сейчас в энергетике используются кислородомеры, водородомеры, Na-меры, рН-метры, кондуктометры [3], представляющие собой сложные устройства, оснащенные, первичными датчиками, вторичными приборами и микропроцессорными блоками обработки измерительной информации, позволяющими, в том числе, преобразовывать полученную информацию в цифровой вид. Это позволяет обеспечивать двустороннюю связь с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора. Программное обеспечение АРМ позволяет архивировать информацию, выполнять диагностику средств измерения с целью выяснения достоверности полученной информации, выводить информацию в удобной форме на операторский интерфейс. Для обслуживания современных приборов автоматического химического контроля требуется специально подготовленный персонал, что особенно актуально в настоящее время, когда уровень сложности контрольно-измерительных приборов (КИП) на энергетическом производстве постоянно возрастает.

На кафедре АСУТП НИУ МЭИ ведется подготовка специалистов в области КИП и автоматики, проводится переподготовка специалистов в рамках повышения квалификации. Для этих целей на кафедре создан учебно-экспериментальный стенд, оборудованный приборами химического контроля водного теплоносителя, используемыми на тепловых и атомных электрических станциях.

Стенд оснащен приборами нового поколения «Лидер» российского производителя ООО «НПП Техноприбор», а именно, устройством подготовки пробы (УПП); системой «ЛИДЕР» с каналами рН, натрия и кислорода, системой «ЛИДЕР» с измерением электропроводности и

pH; системой «ЛИДЕР» с каналом общего органического углерода (ООУ) и системой «ЛИДЕР» с каналом общей жесткости. На стенде можно ознакомиться с устройством и работой данных приборов химического контроля, особенностями их обслуживания, изучить методику калибровки и поверки приборов. Общий вид стенда приведен на рис. 1.

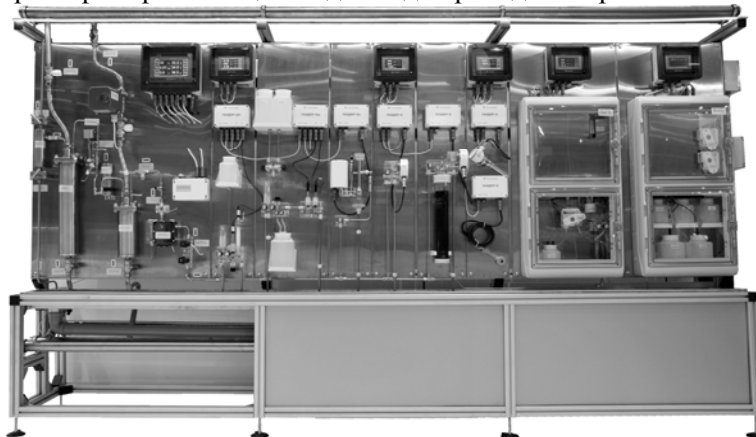


Рис. 1. Общий вид учебно-экспериментального стенда химического контроля

На стенде установлено устройство подготовки проб (УПП) модульной конструкции, выполняющее функции стабилизации и контроля температуры, давления и расхода пробы. УПП оснащено механическим фильтром и энергонезависимым отсечным клапаном, срабатывающим при повышении температуры пробы. Все приборы и УПП расположены на специальной панели, удобны в обслуживании, позволяют непрерывно наблюдать за процессом измерения.

С помощью данного стенда можно проследить, как происходит передача информации от первичного датчика прибора АХК на преобразователь и вторичный прибор и далее на верхний уровень, т.е., в систему СХТМ ВХР на ТЭС. Далее полученные данные передаются на контроллер, связанный с АРМ оператора, на котором организуется обработка, отображение и архивирование информации с помощью SCADA-системы. Структурная схема данной системы, реализованной на стенде, приведена на рис. 2.

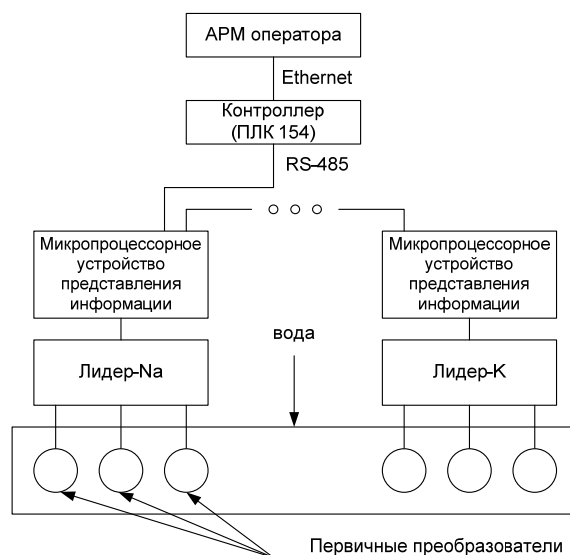


Рис. 2. Подключение к компьютеру

АРМ оператора (компьютер) соединен с контроллером (в данном случае – с программируемым контроллером ПЛК 154) через интерфейс Ethernet. Далее к контроллеру через интерфейс RS-485 последовательно подключены находящиеся на стенде микропроцессорные устройства представления информации, к которым, в свою очередь,

подключены вторичные приборы установленных на стенде устройств химического контроля. С АРМ оператора возможна обратная связь с установленными на стенде приборами.

На учебно-экспериментальном стенде проводится серия лабораторных работ, с помощью которых можно изучить кондуктометрический, потенциометрический, колориметрический, амперометрический методы контроля, устройство первичных датчиков приборов АХК, их поверку и калибровку. Планируется проведение на стенде лабораторных работ по созданию интерфейса АРМ оператора и организации вывода информации в систему верхнего уровня. Кроме того, имеется возможность выполнения учебных научно-исследовательских, курсовых и дипломных работ.

Сейчас очень актуальна проблема обучения и переобучения сотрудников без отрыва от производства, поэтому в настоящее время решается задача организации работы данного стенда в режиме «удаленного доступа» с возможностью выполнения лабораторных работ на реальном оборудовании с использованием приборов химического контроля. Система «удаленного доступа» позволит расширить возможности использования стенда кафедры АСУТП. В частности, позволит большему количеству специалистов, обслуживающих системы АХК, пройти дистанционное обучение и познакомиться с особенностями работы первичных датчиков и вторичных приборов АХК нового поколения.

В целом, данный стенд значительно расширяет возможности подготовки специалистов кафедрой АСУТП по рассмотренному направлению, особенно в рамках повышения квалификации специалистов без отрыва от производства и обучения студентов заочного отделения.

Литература

1. *Воронов В.Н., Готовцев П.М., Сметанин Д.С.* // Теплоэнергетика. 2007. №7. С. 2–5.
2. РД 153-34.1-37.532.4-2001. Общие технические требования к системам химико-технологического мониторинга водно-химических режимов тепловых электростанций (ОТТ СХТМ ВХР ТЭС). М.: РАО «ЕЭС России», 2001.
3. *Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С.* Теплотехнические измерения и приборы. М., 2005.

УДК 621.039.4

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

А.В. АНДРЮШИН¹, В.С. БАЛАКИРЕВ², А.А. БОЛЬШАКОВ³

*Московский энергетический институт (технический университет)
Красноказарменная, 17, Москва, 111250, Россия*

*Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова
Трубецкая, 8, стр.2, Москва, 2119991, Россия*

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
Московский проспект, 26, Санкт-Петербург, 190013, Россия*

Поступила в редакцию 4 января 2015

При подготовке специалистов/магистров по автоматизации существенное внимание уделяется задаче обеспечения заданного уровня надежности проектируемых АСУ технологических/тепловых процессов. Эта задача связана с формированием у студентов следующих компетенций:

- анализ надежности программно-технических средств автоматики и локальных систем управления;
- синтез автоматизированных систем регулирования (АСР) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) с желаемым уровнем надежности (в смысле коэффициента готовности и/или показателя эффективности системы).

Учебный процесс по формированию этих компетенций в рамках бакалавриата, а также магистратуры базируется на разработанном авторами учебно-методическом комплексе, содержащем теоретическую компоненту, обширный расчетно-лабораторный практикум и систему автоматизированного контроля знаний и умений. Рассмотрим кратко содержание этих компонент.

Лекционный курс базируется, в основном, на работах [1, 2] и содержит традиционные знания о допусковых отказах, числовых и функциональных показателях безотказности и восстановления элементов; о методах расчета безыбыточных и резервированных локальных систем (в т.ч. и АСР) при отказах типа «обрыв» и «короткое замыкание» (КЗ) при условии постоянства интенсивности отказов элементов, включая и объект управления (ОУ). Кратко рассматриваются алгоритмы синтеза резервированных систем минимальной сложности с желаемым уровнем надежности; достаточно подробно анализируется надежность программного обеспечения реального времени (ПО РВ); классифицируются ошибки и отказы ПО, вводятся характеристики надежности проектируемого и функционирующего ПО РВ, описываются способы повышения надежности программных систем на основе резервирования (временного, информационного, программного и программно-технического).

Существенной новизной лекционного курса является рассмотрение АСУ ТП как сложной системы с отсутствующим понятием отказа, допускающей описание ее стохастического поведения во времени марковской моделью. Такая система состоит из большого числа элементов с постоянными интенсивностями отказов и восстановлений λ и μ и

может находиться в одном из состояний $S_j(\lambda, \mu)$, $j = 1, \dots, K$, характеризуемыми числом и именами отказавших элементов (здесь $K = 2^m$ – число состояний). Допускается (времененно) возможность переходов системы из любого S_j в любое состояние S_i , $i, j = 1, \dots, K$, $i \neq j$ и обратно с интенсивностями λ_{ji} и λ_{ij} , при этом можно определять вероятности $p_j(t)$ возникновения состояний на основе численного решения линейного векторного уравнения Колмогорова, или при $\dot{p}(t) \approx 0$ – методом Монте-Карло. Далее, выбрав технико-экономический или информационный критерий качества работы АСУ ТП $I(S)$, зависящий от состояния S , можно ввести нормированный показатель эффективности.

$$\mathcal{E} = \frac{1}{I_1 T} \int_0^T I(S_j) \cdot P_j(t) dt = \frac{1}{I_1 T} \int_0^T I_j(S_j(\lambda, \mu)) \cdot P_j(t) dt,$$

Эффективность является косвенной мерой надежности сложной системы типа АСУ ТП. (Здесь I_1 относится к полностью исправной АСУ ТП, T – директивный горизонт наблюдения.) Знание величины \mathcal{E} позволяет выбирать более надежную и эффективную (в смысле I) систему из ряда аналогичных, а также повышать надежность АСУ ТП на основе увеличения $\|\mu\|$. Однако в реальных условиях рассмотренный метод можно применять при $K \leq 1000$, т.е. при $m \leq 10$ (для одноконтурных АСУ $m \approx 15 - 20$, для АСУ ТП число m достигает нескольких тысяч).

Поэтому предлагаются следующие способы уменьшения размерности K задачи оценивания \mathcal{E} :

- эвристическое определение невозможных переходов из S_j в S_i ;
- формирование крупных не избыточных блоков с целью уменьшения числа m (например, блок – АСУ);
- введение понятия функционального состояния, характеризуемого числом отказавших функций АСУ ТП (в типовых АСУ число основных функций $m_{\text{ф}} = 6$, тогда $K = 64$);
- использование понятия критериального состояния, когда диапазон изменения I разбивается на 3 – 4 независимых интервала, и тогда $m_{\text{кр}} = 3 - 4$, а $K = 8 - 16$.

Расчетно-лабораторный практикум по надежности реализован авторами в двух компьютерных задачах, в первом из которых содержится ≈ 50 несложных задач по расчету надежности локальных безызыточных и резервированных систем (при этом каждая задача с трудоемкостью 10 – 15 мин. имеет 20 – 30 вариантов с различными исходными данными).

Второй задачник содержит 180 более сложных задач (с трудоемкостью 15 – 25 мин.) по расчету резервированных систем с полными и частичными отказами и синтезу минимально сложных систем с заданным уровнем надежности. Оба задачника поддерживают автоматическую оценку решения задач и обеспечивают работу на персональном компьютере или в локальной сети.

Контроль знаний студентов осуществляется с использованием авторской компьютерной системы тестирования, содержащей около 1500 тестов с 4 – 6 возможными вариантами ответов. Оценка векторных ответов проводится на базе встроенной экспертной системы.

Полный электронный учебный курс по надежности систем автоматизации включает четыре основных компонента: электронный учебник, тесты для самоконтроля, задачники и систему тестирования.

Каждый задачник выполнен в виде связанных с использованием VBScript HTML-страниц. Необходимость использования программной оболочки между содержанием задачника и пользователем обусловлена отсутствием механизма защиты версии HTML от копирования и чтения правильных ответов. Программная оболочка для защиты содержимого задачника выполнена с помощью RAD Delphi7. Принято решение об использовании компонент TWebBrowser, который позволяет технологии OLE использовать стандартный системный браузер. Содержимое задачника, т.е. набор HTML-страниц и скриптов, упакован в стандартные ресурсы Windows. Перед помещением содержимого задачника в ресурс производится шифровка данных. Для компонента TWebBrowser существует событие BeforeNavigate, возникающее в момент перехода по ссылке на следующую страницу. В момент перехода происходит чтение из ресурса с последующей дешифровкой и выводом в окно TWebBrowser.

Электронный учебник также выполнен на основе учебного пособия по надежности систем автоматизации [2]. Для визуализации содержимого учебника, в котором используется большое количество математических нотаций, выбран компонент для Delphi, позволяющий

отображать материал в RTF-формате, включающий графику и объекты Microsoft Equation. Предварительно текст электронного учебника разбит на части – «экраны», в соответствии с книжным постраничным разбиением. Навигация по учебнику производится клавиатурой и мышью. Формат RTF является универсальным и не содержит собственных средств сжатия. Объемы текста с разметкой, а тем более вложенных объектов, достаточно большие. Для хранения RTF-текстов также использовалось сжатие с помощью компонента ZipTV.

В настоящее время осуществляется модернизация системы, в т.ч. с использованием современных средств Интернет с применением возможностей облачных технологий, а также с созданием конструктора программных средств контроля знаний обучаемых. Это позволит облегчить доступ к системе пользователей и ее сопровождение.

Список литературы

1. *Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М.* Надежность АСУ ТП. М., 1989.
2. *Балакирев В.С.* Надежность систем автоматизации. Саратов, 2006.

УДК 681.53

УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В.Е. АДАМОВИЧ, С.В. ДРОБОТ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 4 января 2015

Представлены физическая, интерфейсная и программная часть разработанного стенда. Стенд предназначен для выполнения ряда лабораторных работ, направленных на изучение принципа действия различных датчиков, параметров технологических процессов и функционирования систем автоматического регулирования этих параметров, а также приобретения навыков по их настройке.

Ключевые слова: учебно-лабораторный стенд, система автоматического регулирования, подготовка специалистов для Белорусской АЭС, Festo EasyProt, LabVIEW, переходный процесс, технологический процесс.

Введение

Для обеспечения энергетической безопасности и устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь высокими темпами ведется строительство первой Белорусской АЭС, параллельно которому реализуется Государственная программа по подготовке кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008–2020 гг. Одной из задач данной программы является создание учебно-лабораторной базы учебных заведений. В Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в рамках этой программы осуществляется подготовка специалистов в области электронных систем контроля и управления для Белорусской АЭС.

Одним из аспектов подготовки таких специалистов является формирование ряда профессиональных компетенций в производственно-технологической и ремонтно-эксплуатационной деятельности, которые позволят выполнять работы, связанные с настройкой систем автоматического регулирования (САР), являющихся составной частью любой системы автоматического управления (САУ). Последняя обеспечивает поддержание постоянства заданных значений регулируемых параметров или их изменение по заданному закону, либо оптимизирует определенный критерий качества управления. Одним из главных преимуществ является снижение, вплоть до полного исключения, влияния человеческого фактора на управляемый процесс; сокращение персонала на производстве, где применяется данная система; минимизация расходов сырья; повышение качества исходного продукта; и в конечном итоге – существенное повышение эффективности производства. Еще один набор компетенций будущих специалистов в области электроники и автоматики для Белорусской АЭС связан с работами по использованию, при проектировании и обслуживании САУ, различных датчиков параметров технологических процессов. Формирование таких компетенций предусматривается как при изучении некоторых дисциплин «Элементы и устройства информационно-управляющих систем физических установок», «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС», так и при прохождении практик различного вида.

Для выполнения ряда лабораторных работ по указанным дисциплинам, направленных на изучение принципа действия различных датчиков, параметров технологических процессов и функционирования САР этих параметров, а также на приобретение навыков их настройки, разработан специализированный лабораторный стенд на базе оборудования, предназначенного для управления потоком жидкости. В состав физической части лабораторного стенда входят трубки для передачи жидкости, штуцера, уголки и запорные вентили, прозрачные резервуары для жидкости. Все компоненты стенда соединяются между собой через быстроразъемные пластиковые соединения. Основные элементы стенда – регулирующие (насосы) и контролируемые (датчики, вентили, задвижки) устройства, а также металлические профильные штанги для крепления емкостей и арматуры, при создании физической модели САР крепятся на металлическом основании. В стенде присутствуют два исполнительных элемента: электрический насос центробежного типа с аналоговым управлением и электрический запорный клапан с дискретным управлением. Для исследования системы автоматического регулирования стенд включает следующие датчики: емкостной датчик уровня с дискретным выходом, аналоговый ультразвуковой датчик уровня, датчик расхода поплавковый, датчик расхода электрический, манометр и датчик давления электрический.

Основой интерфейсной части стенда является модуль аналого-цифрового ввода-вывода Festo EasyPort, работающий под управлением программного обеспечения. В процессе работы EasyPort реализует двунаправленную передачу сигналов управления с помощью низковольтной технологии. Подключение к персональному компьютеру данного модуля реализуется через последовательный интерфейс USB. EasyPort и физическая часть лабораторного стенда связаны двумя шинами: 15 контактный разъем D-SUB, по которому передаются 4 аналоговых входных и 2 аналоговых выходных сигнала модуля EasyPort с разрешением 12 бит; 16-контактный разъем Centronics, передающий 8 дискретных входных и 8 дискретных выходных сигналов модуля EasyPort [1].

Программная часть стенда реализована в среде разработки лабораторных виртуальных приборов – LabVIEW. Разработка приложений в среде LabVIEW отличается от работы в средах на основе языков С или Java одной очень важной особенностью. Если в традиционных алгоритмических языках программирование основано на вводе текстовых команд, последовательно образующих программный код, то в LabVIEW используется язык графического программирования, в котором алгоритм создается в графической иконной форме, образующей так называемую блок-диаграмму, что позволяет исключить множество синтаксических деталей [2].

Был разработан ряд приложений по управлению физической частью стенда. С использованием САР уровня заполнения и этих приложений происходит изучение принципа действия перечисленных датчиков и исполнительных устройств. Кроме того приобретаются навыки работы с ними, в том числе выполняются работы по их калибровке. Необходимость изучения задачи регулирования уровня заполнения будущими специалистами АЭС обусловлена необходимостью ее решения в практике эксплуатации различного оборудования первого и второго контура АЭС. Примером являются задачи регулирования уровня теплоносителя в компенсаторе давления и парогенераторе.

Разработанный учебно-лабораторный стенд предназначен для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС», направленных на изучение САР. При их выполнении исследуются основные характеристики и параметры САР с различными законами регулирования и выполняется анализ их устойчивости. Одно из основных заданий этих работ – исследование переходных процессов в изучаемых САР. Значительная часть объема выполняемых работ уделяется изучению процесса настройки и выбору оптимальных параметров настройки исследуемых регуляторов [3].

Список литературы

1. Eberhardt V., Loffler C. Festo EasyPort USB. Manual. Festo Didactic GmbH & Co. Denkendorf, 2011.
2. Тревис Д. LabVIEW для всех. М., 2011.
3. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. М., 2007.

УДК 331.453

САМОКОНТРОЛЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

В.А. ГОНЧАРОВ

*Белорусский государственный университет
Ленинградская, 14, Минск 220050, Беларусь*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Одним из фундаментальных механизмов предотвращения нарушений правил безопасности в процессе трудовой деятельности является самоконтроль. Именно с помощью самоконтроля человек проверяет адекватность своего поведения, правильность поступков, совершает корректирующие действия. Особенно большое значение придается самоконтролю при работе человека со сложным технологическим оборудованием, управлении автоматизированными комплексами. При этом значение самоконтроля не ограничивается лишь обеспечением безопасности и безаварийности труда. Без него немислимо достижение требуемого уровня производительности труда, качественных показателей продукции и процессов. В этой связи очень важно с самого начала обучения правильно поставить процесс формирования самоконтроля и, прежде всего, выработки у обучаемого правильного и осознанного представления о необходимости соблюдения требований безопасности труда. Только добившись этого, можно переходить дальше к раскрытию содержания различных форм самоконтроля в применении к конкретному виду трудовой деятельности.

На первом этапе обучения самоконтроль, как правило, выступает для обучаемых в качестве самостоятельной деятельности и реализуется в основном с помощью специальных контрольно-измерительных приборов. Со временем формы самоконтроля усложняются, он все более начинает сливаться с трудовым процессом и входить в качестве одного из компонентов в структуру трудовых действий. Постепенно обучаемые приучаются обращаться к самоконтролю на всех основных этапах выполнения задания. Перед началом работы они прибегают к помощи ориентировочного или предварительного самоконтроля с целью ознакомления с особенностями материала и рабочего инструмента, во время выполнения задания осуществляют текущий самоконтроль и, наконец, по окончании работы имеет место заключительный или результирующий самоконтроль, направленный на проверку полученных результатов с точки зрения их соответствия поставленной цели труда.

Формы самоконтроля довольно разнообразны. Они зависят, как отмечают психологи, от этапа технологического процесса (подготовительный, текущий и заключительный самоконтроль); от характера выполняемых действий (непосредственный контроль, сливающийся с трудовой операцией, и самоконтроль как отдельная операция, выполняемая с помощью контрольно-измерительных приборов); от модальности используемых восприятий (с помощью зрения, слуха, кинестезии и т.д.). Овладеть перечисленными формами самоконтроля можно только за счет строго продуманной системы профессионального обучения, главное содержание которого должно быть направлено на обеспечение обучаемого необходимыми знаниями о формах и способах самоконтроля, на воспитание в нем привычки и умения контролировать свои действия.

В условиях производственной деятельности самоконтроль и, как следствие, саморегуляция действий не могут быть оптимальными при отсутствии обратной связи, несущей информацию не только о правильности выполненных тех или иных процессов, но и о характере их протекания. Установлено, например, что процесс обучения операторов на тренажерах протекает быстрее и с более прочной выработкой профессиональных навыков, если с помощью

специальных приборов обеспечена возможность для тренирующихся воспринимать результаты своих действий и тем самым контролировать себя.

В психологической литературе рассматривается ряд факторов, воздействие которых на структурные компоненты самоконтроля влечет за собой временное или устойчивое нарушение его функции. Это, прежде всего, воздействие алкоголя, наркотических средств, необратимых возрастных изменений. Самоконтроль нарушается также из-за патологических изменений в психической деятельности, либо по причине тяжелых органических поражений мозга, когда у человека утрачивается не только регуляция, но и контроль над своими действиями.

Реализация самоконтроля находится в прямой зависимости от степени мотивации, которой человек руководствуется в своей деятельности. Отсутствие должной мотивации может повлечь за собой снижение интенсивности актов самопроверки, а также пренебрежение поступающими сигналами о характере протекания процесса. К ослаблению самоконтроля, и соответственно к возрастанию вероятности ошибочных действий, ведут также чрезмерное напряжение, переутомление, монотонность труда, состояние эмоционального стресса.

Практическая деятельность людей дает многочисленные примеры индивидуальных особенностей в осуществлении самоконтроля, характер проявления которых зависит от индивидуально-типологических и личностных характеристик человека. Работы многих исследователей доказывают влияние основных свойств нервной системы человека на формирование индивидуального стиля его деятельности и особенности обращения к самоконтролю. На примере работы наладчиков станков установлено, что люди с сильным типом нервной системы выполняют свои обязанности в случае отказа станка более уверенно, в то время как «слабые» работники (по типу нервной деятельности) все время терзаются сомнениями, догадками, в чем причина простоя, как надо на него реагировать. Поэтому они стремятся не допускать аварийных остановок станка, делая акцент в своей работе на увеличении числа контрольных и профилактических действий.

Отмечаются также гендерные аспекты безопасности труда. Известно, например, что женщины реже создают опасные ситуации и с ними реже происходят несчастные случаи. Однако эта тенденция справедлива преимущественно для нормальных условий труда. А вот в экстремальных, непредвиденных обстоятельствах, при существенном усложнении работы безопасность труда женщин резко снижается по сравнению с таковой у мужчин. В этих условиях женщины совершают большее число действий, приводящих к травмам, несчастным случаям.

Подводя итоги сказанному выше, можно сделать вывод о том, что формирование самоконтроля, как на стадии обучения работников, так и в процессе их трудовой деятельности, следует рассматривать как один из определяющих элементов психологического обеспечения безопасности труда, предполагающего осуществление на практике следующих мер:

- 1) профессиональный отбор персонала;
- 2) выявление индивидуального безопасного стиля деятельности, мотивации безопасной работы;
- 3) оптимальная организация режимов труда и отдыха.

Работа в этом направлении требует постоянного внимания, должна входить в число первостепенных задач руководства организациями. Только при комплексном подходе к учету как объективных, так и субъективных факторов на состояние травматизма и профессиональных заболеваний, можно надеяться на успешное осуществление политики предприятия в области охраны труда.

УДК 621.039.4

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ НА ОПЕРАТОРСКИЕ ДОЛЖНОСТИ

П.А. КУРАСОВ

*Поволжский государственный технологический университет
пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, 424000, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

В настоящее время исследованиям взаимодействия человека и технической системы посвящено множество научных статей, написанных в рамках инженерной психологии, эргономики и физиологии труда. Ускоряющиеся темпы модернизации промышленного производства ведут к усложнению технологических процессов, происходящих в нем. При этом происходит усложнение операторских функций и, как следствие, более высокие требования к подбору персонала на операторские должности.

Требования по устойчивости нервно-психической деятельности, особенно на должностях, связанных с принятием ответственных решений, предъявляют к оператору требования по наличию определенных психофизиологических характеристик. Несоответствие данных характеристик некоторому рекомендуемому показателю, ведет к неизбежному возникновению аварийных ситуаций [1]. Исходя из перечисленных выше факторов, встает необходимость предъявления определенных требований к психике и организации нервной системы человека, использующего в своей профессиональной деятельности современную технику, и тем самым определяет актуальность исследования его психофизиологических особенностей.

Для обеспечения мобильности измерения оценки способности к корректировке решения и определения времени реакции человека на движущийся по направлению от него объект, был разработан микропроцессорный прибор (МПП), структурная схема которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема прибора МПП

Прибор МПП представляет собой простой прибор с малым энергопотреблением и автономным питанием. Микроконтроллер (МК) имеет один свободный 16-разрядный порт для соединения шины данных МК и блока согласования с жидкокристаллическим графическим индикаторным модулем (ЖКИ) и один свободный 8-разрядный порт для подключения блока переключателей. Блок согласования предназначен для управления графическим ЖКИ, отображающим окружность, метку и точечный объект или тестового объекта или замкнутого контура, в зависимости от выбранной программы тестирования. Блок согласования генерирует сигналы управления ЖКИ, основываясь на битовом представлении данных изображения, полученных с 16-разрядной шины микроконтроллера и хранящихся во внутрикристалльном оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) данных изображения. Блок переключателей

состоит из ключей «Старт», «Останов движущегося объекта» и «Конец измерений», причем ключ «Старт» соединен с любым 8-разрядным портом ввода микроконтроллера, а ключи «Останов движущегося объекта» и «Конец измерений» – с входами прерываний контроллера прерываний микроконтроллера. *Блок-пульт* испытуемого состоит из 3 ключей «Останов движущегося объекта» и «Конец измерений» с входами прерываний контроллера прерываний позволяет обеспечить большее быстродействие и точность измерений временных интервалов при наступлении события «Останов движущегося объекта».

Прибор МПП работает следующим образом. При включении питания генератор тактов на выходе формирует тактовые импульсы, поступающие на вход микроконтроллера. Испытуемый нажимает ключ «Старт» и микроконтроллер формирует на выходе цифровой код, поступающий через блок согласования на жидкокристаллический графический индикаторный модуль. Эффект движения объекта создается посредством последовательного включения соответствующих пикселей, образующих объект, на жидкокристаллическом графическом индикаторном модуле.

В момент предполагаемого совпадения движущегося объекта и метки, испытуемый нажимает ключ блока переключателей, выполняющий функцию «Останов движущегося объекта», который поступает на вход прерываний микроконтроллера. Значение ошибки несовпадения положения движущегося объекта и метки заносится в ОЗУ микроконтроллера, при этом время ошибок упреждения фиксируется с отрицательным знаком, а время ошибок запаздывания – с положительным знаком. Процесс измерения повторяется заданное количество раз.

По достижении заданного количества измерений испытуемый нажимает ключ «Конец измерений» блока переключателей. Измеренные значения ошибок несовпадения точечного объекта и метки из ОЗУ поступают в АЛУ, где вычисляется среднее арифметическое значение измеренных ошибок несовпадения, которое индицируется в блоке индикации. Алгоритм работы прибора МПП представлен на рис. 2.

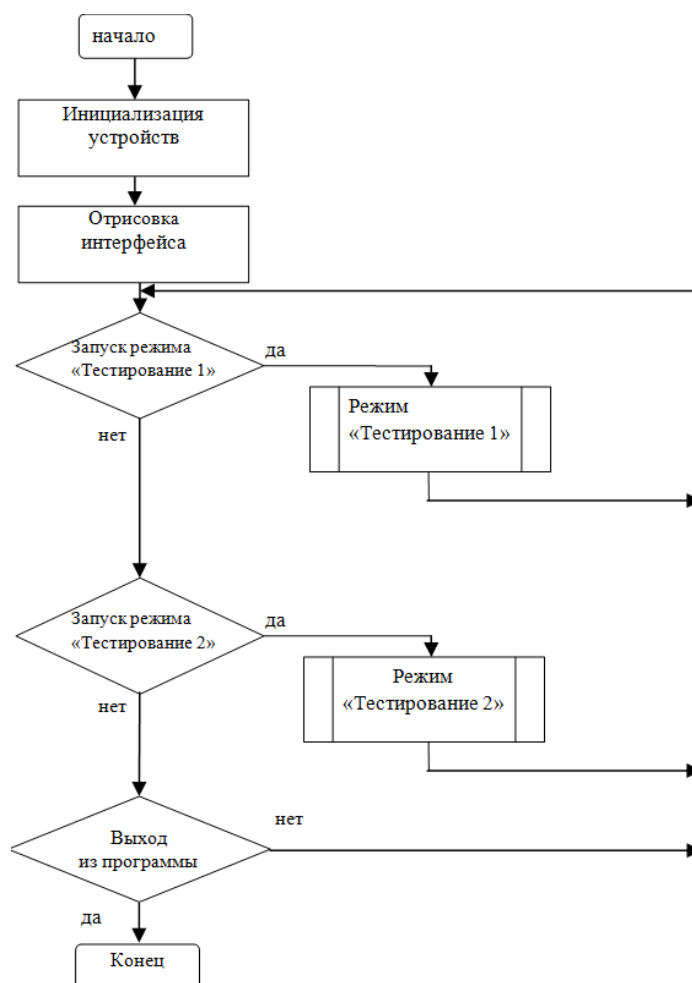


Рис. 2. Алгоритм работы прибора МПП

При выполнении процедуры «Предварительная обработка данных» из массива полученных результатов значений РДО первые 3 значения РДО отбрасываются и в процедуре «Вычисление РДО» не участвуют.

Данный прибор позволяет полностью автоматизировать процесс проведения измерений РДО и обработки результатов измерений, позволяет варьировать методику измерений, в том числе скорость и направление движения объекта, число измерений посредством изменения программы с использованием внешних средств программирования.

Рассмотрим построение прибора МПП на базе микроконтроллера PIC32MX795F512 фирмы Microchip. Использование микроконтроллера PIC32MX795F512 обусловлено его широкими функциональными возможностями: 32-разрядной RISC-архитектурой, внутренней высокоскоростной флэш-памятью размером 512 кБ, внутренним высокоскоростным статическим ОЗУ размером 128 кБ, работой в диапазоне частот до 80 МГц. В качестве жидкокристаллического графического индикаторного модуля использовался TFT LCD экран на базе контроллера SSD1963.

Разработаны структурная схема и алгоритм работы прибора МПП на основе микроконтроллера. Данный прибор пригоден для автономных массовых исследований, позволяет изменять методику измерения и способ обработки результатов измерений при использовании разработанных способов.

Список литературы

1. Шнейдерман Б. Психология программирования: человеческие факторы в вычислительных и информационных системах. М., 1984.

УДК 621.039-78

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

Н.М ОПАРИНА

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения
Серышева, 47, Хабаровск, 680021, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

События на атомной станции Фукусима заставили пересмотреть требования к надежности атомных электростанций не только МАГАТЭ, но и в целом сменили парадигму отношения человечества к ядерной энергетике. Япония всегда была примером образцового использования атомной энергии и гордилась безопасностью своих объектов и бережным отношением к природе. После аварии на Фукусиме многие страны приостанавливают строительство новых реакторов, а Германия, где сейчас действует 17 реакторов, производящих 22 % всей энергии страны, приняла решение о полном отказе от ядерной энергетике до 2022 г. О закрытии до 2034 г всех своих АЭС заявило правительство Швейцарии, а на референдуме в Италии абсолютное большинство итальянцев высказалось против возобновления национальной ядерной программы.

Дискуссии о безопасности мирного атома то и дело вспыхивают с новой силой, поскольку, в случае катастрофы или реальной угрозы действуют особые законы. Критическим моментом в чрезвычайных обстоятельствах остается реакция сотрудников и опасность массовой паники. Специальная парламентская комиссия пришла к выводам, что не обошлось, как и на Чернобыльской АЭС, без пресловутого человеческого фактора, и само возникновение аварийной ситуации было связано с неправильными действиями сотрудников станции.

Поэтому подбору и уровню квалификации персонала, обучению и тренировке на тренажерах, организации рабочих мест, информационному обеспечению, взаимодействию и распределению ответственности персонала уделяется в последние годы большое внимание. Современные АЭС – это сложные человеко-машинные комплексы, качество функционирования и эффективность которых определяется подготовкой операторов. Известно, что значительное количество ошибок функционирования этих систем обусловлено ошибками операторов, от 30 до 80 %. Поэтому задача подготовки специалистов, управляющих техникой, с учетом психолого-физиологических особенностей состояний готовности выполнять поставленную задачу в стрессовых условиях в реальном масштабе времени является одной из главных при создании и эксплуатации систем управления [1].

Индивидуально-типологические особенности высшей нервной деятельности, составляя природную основу психофизиологических свойств личности, наряду с социальными факторами существенно влияют не только на динамическую, но и на результативную деятельность человека. Базовые свойства нервной системы являются важными факторами, формирующими индивидуальные особенности трудовой деятельности [2].

Н.А. Климов [3], изучая роль индивидуально-типологических особенностей высших отделов центральной нервной системы в трудовой деятельности, сделал вывод о том, что уровень продуктивности трудовой деятельности не зависит от подвижности нервных процессов. Однако это не означает, что трудовая деятельность лиц с различными свойствами нервной системы протекает однотипно. Показано, что существуют некоторые индивидуальные особенности трудовой деятельности, присущие «инертным» и «подвижным» работникам, что для «подвижных» характерно сравнительно успешное выполнение трудовых действий в

повышенном темпе, высокая скорость движений, малое количество предупредительных работ, большое количество срочных операций в единицу времени. «Инертным», наоборот, свойственно большое количество подготовительных и профилактических мероприятий, позволяющее им избежать большей части срочных работ, работ в спокойном, равномерном темпе[3]. Как первые, так и вторые достигали одинаковых производственных показателей, но «подвижные» – за счет «поворотливости», а «инертные» – в результате создания условий для спокойной работы.

Интересные данные получены в исследованиях М.Р. Щукина [4]. Он установил, что процесс усвоения начальных производственных навыков у испытуемых с инертной нервной системой растянут во времени по сравнению с таковым у лиц, обладающих подвижными нервными процессами. При этом, в ходе выполнения третьего задания различия между «подвижными» и «инертными» испытуемыми были незначительны.

Теория типологических свойств нервной системы была основана И.П. Павловым и развивается отечественной физиологией (работы К.М. Теплова, В.Д. Небылицина, сотрудников лаборатории физиологии высшей нервной деятельности человека Института физиологии им. Л.А. Богомольца и др.). В основу теории положены различия между индивидами, по основным свойствам нервной системы.

Вопросу о роли отдельных показателей психофизиологических реакций и свойств основных, нервных процессов в профессиональной деятельности уделялось большое внимание в течение последних лет. Наличие зависимости между успешностью профессиональной деятельности и различными психофизиологическими показателями, получаемыми с помощью различных тестов и методик, дает возможность рекомендовать эти показатели для профотбора специалистов.

Здесь возможны два направления. Одно из них предусматривает обследование операторов с выработанными и упроченными навыками трудовой деятельности, второе – обследование абитуриентов при поступлении их в учебное заведение.

Преимуществом первого направления является сокращение времени получения искомой зависимости между показателями основных свойств нервной системы и оценкой профессиональной деятельности. Особенность второго направления состоит в том, что критерии успешности освоения программы обучения и оценки профессиональных качеств испытуемого экспериментатор может получить только в конце учебного года или во время выпуска из учебного заведения. Этот путь длительный, но он является более точным, чем первый.

По мнению отечественных и зарубежных исследователей, основными исходными предпосылками для решения задач психологического отбора является, с одной стороны, наличие индивидуальных различий в состоянии профессионально значимых качеств личности, а с другой – существование связи между успешностью обучения или рабочей деятельности и характером индивидуальных различий [5].

Заслуживают интерес исследования, проведенные Н.В. Макаренко [6] на 148 операторах с приобретенными и закрепленными навыками трудовой деятельности (50 летчиков, в том числе 7 летчиков-испытателей, 18 операторов надводных кораблей и 80 операторов основных современных тепловых электростанций), а также на 317 кандидатах к летному обучению. Нас будут интересовать операторы тепловых электростанций.

Эффективность профессиональной деятельности энергетиков оценивалась экспертной группой по 5-балльной шкале на основании ряда показателей и, таким образом, оценка являлась интегральной величиной, состоящей из ряда частных показателей. Оценки экспертов сопоставляли с показателями, характеризующими работоспособность головного мозга и функциональную подвижность нервных процессов операторов. Для количественного выражения этой связи были применены расчетные формулы с вычислением коэффициентов корреляции по Спирмену и Пирсону, по способу дат и способу произведений для малых выборок.

При исследовании зависимости успешности профессиональной деятельности операторов современных тепловых электростанций выявилась взаимосвязь между количеством приборов, степенью сложности оценки текущей информации, сложностью регулировки параметров оборудования и типологическими особенностями нервной системы. Частные

коэффициенты корреляции показателей работоспособности головного мозга, функциональной подвижности нервных процессов с успешностью профессиональной деятельности составили соответственно 0,36 и 0,31. Одновременно, более высокий уровень связи выявлен между успешностью трудовой деятельности и показателями, характеризующими кратковременную память, уровень развития технического мышления, способность к оперативному счету, ряд личностных качеств операторов. Аналогичные данные были получены А.О. Навакатикяном и соавторами [5].

Еще К.М. Гуревич и В.Ф. Матвеев [7] показали, что проявление основных свойств нервной системы и трудовой деятельности операторов наблюдается в сложных экстремальных ситуациях. Сопоставив характеристики основных свойств нервной системы операторов с поведением их в аварийной обстановке, исследователи обнаружили, что лица с высокими показателями подвижности и силы нервных процессов сумели своевременно принять меры по ликвидации аварии, тогда как лицам со слабой нервной системой в данной обстановке были свойственны дезорганизованность поведения и профессиональная несостоятельность. Вместе с тем и те, и другие были одинаково хорошо обучены, имели достаточный стаж и опыт работы. Успешность подготовки оценивалась старшим инженерно-техническим персоналом высоким баллом. Эти данные позволили авторам дать практические рекомендации по отбору операторов сложных систем.

Результаты исследований свидетельствуют о важной роли индивидуально-типологических особенностей высшей нервной системы в профессиональной деятельности, в частности, уровня функциональной подвижности и работоспособности головного мозга.

Очевидно, что выявление индивидуально-типологических особенностей высшей нервной системы на ранних стадиях обучения будущих специалистов даст экономический выигрыш. Важно не только чему обучать, но и кого обучать. Система подготовки специалистов, включающая системный подход к обучению, учет рекомендаций МАГАТЭ по подготовке персонала, применение современных инновационных технологий обучения [8], развитие специальных и технических компетенций, компетенций безопасности без учета психолого-физиологических особенностей состояний готовности выполнять поставленную задачу в стрессовых условиях в реальном масштабе времени рискует иметь низкую эффективность.

Список литературы

1. *Опарина Н.М.* Развитие компьютерных технологий профессиональной аттестации операторов технических систем. СПб, 1997.
2. *Лукьянова О.Н., Березанец Т.А., Семик Т.М. и др.* // Нейробионика и проблемы биоэлектрического управления. Киев, 1975, С. 18–28.
3. *Климов Е.А.* Индивидуальный стиль деятельности в зависимости от типологических свойств нервной системы. Казань, 1969.
4. *Щукин М.Р.* // Вопросы психологии. 1984. В.6. С. 26–32.
5. *Багрецов С.А., Оганян К.М., Пророк В.Я.* Основы построения и организации адаптивных систем профессионального отбора. СПб, 2003.
6. *Макаренко Н.В.* Психофизиологические функции человека и операторский труд. Киев, 1991.
7. *Гуревич К.М., Матвеев В.Ф.* Вопросы профессиональной пригодности оперативного персонала энергосистем. М., 1966.
8. *Батура М.П., Живицкая Е.Н.* Инновации – на первый план: в Беларуси внедряется новая модель подготовки кадров для реализации сектора экономики.

UDC 621.039-78

PROFESSIONAL PSYCHOLOGICAL SELECTION AS A TREND IN NUCLEAR EDUCATION

E.V. ANDREEVSKY, M.A. AKHMEDKHANOV, Yu.V. DANAYKIN

*National Research Tomsk Polytechnic University
Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia*

Submitted 2 February 2015

The process of nuclear energy production is strongly associated with danger for employees, satellite cities and neighbor regions, risk of radioactive contamination of environment, threats to public and national security – all this necessitates constant work on improving all aspects of the physical protection of nuclear facilities.

At present, more and more attention is focused on training of specialists of material protect, control and account of nuclear materials – MPC&A. And one of the newest trends in professional education is careful consideration to human factor.

In the course of theoretical and methodological analysis we identified the following psychological characteristics of a person that can contribute to the possibility of unauthorized actions at nuclear facility – low intellectual abilities; low emotional stability; high self-incrimination; low self control; high anxiety; neuroticism; low goodwill; low integrity; low performance; low neuro-psychological stability; aggressiveness; propensity to addictive behavior; propensity to suicidal reactions, e.t.c. Different studies indicate the possibility of timely and reliable detection of such person's psychological negative characteristics by using methods of professional psychological selection [1].

For the purposes of improving of professional nuclear education, we suggest to include psychological selection to the Model of professional training of nuclear specialists as it depicted on fig. 1.

So, we suggest using professional psychological selection for candidates at the stage of their entry examination at universities or technical colleges. Also training centers of nuclear enterprises can use professional psychological selection methods for candidates to get qualification upgrade.

As example, we can see how appropriable scheme of professional psychological selection can work. For the purposes of professional psychological selection we can apply the following methodics: Testing of intellect structure [2]; Multilevel personal questionnaire «Adaptivity» [3]; «16 Personality Factors Questionnaire» (16 PF) [4]; Technique of 5-factor model of personality [5], and so on.

It is better to use automatized psychodiagnostical methods due to large number of candidates at entry examinations. There is a possibility of psychological correction [6] of some characteristics during the process of education.

To sum up, we can say – during their career, all nuclear specialists must have access to upgrading the level of qualification and competence. Only this approach can ensure the safe use of nuclear energy, protect employees and environment. As well as professional psychological selection found its place in nuclear industry – it is a new and perspective trend to include its elements in nuclear education on all levels.

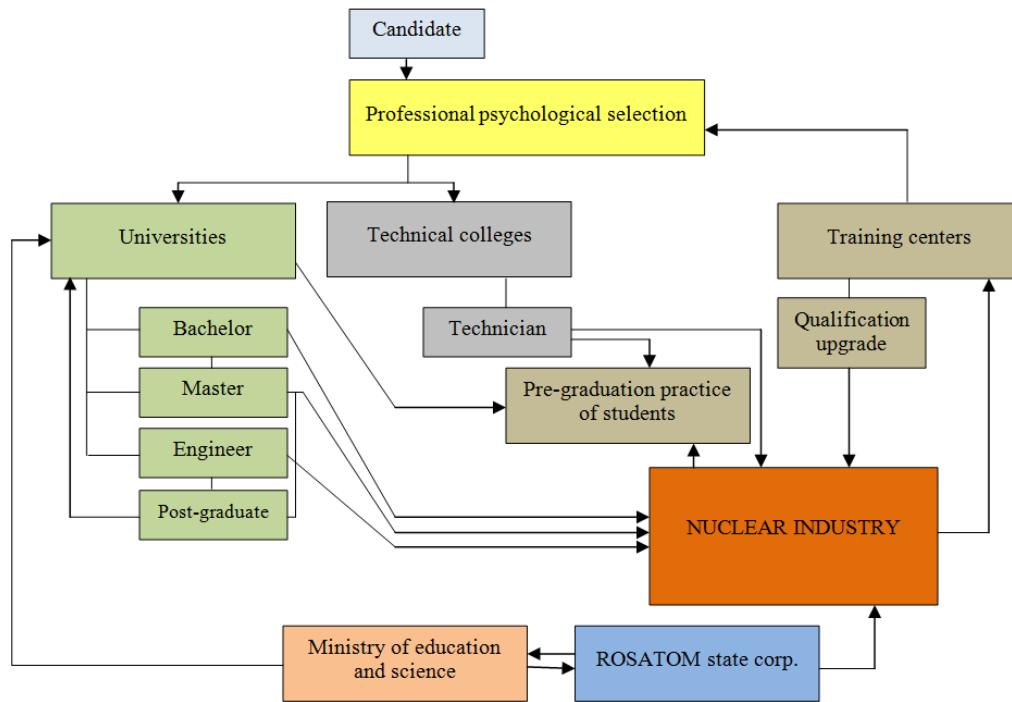


Fig. 1. Model of psychological selection in typical structure of professional training of nuclear specialists

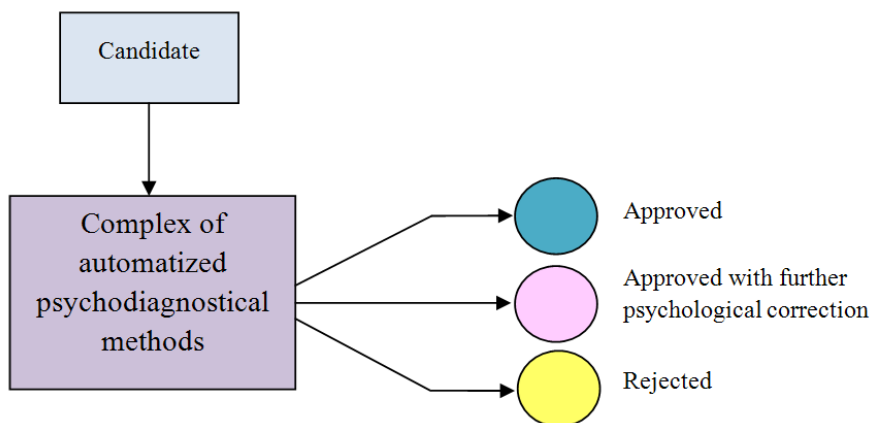


Fig. 2. Scheme of professional psychological selection with use of automatized psychodiagnostical methods

References

1. *Shmelev A.G.* Basics of psychodiagnosis. Moscow, 1996.
2. *Amthauer R.* I-S-T 70. Intelligenz-Struktur-Test. Handanweisung für die Durchführung und Auswertung. 4, unveränderte Auflage.
3. *Maklakov A.G.* Professional psychological selection of the personnel. Theory and practice. Saint-Petersburg, 2008.
4. *Cattell R.B., Eber H.W., Tatsuoka M.M.* Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire (16PF). Champaign, IL: Institute for Personality and Ability Testing. 1970.
5. *Goldberg L.R.* The development of markers for the Big-Five factor structure. *Psychological Assessment*. 1992. № 4.
6. *Hawk K.M.* Personal reflections on a career in correctional psychology. *Professional Psychology: Research and Practice*. 1997. № 28 (4).

УДК 621.039-78

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

С.В. ДРОБОТ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Представлены основные этапы организации подготовки специалистов в области электроники и автоматики для Белорусской АЭС, а также основные результаты первых пяти лет такой подготовки.

Ключевые слова: электроника, автоматика, физические установки, системы контроля и управления, подготовка специалистов для Белорусской АЭС, учебная лаборатория, технологический процесс.

Для обеспечения безопасной эксплуатации строящейся в настоящее время Белорусской АЭС необходимы высококвалифицированные специалисты различного профиля. Их полный перечень достаточно широк: от специалистов в области реакторной физики, радиационной химии, теплофизики, ядерной и радиационной безопасности до специалистов в области паротурбинных установок и современных систем контроля и управления на АЭС. В соответствии с рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в Республике Беларусь принято стратегическое решение об организации подготовки национальных кадров для первой в стране АЭС. В рамках утвержденной Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008–2020 гг. (далее – Программа) Белорусскому государственному университету информатики и радиоэлектроники (БГУИР) в соответствии с его профилем, квалификацией преподавателей и имеющейся материально-технической базой поручена подготовка инженеров со специализацией «Электронные системы контроля и управления на АЭС» специальности «Промышленная электроника». Образовательным центром по специализации стала кафедра электроники.

При организации подготовки этих специалистов было принято решение ориентироваться на многолетний опыт, существующий в Российской Федерации. Это было обусловлено выбором проекта будущей Белорусской АЭС, каким явился проект «АЭС-2006» российской Госкорпорации «Росатом». За аналог была принята специальность «Электроника и автоматика физических установок» направления «Ядерная физика и технологии» как наиболее близкая по профилю из перечня специальностей и направлений подготовки Российской Федерации.

Анализ стандартов и учебных планов специальностей «Электроника и автоматика физических установок» и «Промышленная электроника», проведенный на кафедре электроники, позволил найти перечень теоретических и практических вопросов, который различает эти специальности. Из него и было сформировано теоретическое и практическое наполнение цикла дисциплин специализации «Электронные системы контроля и управления на АЭС». Он включает такие дисциплины, как «Ядерная физика и устройство ядерных энергетических реакторов», «Дозиметрия и защита от излучений», «Методы и устройства регистрации ионизирующих излучений», «Элементы и устройства систем контроля и управления ядерных энергетических установок», «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС».

Для успешной подготовки по указанным дисциплинам специализации были решены следующие задачи: подготовлен профессорско-преподавательский состав, разработана учебно-программная документация и начала создаваться материально техническая база новых дисциплин. При этом в полной мере использовались возможности Программы, в рамках которой выделяются финансовые средства на повышение квалификации и переподготовку преподавателей, а также на создание и развитие материально-технической базы университетов, участвующих в реализации мероприятий Программы.

Особое внимание было уделено установлению и развитию сотрудничества с университетами Российской Федерации, в которых осуществляется подготовка по названной специальности: Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт», Томский политехнический университет и Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. В рамках двухсторонних соглашений между БГУИР и университетами преподаватели кафедры электроники прошли стажировки по изучению организации подготовки на выпускающих кафедрах по специальности «Электроника и автоматика физических установок». Во время таких стажировок изучалась организация учебного процесса, учебные планы специальности, учебные программы и учебно-методические комплексы новых для БГУИР дисциплин, их лабораторная база. Посещение различных видов учебных занятий позволило ознакомиться с методикой преподавания. Изучались специфика различных видов образовательной деятельности кафедр, в том числе вопросы организации базы производственной практики, взаимодействие с заказчиками кадров, подходы при формировании тематики дипломных проектов. Цель таких стажировок – изучение всего лучшего и нового для дальнейшего использования при организации учебного процесса на кафедре электроники БГУИР по новым дисциплинам. Кроме стажировок преподаватели проходили повышение квалификации по ряду программ, близких по содержанию с новыми дисциплинами.

Другим важным аспектом международного сотрудничества явилось взаимодействие с организациями Госкорпорации по атомной энергии «Росатом», которые задействованы в разработке и производстве отдельных видов оборудования, подсистем, программно-технических комплексов для автоматизированной системы управления технологическими процессами на АЭС, а также разработке проекта АСУТП АЭС в целом. Установление и развитие сотрудничества с такими организациями как ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»), АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации АЭС», АО «Специализированный научно-исследовательский институт приборостроения» (АО «СНИИП») позволили не только изучить современное оборудование, используемое в составе АСУ ТП современных российских АЭС, но и создать на кафедре учебно-исследовательские лаборатории, оснащенные этим оборудованием. Стажировки профессорско-преподавательского состава на этих предприятиях позволили совместно с их разработчиками и конструкторами оптимизировать состав и наполнение этих лабораторий. В настоящее время лаборатория электронных систем контроля и управления на АЭС кафедры электроники оснащена приборной автономной стойкой ТПТС, включающей наиболее широко используемые функциональные микропроцессорные модули, комплектом имитаторов исполнительных механизмов и датчиков, а также инженерными рабочими станциями с программным средством GET-R. Перечисленное оборудование и программное обеспечение ФГУП «ВНИИА» позволяют изучить устройство, состав, назначение и принцип действия программно-технических средств ТПТС, принцип организации и работу современной цифровой АСУТП АЭС. Будущие специалисты приобретают навыки выполнения основных видов работ с программно-техническими комплексами на базе средств ТПТС, которые выполняются на этапах монтажа, тестирования, отладки и эксплуатации этих средств на промышленных объектах. Оборудование используется при выполнении лабораторных практикумов по дисциплинам «Элементы и устройства систем контроля и управления ядерных энергетических установок» и «АСУТП АЭС».

Лаборатория методов и средств радиационного контроля кафедры электроники укомплектована оборудованием и программным обеспечением АО «СНИИП», позволяющим изучить автоматизированную систему радиационного контроля (АСРК) современной АЭС. Состав оборудования включает три вида блоков детектирования гамма-излучения, используемых в составе АСРК, а также многофункциональный контроллер, объединяющий

блоки детектирования в мини-АСРК, в котором осуществляется первичная обработка выходных сигналов блоков детектирования, содержащих информацию об измеряемых параметрах. Рабочие станции в учебной лаборатории имеют программное обеспечение, позволяющее вносить коррекцию в показания приборов и осуществлять их калибровку. Оборудование имеет многофункциональное назначение и используется в лабораторных практикумах по дисциплинам «Дозиметрия и защита от излучений», «Методы и устройства регистрации ионизирующих излучений».

Научные и производственные центры, с которыми осуществляется многоплановое взаимодействие, обладают современной исследовательской и производственной базой и являются прекрасным местом для организации производственной практики будущих специалистов в области электроники и автоматики для АЭС. На протяжении последних двух лет небольшие группы в составе 4–5 студентов БГУИР проходили производственную практику на этих предприятиях, приобретая знания и навыки, соответствующие образовательному стандарту [1].

Кроме исследовательских и производственных предприятий ГК «Росатом» студенты проходили практику на Калининской АЭС в цехе тепловой автоматики и измерений (ТАИ). В качестве места для прохождения практики данная АЭС выбрана неслучайно: АСУТП новых энергоблоков этой станции, введенных в эксплуатацию уже в 21 веке, является полностью цифровой системой, реализующей «дисплейный» способ управления. Калининская АЭС длительное время будет оставаться идеальным местом для прохождения практики по ряду причин: еще на студенческой скамье будущие специалисты могут ознакомиться с условиями работы на АЭС и получить навыки работы с оборудованием, подобным тому, что будет использоваться на Белорусской АЭС. В течение всего срока практики студенты, помимо экскурсий на различные объекты промышленной площадки АЭС и в другие цеха станции, знакомились с ежедневной работой отдела цеха ТАИ, в котором они проходили практику, изучали руководства по эксплуатации оборудования, которое обслуживает отдел, и приобрели навыки выполнения регламентных работ на нем.

Еще одним направлением международного сотрудничества при подготовке специалистов является взаимодействие с МАГАТЭ. В рамках программы технической поддержки МАГАТЭ странам, принявшим решение использовать атомную энергию в мирных целях, БГУИР получил возможность совершенствовать свою учебно-лабораторную базу. МАГАТЭ финансировало разработку и поставку в БГУИР и ряд других университетов Беларуси по согласованным с белорусской стороной техническим заданиям «Компьютерной обучающей системы по основам политики, руководства и технологии АЭС (программное обеспечение, оборудование, документация и услуги)», а также прикладного программного обеспечения и методических указаний для лаборатории «Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ЯЭУ».

Ряд преподавателей кафедры электроники прошли обучение на школах-семинарах МАГАТЭ, проводимых совместно с Международным теоретическим центром им. Абду Салама: «Менеджмент и управление ядерными знаниями», «Ядерные технологии».

На протяжении 2008–2012 гг. кафедра электроники БГУИР организовала подготовку специалистов в области электроники и автоматики для Белорусской АЭС по соответствующей специализации: прошли повышение квалификации и переподготовку преподаватели, создается и развивается учебно-научная база новых читаемых дисциплин, разработана их учебно-программная документация. План мероприятий БГУИР, направленный на реализацию Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008–2020 гг., успешно выполняется.

С учетом опыта, приобретенного преподавателями, необходимо обеспечить ряд дополнительных компетенций выпускаемых специалистов, изучив потребности предприятий Республики Беларусь, кафедра электроники выходит с инициативой введения в классификатор специальностей Республики Беларусь новой специальности «Электронные и информационно-управляющие системы физических установок». Были разработаны стандарт специальности [2], типовой учебный план и другая необходимая учебно-программная документация. В учебном плане появляется несколько новых дисциплин по сравнению с планом специализации «Электронные системы контроля и управления на АЭС». В 2013 г. состоялся первый набор на обучение по этой специальности.

С учетом перехода БГУИР на систему подготовки, когда на первой ступени высшего образования обучение ведется в течение четырех лет, а на второй ступени (магистратуре) в течение двух лет, перед кафедрой электроники стоит задача подготовки стандарта и учебного плана специальности аналогичного профиля в магистратуре.

Список литературы

1. ОСРБ 1-36 04 02-2008. Высшее образование, первая ступень. Специальность 1-36 04 02. Промышленная электроника. Минск, 2008.
2. ОСВО 1-39 03 03-2013. Высшее образование, первая ступень. Специальность 1-39 03 03. Электронные и информационно-управляющие системы физических установок. Минск, 2013.

УДК 621.039-78

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС В БГУИР

Е.Н. ЗАЦЕПИН, С.В. ДРОБОТ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Представлены системы безопасности современной АЭС и особенности их изучения студентами БГУИР, которые обучаются в рамках Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008–2020 гг.

Ключевые слова: системы безопасности АЭС, фундаментальные принципы безопасности, подготовка специалистов для Белорусской АЭС, автоматизированная система управления, ядерный реактор.

Ввиду насыщенности производственной сферы и повседневной жизни человека сложными техническими объектами, растет вероятность отказов и неполадок, а также ошибок человека в процессе их эксплуатации. Одной из основных задач государства является обеспечение безопасности своих граждан путем предотвращения аварий и катастроф, к которым могут приводить такие отказы. Масштаб крупных техногенных катастроф уже вполне соизмерим с чрезвычайными ситуациями военного времени. Начало 21 века характеризуется ростом числа чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, экологического и социального характера во всем мире. Таким образом, изучение учебной дисциплины «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность» с учетом профессиональной деятельности выпускников вузов является исключительно актуальным. Будущие специалисты должны глубоко уяснить основные принципы безопасности и стать основными проводниками и организаторами мероприятий по обеспечению безопасности в различных сферах профессиональной деятельности. В рамках данной дисциплины на кафедре экологии БГУИР рассматривается ряд вопросов, связанных с обеспечением безопасности при эксплуатации ядерных энергетических реакторов. К ним относятся: дозиметрические величины, способы регистрации ионизирующих излучений, цепная ядерная реакция, устройство ядерного реактора, причины и последствия аварии на ЧАЭС, нормативные документы, действие ионизирующего излучения на тело и отдельные органы человека, методы и средства защиты. Особое внимание уделяется обеспечению безопасного проживания граждан в условиях радиоактивного загрязнения территорий после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

При подготовке специалистов в области электронных систем контроля и управления для Белорусской АЭС, которая ведется в БГУИР, вопросам обеспечения безопасности на АЭС по ряду понятных причин уделяется первостепенное значение. Главная особенность технологического процесса на АЭС заключается в образовании значительного количества радиоактивных продуктов деления в тепловыделяющих элементах активной зоны реактора. Для надежного удержания (локализации) радиоактивных продуктов в ядерном топливе и в границах сооружений атомной станции, строящейся в Беларуси по проекту АЭС–2006, предусматривается ряд последовательных физических барьеров, препятствующих их выходу в окружающую среду [1]. Как показывает практика, на АЭС возможны нарушения режимов нормальной эксплуатации и возникновение аварийных ситуаций с выходом радиоактивных веществ за пределы активной зоны, гермооболочки реакторного отделения и даже АЭС. Это

представляет потенциальный риск для персонала АЭС, населения и окружающей среды и требует принятия технических и организационных мер, снижающих вероятность возникновения таких ситуаций до приемлемого минимума. Обеспечение таких мер осуществляется системами безопасности и системами по преодолению запроектных аварий. К настоящему времени мировым сообществом выработаны общие принципы и требования по обеспечению безопасности АЭС. Они универсальны для всех типов реакторов, хотя и существует необходимость их адаптации к проектным или эксплуатационным особенностям конкретных реакторных установок. Эти принципы уточняются и дополняются по результатам опыта эксплуатации и анализа аварийных ситуаций. Основные принципы безопасности содержатся как в российской нормативной, так и в международной нормативно-регламентирующей документации. Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG) разработан ряд рекомендательных документов, определяющих общие подходы и принципы обеспечения безопасности. Сформулированы 12 фундаментальных принципов безопасности, три из которых связаны с управлением безопасностью, три – с глубоководной защитой и шесть – с техническими принципами обеспечения безопасности.

Системы безопасности, спроектированные с учетом этих фундаментальных принципов, позволяют значительно снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций в результате таких аварий как потеря электроснабжения, отказах аварийного электроснабжения, а также природных катаклизмах, приводящих к длительной потере внешней водной среды как конечного поглотителя тепла.

Основными инновациями в системах безопасности АЭС–2006 по сравнению с типовым проектом ВВЭР–1000 являются пассивные технологии: пассивный отвод тепла; пассивный залив активной зоны (гидроемкости первой и второй ступеней); пассивная фильтрация межоболочного пространства; пассивная локализация и удержание расплавленных материалов активной зоны. Применение пассивных систем предотвращает переход запроектных аварий в тяжелую стадию, при которой происходит сверхпроектное повреждение активной зоны, обеспечивает локализирующие свойства контейнмента и ограничивает количество радиоактивного выброса со станции.

Одной из важных систем АЭС, обеспечивающих высокую надежность ее работы, является автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП). Структура, основы функционирования, подсистемы и влияние АСУТП на безопасность АЭС изучаются в ряде дисциплин кафедры электроники БГУИР.

В современных АЭС АСУТП является многоуровневой распределенной системой, которая строится по иерархическому принципу. Уровень связи с технологическим объектом управления ТОУ (датчики, исполнительные устройства) обеспечивает подготовку и проведение автоматических измерений параметров технологического процесса, контроля состояния оборудования, отработку управляющих команд автоматического и автоматизированного управления и защит (подача силового питания на исполнительные устройства). Нижний уровень автоматизации обеспечивает прием и обработку данных автоматических измерений и контроля, обмен информацией с верхним уровнем АСУТП и осуществляет реализацию алгоритмов управления системами безопасности, технологических защит и блокировок, автоматического и автоматизированного (по командам оператора) управления.

Верхний уровень АСУТП обеспечивает обработку информации, полученную с нижнего уровня, ее архивирование, документирование и представление оперативному персоналу пунктов управления, осуществляет формирование команд автоматизированного управления технологическим процессом энергоблока, обеспечивает передачу необходимой информации в общестанционную систему управления.

Задача АСУТП состоит в выполнении контроля и управления технологическими процессами и оборудованием для обеспечения: ядерной и радиационной безопасности; надежности выработки электроэнергии; экономичности производственных процессов АЭС. Система должна удовлетворять требованиям существующих нормативно-технических документов с точки зрения обеспечения безопасности.

Особое внимание уделяется изучению системы управления и защиты (СУЗ), предназначенной для автоматического и ручного управления мощностью, реактивностью и

энергораспределением в активной зоне реактора, обеспечению контроля теплогидравлических и нейтронно-физических параметров реакторной установки (РУ) и контроля положения органов регулирования. СУЗ обеспечивает поддержание параметров РУ в рамках эксплуатационных пределов при нормальных условиях эксплуатации, ограничение мощности вплоть до полного останова реактора и аварийную защиту при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, формирование сигналов защиты в исполнительную часть управляющих систем безопасности, обеспечивая тем самым безопасность АЭС.

Теоретический материал курса «АСУТП АЭС» закрепляется при выполнении лабораторного практикума в учебной лаборатории «Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ядерных энергетических установок», которая была поставлена в БГУИР специалистами Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт» в рамках программы технической помощи МАГАТЭ [2].

Список литературы

1. Проект АЭС-2006. Основные концептуальные решения на примере Ленинградской АЭС-2. – ОАО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект», 2011.
2. Учебная лаборатория «Реакторная физика, конструкция, управление и безопасная эксплуатация ядерных энергетических установок». Том 4. Описание лабораторного практикума. М., 2012.

УДК 621.039

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА АСУ ТП

ЧАРДЫМОВ А.И.

*ГИУСТ БГУ, Обойная, 7, Минск, 220004, Беларусь**Поступила в редакцию 30 января 2015*

Статья подготовлена на основании результатов исследования, проведенного на ТЭЦ-22 г. Москвы и Конаковской ГРЭС. Основным топливом для ТЭЦ-22 являлся уголь, а для Конаковской ГРЭС – природный газ. Во время проведения исследования блочный щит управления (далее – БЩУ) компьютеров не имел. Он представлял собой стандартный для тепловых станций набор приборов (преимущественно механических), отображающих отдельные технологические параметры топлива и теплоносителя.

В качестве эксперимента на БЩУ одного из энергоблоков был размещен универсальный прибор, на основе горизонтально установленной газоразрядной трубки со светящимся столбиком. Его длина соотносилась со шкалой, которая была нанесена на пластмассовый кожух прибора. С точки зрения работников КИПиА, такая универсальность очень удобна в обслуживании. Все приборы имели одинаковую конструкцию, механических частей у них не было, различия – незначительны.

Однако у операторов при работе с прибором возникали некоторые трудности. Дело в том, что для считывания показателя необходимо одновременно соотнести светящийся столбик и несветящуюся шкалу. При длительном наблюдении прибора возникало явление, называемое латеральным торможением [1]. Суть его в том, что оно увеличивает контраст близлежащих поверхностей для восприятия края. Из-за того, что функционирование нейронов, на которые проецируется темная поверхность, тормозится в большей мере, темная поверхность становится еще более темной, а светлая поверхность – еще более светлой. В результате прочитать хотя бы один показатель было очень сложно. В связи с этим можно сформулировать следующий принцип формирования пользовательского интерфейса: интерфейс создается, в первую очередь, для пользователя, а не для удобства службы КИПиА или АСУ, подтверждаемый в [2].

Рассмотренный выше эксперимент, проведенный на Конаковской ГРЭС, примечателен еще в одном отношении. Представленные на БЩУ приборы демонстрировали отдельные показатели физических процессов, материалов или устройств. Информационная модель энергоблока отражала объект управления мозаично. Основные параметры, предъявлявшиеся оператору (машинисту) – это расходы воды, топлива, воздуха, а также показатели температуры, давления и т.п. Это соответствовало технической реализации энергоблока и автоматизированной системы управления. Оператор вынужден создавать целостный образ управляемого объекта, чтобы управлять котлом или турбиной. Для этого требуется соотнесение отдельных показателей приборов с концептуальной моделью системы. В данном случае возникает напряженная умственная деятельность. При этом важно не упустить показания того или иного прибора.

Информационную деятельность по управлению технической системой можно представить в виде пирамиды. В ее основании лежит восприятие ключевых, информативных, но все же отдельных параметров. Их первичная обработка, соотнесение некоторых из них друг с другом, создает целостные, относительно самостоятельные образования. По мере образования отдельных блоков (от основания пирамиды) происходит их оценка: если нет ничего аномального, некоторые из них отсеиваются как несущественные для общей картинки. В концептуальной модели остаются лишь значимые, по мнению оператора, смысловые блоки

информации. Величина кубиков, информационных блоков, из которых оператор строит целостную картинку, увеличивается.

Когда оператор фиксирует отдельные необработанные параметры, ему приходится совершать всю информационную работу в полном объеме. Известно, что у основания пирамиды работа наиболее трудоемка. На современном техническом уровне возможно и необходимо автоматизировать базовую обработку информации, укрупнить информационные блоки, подаваемые оператору. Исходя из этого, сформулируем еще один принцип построения пользовательского интерфейса: основание информационной пирамиды по управлению технологическим процессом должно обрабатываться автоматическими алгоритмами. Вероятно, основой таких алгоритмов должны стать физические закономерности управляемого технологического процесса и реализованная техническая конструкция объекта.

Необходимо отметить, что на момент построения энергоблока Конаковской ГРЭС не существовало технических средств, способных проанализировать динамику отдельных показателей и предъявить оператору синтезированную информацию, целостную картинку. Укрупнение информационных блоков для подачи оператору, по мнению автора, позволит уменьшить количество ошибок оператора и видеть ситуацию в целом. Какие именно он будет принимать решения на основе этой информации, вопрос отдельный, который лежит за пределами данной статьи.

Список литературы

1. *Ratliff F.* // Scientific American. 1972. № 226. P. 90–101
2. *Алан Купер, Роберт Рейман, Дэвид Кронин.* Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. М., 2014.

УДК 621.039-78

ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С.В. ДРОБОТ, В.Н. ПУТИЛИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 30 января 2015

Представлены основные задачи подготовки инженеров в области электроники и автоматики по направлению «Ядерная физика и технологии». Приведен перечень компетенций, которыми должен обладать инженер-специалист в этой области.

Ключевые слова: электроника, автоматика, ядерный реактор, автоматизированная система управления, подготовка специалистов для Белорусской АЭС, технологический процесс.

Требования к современному специалисту-ядерщику можно сформулировать в следующем виде: глубокие познания в естественных науках, хорошие инженерные навыки, творческие способности и наличие мотивации к освоению новых ядерных технологий и новой техники, владение методологией выполнения численных компьютерных и натуральных экспериментов, умение оценить надежность и достоверность экспериментальных данных.

Компетентный специалист-ядерщик должен быть готов к принятию решений в практических задачах оптимизации при наличии большого количества параметров и критериев. Он должен учитывать технологические, эргономические и экономические особенности имеющегося оборудования; владеть соответствующими навыками в области информационных технологий; иметь навыки общения, необходимые для командной работы; уметь выполнять свои функции в контакте со специалистами из смежных с атомной техникой областей; быть способным работать в рамках международных проектов и иметь высокий уровень владения английским языком.

Образование и обучение в области ядерной энергетики имеет мультидисциплинарную природу. Это говорит о необходимости получения как базовых знаний в области физики, включая физику ядерных процессов, промышленной электроники, основ дозиметрии, методов и устройств измерения и защиты от ионизирующих излучений, так и знаний большого количества специальных предметов, определяемых его специализацией, включая автоматизированные системы управления ядерными энергетическими установками, а также элементы и устройства систем контроля и управления технологическими переменными ядерных энергетических установок. Ядерные знания отличаются высокой сложностью и большими капитальными затратами, что затрудняет формирование соответствующей материально-технической и учебной базы в вузе. При этом важным является наличие у обучающихся мотивации к глубокому изучению ядерной тематики, что требует повышения в целом престижа высшего образования и должно являться предметом национальной политики в ядерной области, поскольку академическое образование в области ядерной энергетики – сложный, длительный и дорогостоящий процесс.

Специалисты в области электроники и автоматики для ядерной энергетики должны иметь теоретическую и практическую подготовку в области ядерной физики, методов измерения параметров ионизирующих излучений, владеть знаниями в ядерной электронике, аналого-цифровой микросхемотехнике, ядерному приборостроению с использованием микропроцессоров и персональных компьютеров. Специфические знания в ядерной отрасли или связанных с ней видов деятельности были накоплены всего в течение столетия, а практический опыт в этой области формировался еще меньше – в течение шести десятилетий. Все это требует для формирования высококлассных профессионалов тесной связи вузовского образования в сочетании с практической деятельностью на АЭС.

Очевидно, что в будущем увеличится потребность в ядерных знаниях в связи со следующими важными обстоятельствами:

- существующие ядерные объекты способны успешно работать в течение длительного срока;
- постоянно происходит проектирование и строительство новых ядерных объектов;
- растет применение ядерных технологий в неэнергетических областях, что также требует обеспечения соответствующих мер безопасности и наличия высококвалифицированного персонала.

Работа в ядерной сфере требует осознанного и компетентного использования интеллектуальных ресурсов, а значит и высококвалифицированных кадров для эффективного управления знаниями и проведения инновационных разработок. Следовательно, наиболее важными задачами с точки зрения повышения эффективности высшего образования являются:

- обеспечение мотивации нового поколения студентов для работы в отрасли;
- разработка новых магистерских программ;
- разработка требований к техническим средствам обучения, в том числе к полномасштабным тренажерам, приближенным к реальной обстановке на пунктах управления энергоблоками;
- проведение в вузах краткосрочных курсов лекций, читаемых ведущими специалистами и экспертами-ядерщиками с большим практическим опытом;
- организация участия студентов в конференциях и семинарах различных уровней, что обеспечивает повышение компетентности будущих специалистов и повышает качество академического образования в области ядерной энергетики.

Рассмотренные требования к образовательному процессу в области ядерных технологий позволяют сформулировать ключевые компетенции специалистов в области электроники и автоматики физических установок:

- способность применять знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках для понимания целей и задач АСУ ТП;
- знание общей структуры управления АЭС с целью понимания своей личной роли;
- готовность к организационно-управленческой работе с малыми коллективами;
- владение знаниями по технике безопасности на производствах атомной промышленности и энергетики;
- способность применять полученные знания в области электроники и автоматики для проектирования новых технических средств систем автоматизированного управления;
- способность применять знания о технологических процессах и аппаратах производств ядерного топливного цикла для понимания целей и задач АСУ ТП;
- способность применять знания теории и практики АСУ ТП, включающие математическое, информационное, алгоритмическое и техническое обеспечения для обслуживания этих систем;
- знание общей структуры управления производствами ядерного топливного цикла с целью понимания своей личной роли.

Набор дисциплин, формирующий указанные компетенции специалистов в области электроники и автоматики для Белорусской АЭС, нашел свое отражение в образовательном стандарте высшего образования по новой специальности «Электронные и информационно-управляющие системы физических установок» [1].

Список литературы

1. ОСВО 1-39 03 03-2013. Высшее образование, первая ступень. Специальность 1-39 03 03. Электронные и информационно-управляющие системы физических установок. Минск, 2013.

Данный выпуск содержит доклады, рекомендованные для опубликования в журнале программным комитетом I Международной научно-технической конференции «Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС». Минск, февраль, 2015.

