Multi-D engineering

Россия
RUSSIA
Atomic Project
Атомный проект

55 лет атомному ледокольному флоту России

НИИИС

Завод «Энергокабель»

GEA

#19
2014

www.POWEREXPO.kz

28–30 октября 2014

Казахстан, Алматы, КЦДС "Атакент"

POWER KAZAKHSTAN

13-я КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ОРГАНИЗАТОРЫ:

ITE Iteca

Тел. : +7 (727) 2583434; E-mail: power@iteca.kz

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА :

Министерство индустрии и новых технологий Республики Казахстан

KEGOC

Акимат г. Алматы

Союз Инжиниринговых компаний Республики Казахстан

Союз Инженеров-энергетиков Республики Казахстан

ярмарка АТОМНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Атомный проект

ВЫПУСК ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ

Подготовлен для участия в специализированных форумах и выставках:

- **Форум поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС» (Москва, Россия)**
- **Специализированная выставка «Энергетика. Электротехника. Энергоэффективность» (Екатеринбург, Россия)**
- **Российско-сербская промышленная выставка «Expo-Russia Serbia» и Второй белградский бизнес-форум (Белград, Сербия)**
- **Отраслевые конференции и рабочие мероприятия**

Atomic Project

ISSUE NINETEENTH

НИАЭП

АСЭ·ASE

СОДЕРЖАНИЕ

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

Информационно-аналитический журнал для специалистов в области атомного машиностроения

№ 19, октябрь, 2014 г.

Учредитель-издатель
ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

Генеральный директор
Г. П. Митькина

Сайт в Интернете
www.kuriermedia.ru

Журнал издается при содействии:

- ОАО «Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект» (НИАЭП).
- ООО «Центр информационных и выставочных технологий» «НДЦ-Экспо».

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций по Нижегородской области. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ТУ 52-0093 от 25.12.2008 г.

Главный редактор
Г. П. Митькина
8-902-68-00-589

Директор рекламной службы
Л. И. Волкова
8-951-901-77-94

Трафик-менеджер
Ю. Кривошеева
8-951-902-27-31

Допечатная подготовка
ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

Перевод
В. В. Сдобников

Адрес издателя и редакции
603006, Нижний Новгород, ул. Академика Блохиной, д. 4/43
Телефон
(831) 461-90-16
Факс
(831) 461-90-17
E-mail: ra@kuriermedia.ru, ag@kuriermedia.ru

Тираж выпуска
3000 экз.
на бумажном и CD-носителях

Дата выхода в свет
23.10.2014 г.

Типография
ООО «Центр оперативной печати» Нижний Новгород, ул. Новая, 36

В свободной продаже отсутствует

Перепечатка, копирование материалов, опубликованных в журнале, без согласования с редакцией не допускается. Ответственность за достоверность рекламных материалов несут рекламодатели.

16+

СОБЫТИЕ / EVENT

Мерило ценности – эффективность. **Галина Юрьева** 4
Effectiveness as a Measure of Value. **Galina Yurieva** 5

ИСТОРИЧЕСКАЯ ДАТА / HISTORICAL DATE

Первопроходцы Арктики 6
Pioneers of the Arctic Region 8

Атомные ледоколы: российский ответ на вызовы XXI века в освоении Арктики. **В.М. Блинов** 9
Nuclear Icebreakers: Russia's Response to the Arctic Development Challenges in the 21st Century. **V.M. Blinov** 12

Курчатовский институт и освоение Арктики 14
Kurchatov Institute and the Arctic Region Development 15

Более полувека Арктического мирного атома 16
Half a Century of Peaceful Atom in the Arctic Region 18

Подготовка кадров для плавучих объектов с ядерной установкой в ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова. **С.О. Барышников, В.И. Королев, А.Ю. Ластовцев** 19
Training Specialists for Floating Nuclear Facilities in State University of Sea and River Fleet. **S. Baryshnikov, V. Korolev, A. Lastovtsev** 21

Кадры флоту и верфям 22
Human Resources for the Fleet and Shipbuilding Yards 23

Медико-санитарное обеспечение экипажей судов с атомными энергетическими установками 24
Health Service Support on Nuclear Icebreakers 25

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ / IMPORT SUBSTITUTION

Кабели для цепей управления и контроля – эволюция и решения. **М.В. Шолуденко, И.С. Бекренева** 26
Cables for control and monitoring circuits – evolution and solutions. **M.V. Sholudenko, I.S. Bekreneva** 28

КОНФЕРЕНЦИЯ / CONFERENCE

Наука без границ 30

Деаэраторы системы подпитки и борного регулирования с насадочными колоннами. **Л.Д. Литвиненко, А.Г. Амелюшина, А.Г. Митрюхин, В.В. Безлепкин** 31

Систематизация обязательных требований в области обеспечения физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ. **В.А. Драгунов** 32

Вероятностный анализ безопасности проекта Курской АЭС-2. **А.А. Чекин, Е.В. Байкова, Е.С. Шишина, В.Н. Левин, М.В. Федулов** 34

Обеспечение безопасной переработки взрывчатых веществ – система допуска взрывчатых веществ на предприятии. **И.А. Лушин, И.А. Булатова** 36

Разработка схемы поиска мест неплотностей вакуумной системы турбогенераторов Курской АЭС с использованием галогенного течеискателя БГТИ-7/1. **А.М. Соборов, С.Е. Румянцев** 38

Интеллектуальные НКУ и КРУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ для проекта ВВЭР-ТОИ. **А.М. Большаков** 40

Методы и алгоритмы для выявления нештатных ситуаций на магистральном газопроводе. **В.А. Фролов, В.Д. Исаев** 41

Модернизация ПТС для ПТК ВУ АСУ ТП АЭС. **А.Н. Поздняков, Э.Р. Саминов** **42**

Архитектура управляющей системы безопасности на базе КСА ТПТС-СБ для проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. **К.П. Артемьев** **44**

Особенности разработки электронных инструкций для эксплуатационных процедур. **Л.Н. Неуступкина, Е.П. Образцов, А.Э. Ширванянц** **47**

Автоматизация ультразвукового неразрушающего контроля тонкостенных криволинейных изделий. **Р.Р. Исхужин, В.Г. Атавин, А.А. Узких** **48**

Внедрение технологии прецизионного травления проводящих рисунков современных печатных плат на автоматизированном комплексе Kuttler. **И.В. Скобелева, Л.Н. Сучкова, Т.П. Любимова** **50**

Исследование и оптимизация централизованных систем холодоснабжения АЭС. **А.А. Ковальчук, В.В. Никитин, Ж.В. Прусова** **52**

Опыт использования библиотеки S-MPI в параллельных приложениях. **Г.И. Воронов, А.Б. Дербунович, Д.А. Новаев, Д.К. Зеленский, В.Д. Трущин** **54**

Разработка математической модели и программного обеспечения виртуальных автоматизированных систем управления системой автоматической юстировки лазерной установки УФЛ-2М. **Е.О. Вотинцева** **56**

Технологии создания специального программного обеспечения мобильных систем физической защиты. **В.К. Де Ванса Викрамаратне, Г.Л. Доможиров, Д.А. Иванов, Т.Е. Федянин** **58**

Автоматизированные средства получения данных из комплексной процессной модели для формирования регламентирующих и методических документов предприятия по бизнес-процессам. **Д.А. Додонов, С.В. Карпенко, В.В. Коновалова** **60**

Опыт создания моделирующего комплекса для АЭС с РУ БН-1200. **В.А. Болнов, И.С. Зотов, С.А. Малкин, А.С. Ушатиков** **62**

Сверхширокополосный индукционный измерительный преобразователь напряженности магнитного поля в полосе частот от 10 МГц до 15 ГГц. **М.Г. Кулик** **64**

Способ и устройство запуска пиротехнических средств при испытаниях на ракетном треке. **А.В. Зубанков, В.А. Николаев, И.И. Кортюков, М.А. Хайруллин** **66**

Применение методов моделирования в разработке многоканального анализатора спектра одиночных СШП-сигналов. **А.В. Кашин, А.Л. Кунилов, М.М. Ивойлова** **68**

Исследование и разработка процесса осаждения тонких планок нитрида кремния для формирования структур МИМ-конденсаторов МИС СВЧ. **Н.С. Козлов, А.О. Шишкин** **71**

Разработка SPICE-моделей компонентов для импульсного преобразователя напряжения. **В.А. Отставнова** **72**

Моделирование коаксиально-полоскового перехода. **А.С. Данилов, С.Н. Устименко** **74**

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АЭС / NPP EQUIPMENT **76**

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ / INDEX **82**

Редакционный совет журнала «Атомный проект»

РУКОВОДИТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Лимаренко В. И. – президент ОАО «НИАЭП», управляющей организации ЗАО «АСЭ», доктор экономических наук

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Митенков Ф. М. – советник директора ОАО «ОКБМ Африкантов» по научным вопросам, академик РАН

Зверев Д. Л. – директор-генеральный конструктор ОАО «ОКБМ Африкантов», к. т. н.

Седаков А. Ю. – директор ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», к. т. н.

Дмитриев С. М. – ректор Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева, д. т. н.

Титов Б. М. – директор Нижегородского института экономического развития (НИЭР), к. э. н.

Иванов Ю. А. – старший вице-президент, директор по проектированию ОАО «НИАЭП»

Борисов И. А. – вице-президент по развитию ОАО «НИАЭП»

Петрунин В. В. – первый заместитель директора, главный конструктор промышленных РУ ОАО «ОКБМ Африкантов», д. т. н.

Катин С. В. – заместитель директора ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова» по научной работе, д. т. н., профессор

Чернышев А. К. – заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, д. ф-м. н.

Акимов Н. Н. – главный конструктор по АСУ объектами АЭ и ТЭК ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», к. т. н.

Скородумов С. Е. – главный ученый секретарь ОАО «ОКБМ Африкантов», к. т. н.

Зоря В. В. – руководитель проектного офиса по инновационным разработкам ОАО «НИАЭП», к. фил. н.

Леонтьев Н. Я. – начальник отдела стратегического развития и мониторинга рынков ОАО «НИАЭП», к. э. н.

Певницкий Б. В. – начальник научно-исследовательского отдела ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ

Резниченко А.Я. – начальник Управления коммуникаций объединенной компании ОАО «НИАЭП» – ЗАО «АСЭ»

Хвойнов В. Н. – начальник отделения маркетинга и связей с общественностью ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова»

Гирин Я. Н. – начальник рекламно-выставочного управления СДС РФЯЦ-ВНИИЭФ

Мерило ценности – эффективность

10 октября 2014 года на совещании у генерального директора Госкорпорации «Росатом» Сергея Кириенко было озвучено решение о назначении объединенной компании НИАЭП- АСЭ единоличным исполнительным органом ОАО «Атомэнергопроект».

До 2012 года в Росатоме существовало три Атомэнергопроекта: нижегородский, московский и питерский, а также инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт», ведущая свою деятельность за границами России.

В марте 2012 года НИАЭП стал управляющей компанией АСЭ.

В начале 2014 года решением единственного акционера – ОАО «Атомэнергопром» – Санкт-Петербургский Атомэнергопроект был объединён с Головным институтом «ВНИПИЭТ» в новое предприятие, получившее название «Атомпроект».

И вот теперь московский АЭП становится частью объединенной компании НИАЭП-АСЭ, несмотря на то, что на базе АЭПа уже фактически шло формирование полноценного инжинирингового дивизиона – в управлении компания находятся семь предприятий, выполняющих строительно-монтажные работы на отраслевых стройках.

«Практика показала, что компания НИАЭП-АСЭ более эффективна», – так объяснил принятое решение первый заместитель генерального директора ГК «Росатом» **Александр Локшин**.

Действительно, НИАЭП-АСЭ, в портфеле которой более 20 сооружаемых или проектируемых одновременно энергоблоков в России и за рубежом, предполагает завершить строительство третьего блока Ростовской АЭС уже в 2014 году вместо планового 2015 года. В то же время московский АЭП, ведущий работы только на Нововоронежской АЭС, наоборот, объявил о переносе пуска третьего энергоблока НВАЭС-2 с 2014 на 2015 год. Нововоронежская АЭС-2 возводится с 2008 года. Объем инвестиций в первые два энергоблока оценивается в 220 млрд руб. Из-за смещения сроков проект окажется дороже сметной стоимости. «Развитие московского АЭПа напрямую было связано с результатами работы по строительству Нововоронежской АЭС-2, и это было известно заранее», – пояснил А.М. Локшин. Пока неизвестно, останется ли АЭП генподрядчиком проекта или же его сменит непосредственно НИАЭП-АСЭ.

Старший вице-президент АО «НИАЭП» Ю.А. Иванов с индийскими специалистами

Как бы то ни было, на базе НИАЭП-АСЭ у Росатома появится единый инжиниринговый дивизион. В большинстве остальных секторов отрасли дивизионная структура действует давно: атомные станции объединены в Росэнергоатоме, производство топлива – в Корпорации «ТВЭЛ», машиностроение – в Атомэнергомаше.

Эксперты полагают, что уход Росатома от конкуренции между собственными структурами – правильная стратегия: большой портфель заказов в России и за рубежом вынуждает объединить ресурсы, это более эффективно с экономической точки зрения. Независимо от неблагоприятной политической ситуации на европейском рынке, Ростатом по-прежнему остается компанией, в сотрудничестве с которой активно заинтересованы многие страны. Только в октябре 2014 года в НИАЭП-АСЭ побывали несколько зарубежных делегаций.

Так, 3 октября 2014 года в московском офисе объединенной компании ОАО «НИАЭП» – ЗАО АСЭ прошла встреча с представителями машиностроительных предприятий Южной Кореи, членов корейской торговой делегации в РФ, организованная Корейской ассоциацией машиностроительной промышленности (KOAMI). В ходе встречи руководители южнокорейских машиностроительных предприятий ознакомились с проектами и технологиями объединенной компании, а представители известных на мировом уровне компаний KOAMI и «Flowtech» выступили с презентациями о высокотехнологичном оборудовании из Южной Кореи и своем возможном участии в проектах российской компании.

7 октября состоялся рабочий визит делегации посольства Республики Индия в РФ во главе с Чрезвычайным и Полномочным Послом Пунди Шринивасан Рагхаваном при участии представителей индийских деловых кругов в Нижний Новгород.

На строительстве Тяньваньской АЭС, КНР

Старший вице-президент по проектированию ОАО «НИАЭП» **Юрий Иванов** рассказал гостям об основных направлениях деятельности компании в России и за рубежом. Он, в частности, отметил, что АЭС «Куданкулам» – самая мощная атомная станция в Индии и самый крупный объект российско-индийского сотрудничества.

О российско-индийском сотрудничестве при сооружении АЭС в Индии рассказал заместитель директора по перспективным проектам московского филиала НИАЭП **Георгий Кумани**: «Российская Федерация оказывает техническое содействие Индии в сооружении двух энергоблоков АЭС «Куданкулам» с реакторными установками ВВЭР-1000 мощностью 1000 МВт каждый (проект АЭС-92). Реализацию соглашения по сооружению энергоблоков с российской стороны осуществляет ЗАО «Атомстройэкспорт», с индийской стороны – Индийская корпорация по атомной энергии. Первый блок 7 июня 2014 года подключен к сети и выведен на проектную мощность. Работы по второму блоку находятся в финальной стадии. В апреле 2014 года было подписано генеральное рамочное соглашение о сооружении третьего и четвертого блока, и сейчас ведутся работы по обеспечению вступления его в силу и подписанию контрактов».

Г-н **Пунди Шринивасан Рагхаван** поинтересовался ходом работы по подписанию контрактов, а также особо подчеркнул заинтересованность правительства Индии в увеличении степени локализации при строительстве атомных электростанций. Он выразил свою удовлетворенность российско-индийским сотрудничеством в атомной сфере и отметил большую заслугу в этом объединенной компании НИАЭП-АСЭ.

9-10 октября состоялся рабочий визит в НИАЭП-АСЭ делегации китайской корпорации CNNC во главе с генеральным директором компании Цянь Чжиминем. В ходе визита руководство CNNC и президент объединенной компании АО «НИАЭП» – ЗАО АСЭ Валерий Лимаренко обсудили вопросы перспективного российско-китайского сотрудничества в области сооружения АЭС. Как отметил **В.И. Лимаренко**, работа по сооружению второй очереди Тяньванской АЭС идет своевременно и эффективно благодаря тесному и продуктивному сотрудничеству между российскими и китайскими специалистами, участвующими в проекте.

В ходе переговоров руководство CNNC ознакомилось с Центром управления проектами объединенной компании, в котором представлены технология управления проектированием и сооружением сложных инженерных объектов, электронный каталог, а также основные технологические партнеры компании и решения, созданные на их программном обеспечении, в том числе, технология Multi-D.

Китайской делегации были продемонстрированы интерактивная карта проектов, примеры моделирования процессов проектирования технологической части и сооружения сложного промышленного объекта, каковым является АЭС.

«Мы уверены, что наше сотрудничество получает ускорение. В Китае ведется масштабное строительство атомных станций, существенно превышающее количество атомных строек в любой другой стране мира. И поэтому мы с китайскими партнерами считаем, что потенциал нашего сотрудничества значительно выше, чем строительство второй очереди Тяньваньской АЭС», – подвел итог встречи В.И. Лимаренко.

Галина ЮРЬЕВА

Effectiveness as a Measure of Value

At the meeting headed by Sergey Kirienko, Deneral Director of Rosatom State Corporation October 10, 2014, it was decided to nominate NIAEP-ASE united company as the sole executive body of Atomenergoproekt JSC.

Till 2012, Rosatom comprised three Atomenergoproekt companies: in Nizhny Novgorod, Moscow and Saint-Petersburg, as well as Atomstroyexport engineering company operating abroad.

In March 2012 NIAEP became the executive body of ASE.

At the beginning of 2014, by the decision of Atomenergoprom JSC, the only stockholder, Saint-Petersburg Atomenergoproekt merged with VNIPIET Head Institute to form a new Atomproekt company.

Now Moscow Atomenergoproekt became a devision of NIAEP-ASE united company despite the fact that a full-fledged engineering division was being formed in the company that operates seven enterprises engaged in construction and erection work.

«Experience shows that NIAEP-ASE is more effective,» says Alexander Lokshin, Rosatom First General Director Deputy, commenting on the decision.

It is true that NIAEP-ASE, with 20 power-generating units under construction and design in its portfolio, plans to complete the construction of Rostovskaya NPP-3 in 2014 instead of 2015. At the same time Moscow Atomenergoproekt that is engaged only in Novovoronezhskaya NPP extended the time of the 3rd unit completion to 2015. Novovoronezhskaya NPP has been under construction since 2008. The investment in the first two units amounted to 220 billion rubles. The time extension will result in a higher estimated cost. «Development of Moscow Atomenergoproekt depended largely on the results of the operations at Novovoronezhskaya NPP-2, and it was known right from the jump,» says Alexander Lokshin. It is still unclear whether Moscow Atomenergoproekt will remain the general contractor in the project or be replaced by NIAEP-ASE.

Be that as it may, Rosatom will have a single engineering division set up on the basis of NIAEP-ASE. Other branches of the nuclear sector have a long history of division-based principle: NPPs are united under Rosenergoatom, nuclear fuel production is supervised by TVEL Corporation, and machine building – by Atomenergomach.

Experts say that putting an end to the competition between the divisions of its own is the right strategy of Rosatom: a large portfolio of orders in Russia and abroad makes it necessary to consolidate resources, which is more effective economically. Despite the unfavorable political situation in the European market, many countries still are eager to cooperate with Rosatom. Several foreign delegations visited NIAEP-ASE in October 2014 only.

NIAEP-ASE hosted representatives of machine building companies of the Republic of Korea on October 3, 2014 in its Moscow office. The meeting was organized by Korea Association of Machinery Industry (KOAMI). The top managers of Korean machine-building companies were familiarized with the projects and technologies of the united company whereas KOAMI and Flowtech representatives made presentations on hi-tech equipment produced in the Republic of Korea as well as on probable participation of South Korean enterprises in Russian projects.

On October 7, the Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of the Republic of India in Russia Pundi Srinivasan Raghavan accompanied by representatives of the Indian business community visited Nizhny Novgorod.

Yury Ivanov, NIAEP Chief Vice-President-Design, spoke about the main activities of the company in Russia and abroad. In particular, he noted that Kudankulam NPP is the most power station in India and the largest joint project of India and Russia.

Georgy Kumani, Deputy Director-Projects, NIAEP Moscow Branch, also spoke about the Russian-Indian cooperation in constructing NPP in India: «The Russian Federation provides technical assistance to India in constructing two Kudankulam power-generating units with VVER-1000 reactors with capacity of 1,000 MW each (Project AES-92). The project is implemented by Atomstroyexport JSC on the Russian side and Nuclear Power Corporation of India Ltd., on the Indian side. The first unit was connected to the network and driven up to the rated capacity on June 7, 2014. Operations on the 2nd unit are being completed now.

A framework agreement on constructing the 3rd and 4th units was written in April 2014, and now preparations are made to make it effective and to sign contracts. Ambassador Pundi Srinivasan Raghavan wanted to know how signing of the contracts is progressing, and stressed the interest of the Indian government in a greater degree of localization in the NPP construction. He expressed his satisfaction with the Indian-Russian cooperation in the nuclear sector, and noted NIAEP-ASE important role in its development.

A delegation of China's CNNC headed by its General Manager Qian Zhimin visited NIAEP-ASE on October 9-10, 2014. The CNNC General Manager and Valery Limarenko, NIAEP-ASE President, discussed the prospects of Chinese-Russian cooperation in the field of NPP construction. Mr.Limarenko noted that due to the close and fruitful cooperation of Russian and Chinese specialists the construction of the second stage of Tainwan NPP is efficient and up to the schedule.

During the negotiations, the CNNC authorities were familiarized with the operation of NIAEP-ASE Project Management Center that runs the technology of complex engineering facilities design and construction, an electronic catalogue as well as the company's technical partners and solutions developed with the use of their software, including Multi-D technology.

An interactive projects map, examples of a facility design and construction simulation were demonstrated to the members of the Chinese delegation.

«We are confident that our cooperation is rapidly developing. China builds many nuclear power plants, much more than any other country. Therefore, both we and our Chinese partners believe that the prospects of our partnership significantly extend the Tainwan NPP-2 project,» says Mr.Limarenko.

Galina YURIEVA

55 лет назад, 3 декабря 1959 года, был поднят флаг на корабле, который вскоре узнал весь мир. Атомный ледокол «Ленин» открыл новую эру в освоении Арктики. До сего дня, кроме России, атомного ледокольного флота нет ни у одной страны мира.

Первопроходцы Арктики

Ледокол «Ермак»

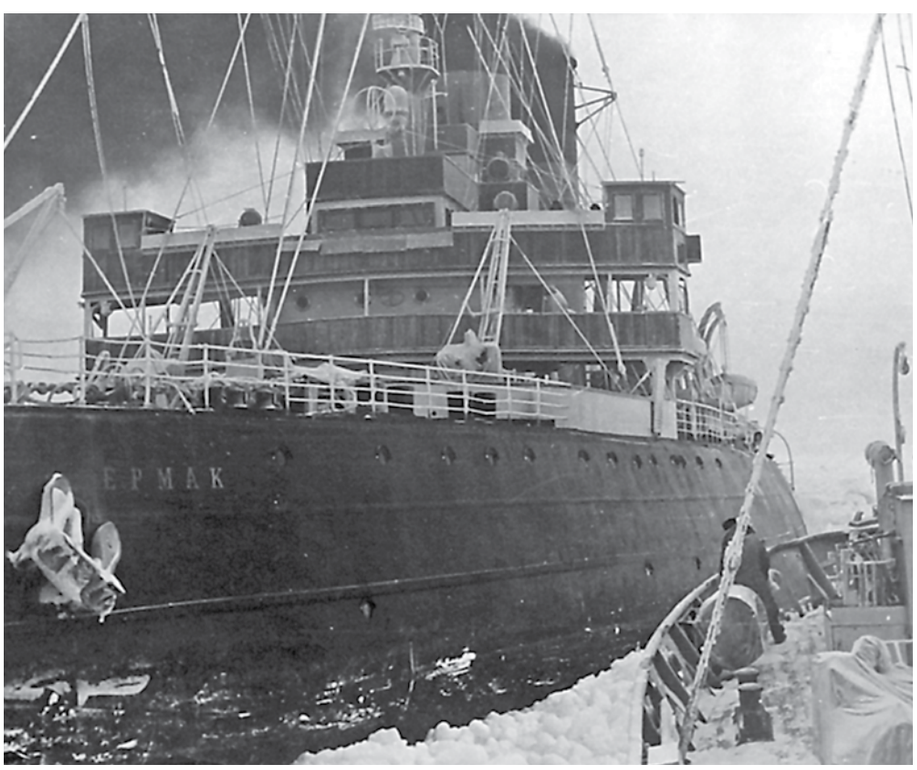
К концу прошлого столетия экономика Российской империи стремительно развивалась. Но при отсутствии широкой сети железных и автомобильных дорог главными транспортными магистралями России по-прежнему оставались моря и реки, устья которых с наступлением холодов сковывало льдом. Длительность навигации составляла чуть более полугода. Особенно остро ощущалась нехватка транспортных магистралей в Сибири и на Дальнем Востоке. Транссибирская железная дорога проходила в стороне от многих городов и деревень, поэтому перевозки товаров и сырья приходилось осуществлять по рекам, впадающим в Северный Ледовитый океан, но их месяцами сковывали льды. Решить эту проблему могло только создание корабля, способного расколоть лед и повести за собой другие суда.

В апреле 1864 года в газете «Кронштадтский вестник» появилось сообщение о том, что «желающих ехать в Петербург и приезжающих оттуда доставляет винтовой пароход «Пайлот», который ходит ежедневно до настоящего открытия навигации три раза в день с пассажирами в Ораниенбаум в 8, 12 и 3 часа». Это было сенсацией, поскольку Финский залив в это время года всегда покрыт льдом. Судовладелец и судостроитель Михаил Осипович Бритнев распорядился перестроить носовую часть парохода «Пайлот» таким образом, чтобы судно могло «наползать» на лед и ломать его своей тяжестью. Первый рейс «Пайлота» через Финский залив состоялся 22 апреля. Эту дату и считают днем рождения российского ледокольного флота.

Первый ледокол был небольшим пароходом для прибрежного плавания – в его задачи входило продлить период навигации, чтобы перевозить грузы по рекам, каналам и озерам.

Но россияне хотели преодолевать могучие льды Арктики, мечтали покорить Северный полюс, их манили неизученные северные просторы. Адмирал Степан Осипович Макаров предложил идти «к полюсу напролом», а для этого – создать большой корабль с сильной паровой машиной, корпус которого был бы сделан из прочного металла, а форма носа позволяла раскалывать лед.

«Россия своим фасадом обращена к Ледовитому океану, поэтому ни одна нация не заинтересована столько в ледоколах, сколько наша»,– не раз подчеркивал адмирал. Тщательно изучая сведения об арктических льдах, материалы полярных экспедиций, он пришел к выводу, что мощность арктического ледокола должна составить не менее 20 тысяч лошадиных сил, но, зная возможности судостроительного производства, рекомендовал построить два однотипных парохода с машинами по 10 тысяч лошадиных сил каждый. Они не только обеспечивали бы судоходство в устьях Оби, Лены и Енисея, но и служили бы своеобразной



Ледокол «Ермак» – дедушка атомного флота

плавучей базой исследователям Северного Ледовитого океана.

Идею Макарова правительство поддержало лишь в 1897 году: выделило средства, устроило конкурс фирм – потенциальных изготовителей и 28 декабря подписало контракт с английской компанией «Армстронг -Уитворт» в Ньюкасле, которая обязалась построить ледокол за 10 месяцев. По просьбе сибирских промышленников его назвали в честь знаменитого первопроходца XVI века Ермака Тимофеевича.

17 октября 1898 года над ледоколом подняли российский флаг. В марте 1899 года, круша льды Финского залива, корабль торжественно прибыл в Кронштадт, где вывел на чистую воду несколько торговых судов и боевых кораблей, в том числе крейсер «Громобой», и снял с камней броненосец береговой обороны «Генерал-адмирал Апраксин» – в ходе этой операции русские моряки впервые воспользовались радиосвязью.

Первый в мире арктический ледокол обошелся Российской империи в крупную сумму – 1,5 млн рублей. Но машина окупила себя в первый же год эксплуатации.

В 1899 и 1900 годах «Ермака» опробовали в Северном Ледовитом океане, он побывал у Шпицбергена и Новой Земли и вернулся на Балтику. До первой мировой войны корабль обеспечивал мореплавание в восточной части Финского залива, а в 1914-1918 годах – боевые походы кораблей Балтийского флота, участвовал в «Ледовом переходе», сопровождал советские и иностранные транспорты.

В 1928 году ледокол капитально отремонтировали, и осенью того же года по просьбе Германии «Ермак» отправился в устье Эльбы, чтобы вывести изо льдов 500 судов. У немцев уже были свои ледоколы, но они не смогли справиться со льдами в ту суровую зиму.

С 1934 года «Ермак» водил транспорты в устья Оби и Енисея. Незадолго до Великой Отечественной войны корабль отправили на плановый ремонт в Ленинград. Вернуться на Север «Ермак» не успел: всю войну обеспечивал переходы кораблей и транспортов Краснознаменного Балтийского флота между Ленинградом и Кронштадтом. В 1947 году он опять перешел в Северный Ледовитый океан.

Легендарный российский ледокол «Ермак» работал 65 лет! Как сказал академик А. Н. Крылов, «Ермак» окупил себя «седмижды седмерицей». В начале 60-х годов ветеран Арктики считался изрядно устаревшим, хотя добротно сработанный корпус был еще в отличном состоянии, не подводили и надежные, выносливые паровые машины. Но к тому времени советский ледокольный флот пополнился новыми дизель-электрическими судами этого класса. В 1959 году в Советском Союзе был принят в эксплуатацию первый в мире

атомоход «Ленин», затем последовали другие атомные ледоколы, и в 1964 году «Ермака» отправили в отставку.

Наступила новая эра – эра атомного ледокольного флота.

Атомный ледокол «Ленин»

Проводка судов через льды требовала чрезвычайно большого расхода горючего. Топливо составляло примерно треть веса дизельных ледоколов. Необходимость регулярно заправлять судно существенно снижала эффективность эксплуатации ледоколов. Чтобы проложить дорогу во льдах Северного морского пути, было необходимо судно, обладающее огромной мощью главных механизмов, имеющее большое водоизмещение, многомесячный запас топлива и совершенные средства ледовой разведки. Удовлетворять всем этим требованиям может только атомный корабль, постройка которого по плечу лишь державе с хорошо развитой индустрией. На очередном съезде КПСС было принято решение о строительстве первого в мире ледокола с атомной энергетической установкой.

Советский ледокол «Ленин» строила вся страна. В его проектировании, экспериментальных проработках и строительстве участвовало около 30 научно-исследовательских институтов, 60 конструкторских бюро и более 250 промышленных предприятий. Его корпус собирался из отдельных секций, которые изготовлялись из специальной высокопрочной стали. В отсеках атомного ледокола размещалось оборудование и механизмы машинного отделения и реактора. Глубоко внутри корабля судостроители сваривали переборки и отдельные части корпуса. Бригады сборщиков и сварщиков соревновались друг с другом в стремлении как можно лучше выполнить работу по строительству первого атомного ледокола в мире. В цехах завода подготавливали для установки на судно реакторы. Корпус реактора и все его детали тщательно очищались. В этом же цехе реактор был заключен в кожух, изготовленный из нержавеющей стали. Он являлся одновременно защитой реактора и его фундаментом. Из листов нержавеющей стали собирались толстые плиты, представляющие защитный каркас реакторного отсека, призванные защитить экипаж судна от радиоактивного излучения. Атомный ледокол быстро насыщался техникой.

Спуск на воду атомного ледокола «Ленин» весом около 11000 тонн был произведен 5 декабря 1957 года в Ленинграде. После этапа строительства флагмана советского атомного арктического флота следовали длительные ходовые испытания корабля.

Во время строительства и испытаний на борту атомохода побывали множество делегаций и представителей разных стран мира, в том числе премьер-министр Великобритании Гарольд Макмиллан, вице-президент США Ричард Никсон, министры КНР. Впоследствии на борту работающего в Арктике атомохода побывали Юрий Гагарин, кубинский лидер Фидель Кастро, перед моряками выступали артисты и писатели. Крошащий двухметровые льды ледокол посетили многочисленные зарубежные делегации.

Страны НАТО с опаской восприняли известие о выходе атомохода в море. Во время всего пути от Ленинграда до Мурманска вокруг Скандинавии «Ленина» сопровождали НАТОвские самолеты и корабли. К ледоколу подходили катера, которые брали пробы забортной воды и воздуха. Все хотели убедиться в том, что судно не представляет радиационной опасности и не сбрасывает в океан радиоактивные отходы. Опасения были напрасны: даже в соседних с реакторным отсеком каютах радиационный фон был в норме. При этом, что действительно необычно для советской техники, атомоход был очень комфортабельным. Его называли «чудом промышленного дизайна». Привыкшие к аскетичным условиям труда и отдыха советские моряки раньше такой роскоши не знали. Каюты на одного-двух человек, полностью отделанный карельской березой и кавказским орехом интерьер, сауна, музыкальный салон с роялем, библиотека, зал для просмотра кинофильмов, курительный салон – все это было очень необычно.

Первый в мире атомный ледокол «Ленин»

«Ермак»-сын

Атомный грузо-пассажирский ледокол «Саванна», США

Советский ледокол обладал повышенной живучестью и непотопляемостью, то есть способностью оставаться на плаву в случае проникновения воды внутрь корабля при аварии. Для этого корпус был разделен на несколько водонепроницаемых отсеков. Затопление одного или даже нескольких из них было не опасно для корабля. В отсеках располагались корабельные механизмы, приборы, хранилища и часть жилых помещений экипажа судна.

Атомный ледокол имел креновые, а также носовые и кормовые дифферентные цистерны. При перекачивании воды из цистерн одного борта в цистерны другого борта или же из кормовых цистерн в носовые создавался крен (дифферент) судна. Раскачивание ледокола «Ленин» с помощью перекачивании воды помогало взламыванию очень мощных льдов.

Штурманское оборудование советского ледокола позволяло вести его по заданному курсу в условиях большой автономности и в сложной навигационной остановке. Несколько гирокомпасов давали возможность уверенно вести атомный ледокол в области высоких широт. Электрогидравлические лаги определяли скорость судна и пройденный им путь независимо от толщины льда, а эхолоты могли измерить глубину в любом месте океана.

Обнаружить берега и ледяные скопления экипаж ледокола мог с помощью радиолокационных станций. Имеющийся на борту вертолет позволял производить ледяную разведку льдов и поддерживать транспортную связь с другими судами в любых условиях. Флагман советского ледокольного флота успешно водил караваны судов в самых тяжелых условиях Крайнего Севера.

Американцы тоже проектировали свое судно мирного назначения с атомной силовой установкой. Однако они пошли совсем другим путем. «Саванна» была внешне похожа не на коммерческий сухогруз, а на элегантную яхту. В августе 1959 года вице-президент США Никсон и вице-адмирал Риковер, руководитель программы создания атомного флота США посетили ледокол «Ленин». Адмирал осмотрел советский корабль от трюма до фок-мачты и доложил в сенате: «Русским потребуется пара лет, чтобы спустить «Ленин» на воду. У нас есть все шансы обогнать русских». Ледокол «Ленин» вышел в море через два месяца после того, как его борт покинул адмирал Риковер, а «Саванну» строили еще почти три года…

Коммерческая эксплуатация «Саванны», которая началась в 1962 году, бесславно закончилась через 10 лет. Несмотря на каюты с кондиционерами и индивидуальными ваннами, ресторан на 100 мест, салон и прочие красивости, судно так и не смогло составить конкуренцию традиционным теплоходам. «Саванну» списали в 1972 году, и сейчас о ней уже мало кто помнит.

А с рождением ледокола «Ленин» для советских кораблей и судов был открыт Северный путь в любое время года.

Pioneers of the Arctic Region

«Yermak» Icebreaker

At the end of the 19th century the economy of the Russian Empire was developing rapidly. But since a developed railway and motor way network was non-existent, seas and rivers whose estuaries were covered with ice in winter remained the main traffic arteries. The navigation period was slightly over half a year. The scarcity of the traffic arteries was most acutely felt in Siberia and Far East. The Trans-Siberian Railroad was far from many towns and villages. That is why goods and raw materials were transported down the rivers that fell in the Arctic Ocean. But they were icebound for months. The problem could be solved by a construction of a ship capable of breaking the ice and channeling other vessels.

In April 1864 the Kronshtadtsky Vestnik («Krinshtadt Herald») newspaper reported that «travelers to and from Saint-Petersburg are carried by «Pilot» propeller steam ship that departs daily to Oranienbaum at 8.00 am, 12.00 am and 3.00 pm before the official opening of the navigation.» It was a real page-oner since that time of the year the Gulf of Finland was always covered with ice. Mikhail Britnev, a ship-owner and ship-builder, had ordered to rebuild the ship's forebody so that the vessel could come down on the ice and crack it with its weight. The first voyage of «Pilot» took place on April 22. This date is considered now to be the date of birth of the Russian icebreaker fleet.

The first icebreaker was a small coastal voyage steam ship whose mission was to extend the navigation period in order to transport cargo along rivers, channels and lakes.

But Russian people wanted to breach powerful ice of the Arctic region, they dreamed of conquering the North Pole, they were drawn on by the uninvestigated spaciousness of the North. Admiral Stepan Makarov suggested going to the North Pole «bald-headed». To do so it was necessary to build a ship that would be equipped with a powerful steam engine, with the hull made of durable metal and with the forebody capable of crashing the ice.

«Russia's façade is turned to the Arctic Ocean, therefore Russia is more interested in creating an icebreaker fleet than any other nation,» underlined the Admiral more than once. After thorough examination of information about the Arctic ice, reports of expeditions to the Arctic region, he came to the conclusion that the icebreaker's capacity should be 20,000 HP and over. But since he was aware of the country's limited shipbuilding capacity, he suggested that two similar steam ships of 10,000 HP each should be built. They could be used for navigation in the estuaries of the Ob, Lena and Yenisei rivers and serve as a ship base for explorers of the Arctic Ocean.

The government supported Makarov's idea only in 1897; it financed the project and organized a tender of prospective producers. On December 28 a contract was concluded with British Armstrong-Whitworth company of Newcastle, that undertook to build the icebreaker in 10 months. At the request of Siberian entrepreneurs the ship was named after famous pioneer and path-breaker Yermak.

The world-first Arctic icebreaker cost Russia quite a lot, 1.5 million rubles. But it paid back during the first year of operation.

The Russia's flag was raised on the icebreaker on October 17, 1898. In March 1899, crashing the ice of the Gulf of Finland, the ship triumphantly arrived in Kronshtadt where it channeled several trade ships and combat vessels including «Gromoboi» cruiser, and brought «General Admiral Apraksin» battleship afloat. During that operation radio communications was used by Russian seamen for the first time.

In 1899 and 1900 «Yermak» was tested in the Arctic Ocean. It visited Spitzbergen and Novaya Zemlya, and returned to the Baltic Sea. Till World War I the icebreaker assisted navigation in the eastern part of the Gulf of Finland, in 1914-1918 it supported warships of the Baltic fleet, participated in the «Ice Cruise», accompanied Soviet and foreign transports.

In 1928 the icebreaker was rebuilt, and in autumn it went to the estuary of the Elbe to rescue 500 ships from ice at the request of the German government. Germany had icebreakers of its own, but they failed to crash the ice that severe winter.

Since 1934 «Yermak» was engaged in ice channeling in the estuaries of the Ob and the Yenisei rivers. Sometime before the Great Patriotic War, the icebreaker was sent to Leningrad for planned repair. During the war it supported navigation of the Baltic fleet warships between Leningrad and Kronshtadt. In 1947 it returned to the Arctic Ocean.

Legendary «Yermak» was in operation for 65 years! According to Academician A.Krylov, «Yermak» paid back manifold. In early 60s the Arctic veteran was thought to be very obsolete, though the durable hull was in excellent condition and the steam engines were still reliable. But the Soviet icebreaker fleet had received new diesel-electrical ships of the same class. In 1959 «Lenin», the world-first nuclear icebreaker, was commissioned, and other nuclear icebreakers were built too. In 1964 «Yermak» was decommissioned.

A new era began – the era of nuclear icebreaker fleet.

«Lenin» nuclear icebreaker

Ice channeling required a large amount of fuel. Fuel made a third of the total weight of a diesel icebreaker. The operation effectiveness was also reduced by the need to regularly fuel the ship. A ship with the propelling machinery of great capacity, with large displacement, a fuel load sufficient for many months and sophisticated ice reconnaissance equipment was necessary to cut a way in the ice of the Arctic Ocean. These requirements could be met only by a nuclear ship, and such vessel could be built only by a country with developed industry. At one of the CPSU congresses a decision was made to build the world-first icebreaker with a nuclear plant.

Virtually, the whole country was building «Lenin» icebreaker. About 30 research institutes, 60 design offices and over 250 enterprises participated in its design, testbed development and construction. The ship's hull was assembled from sections that were made of high-strength steel. The icebreaker's compartments housed equipment and machinery of the engine space and the reactor. Shipbuilders welded bulkheads and segments of the hull deep inside the ship. Teams of installers and welders competed with each other, trying to do their work of building the world-first nuclear icebreaker perfectly. In the plant's workshops reactors were prepared for installation on the ship. The vessel's hull and its components were thoroughly cleaned. At the same shop the reactor was put into a shroud made of stainless steel. The shroud served both as the reactor's protection and foundation. Thick plates were assembled from stainless steel sheets. They serves as a safety cage of the reactor compartment protecting the crew against radiation. The nuclear icebreaker was quickly equipped with machinery.

«Lenin» nuclear icebreaker weighing 11,000 tons was launched on December 5, 1957 in Leningrad. After the flagship of the Soviet nuclear fleet was constructed, long sea trials began.

During the construction and sea trial period numerous foreign delegations and representatives of many countries visited the icebreaker, including Prime-Minister of Great Britain Harold Macmillan, US Vice-President Richard Nixon, ministers of Chinese People's Republic. Later, when the ship was operated in the Arctic region, it was visited by Yury Gagarin, Fidel Castro, many foreign delegations. Actors and writers organized performances for the crew of the ship that was crashing ice which was two meters thick.

NATO member countries perceived the news of the nuclear icebreaker launching with caution. On its way from Leningrad to Murmansk around Scandinavia, the ship was accompanied by NATO jets and warships. Motor boats approached the icebreaker to take water and air samples. Everyone wanted to be sure that the icebreaker did not emit radiation or empty radioactive waste. The fears were idle: even in the cabins adjacent to the reactor compartment, the radiation background was normal. And the icebreaker was very comfortable, which was so unusual for Soviet technical equipment. It was called «a miracle of the industrial art». Soviet seamen who had got accustomed to ascetic conditions of labor and recreation were marveled by the luxury of the ship. One-bed or double cabins, interiors furnished with karelian birch and Caucasian walnut wood, a sauna, a music saloon with a grand piano, a library, a movie hall, a smoking room – all that was absolutely surprising.

The icebreaker was highly viable and unsinkable, i.e. it could remain afloat if water invaded it in case of emergency. To achieve this, the hull was divided into several watertight compartments. Flooding of one or several compartments was not dangerous. The compartments contained machinery, instruments, store-houses and some accommodations of the crew.

The nuclear icebreaker had heeling, fore and aft level tanks. Pumping water from the tanks on one board to the tanks on another or from aft tanks to fore tanks resulted in a trim difference. Sallying of the icebreaker helped to crash very thick ice.

Sophisticated navigation instruments allowed to steer the given course independently in a complicated navigation conditions. With its several gyrocompasses, the ship could be steered in high latitudes. Electrohydraulic logs measured the ship's speed and the track made good regardless of the ice thickness while sonic sounding gears could measure the depth in any spot of the ocean.

Radiolocators helped the crew to detect the shores and ace accumulations. A helicopter was used for ice reconnaissance and communications with other ships in any conditions. The flagship of the icebreaker fleet was very successful in ice channeling in the hard conditions of the Arctic region.

Americans have also designed a civil nuclear ship. But they used another approach. «Savanna» did not look like a commercial bulk carrier. It reminded of an elegant yacht. But with its air-conditioned cabins equipped with baths, a restaurant for 100 guests, a saloon and other luxurious things, the ship still could not compete with traditional motor-vessels. The ship's commercial operation began in 1962 and was disgracefully terminated ten years later. The vessel was written off, and now it is practically forgotten.

«Lenin» icebreaker opened a gate for navigation along the Northern Sea Route in any season. «Lenin» won the economic competition as the project identified the market niche correctly.

Атомные ледоколы: российский ответ на вызовы XXI века в освоении Арктики

Прорыв в освоении Арктики можно смело назвать революцией, хотя ее почти не заметили. Появление атомного ледокольного флота на просторах российской Арктики стало едва ли не главной предпосылкой технологического прорыва в ее освоении. Его создание, бывает, ставят в один ряд с освоением космоса, но общественного внимания к последнему несравнимо больше. Между тем, главное знаковое достижение в Арктике – покорение Северного полюса судном в активном надводном плавании – произошло 16 годами позже первого полета человека в околоземное пространство. Получается, что пройти на атомном ледоколе до Северного полюса оказалось сложнее и тяжелее, чем взмыть ввысь на космическом корабле.

Основной смысл произошедшей революции связан с развитием ледового мореплавания. Это переход от пассивного плавания (с преобладанием дрейфа судов во льдах или выжидательной тактики, рассчитанной на улучшение ледовой обстановки) к активному преодолению ледовых преград, ориентированному на цели планомерного коммерческого судоходства вопреки «установкам» природы.

Такое стало возможным с появлением новых, прорывных энергетических технологий преодоления льда – сначала дизель-электрических, и почти параллельно, атомных судовых силовых установок. Естественно, применяются они не только на ледоколах, но и на транспортных судах, следующих за ними.

Революция эта породила и потребовала решить ряд принципиальных задач:

– в области географии плаваний – расширение границ Северного морского пути вплоть до высокоширотных, а в дальнейшей перспективе и приполюсных трасс – если говорить о меридиональном направлении; и сквозных межконтинентальных трасс в направлении широтном: Европа – Юго-Восточная Азия, а в дальнейшем и Америка;

– в области продолжительности арктического судоходства – переход от сезонных плаваний к круглогодичной навигации – первоначально на отдельных участках Севморпути и, в конечном счете, по всей трассе;

– в области развития флота – строительство ледоколов (дизель-электрических и атомных), в разы превосходящих по мощности предшественников, и мощных транспортных судов усиленного ледового класса. С этой целью потребовалось значительно развить впервые появившуюся еще в дореволюционной России теорию ледокольного корабля, на основе которой совершенствовались такие технико-эксплуатационные параметры судов, как ледопроходимость, прочность корпуса, надежность винто-рулевого комплекса и другие;

– в области тактики ледового мореплавания – выработка новых способов и приемов активной проводки ледоколами судов с грузами, позволяющих перейти на скоростной, коммерчески оправданный режим плавания с одновременным повышением надежности и безопасности ледокольной проводки;

– в области подготовки плавсостава – преодоление в сознании стереотипов пассивного плавания во льдах и снятия психоэмоционального напряжения у судоводителей путем освоения ими приемов и навыков активного плавания, прежде всего, у судоводителей, ведущих суда в канале за атомоходами;

– в области организации навигационного процесса – переход от так называемого «экспедиционного» стиля плавания, программировать который почти невозможно, к работе флота на ледовых трассах по расписанию. В качестве примера можно привести сетевые планы-графики движения арктического флота, разработанные и внедренные начальником штаба морских операций Западного района Арктики Н.Г. Бабичем.

Эпоха научно-технических прорывов в развитии цивилизации, позволяющих максимально использовать ресурсы Земли в интересах человечества, пришла на смену эпохе Великих географических открытий. Альтернативы ей пока не видно, ибо ресурсы Вселенной нам еще долгое время не будут подвластны.

Поэтому освоение кратчайшего межконтинентального пути между Европой и Азией, а в дальнейшем и Америкой по своей значимости становится сравнимо с такими великими достижениями прошлого, как поиск прохода в Индию испанскими мореплавателями во главе с Христофором Колумбом, обернувшийся открытием Америки, или кругосветное плавание за бесценным природным ресурсом того времени – пряностями – португальца Фернандо Магеллана. Интересно отметить, что наши предшественники, например, Витус Беринг, тоже искали в Арктике проход в Индию, но потерпели фиаско, потому что в отличие от прокладки южных вариантов плаванья с запада на восток в полярных широтах требовались не только упорство и мужество, но и техническое обеспечение движения судна во льдах, о котором тогда и помыслить не могли.

В нынешних реалиях Северный межконтинентальный путь – это сокращение как минимум на треть расстояния плавания между Европой и Юго-Восточной Азией и сокращение почти в два раза времени плавания – самого ценного ресурса развития экономики, определяющей все и вся в современном мире. Освоение этого пути было бы и сегодня невозможно, если бы ему не предшествовали два исторических этапа в прошлом, XX веке. Довоенный, когда было проведено серьезное исследование и навигационное обустройство Северного морского пути, и доперестроечный, когда с техническим перевооружением ледокольного и транспортного флота были опробованы различные варианты и возможности устойчивого и безопасного плавания в Арктике. И сам этот флот заметно вырос. «В годы наивысшего подъема транспортной активности на Северном морском пути в Мурманском пароходстве был сконцентрирован линейный ледокольный флот небывалой мощности – около 650000 л. с, по тем временам больше, чем ледокольный флот всего мира, вместе взятый» – констатирует Н.Г. Бабич. Уже на этом этапе четко обозначилась тенденция дальнейшего развития грузоперевозок в полярных широтах: переход к гарантированно устойчивой работе на определенных участках Севморпути в максимально благоприятные периоды года с последующим их сезонным расширением. Только при таком подходе, да еще с гарантиями проводки транспортных судов в экономически оптимальном скоростном режиме у грузовладельцев мог проснуться интерес к новой мировой трассе. Что и происходит сегодня на третьем, постперестроечном этапе освоения Северного морского пути. Правда, надо четко видеть и принципиальное отличие третьего этапа от двух предыдущих.

Если в довоенный и послевоенный периоды арктическое судоходство развивалось почти исключительно в интересах внутрихозяйственного развития страны, и до 1991 года трасса официально не считалась открытой для между-

Атомный ледокол «Ленин»

Спущен на воду в декабре 1957 года. Первое в мире судно, оснащенное ядерной силовой установкой. Атомоход «Ленин» первым из всех судов окажется севернее Северной Земли.

Атомный ледокол «Арктика»

Спущен на воду в 1975 году. Считался крупнейшим из всех существующих на тот период времени судов. Ледокол «Арктика» был первым судном, которому удалось достичь Северного полюса.

Атомный ледокол «Сибирь»

На момент ввода в строй (1977 год) «Сибирь» имела самую большую ширину (29,9 м) и длину (147,9 м). В историю атомный ледокол «Сибирь» вошел как первое судно, осуществившее круглогодичную навигацию в направлении Мурманск-Дудинка.

народного мореплавания, то теперь, напротив, принципиальным условием роста масштабного транзитного плавания становится допуск иностранных судов разных стран на Северный морской путь. А это, в свою очередь, требует согласования национальных норм и правил плавания с международными стандартами. Иными словами, процесса глобализации мирового развития избежать не дано, тем более в таком международном по своему характеру деле, как морское судоходство.

Важно четко расставить акценты, ответив на вопрос: кому и зачем это сегодня нужно? Южные варианты евроазиатского морского коридора в условиях растущей мировой экономики либо чрезмерно перегружены (как в случае с Суэцким каналом, пропускная способность которого небезгранична), либо низкорентабельны (в длинном варианте плавания из Европы в Азию вокруг Африки). К тому же эти маршруты в последнее время стали небезопасны из-за растущего пиратства в зоне Индийского океана. У северного, самого короткого коридора, в отличие от южных, самый большой минус – арктические льды. Но в последние годы, с потеплением в Арктике, они перестали быть той непреодолимой физической и психологической преградой, которая отталкивала судовладельцев и грузовладельцев. А успешный опыт транзитных проводок атомными ледоколами крупнотоннажных судов по Северному морскому пути, начатый с 2010 года, показал, что у нового межконтинентального маршрута появилось реальное будущее. Развитие не повернешь вспять: даже если придет на смену потеплению в Арктике похолодание, полученный опыт транзитных плаваний будет служить ориентиром предприимчивым людям, всегда руководствующимся принципом: если вчера это было возможным, почему же нельзя повторить этого завтра. Допустим, со сменой климатических периодов на пути судов вновь встанут тяжелой преградой льды, но ведь совершенствование методов их преодоления и самой ледокольной техники не будет стоять на месте. Очень емко подчеркнул эти перемены главный инженер ФГУП «Атомфлот» М.М. Кашка: «Сейчас все разговоры о перспективе плаваний по Севморпути сводятся к дилемме: потепление-похолодание. У меня такое ощущение: все абсолютно позабыли, что мы сегодня пришли на трассу с новой техникой. Другие ледоколы, другие транспортные суда, другие возможности навигации… Появились новые инструменты арктического мореплавания, и надо научиться ими пользоваться».

Другой вопрос: кто возьмет на себя решение задачи обеспечения устойчивой работы новой морской трассы. Россия, пока доминирующая в развитии арктического судоходства с применением ледоколов, либо какая-то другая страна, которая сумеет оценить грядущие перспективы и выгоды северного межконтинентального морского коридора и сконцентрирует свои усилия на данном направлении? Вопрос открытый, хотя выявляющиеся преимущества северного транзита очевидны. Государство, которое возьмет подобную миссию на себя, станет главным игроком в процессе изменения объективно существующей в мире системы международного разделения труда. Говоря с долей упрощения, такой игрок возьмет на себя оказание транспортной услуги всем желающим воспользоваться северным коридором с соответствующими финансовыми выгодами. К тому же, с геополитической позиции, это демонстрация мирного присутствия в Арктике, которое оппонентам трудно осуждать, как в случае с военным присутствием. Поэтому для России открытие северного межконтинентального транспортного пути – едва ли не самый большой вызов современной эпохи. Прежде всего, потому что события происходят в зоне ее суверенитета и влияния. Вспомним, что это сформулировал еще век назад наш великий ученый и предшественник Дмитрий Иванович Менделеев: «У России так много берегов Ледовитого океана, что нашу страну справедливо считают лежащею на берегу этого океана. Мои личные пожелания в этом отношении сводятся к тому, чтобы мы этим постарались воспользоваться как можно полнее и поскорее». Добавлю: воспользовались с поправкой на прошедшие годы, за которые накоплен уникальный отечественный потенциал арктического мореплавания. И он подобен козырному шансу на выигрыш в развернувшейся мировой игре за передел сфер влияния. Одновременно это и один из шансов для Российской Федерации выйти из затяжного кризиса, продолжающегося со времен распада великой морской державы СССР.

Понятно, что совершающийся переворот в арктическом мореплавании отнюдь не будет простым и легким. «Арктика есть Арктика. Погода крайне изменчива. В любой момент можно ждать самых непредсказуемых сюрпризов, – пишет идеолог развития отечественного ледокольного флота профессор ЦНИИМФ Л.Г. Цой. – Трасса Севморпути довольно протяженная, около 3 тысяч миль. И, как правило, на ней действует принцип суперпозиции: тяжело на востоке – легко на западе, и наоборот. В море можно найти проход, а проливы, если забиты льдом, блокируют проводку. Выручают, конечно, атомные ледоколы, обладающие неограниченной автономностью и большой мобильностью. Они могут быть быстро передислоцированы из одного района в другой, в зависимости от потребности в их помощи». Как видим, резервы мощности и автономности плавания атомных ледоколов в Арктике с ее огромными и к тому же труднопреодолимыми расстояниями порой просто ничем не заменимы. Да, услуги этих ледоколов обходятся недешево, но как бы мы осваивали Арктику сегодня, если бы в ней исчезли атомоходы? Возврат к смертельно рискованному героизму прошлого? Он, конечно, овеян романтикой самоотверженного преодоления природной стихии, но мало подходящ для цивилизованного человечества. Недаром же в ходу ныне термин «устойчивое развитие», подразумевающий освоение территорий без провалов и катастроф. А взять такую глобальную задачу как обеспечение постоянного межконтинентального коммерческого (проще говоря, экономически оправданного и выгодного) плавания через арктические воды, включая неблагоприятные по погоде периоды? Гарантий ее успешного решения ни один человек дать не сможет, нужна техника, технологии, в которых заложены дополнительные возможности страховки выполнения поставленных задач на случай природных аномалий и катаклизмов. Именно таковые теперь и появились.

В осмыслении процесса развития нашей общей цивилизации, похоже, еще нет четкого осознания того, что мы вступили в эпоху ТЕХНОЛОГИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ. Обусловила их появление вторая половина XX столетия, когда человечество, пройдя через разрушительные кошмары мировых войн, осознало необходимость поиска мирных альтернатив использования колоссальных энергий, которые науке удалось задействовать. Иными словами, чтобы прийти к идее глобального созидания и переустройства мира, человечество прошло путь глобального разрушения созданного и даже частичного самоуничтожения. К числу технологий глобального применения, безусловно, относятся космические, информационные, технологии освоения ресурсов морского шельфа, включая арктический, да много еще чего. Всем им присуща одна общая черта: эти технологии развиваются повсеместно, не признавая сложившихся ранее между народами, культурами, цивилизациями границ и ограничений. Точнее сказать, они могут первоначально рождаться и развиваться на национальной основе, но, набрав свою мощь, неизбежно перешагивают границы государств и континентов. В этом реализуется своеобразный принцип единения человечества на технологической основе, где государства берут на себя политическую и правовую сторону отношений, а линию промышленного развития ведут крупные предприятия, компании, корпорации, нередко со смешанным капиталом различной национальной принадлежности. Советский Союз, Россия – северная страна с самым большим в мире арктическим побережьем, отвечая на запросы своего времени, внесла оригинальный вклад в этот всеобщий процесс. Атомные ледоколы – одна из технологий глобального применения – появились как ответ на вызовы глобального освоения и развития Арктики. Ее не сразу и далеко не все приняли именно

Атомный ледокол «Россия»

«Непотопляемый ледокол» спущен на воду в 1985 году. Первый из ледоколов, мощность которого достигает 55,1 МВт (75 тыс. лошадиных сил). На этом судне впервые совершен круизный рейс на Северный полюс.

Атомный ледокол «Советский Союз»

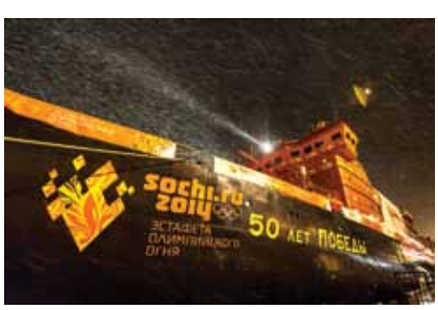
Особенность конструкции введенного в строй в 1990 году ледокола состояла в том, что в любой момент времени его можно было дооборудовать в боевой крейсер. Изначально судно использовалось для арктического туризма.

Атомный ледокол «Ямал»

Заложен в 1986 году в СССР, а спущен на воду уже после развала Советского Союза – в 1993 году. На его счету 46 рейсов на Северный полюс, в том числе – специально инициированный для встречи третьего тысячелетия.

как глобальную. Ответила непримиримым критикам сама жизнь, закрыв вопрос: а почему, собственно, атомные ледоколы могут работать только в Арктике? Известно, что гражданским судам с ядерными энергетическими установками перекрыт путь в заграничные порты – дискриминация, какую еще надо поискать на фоне визитов атомных субмарин, крейсеров и авианосцев, «паркующихся» у любых причалов разной национальной принадлежности. Впрочем, в иностранные порты атомные ледоколы и не стремились – в этом необходимости не было. Но вся Европа молчаливо согласилась с приходом на Балтику атомохода «Вайгач» в 2011 году, когда транспортный коллапс в Финском заливе, скованном льдами и под завязку закупоренном грузовыми судами, вылился в громадные миллионы ущерба экономикам промышленных компаний и даже целых стран. Что примечательно, в следующую зимнюю навигацию, менее тяжелую в ледовом отношении, поход атомоходов на Балтику был воспринят уже как само собой разумеющееся, и они сняли транспортное напряжение, с которым не могли справиться обычные ледоколы. А теперь перед атомным ледокольным флотом стоит еще и задача обеспечения межконтинентального коммерческого плавания по самому короткому пути через арктические воды и льды. То есть, само развитие и использование в транспортном процессе потенциала судовой атомной энергетики неумолимо выводит ее на уровень технологии глобального применения. Причем, и сама эта технология на морском транспорте не стоит на месте и получает дальнейшее развитие. Последнее наглядно просматривается в проектировании и начатом недавно строительстве нового атомного ледокола – универсального двухосадочного типа ЛК-60Я.

В чем же его своеобразие и преимущества? Ответ на этот вопрос дал руководитель представительства ФГУП «Атомфлот» в Санкт-Петербурге К.Ю. Князевский, осуществляющий руководство надзорной деятельностью на строительстве универсальных атомных ледоколов: «Функциональное разделение ледоколов (на глубоководные и мелкосидящие – *Прим. автора*) порождало немало проблем организационно-технического характера, осложнявших их использование на ледовых трассах в Арктике. Ледоколы каждого типа требовали своей отдельной ремонтной базы, особого ЗИПа, различного сменного оборудования. Различались и технологии их ремонта и текущего обслуживания, соответственно, и подготовка экипажей тоже имела свои особенности, что препятствовало взаимозаменяемости как ледоколов, так и экипажей. На этом фоне применение ледоколов



Атомный ледокол «50 лет Победы»

Введен в эксплуатацию в 2007 году. Самый современный и большой из всех существующих. Ледокол «50 лет Победы» в октябре 2013 года доставил на Северный полюс экспедицию с Олимпийским огнем. В этом рейсе установлены два рекорда. Впервые ледокол достиг Северного полюса в условиях полярной ночи и установил рекорд скорости достижения Северного полюса: от Мурманска ледокол дошел до полюса за 91 час 12 минут.

www.russian7.ru

с переменной осадкой (двухосадочных) является прогрессивным достижением, обладающим рядом несомненных преимуществ. Прежде всего, становится реальным использование двухосадочного атомохода со сменой его осадки в любой момент, если этого потребует оперативная обстановка. Изменение осадки позволит ледоколу быстро и без проблем менять район работы с глубоководного на мелководный и наоборот. Возрастает и уровень универсальности в применении атомного ледокола, к примеру, появляется больше возможностей использовать его в аварийно-спасательных операциях, которые, как правило, приходится проводить в районах с переменными глубинами. Прорабатываются и вопросы использования атомоходов для перевозки малых партий грузов в Арктике для снабжения отдаленных точек на побережье, подход к которому требует малой осадки судна. В конечном счете, такая универсальность использования атомохода будет способствовать повышению эффективности его эксплуатации, что может серьезно улучшить экономику атомного ледокольного флота».

Это как раз тот случай, когда интересы отдельного предприятия – Росатомфлота, стремящегося преодолеть убыточность атомоходов, совпадают с интересами общегосударственными, связанными с нормальным функционированием всей трассы Северного морского пути. Этот самый сильный аргумент в пользу строительства двухосадочного ледокола и перевесил точку зрения оппонентов проекта, упирающих на множество спорных технических вопросов. Универсальность нового атомохода – это, ко всему прочему, гарантия его загрузки дополнительной работой на случай спадов грузоперевозок в Арктике. Иначе говоря, эта универсальность – гарантия экономической непотопляемости ледокола в рыночных конкурентных условиях. Прошлое предупреждает нас: падение объемов работы для атомоходов случалось не раз за последние два десятилетия, отчего вопрос выживаемости уникального флота вставал крайне остро. Между тем, многофункциональность нового атомохода, как ни парадоксально это звучит, есть свидетельство возрастания специализированности судна, отвечающей его исходному предназначению. Именно так! Ведь ледокол, несмотря на всю его мощь, превосходящую возможности других кораблей, судно вспомогательное, призванное приходить на помощь собратьям как спасатель во всех нелегких ситуациях, которыми изобилует Арктика, а не только в прокладке пути для них среди льдов.

Другой, и тоже весьма существенный, аргумент заключается в том, что универсальный атомоход ориентирован не на сегодняшний день, а на задачи транспортной деятельности на Севморпути, к которым, по сути дела, мы только подступаемся. Это вывоз углеводородов (нефти, газоконденсата), добытых на крупнейших в мире месторождениях Ямала, и обеспечение межконтинентальных транзитных грузоперевозок по маршруту Европа – Азия кратчайшим путем. Нацеленность в будущее меняет многие устоявшиеся представления о роли ледоколов в Арктике. Можно, например, ожидать, что атомоходы будут востребованы и при обеспечении транспортно-перегрузочных операций на морских месторождениях шельфа арктических морей. Собственно, периодически они уже востребованы для этих задач в том же Печорском море.

Невиданный и немыслимый ранее масштаб задач возвращает нас к конструктивным проблемам нового атомохода, обостряемым своеобразием самих арктических трасс. В решении проблемы плавания на мелководье, казалось бы, напрашивается еще один выход. Избыточной осадки ледокола можно было бы избежать, увеличив водоизмещение за счет расширения и удлинения его корпуса. Отчасти так оно и будет: двухосадочный ледокол на два с лишним метра шире линейных типа «Арктика» и длиннее их на 20-25 метров. Что касается ширины ледокола, то ее увеличение напрашивается и по другой причине: за ледоколами уже ходят по Севморпути газовозы шириной более 40 метров. Пока они не застревают в зауженном позади ледоколов канале из-за отсутствия или разреженности льда на трассе вследствие процесса глобального потепления. Если же крупнотоннажное грузовое судно начинает зажимать льдом в канале, в современной тактике мореплавания используется прием прокладки параллельного канала другим ледоколом, отчего лед в основном становится податливым для судна. Уже никого не удивляет, когда два, а то и три атомохода обеспечивают проводку по Севморпути одного супертанкера, а время, когда один ледокол вел по трассе сразу десятки судов, похоже, кануло в прошлое. Однако, если строить атомоходы с широкими корпусами, их ледопроходимость неизбежно падает: как никак, а противостоящая масса льда, которую надо будет сокрушить, возрастет, а это дополнительный расход мощности. Удлинение корпуса ледокола, оказывается, тоже не выход. Это снижение его маневренности во льдах со всеми вытекающими из этого потерями в сложных по определению ледокольно-транспортных операциях. Самая же большая потеря – утрата коммерческой скорости проводки транспортного судна – то, что приманивает судо– и грузовладельцев на кратчайшую межконтинентальную северную трассу.

Вот мы и подошли к главной особенности грядущего арктического мореплавания. Оно не будет диктоваться одной только насущной государственной необходимостью, как было в прошлые десятилетия, когда времени и затрат в пути не жалели, лишь бы добиться поставленной цели. Дальнейшее развитие арктической навигации всецело будет зависеть от рыночной, коммерческой, конкурентной – любое определение подходит – востребованности Северного морского пути. Ссылки на техническое несовершенство флота или прежний диктат природных условий плавания в этой ситуации просто не берутся в расчет. Ответ однозначный: не можете обеспечить коммерчески выгодную скорость прохода по трассе, рынок морских грузоперевозок от вас просто отвернется. На эту новую реальность завтрашнего дня, похоже, начинают ориентироваться и проектировщики с конструкторами.

Здесь рассмотрены лишь некоторые аспекты создания атомного ледокола нового, четвертого поколения, который призван ответить на вызовы времени в Арктике. Научно-техническая мысль не стоит на месте, развивается согласно новым запросам арктического судоходства, и это вселяет надежду и даже уверенность в том, что атомные технологии не исчерпали своего потенциала на морском транспорте. Напротив, они открывают далеко идущие перспективы ледокольно-транспортной деятельности в регионе планеты, который еще недавно казался почти недоступным для широкомасштабных цивилизационных преобразований.

В.М. БЛИНОВ, исследователь атомного ледокольного флота (из выступления на конференции «Ледокольный флот России: история и перспективы развития», Санкт-Петербург, 2014 г.)

Nuclear Icebreakers: Russia's Response to the Arctic Development Challenges in the 21st Century

A breakthrough in the Arctic development may be called a revolution, though it has been hardly noticed by the public. Icebreaker fleet in the Arctic region is the main precondition of the Arctic development technical breakthrough. Importance of constructing the icebreaker fleet is similar to that of space exploration though greater attention is paid to the latter. Yet, the conquest of the Northern Pole by a ship during a surface navigation, the milestone even, took place 16 years after the first manned space flight. So, it was more difficult to reach the Northern Pole on a nuclear icebreaker than to soar heavenwards.

The main meaning of the revolution is development of ice-rated navigation. It implies a transfer from passive floating (with ships drifting in ice and waiting for improvement of ice situation) to active overcoming the ice obstacles in the interests of regular commercial navigation independent of weather conditions.

The breakthrough became possible due to the development of new, state-of-the-art power technologies, first – diesel technologies and almost simultaneously – nuclear plants. Certainly, they are used both in icebreakers and transport ships that follow them.

To achieve this, it was required to solve some principal problems:

- In terms of navigation geography: to expand the boundaries of the Northern Sea Route to high north and even to the pole area in meridian direction; extension of intercontinental routes in latitudinal direction: Europe – South-East Asia and America;
- In terms of Arctic navigation duration: transfer from seasonal navigation to year-round navigation, initially on some segments of the Northern Sea Route and then on the whole route;
- In terms of the fleet development: construction of diesel and nuclear icebreakers many times more powerful than their predecessors as well as powerful transport ice-rated ships. To achieve the goal, it was necessary to develop the icebreaker theory that had appeared in prerevolutionary Russia and that served a basis for improvement of such ships characteristics as ice trafficability, hull durability, rudder propeller unit reliability, etc.;
- In terms of the ice navigation tactic: development of new methods of icebreaker assistance that would allow to adopt a speedy, economically feasible navigation regime and enhance reliability and safety of ice assistance;
- In terms of shipboard personnel training: eliminating stereotypes of passive floating in the ice and relieving navigators from psychological and emotional stress by teaching them the skills of active navigation; it mainly concerned navigators who steered ships behind nuclear icebreakers;
- In terms of navigation organization: a transfer from the so called «expedition» style of navigation that could hardly be planned to navigation in accordance with a schedule. It can be exemplified by network schedules of the Arctic fleet navigation developed and introduced by N.Babich, Chief of Staff of Marine Operations of the Western Arctic region.

The epoch of scientific and technical breakthroughs that allow to use the Earth's resources in the interests of mankind replaced the epoch of Great Geographical Discoveries. It has no alternative since it will take a lot of time to conquer the resources of the universe.

Therefore, the opening of the shortest intercontinental way from Europe to Asia and then to America is no less significant than such achievements of the past as the search for a way to India by Spanish seamen headed by Christopher Columbus or the around-the-world cruise of Fernando Magellan in search of precious spices. It is noteworthy that our predecessors, for example, Vitus Bering, also looked for a way to India in the Arctic region but they ended in a fiasco because, unlike sailing in the southern regions, navigation in the polar area required not only courage and persistency but technical equipment of the ships that was impossible that time.

Now the Northern intercontinental route implies a reduction of the distance of navigation from Europe to South-East Asia at least by a third and a reduction of the navigation time twofold, and time is now the most precious resource that determines development of the modern world. Development of the route would be impossible now unless it was preceded by two historic stages in the 20th century. The first is the time before World War II when thorough research and navigation improvement of the Northern Sea Route were conducted; the second stage is the pre-perestroika time when technical re-equipment of the icebreaker and transport fleets was performed and variants and possibilities of safe navigation in the Arctic region were tested. And the fleet itself grew significantly. «In the years of the highest transportation activity on the Northern Sea Route Murmansk Ocean Company concentrated an icebreaker fleet of unprecedented capacity: about 650,000 housepower, more than the total capacity of the icebreaker fleet of all other countries,» says N.Babich in his article «The Northern Sea Route and Icebreaker Fleet». At that stage, a trend of further development of transportation in the high north became obvious. It was a transfer to the regular navigation on certain segments of the Northern Sea Route during favorable seasons and further extension of navigation periods. Only this approach combined with guarantees of icebreaker assistance at economically justified speed could motivate freight owners to pay interest to that new world route. That is exactly what we see now, at the third stage of the Northern Sea Route development. Yet, it is necessary to realize the fundamental difference of the third stage from the previous two stages.

While at the previous stage the Arctic navigation was developed exclusively in the interests of the Russian economy, and till 1991 the route was officially closed for international navigation, now navigation of foreign ships on the Northern Sea Route is seen as a precondition of the large-scale transit. But it requires harmonization of the national navigation norms and regulations with international standards. In other words, it is impossible to avoid globalization trends, especially in such international activity as sea navigation.

It is very important to highlight the key points, and to answer the questions: who needs it and why? The southern Eurasian sea corridors are either overloaded (as may be exemplified by Suez Canal with its limited traffic capacity) or unprofitable (as may be exemplified by sailing from Europe to Asia around Africa) in the conditions of the world economic growth. Moreover, these routes are dangerous now because of increased piracy in the Indian Ocean. The gravest drawback of the northern corridor, the shortest one, is Arctic ice. But in recent years, due to warming in the Arctic region, the ice ceased to be the insurmountable obstacle that used to repel ship and freight owners. Successful ice channeling of heavy-tonnage vessels by nuclear icebreakers since 2010 has demonstrated that the new intercontinental route has bright future. Progress cannot be reversed: even if the warming is replaced by cooling in the Arctic region, the experience in transit navigation will serve as a good example for adventurous people who will be guided by the principle: if it was possible yesterday, why can't it be repeated tomorrow? Let's presume that after a change of climatic periods heavy ice will become an obstacle again. But the icebreaking technique will still be developing.

Another question: who will take responsibility for sustainable operation of the new sea route? Will it be Russia that dominates in the field of Arctic icebreaker navigation or any other country that will realize the prospects and benefits of the northern intercontinental corridor and will focus on this field? There is no answer to the

question yet, though the benefits of the northern transit route are obvious. The state that will conduct the mission will be the main player in the changing system of international division of labor. Simply speaking, the player will offer transportation services to everyone who would be ready to use the northern corridor, and will earn profit. From the geopolitical perspective, it would demonstrate peaceful presence in the region, and it would be more difficult to denounce it than any military presence. That is why for Russia opening of the northern intercontinental route is one of the most important challenges. Because, first of all, the events take place in the zone of its sovereignty and influence. Suffice it to recall the words of Dmitry Mendeleev, a great Russian scientist: «Russia has so many shores of the Arctic Ocean that it is justly considered to be lying on the shore of this ocean. My personal wish is that we would use this advantage as soon as possible and to the fullest effect.» I will add: we should use it with due account of the experience in the Arctic navigation gained in the past. The experience is just an ace in the hole in the global game for redivision of the spheres of influence. At the same time, for Russia it is a chance to overcome the long crisis lasting since the collapse of the USSR that used to be a great sea nation.

It is clear that to make a breakthrough in the Arctic navigation will not be an easy task. «Arctic is Arctic. The weather is variable there. Any time one can face unpredictable surprises, – says Professor L.Tsoy, an ideologist of Russia's icebreaker fleet development. – The Northern Sea Route is very long, about 3,000 miles. And, as a rule, it is subject to the superposition principle: it can be hard in the east and easy in the west, and vice versa. In the sea, a channel can be found, but when straits are blocked with ice, the ice channeling is impossible. Certainly, nuclear icebreakers with their unlimited sea endurance and mobility are very helpful. They can be redeployed quickly from one region to another, where their assistance is required.» It means that there is no substitute for the power and sea endurance of nuclear icebreakers in the Arctic region, with its long and heavy-going routes. True, the service of the icebreakers is expensive, but how can we develop the Arctic region today without nuclear icebreakers? Are we ready to return to the risky heroism of the past? Of course, the heroism is steeped in romanticism of self-sacrificing battle with the elements, but it is unsuitable for the civilized world. It is not incidental that the term «sustainable development» implying the development of territories without any failures or catastrophes is so popular now. And we are talking about the global task of constant intercontinental commercial (i.e., economically feasible and profitable) navigation in the Arctic water and in unfavorable weather. Nobody can guarantee that the task will be solved successfully; it requires equipment and technologies that embody additional insurance against natural calamities and disasters. Such equipment and technologies are available now.

Apprehension of the civilization development lacks one important feature, specifically: realization of the fact that we have entered the period of GLOBAL APPLICATION TECHNOLOGIES. They emerged in the second half of the 20th century when the humanity, after devastating nightmares of two world wars, realized the need for ways of peaceful use of tremendous energies that were later utilized by science. In other words, in order to grasp the idea of global creativity and restructuring, the humanity had passed the way of global destruction and even partial self-destruction. The global application technologies, certainly, include space, information technologies, technologies of developing sea shelf, including Arctic shelf, and many others. All of them have a common feature: they are developed everywhere, across the borders between nations, cultures and civilizations. To be more exact, initially they emerge and develop nationally, but after acquiring power and large scope, they cross the borders of nations and continents. This is how the principle of the humanity unification on technological basis is implemented: states assume political and legal responsibility while large companies and corporations, often international corporations, assume the responsibility for industrial development. The Soviet Union, Russia, a country with the largest Arctic shore, responded to the needs of time with its unique contribution to this universal process. Nuclear icebreakers, one of the global application technologies, were a response to the challenge of global development of the Arctic region. The technology was not perceived as a global one at once and by everyone. The life itself has given an answer to blatant critics, and brought the matter to a close: there is no question now why nuclear icebreakers may work only in the Arctic region? It is well-known that nuclear civil ships have no way to foreign ports; it is a discrimination that is even more obvious on the background of many visits of nuclear submarines, cruisers and aircraft carriers to ports of any national identity. However, there was no need for nuclear icebreakers to enter foreign ports. But Europe silently reconciled with «Vaigach» icebreaker appearance in the Baltics in 2011, when the traffic standstill in the Gulf of Finland, ice-bound and blocked with cargo ships, resulted in millions of losses suffered by companies and countries. It is noteworthy that next winter that was not that severe in terms of the ice conditions the icebreakers navigation in the Baltics was looked at as the normal state of things; the nuclear icebreakers relieved the strain on the traffic, which diesel icebreakers had failed to do. And now the nuclear icebreaker fleet has to solve the task of ensuring intercontinental navigation along the shortest route through the Arctic ice and water. It means that the mere development and utilization of the marine nuclear engineering makes this engineering a global application technology. The technology itself is not in a standstill but is being developed. The development can be exemplified by the design and recently started construction of a new double-draft nuclear icebreaker LK-60.

It is exactly the case when the interests of Rosatomflot that strives to make nuclear icebreakers profitable coincide with the interests of the country that tries to ensure normal functioning of the Northern Sea Route. It is the strongest argument for the construction of a double-draft icebreaker and against the viewpoint of the opponents who use many disputable technical issues as a primary argument. Moreover, the universal character of the new icebreaker implies that it will have work in case the volume of the cargo transportation decreases in the Arctic region. In other words, it implies the ship's economic resistance to flooding in the market competitive environment. We know from our experience that the scope of work for nuclear icebreakers has reduced more than once in the recent twenty years, and the issue of the fleet viability was topical. Paradoxically, multitask capability of the new icebreaker means its increased specialism that conforms to its intended purpose. This is really so! An icebreaker with its superpower that exceeds the power of other ships is still an auxiliary vessel whose mission is not only to perform ice channeling but to rescue other ships in hard situations.

There is another argument, which is that the new icebreaker is being built not to solve the tasks of the present but to ensure transportation along the Northern Sea route in the future. It includes transportation of hydrocarbons (oil, gas condensate) produced at the world-largest fields of Yamal, and cargo transit along Europe-Asia route. Future-mindedness changes the traditional views of the icebreakers role in the Arctic region. One can expect that nuclear icebreakers will be helpful in cargo transportation and transfer operations at the sea shelf. They are used already in such operations in the Pechora Sea.

Having discussed the unprecedented scale of tasks, we must come back to the design issues of the new icebreaker that become more topical due to the peculiarity of the Arctic routes. There is one more solution to the problem of navigation in shallow water. Excessive draft of vessel could be avoided by increasing the hull length and width. Partly, it will be done so: a double-draft icebreaker is 2.5 m wider and 20-25 m longer that «Arktika»-type icebreaker. There is another reason to increase the width: LNG carriers with the width of over 40 m already follow icebreakers in the Northern Sea Route. So far they do not stall in the narrowing channel behind the icebreaker since there is no ice in the channel or the ice is rare due the global warming. When a heavy-tonnage vessel is squeezed in the channel by the ice, a parallel channel is made by another icebreaker, and the ice becomes non-rigid. It is a normal thing now for two or three nuclear icebreakers perform channeling for one megatanker, and the practice of ice assisting for dozens of ships by one icebreaker is a thing of the past. But the icebreaking capability of nuclear icebreakers with wide hulls decreases because the weight of the ice to be crashed increases, which causes an additional power consumption. Increase of the hull length is no solution either, because it would imply a lower maneuvering ability and entail losses in difficult ice conditions. The greatest loss, however, is a loss in speed of ice channeling, and this speed is what attracts ship and cargo owners to the northern intercontinental route.

Now we came to the main peculiarity of the Arctic navigation in future. It will be determined not only by a crying need of the state, as it used to be in the past, when the state did not spare time and money to achieve the goal. Further development of the Arctic navigation will depend largely on whether the Northern Sea Route is in demand commercially or economically (any adverb is applicable). References to technical imperfection of the fleet and to the dictate of the natural environment are not taken into consideration in such a situation. If the appropriate speed of ice channeling cannot be ensured the marine cargo transport market will not be interested. It seems that developers and designers have begun to take this reality into account.

V.M. BLINOV,
the nuclear icebreaker fleet researcher

Курчатовский институт и освоение Арктики

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1
Телефон: +7 (499) 196 95 39
Факс: +7 (499) 196 17 04
E-mail: nrcki@nrcki.ru

В декабре 1959 г., 55 лет назад, на трассы Северного морского пути вышел ледокол «Ленин» – первое надводное гражданское судно, работающее на ядерной энергии. Инициаторами использования ядерной энергии на ледокольном флоте были руководители Института атомной энергии (ныне – НИЦ «Курчатовский институт») академики И.В. Курчатов и А.П. Александров. Их идея заключалась в распространении разработок военной техники на мирные объекты, что позволяло в некоторой степени компенсировать гигантские затраты на гонку вооружений. Выбор пал на ледоколы, работающие длительное время в отрыве от портов и баз обслуживания и требующие источники энергии большой мощности. Именно на таких судах ядерная энергетика наилучшим образом может проявить свои преимущества.

Рис. 1. Ледокол «Ленин» у мыса Харасавэй, март 1976 г. / Fig. 1. «Lenin» icebreaker at Kharasavey Cape, March 1976

Создание атомного ледокола было обусловлено необходимостью значительного продления сроков навигации и повышения безопасности плавания в Арктике. С этой целью необходимо было повышать мощность ледоколов, а возможности увеличения мощности существовавших в это время дизельных ледоколов были ограничены.

Постановлением правительства о создании атомного ледокола А.П. Александров был назначен научным руководителем проекта ледокола, а И.В. Курчатов – руководителем по физике реакторов.

Рис. 2. Академик Н.С. Хлопкин на испытаниях ледокола «50 лет Победы», декабрь 2006 г., Балтийский завод, Санкт-Петербург / Fig. 2. Academician N.Khlopkin at «50 Years of Victory» icebreaker test, December 2006, Baltiysky Plant, Saint-Petersburg

И.В. Курчатов и А.П. Александров сыграли решающую роль в создании кооперации научных учреждений и промышленности, сумевшей в короткие сроки – всего за 6 лет после выхода постановления правительства – построить атомный ледокол.

Для обеспечения научного руководства созданием ледокола в институте существовала необходимая экспериментальная база: реактор МР с петлями и горячими камерами для исследования в реальных рабочих условиях работоспособности тепловыделяющих элементов и основных материалов реакторов, реактор ВВР-2, предназначенный для исследований вопросов биологической защиты. Выполнялись фундаментальные исследования различных ядерных взаимодействий. Был создан объект критических стендов для экспериментального определения физических характеристик активных зон судовых реакторов.

В институте была образована специальная группа для проведения нейтронно-физических, теплогидравлических, динамических расчетов, расчетов биологической защиты. Разрабатывались соответствующие расчетные коды.

Сотрудники института участвовали в пусконаладочных работах на ледоколе и в его испытаниях. При общем руководстве работами А.П. Александрова все практические вопросы на месте решал Н.С. Хлопкин, будущий академик РАН и научный руководитель морскими ядерными установками.

Все последующие атомные ледоколы проектировались под научным руководством Курчатовского института. Кроме того, институт обеспечивает научное сопровождение их эксплуатации.

Курчатовский институт принимает участие в создании плавучей атомной теплоэлектростанции, предназначенной для работы в Арктике.

В настоящее время перед наукой и промышленностью поставлены задачи по решению проблем освоения месторождений Арктического шельфа. Для обеспечения надежности и безопасности энергоснабжения нефтегазовых промыслов и всего технологического процесса добычи, подготовки и транспортировки скважинной продукции атомная энергетика представляется безальтернативной. Это диктуется необходимостью обеспечения месторождений энергоисточниками с большими значениями установленных мощностей и ресурсов. Курчатовский институт выполняет концептуальные проработки таких энергоисточников.

Важным представляется также выполняемый в институте комплекс работ по развитию информационных технологий для обеспечения качественно новых уровней надежности и безопасности технических систем, планируемых к применению при освоении Арктического шельфа России. Основными направлениями внедрения информационных технологий являются:

– обеспечение инженерными данными на стадиях концептуального и эскизного проектирования;

– создание комплексной виртуальной математической модели технических систем с использованием динамических расчетных кодов;

– использование информационных технологий для разработки технических и рабочих проектов, сопровождения эксплуатации на всем жизненном цикле изделия, особенно при расположении подводных добычных комплексов удаленно от центра управления;

– мониторинг окружающей среды и использование информационных технологий при ликвидации чрезвычайных ситуаций;

– обеспечение необходимого уровня квалификации специалистов отрасли.

Вопросы освоения Арктики и обеспечение решающего вклада российской науки в передовые технологии были и остаются среди приоритетных задач Курчатовского института.

На рис. 3 и 4 представлены предпроектные проработки, выполненные совместно с ЦКБ МТ «Рубин».

Рис. 3. Подводный добывающий комплекс / Fig. 3. Submarine production complex

Kurchatov Institute and the Arctic Region Development

NATIONAL RESEARCH CENTRE «KURCHATOV INSTITUTE»

1, Kurchatov sq., Moscow, 123182, Russia
Tel: +7 (499) 196-95-39
Fax: +7 (499) 196 17 04
E-mail: nrcki@nrcki.ru

Back fifty five years, in December 1959, «Lenin» icebreaker, the first vessel with a nuclear plant, began navigating on the Northern Sea Route. The utilization of nuclear power in the icebreaker fleet was initiated by Academicians I.Kurchatov and A.Alexandrov who headed the Institute of Nuclear Power (now Research Center «The Kurchatov Institute»). They had an idea to use military developments in civil facilities, which would help compensate to some extent the expenditure on the arms race. The choice was made of icebreakers that float for a long time in a long distance from ports and service bases and require powerful energy sources. The advantages of the nuclear power engineering become most obvious on such vessels.

A nuclear icebreaker was necessary to extend the navigation period and enhance the safety of navigating in the Arctic region. To achieve the goal, it was required to boost the icebreaker capacity in the conditions when the capacities of diesel icebreakers were limited.

In accordance with a governmental decree, A.Alexandrov was nominated the icebreaker project manager while Igor Kurchatov was nominated the supervisor for the nuclear reactor physics.

I.Kurchatov and A.Alexandrov played a decisive role in establishing cooperation of research institutions and industrial enterprises that managed to develop and build a nuclear icebreaker only six years after the Government's decree had been adopted.

The Institute had an experimental capability required for the research activities related to the icebreaker development: MR reactor with loops and hot cells used to test the viability of fuel assemblies and the reactor basic materials in real operating conditions, VVR-2 reactor used for investigations in the matters of biological protection. Fundamental research of nuclear interaction was carried out. Test stands were built for experimental determination of physical properties of the ship's reactor core.

A special team made neutronic, thermal-hydraulic, dynamic and biological protection analyses. Necessary cost codes were developed.

Specialists of the Institute participated in the start-and-adjustment works and tests on the icebreaker. While A.Alexandrov was a scientific supervisor, all operations on the ground were supervised by N.Khlopkin, later – an Academician of the Russian Academy of Sciences and Head of the Marine Nuclear Facilities.

The next nuclear icebreakers were designed under scientific supervision provided by the Kurchatov Institute. Moreover, the Institute performs scientific support of their operation.

The Kurchatov Institute participates in the development of a floating NPP to be used in the Arctic region.

Presently, science and industry are expected to solve the task developing the Arctic shelf. In solving the problems of reliable and safe power supply of oil and gas fields and of the whole production process, preparation and transportation of the flowstream, the nuclear engineering has no alternative. The fact is preconditioned by the necessity to provide the fields with energy sources of large capacity. The Kurchatov Institute makes concept designs of such energy sources.

No less significant is the development of information technologies required to ensure safety and reliability of technical systems to be used in the development of the Arctic shelf. The main areas where IT will be introduced include:

– provision of engineering data at the stages of conceptual and front-end design;

– development of a comprehensive simulation model of technical systems with the use of dynamic design codes;

– development of engineering and detailed designs, operation support at all life cycle stages, especially when submarine mining equipment is located far from the control center;

– environmental monitoring and emergency management;

– upgrade qualifications of the sector personnel.

The Kurchatov Institute's priority tasks include contributing to the Arctic region development and designing state-of-the-art technologies.

Figures 3 and 4 show pre-design projects developed in cooperation with Rubin Central Design Office

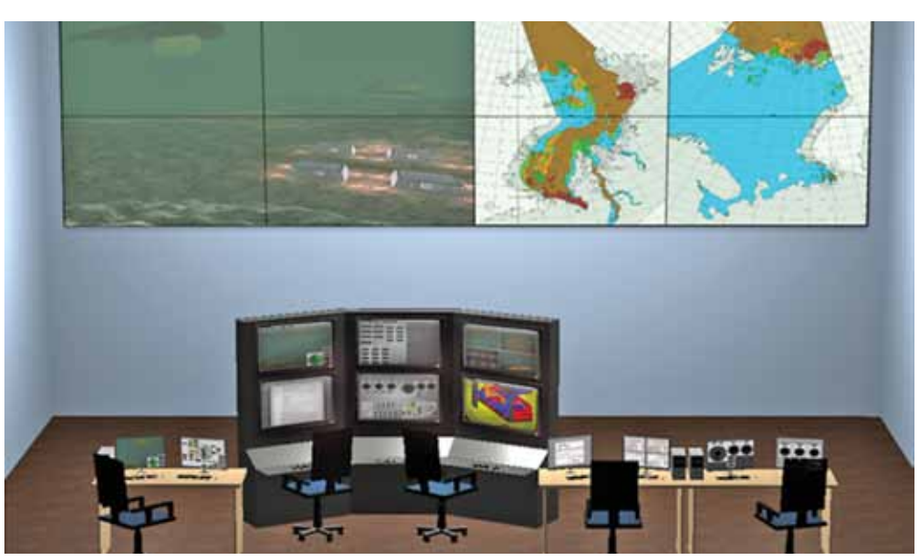


Рис. 4. Центр управления подводным добывающим комплексом / Fig. 4. Control center of the submarine production complex

Более полувека Арктического мирного атома

ОАО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»

**194021, Санкт-Петербург,
ул. Карбышева, 15
Тел.: (812) 297-2311
Факс: (812) 324-6361
E-mail: mail@avrorasystems.com
www.avrorasystems.com**

ОАО «Концерн «НПО «Аврора» является крупнейшим разработчиком, изготовителем и поставщиком систем автоматизации кораблей и судов различных классов и назначения. Особое место в деятельности объединения занимает автоматизация технических средств атомных судов и, в первую очередь, атомных ледоколов и судов ледового класса. За более чем 40-летнюю историю в Концерне созданы и сданы в эксплуатацию системы управления для атомных ледоколов «Ленин», «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Таймыр», «Вайгач», «Ямал» «50 лет Победы» и атомного лихтеровоза «Севморпуть».

В рамках реализации этих проектов накоплен уникальный опыт по созданию аппаратуры управления и защиты реакторов, управления технологическими процессами паропроизводящих и паротурбинных установок, электростанций, общесудовых систем, а также аппаратуры централизованного контроля и бесперебойного питания. Этот опыт в условиях интенсивного развития новых

К.Ю. Шилов, генеральный директор ОАО «Концерн «НПО «Аврора», доктор технических наук, профессор

K.Y. Shilov, General Director Aurora Concern JSC, Doctor of Engineering Science, Professor

средств микропроцессорной техники, обмена данными, операционных систем реального времени и пр. позволил на определенном этапе перейти от релейно-контактной элементной базы и компонентов «жесткой логики», применяемых в указанных выше системах, на качественно новый уровень создания систем с широким применением средств вычислительной техники не только для целей контроля, но и управления. Первой такой системой стала комплексная система управления «Север-М1» для атомного ледокола пр. 10521 «50 лет Победы», что явилось новым этапом развития комплексных систем управления техническими средствами атомных ледоколов. Практически 100%-й переход от традиционных «жестких» мнемосхем на лицевых панелях пультов к видеокадрам, представляемым на мониторах, исключение физических органов управления (ключей, кнопок, тумблеров), а также возможность представления информации по любой системе КСУ ТС на любом АРМе позволили значительно увеличить объем представляемой информации и возможности оперативного управления в соответствии с требованиями заказчика с одновременным уменьшение массы и габаритов аппаратуры, т. е. создать благоприятные человеко-машинные интерфейсы, повышающие надежность управления и снижающие нагрузку на операторов.

Основные направления технической политики ОАО «Концерн «НПО «Аврора» в проектах КСУ ТС и АСУ ТП нового поколения базируются на наиболее прогрессивных решениях, отражающих современные тенденции развития систем управления техническими средствами. К ним относятся:

1. интеграция управляющих и информационных систем в единый комплекс, предусматривающий высокую степень структурной и аппаратной унификации различных систем;
2. использование как правило единой аппаратно-программной платформы для всех систем комплекса;
3. организация единой системы обмена данными (СОД) между абонентами в цифровом коде по стандарту «ETHERNET»;
4. использование в максимально возможной степени сквозных алгоритмов обработки информации, позволяющих исключить дублирование задач и функций;
5. адаптация к изменению условий функционирования (количества и вида входных/выходных сигналов, алгоритмов и пр.), возможность модернизации;
6. концентрация аппаратуры, связанной с формированием сигналов аварийной защиты по нейтронно-физическим и технологическим параметрам и распределением управления по этим сигналам, в системе управления и защиты (СУЗ) реактора.

В настоящее время в ОАО «Концерн «НПО «Аврора» сформирована комплексная информационная система (КИС), охватывающая все процессы создания современных интегрированных систем управления от начальных стадий проектирования изделия до изготовления, испытаний и технического сопровождения изделий в период всего эксплуатационного жизненного цикла.

В процессе проектирования, разработки и согласования документации на разрабатываемые в Концерне НПО «Аврора» системы управления и приборы, на предприятии активно используются информационные технологии, которые значительно ускоряют процесс выпуска документации и делают его более качественным и упорядоченным.

Одной из систем этой КИС является система управления проектами и электронным архивом СУП и ЭА «Аврал». Эта система, хранящая всю информацию по разрабатываемым предприятием изделиям, обеспечивает

Размещение интегрированных пультов управления АСУ ТП плавучего атомного энергоблока в ЦПУ (дизайнерская проработка) / Distribution of control desks of the floating NPP automated process control system (design draft)

документооборот КД, ПД, ЭД, служебной и договорной документации.

Современное развитие ледокольного флота России и ядерной энергетики, осуществляемое в рамках федеральных целевых программ, вызвано приоритетными направлениями деятельности гражданского флота и энергетического обеспечения удаленных прибрежных районов России, связанными в ближайшие десятилетия с обеспечением северного завоза, освоения шельфа и разработки Павловского месторождения на Новой Земле, добычи и транспортировки жидких углеводородов Арктики, развертывания присутствия военных группировок в Арктике, восстановления инфраструктуры аэродромов и портов Новосибирских островов, Земли Франца Иосифа и других районов Крайнего Севера.

В этой связи в соответствии с федеральной целевой программой «Безопасность и развитие ядерной энергетики» развернуты работы по строительству плавучего энергоблока «Академик М.В. Ломоносов», для которого в объединении заканчивается создание автоматизированной системы управления технологическими процессами плавучего энергоблока (АСУ ТП ПЭБ «Лагуна»).

АСУ ТП ПЭБ «Лагуна» для плавучего энергоблока является интегрированной системой, все составные части которой взаимодействуют друг с другом и обеспечивают автоматизацию всего комплекса технических средств ПЭБ и всех видов деятельности его как промышленного энергетического предприятия. Так, в состав системы помимо традиционно включаемых в КСУ ТС средств автоматизации, входят такие системы, как системы связи, промышленного телевидения, радиационного контроля, пожарной сигнализации, регистрации информации в условиях проектных и запроектных аварий («черный ящик»), единой информационной системы технического обслуживания и ремонта ПЭБ и административно-хозяйственной деятельности. АСУ ТП ПЭБ «Лагуна» поставляется заказчику в октябре 2014 г.

В соответствии с ФЦП «Развитие транспортной системы РФ» ведутся работы по созданию автоматизированной ядерной энергетической установки для универсального атомного ледокола с реакторными установками «РИТМ-200». В рамках этой работы в Концерне создается комплексная система управления (КСУ ТС «Котлин-220»), в состав которой входят системы:

– управления и защиты реактора;

– управления и контроля ТС ПТУ и вспомогательных систем;

– управления исполнительными органами систем безопасности РУ и контроля за их работой;

– управления расходом питательной воды в реакторную установку и регулирования локалных параметров РУ и ПТУ;

– регулирования ГТГ;

– централизованного управления электроснабжением КСУ ТС с обеспечением бесперебойности электропитания аппаратуры, важной для безопасности, до восстановления основного питания.

В то же время масштаб и объем грузоперевозок, которые потребуются в ближайшие десятилетия, приводит к необходимости существенного увеличения транспортных возможностей флота не только за счет строительства новых судов, но и использования существующих с проведением при необходимости их ремонта и модернизации. И в этом плане особое значение приобретает задача восстановления такого уникального судна с винтом регулируемого шага (ВРШ), как атомный лихтеровоз

Интегрированные пульты управления для АСУ ТП плавучего атомного энергоблока / Integrated control desks of the floating NPP automated process control system

«Севморпуть», построенный в 1988 году на Керченском судостроительном заводе им. Б.Е. Бутомы и способный доставлять грузы на необорудованное побережье. Работы по его восстановлению, ремонту и модернизации после длительного простоя запланированы до весны 2016 года.

КСУ ТС «Север-81», созданная для этого заказа объединением и поставленная в 1987 г., обеспечивает управление и защиту реактора по нейтронно-физическим параметрам, управление и защиту ядерной паропроизводящей установки (ЯППУ) по теплотехническим параметрам, технических средств ПТУ и вспомогательных систем, управление из ЦПУ и ходового мостика комплексом «главный турбозубчатый агрегат – винт регулируемого шага» (ГТЗА-ВРШ), управление и регулирование расхода питательной воды, частоты вращения гребного винта и давления пара в главном паропроводе, регулирование локальных параметров паро-конденсатного цикла, а также управление судовой электроэнергетической системой и централизованное управление электроснабжением аппаратуры КСУ ТС. Целый ряд оригинальных технических решений, реализованных при создании систем, признан изобретениями и подтвержден соответствующими авторскими свидетельствами. Эти решения остаются актуальными и в наши дни при разработке современных систем управления и регулирования ЯЭУ. КСУ ТС «Север-81» будет подвергнута ревизии, по результатам которой должно быть принято решение о возможности дальнейшей эксплуатации и необходимой степени модернизации с учетом таких традиционных мероприятий по улучшению технических характеристик, как:

– совершенствование программно-аппаратных средств в части сокращения их массогабаритных характеристик и энергопотребления в сочетании с улучшением показателей надежности;

– совершенствование эргономических характеристик путем внедрения прогрессивных средств отображения информации и органов управления;

– совершенствование организации систем и устройств питания, которые сегодня составляют до 30% объема и стоимости аппаратуры КСУ ТС при обеспечении бесперебойности питания последней, что особенно актуально для однореакторных установок;

– использование источников информации с унифицированными выходными сигналами (4 – 20мА, 0 – 5В) и цифровым выходом, исключающим необходимость преобразования сигналов программно-аппаратными средствами.

Важное значение при создании современных систем управления придается обеспечению эффективности управления ЯЭУ, которое зависит не только от технического совершенства систем, но и от степени подготовленности операторов и личного состава, обеспечивающего её управление. Тренажерные комплексы составляют весомую часть в общем объеме выпускаемой Концерном продукции.

Современный типовой тренажерный комплекс включает в свой состав:

– рабочее место обучаемого, представляющее собой имитатор центрального пульта управления ЯЭУ, являющийся внешней копией штатного пульта управления;

– моделирующее устройство, реализующее математические модели основного и вспомогательного оборудования и систем управления с возможностью моделирования нормальных и аварийных режимов эксплуатации;

– рабочее место руководителя обучения.

Для подготовки экипажей атомных ледоколов в объединении созданы тренажеры «Мга-21» для а/л типа «Арктика» и «Т-705» для а/л «50 лет Победы». Эти тренажеры успешно эксплуатировались в учебных центрах Мурманского морского пароходства и выполняли свою задачу по подготовке экипажей.

ОАО «Концерн «НПО «Аврора» прошло большой путь от начала его создания в виде отдела ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова до одного из крупнейших предприятий промышленности в области автоматизации кораблей, судов и других объектов, а также в области создания тренажерных комплексов для учебных центров подготовки экипажей. В процессе становления пройден путь технического совершенствования создаваемых изделий от отдельных локальных устройств управления и регулирования до интегрированных многосвязных систем управления всего отечественного атомного флота. Достигнутый к настоящему времени уровень, а также перспективные направления развития позволят Концерну и в будущем занимать ведущие позиции в автоматизации атомных судов и специальных объектов.

Half a Century of Peaceful Atom in the Arctic Region

AURORA RESEARCH AND PRODUCTION ASSOCIATION

15, Karbysheva str., Saint-Petersburg, 194021, Russia
Tel.: (812) 297-2311
Fax: (812) 324-6361
E-mail: mail@avrorasystems.com
www.avrorasystems.com

Aurora Concern – Research and Production Association JSC is one of the largest developers, producers and suppliers of automation systems for various ships. The company is mainly engaged in automation of equipment of nuclear vessels, specifically, nuclear icebreakers and other ice-rated vessels. For the last 40 years of operation the company has developed and commissioned automated control systems for icebreakers «Lenin», «Arktika», «Sibir», «Rossiya», «Taimyr», «Vaigach», «Yamal», «50 Years of Victory» and nuclear lighter carrier «Sevmorput».

The company has accumulated vast experience in automated control systems and nuclear reactor protection systems, in process control systems of steam generating plants and steam-turbine plants, electric stations, ship's service systems, centralized control systems and uninterruptible power supply systems. In the conditions of rapid development of microprocessor technology, data exchange and real time operation systems, the experience helped replace relay switching and hard-wired logic by computational techniques used for both monitoring and control. «Sever-M1» integral control system designed for «50 Years of Victory» nuclear icebreaker, project 10521, was the first system of that type. It heralded a new stage in the development of process control systems for nuclear icebreakers. Complete transfer from hard mimic panels to video pictures on monitors, exclusion of hard control devices (keys, buttons, switches), a possibility to present information in any integral control system at any workstation resulted in a larger volume of information presented, and enhanced possibilities of operation control in accordance with the customer's requirements, in smaller weight and dimensions of the equipment, in other words, in more sophisticated man-machine interfaces that contribute to control reliability and decrease load on operators.

Aurora Concern's policy related to the integral control systems and automated process control systems is based on the advanced solutions that are in line with the modern trends in the field of control systems. They include:

1. integration of control and information systems that offers a high degree of structural and hardware unification of various systems;
2. use of a single hardware-software platform in all systems;
3. organization of a uniform data exchange system with the use of a digital code in ETHERNET standard;
4. use of end-to-end data processing algorithms that exclude duplication of functions;
5. adaptation to changing conditions (quantity and types of input/output signals, algorithms, etc.), possibility of modernization;
6. concentration of equipment involved in formation of emergency protection signals in accordance with neutron-physical and technical parameters and distribution of control along these signals in the reactor control and safety system.

Aurora Concern has developed an integrated data system that embraces all stages of integral control system development – from the initial stage of design to production, testing and technical support of a product during the whole life cycle.

In the development, design and documentation approval Aurora Concern uses extensively information technologies that accelerate and improve the process of documentation development.

«Avral» process control system is one of the integrated data systems that stores all the information about the products and ensures document flow.

Development of Russia's icebreaker fleet and the nuclear sector in accordance with federal purpose-oriented programs is determined by the priority missions of the civil fleet and the task to provide energy to the coastal areas of Russia. The missions include supply of goods to northern Russia, development of shelf sea and Pavlovskoye deposit on Severnaya Zemlya, production and transportation of hydrocarbons in the Arctic region, deployment of military units in the Arctic region, restoration of air terminals and ports infrastructure on New Siberian Islands, Frantz Josef Land and other areas of the high north.

In this connection, in accordance with the Federal purpose-oriented program «Safety and Development of the Nuclear Sector» floating NPP «Academician M.Lomonosov» is being constructed. Our company is completing an automated process control system for the FNPP (Laguna automated process control system).

Laguna APCS is an integrated system with interacting components that ensures automation of all FNPP equipment and processes. Besides traditional automation systems, the APCS comprises a communications system, cctv, a radiation control system, a fire alarm system, an emergency data processing system (a «black box»), a single information system for maintenance, repair and administration activity. Laguna APCS will be delivered to the customer in October 2014.

In accordance with the Federal purpose-oriented program «Development of Russia's Transportation System» the company is developing an automated nuclear propulsion plant for a nuclear icebreaker with RITM-200 reactor. The Concern develops Kotlin-220 integrated control system that comprises the following subsystems::

– reactor control and protection;
– process control and secondary equipment control;
– control of the protection system equipment;
– feed water control and reactor local parameters regulation;
– gas turbine generator control;
– centralized power supply control that ensures uninterrupted power supply to safety-related equipment.

Due to the increased volume of cargo transportation expected in the next dozens of years, the transportation capacity of the fleet must be enhanced by means of both construction of new vessels and repair and modernization of existing ones. In this connection it is most essential to modernize «Sevmorput» nuclear lighter carrier, a unique vessel with an adjustable pitch propeller, built in 1988 at Kerch Shipbuilding Yard named after B.Batuma, and capable of transporting cargo to the unimproved shore. It is planned to complete restoration, repair and modernization of the carrier till spring 2016.

Sever-81 automated process control system developed by our company for the ship in 1987 ensures reactor control and protection as per neutron-physical parameters, steam-generating plant control and protection as per thermotechnical parameters, secondary equipment control, control of «main turbine plant – adjustable pitch propeller» complex from the central control room and the navigation bridge, feed water control, propeller speed control, regulation of pressure in the main steam line, regulation of local parameters of the steam-and-condensate cycle, the ship's power supply control and centralized control of the electrical equipment. A number of technical solutions used in the system are recognized as inventions and are certified by invention certificates. The solutions are still useful in development of modern nuclear plant control systems. Sever-81 APCS will be revised and then a decision will be made as to whether it can be operated in future and how it can be modernized taking into consideration traditional ways of technical improvement, such as:

– reduction of weight, dimensions and power consumption of soft and hardware and enhancing their reliability;
– improvement of ergonomics by means of introduction of modern methods of information display and control devices;
– improvement of power supply systems that account for 30 percent of the APCS cost and volume and that are essential for uninterrupted power supply, especially in one-reactor plants;
– application of information sources with unified output signals (4 – 20мА, 0 – 5В) and a digital output that excludes any signal conversion by soft and hardware.

Great importance is attached to the nuclear plant control efficiency that depends on both technical sophistication of the systems and qualification of the personnel engaged in the systems operation. Simulators constitute a large part of the company's production.

A modern simulator comprises:

– a workplace that simulates the central control room;
– an imitator that produces simulation models of the basic facility and secondary equipment in standard and emergence regimes;
– a supervisor's workplace.

Mga-21 simulator and T-705 simulator have been developed by the company that have been used in training the crews of «Arktika» icebreaker and «50 Years of Victory» icebreaker respectively. The simulators have been used at training centers of Murmansk Ocean Company for training ship crews.

Aurora Research and Production Association has travelled a long way from a department within Central Research Institute named after A.Krylov to one of the largest industrial enterprises engaged in automation of ships and other facilities as well as in development of simulators for crews training centers. By means of many technical refinements of local control devices, the company has mastered integrated automation systems applied at the nuclear fleet. With its vast experience and prospective developments, it will hold leading positions in automation of nuclear ships and other facilities in future.

Подготовка кадров для плавучих объектов с ядерной установкой в ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова

КАФЕДРА СУДОВЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГУМРФ

Санкт-Петербург, 21 линия В.О., д. 14 а, каб. 7
Тел.: (812) 321-53-87
E-mail: kaf_snef@gumrf.ru
http://gumrf.ru/struct_fac_se_syeu.html

С.О. БАРЫШНИКОВ, В.И. КОРОЛЕВ, А.Ю. ЛАСТОВЦЕВ

С.О. Барышников – ректор ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, доктор технических наук, профессор

Sergei Baryshnikov, rector of SUSRF named after Admiral S.Makarov, Doctor of Engineering Science, Professor

А.Ю. Ластовцев – заведующий кафедрой «Судовые ЯЭУ», кандидат технических наук, профессор

Alexei Lastovtsev, Head, Department of Marine Nuclear Propulsion Systems, PhD in Engineering Science, Professor

В.И. Королёв – заместитель заведующего кафедрой «Судовые ЯЭУ», кандидат технических наук, профессор

Vladimir Korolev, Deputy Head, Department of Marine Nuclear Propulsion Systems, PhD in Engineering Science, Professor

Государственный университет морского и речного флота (ГУМРФ) имени адмирала С.О. Макарова (до 2013 г. – Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова – знаменитая «Макаровка») уже более 135 лет готовит кадры для эксплуатации судов различного типа. Подготовленных ею специалистов можно встретить за штурвалами океанских лайнеров, в машинных отделениях гигантских танкеров, в радиорубках затерянных в морских просторах судов. Её выпускники стоят вахту как на российских судах, так и на судах лучших зарубежных морских компаний. Из 70 тысяч российских моряков, работающих на судах во всём мире, значительная часть командного состава подготовлена в ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова.

Несмотря на широкую известность наших выпускников в России и мире, одним из главных брендов сегодняшнего университета является подготовка кадров для эксплуатации атомных судов. Почему именно нашему университету доверено право на подготовку специалистов «атомных» специализаций для эксплуатации потенциально опасных объектов? Причину следует искать в его славной истории и сложившихся традициях.

Начало нашего учебного заведения уходит в далёкий 1876 год, когда при Санкт-Петербургском речном яхт-клубе были открыты мореходные классы, в которых готовились капитаны и штурманы для парусных судов торгового флота России. По мере развития торгового морского флота, совершенствования его оснащения, появления судов с паровыми машинами, морские классы уже не удовлетворяли выдвигаемым требованиям, и поэтому были преобразованы сначала (1902 г.) в Санкт-Петербургское училище дальнего плавания Императора Петра I, а затем (1905 г.) в Санкт-Петербургское соединенное училище дальнего плавания и судовых механиков торгового флота Императора Петра I. Соединенное училище Императора Петра I существовало до 1918 года, затем последовали его переименования и реорганизация сначала в Петроградский техникум водных путей сообщения (01.11.1918 г.), затем в Ленинградский морской техникум – ЛМТ– (26.01.1924 – 04.03.1944 г.г.).

К концу Великой Отечественной войны в 1944 году сложился значительный дефицит в командных кадрах морского флота, и Государственный комитет обороны СССР принял постановление «О мероприятиях по подготовке командных кадров морского флота». На основании этого постановления были открыты Ленинградское высшее мореходное училище (ЛВМУ) и Высшее арктическое морское училище имени адмирала С.О. Макарова.

Через 10 лет оба училища объединили в одно учебное заведение, которое получило название Ленинградское высшее инженерное морское училище имени адмирала С.О. Макарова (ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова), а с 1990 г. ЛВИМУ стало Государственной морской академией имени адмирала С.О. Макарова (ГМА им. адм. С.О. Макарова). В 2012 г. на базе двух вузов – ГМА им. адм. С.О. Макарова и Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций было создано Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» (ГУМРФ).

Исторически сложилось так, что «Макаровка» всегда выдвигалась на передний план в преобразованиях под новые создавшиеся условия и становилась флагманом в освоении задач, выдвигаемых морской доктриной России. Когда в Советском Союзе построили первое в мире гражданское атомное судно – атомный ледокол «Ленин» и стал вопрос о кадрах для его эксплуатации, то, естественно, выбор пал на наш университет.

На сегодняшний день Россия является единственной в мире страной, в которой существует и успешно используется флот атомных судов. Флот базируется в Мурманске, где создана мощная структура ФГУП «Атомфлот». В состав ФГУП «Атомфлот» входят пять действующих атомных ледоколов: «Советский Союз», «Ямал», «50 лет Победы», «Таймыр», «Вайгач», а также две плавучие базы технологического обслуживания атомных судов «Имандра» и «Россита».

На всех российских атомных судах используются реакторные установки (РУ) с реакторами водо-водяного типа под давлением (ВВРД), проектантом и поставщиком которых является Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова» (ОАО «ОКБМ Африкантов»).

С начала 2009 г. в Санкт-Петербурге на судоверфи ООО «Балтийский завод – судостроение» строится первый в мире плавучий атомный энергоблок, который будет производить электрическую и тепловую энергию в составе плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС). В соответствии с контрактом, заключенным в августе 2012 года, там же строится универсальный двухосадочный атомный ледокол нового поколения ЛК-60 проекта 22220 для ФГУП «Атомфлот».

На ПАТЭС используется реакторная установка, подобная установленным на атомных ледоколах. На атомном ледоколе нового поколения будут установлены интегральные реакторы типа «РИТМ – 200».

Совершенно очевидно, что успешное освоение и эксплуатация атомного флота и других плавучих объектов с ЯЭУ возможны только при наличии специально подготовленных высококвалифицированных морских инженеров, прошедших атомную специализацию. Для этого в России была создана единственная в мире система подготовки инженеров всех специальностей, необходимых для эксплуатации атомных судов.

Подготовка инженерных кадров для гражданских атомных судов, начиная с 1958 г. (первый экипаж а/л «Ленин»), проводилась только в нашем университете. За 55 лет для девяти построенных атомных ледоколов и лихтеровоза было подготовлено более 1000 специалистов; прошли различные формы повышения квалификации более 3500 человек.

За всё время эксплуатации атомных судов не было ни одной ядерной аварии или даже крупного инцидента, приведшего к радиоактивному загрязнению окружающей среды. Следовательно, принятые способы и методики подготовки специалистов обеспечивали высокое качество подготовки.

Подготовка инженеров осуществляется в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 658000 «Эксплуатация водного транспорта и транспортного оборудования». Обучение проводится по специальностям и специализациям: 180402 – «Судовождение»; 180403.01– «Эксплуатация судовых

ЯЭУ»; 180404.02 – «Эксплуатация электрооборудования и средств автоматизации судов с ЯЭУ»; 180404.03 – «Эксплуатация измерительных и управляющих комплексов судов с ЯЭУ», а также в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами, утвержденными приказами Минобрнауки РФ от 24.12.2010 г., № 2060 (специальность 180405 «Эксплуатация судовых энергетических установок», специализация 180405.01 «Эксплуатация судовых ядерных энергетических установок») и от 23.12.2010 г., № 2026 (специальность 180407 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики», специализация 180407.65.02 «Эксплуатация электрооборудования и автоматики судов с ядерными энергетическими установками»).

В 1980 г. была создана кафедра «Судовые ЯЭУ», отвечающая за обучение по всему блоку ядерных дисциплин.

В соответствии с приказом министра морского флота от 10 ноября 1987 года № 177 на университет (ЛВИМУ) возлагались функции базового вуза Минморфлота по подготовке и переподготовке инженерных кадров для судов с ЯЭУ, а также руководства всем комплексом учебных и научно-методических вопросов.

В 1988 г. был открыт Специальный факультет по переподготовке кадров по направлению «Эксплуатация судов с ЯЭУ», который в 2002 г., в связи с ликвидацией в России специальных факультетов по переподготовке кадров по новым перспективным направлениям науки, техники и технологии, был преобразован в Специальные курсы дополнительного обучения командного состава судов с ЯЭУ (Спецкурсы).

На Спецкурсах ГМА им. адм. С.О. Макарова осуществлялись:

– дополнительная послевузовская профессиональная переподготовка специалистов всех служб атомного судна для выполнения нового вида профессиональной деятельности в форме подготовки к занятию первой штатной инженерной должности;

– повышение квалификации специалистов атомно-механической службы (АМС), электромеханической службы (ЭМС), службы контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), службы радиационной безопасности (СРБ) – один раз каждые пять лет;

– специальная дополнительная подготовка специалистов к занятию вышестоящей командной должности, в частности, старших помощников капитана и старших вахтенных механиков;

– обучение первых экипажей вновь вводимых в строй судов с ЯЭУ.

После каждого вида подготовки выдавались дипломы или свидетельства установленного государственного образца.

Коллегия ММФ СССР 27.10.1979 г. признала необходимым создание в ГМА отраслевого учебно-тренировочного центра (ОУТЦ) для практической подготовки специалистов атомных судов. Специалисты кафедры «Судовые ЯЭУ» осуществляли научно-техническое наблюдение за проектированием тренажеров для ОУТЦ ЯЭУ, созданием математических моделей и программного обеспечения тренажеров «Мга-21», «Франций», «Нева», «ЯППУ» и «Марс».

К сожалению, в силу разных причин решение Коллегии ММФ СССР полностью реализовано не было. Вместо ОУТЦ был создан тренажерный центр по ЯЭУ (ТЦ ЯЭУ) в качестве производственного подразделения Мурманского морского пароходства.

В декабре 1990 г. принят в эксплуатацию тренажер «Мга-21» (Арктика) по управлению судовой ЯЭУ атомного ледокола проекта 10521.

В 1991 г. принят в эксплуатацию тренажер «Таймыр» по управлению судовой ЯЭУ атомного ледокола проекта 10580. С июля 1992 г. в учебном процессе использовался тренажер «ЯППУ» для проекта ледокола 10521. По мере строительства атомного ледокола «50 лет Победы» ОАО «Концерн «НПО «Аврора» разработало и изготовило тренажёр Т-705 для этого ледокола.

В 2008 г. была реорганизована структура управления атомным флотом, связанная с выводом атомных ледоколов из доверительного управления ОАО «Мурманское морское пароходство» и передачей их в состав ФГУП «Атомфлот» (Госкорпорация «Росатом»). К сожалению, тренажеры ТЦ АФ, за исключением тренажера Т-705, остались в собственности ОАО «ММП» и не были переданы ФГУП «Атомфлот». Такое решение привело к фактическому исключению важнейших для осуществления качественной подготовки специалистов тренажеров из учебного процесса.

Другим существенным ударом по подготовке кадров для эксплуатации атомного флота стало решение Минтранса РФ об упразднении успешно работавшей системы подготовки и дипломирования моряков-атомщиков, принятое в сентябре 2013 года.

Поэтому сегодня фактически отсутствует государственное регулирование процессов подготовки, переподготовки, проверки знаний и дипломирования командного состава ПО с ЯУ и делаются попытки подмены качественного повышения квалификации моряков-атомщиков в ГУМРФ «эрзац-подготовкой» в учебных заведениях, не имеющих педагогического, методического и технического обеспечения. Есть большие сомнение, что это приведет к повышению качества подготовки. Но, видимо, это не очень волнует функционеров, принявших данное решение.

Ядерная школа «Макаровки» создавалась ценой огромных усилий высококлассных специалистов. Она вобрала в себя все новые конструкторские идеи, накопила обширную информацию об эксплуатации атомных судов. В процессе формирования школы для проведения лекций и практических занятий привлекались лучшие разработчики и аналитики из ведущих НИИ и вузов Санкт-Петербурга и страны в целом (Москва, Нижний Новгород, Обнинск, Сосновый Бор). И постепенно школа университета превратилась в хорошо отлаженную СИСТЕМУ. Подтверждением правильности и эффективности работы СИСТЕМЫ является безаварийная эксплуатация действующих на арктических просторах атомных судов.

На кафедре «Судовые ЯЭУ» широко используются различные формы активизации курсантов путём привлечения их к учебно-методической и исследовательской работе. Курсанты участвуют в конференциях профессорско-преподавательского состава, становятся соавторами статей для научно-технических журналов, разрабатывают программы расчета на ПК. Преподаватели организуют тематические научно-технические семинары, на которых докладчиками являются курсанты различных курсов. При подготовке докладов используются материалы выпускных аттестационных работ эксплуатационного персонала атомных ледоколов при обучении на Спецкурсах (с 2012 года – Спеццентр). Таким образом, основные новаторские идеи опытных эксплуатационщиков передаются молодому поколению.

Накопленные в университете уникальные материалы и учебно-методические приемы стали доступны не только курсантам, эксплуатационному персоналу атомных судов, но и всем тем, кто ориентирует свою дальнейшую деятельность на эксплуатацию атомных судов.

На базе кафедры «Судовые ЯЭУ» при поддержке руководства университета неоднократно проводились межвузовские конференции по актуальным научным исследованиям и кадровому обеспечению атомной энергетики, в которых принимали участие ведущие специалисты научных и образовательных организаций России, в том числе ОАО «Концерн «НПО «Аврора», ГНЦ РФ ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Военно-морской академии имени Н.С. Кузнецова, ОАО «ОКБМ Африкантов», НИТИ им. А.П. Александрова, Росэнергоатома, Мортранспроекта, ФГОУ СПб ГПУ, ВМИИ и т. д.

На Спецкурсах (в Спеццентре) университета, кроме дополнительных образовательных программ обучения специалистов атомных судов, осуществлялась переподготовка и повышение квалификации специалистов, работающих в области атомной техники и технологии.

Обучение специалистов проводится по следующим программам:

– перегрузка ядерного топлива реакторов атомных ледоколов, обращение с отработанным топливом, твердыми и жидкими радиоактивными отходами (курсы повышения квалификации командного состава судов атомно-технологического обслуживания (АТО);

– ядерная и радиационная безопасность при ремонте судовых ЯЭУ (курсы повышения квалификации специалистов ремонтно-технологического предприятия атомного флота ФГУП «Атомфлот»);

– ядерная и радиационная безопасность при строительстве атомных ледоколов (курсы повышения квалификации специалистов ОАО «Балтийский завод», ООО «Балтийский завод – судостроение», ОАО «Севзапмонтажавтоматика»);

– обращение с отработанным топливом и жидкими радиоактивными отходами (курсы повышения квалификации);

– перевозка и хранение ядерных материалов (курсы повышения квалификации).

Количественное увеличение ядерных судов и других потенциально опасных плавучих объектов ставит задачи повышения их безопасности на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. При этом важнейшей составляющей здесь является наличие квалифицированного персонала. Формирование необходимого резерва кадров для эксплуатации ядерных объектов требует постоянного совершенствования подходов и централизации обучения.

В силу различных причин: реформа образования и сокращение числа вузов, уменьшение численности молодых людей, снижение мотивации для работы на флоте, отсутствие регулярного и планового ввода в строй новых судов и других плавучих объектов – подготовка кадров для флота стала многосложной задачей.

В настоящее время создались условия, когда появляется большое количество малосерийных надводных плавучих объектов разного назначения с относительно небольшой индивидуальной потребностью в кадрах. Это атомные и дизельные ледоколы, плавучие атомные теплоэлектростанции, буровые платформы, газовозы, химовозы, танкеры и т. п.

Ориентироваться в вузах на выпуск специалистов под каждый вид надводного плавучего объекта нерационально. Вузы должны формировать технически грамотного специалиста широкого профиля. Этого специалиста целесообразно доучивать для управления конкретным объектом, определяя количество обучаемых и объем дополнительной подготовки с учетом требований конкретного судовладельца.

Сейчас необходимо обозначить стратегическую цель – поэтапное создание хорошо технически и методически оснащенного ЕДИНОГО ЦЕНТРА, осуществляющего подготовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов, обеспечивающих безопасную и эффективную эксплуатацию судов и других плавучих объектов как с ядерными, так и с традиционными энергетическими установками на органическом топливе.

СИСТЕМА подготовки кадров в ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, показав свои возможности, может быть прототипом и базой для формирования такого центра – практически готовая надежная учебно-образовательная структура с большим опытом работы.

Стратегические интересы России в Арктике настоятельно требуют обновления и расширения присутствия различных российских плавучих объектов, оснащённых ядерной энергетической установкой, в этом регионе. Для безопасной эксплуатации таких объектов необходимо иметь значительный кадровый потенциал с постоянно поддерживаемой квалификацией. Однако, сложившиеся на сегодняшний день негативные тенденции могут перечеркнуть всё уже достигнутое в подготовке кадров для плавучих объектов с ЯЭУ за длительный период времени и привести к постепенной потере специалистов необходимой квалификации.

Training Specialists for Floating Nuclear Facilities in State University of Sea and River Fleet

DEPARTMENT OF MARINE NUCLEAR PROPULSION SYSTEMS, STATE UNIVERSITY OF SEA AND RIVER FLEET

14 a, office 7, 21st line of Vasilievsky ostrov, Saint-Petersburg
Tel.: (812) 321-53-87
E-mail: kaf_snef@gumrf.ru
http://gumrf.ru/struct_fac_se_syeu.html

S. BARYSHNIKOV, V. KOROLEV, A. LASTOVTSEV

State University of Sea and River Fleet named after Admiral S.Makarov (SUSRF) (till 2013 – State Naval Academy named after Admiral S.Makarov) has been training personnel for ships of various types for 135 years. Alumni of the University can be seen at steer wheels of ocean liners, in engine space of giant tankers, in wireless rooms of many sea ships. They serve both on Russian and foreign vessels. Among 70,000 Russian seamen serving all over the world a large part of command squad has been educated in SUSRF.

Though graduates of the University have impeccable reputation in Russia and globally, the main brand of the institution today is training personnel for floating nuclear facilities. Why has the University been granted the right to educate atomic specialists for hazardous facilities? It is explained by its glorious history and long-running traditions. The institution was established as early as in 1876. That year at Saint-Petersburg yacht club navigation classes were organized for training captains and pilots for sailing ships of Russian commercial fleet. As the commercial fleet was rapidly developing, and the ships' equipment became more complicated, the classes could not meet tougher requirements and, thus, were reorganized in Saint-Petersburg School of Distant Trade named after Peter the Great (1902), then in Saint-Petersburg United School of Distant Trade and Marine Engineers named after Peter the Great (1905). The School operated till 1918, and then was reorganized in Petrograd Technical School of Waterways (November 1, 1918) and after that in Leningrad Marine Technical School (26/01/1924 – 04.03.1944).

At the end of the World War II, seeing the shortage of the command squad in the Navy, the USSR State Defense Committee passed a decree «On measures aimed at training command squad for the fleet». As per the decree, two institutions were established: Leningrad Higher Nautical School and Higher Arctic Nautical School named after Admiral S.Makarov.

Ten years later the two schools merged to form Leningrad Higher Nautical Engineers School named after Admiral S.Makarov. In 1990 the School was renamed to be the State Maritime Academy named after Admiral S.Makarov. In 2012, as a result of the merger of the State Maritame Academy and Saint-Petersburg State University of Waterways, State University of Sea and River Fleet was organized.

Historically, SUSRF has always been at the forefront of transformations in changing conditions and the flagship in solving tasks related to Russia's naval doctrine. When the first nuclear icebreaker «Lenin» was built in the Soviet Union, the task to train atomic specialists able to operate the ship was assigned to SUSRF.

Russia is now the only country with operating nuclear fleet. It is based in Murmansk where it is operated by large Atomflot State Enterprise. Atomflot operates five nuclear icebreakers: «Sovetsky Soyuz» (Soviet Union), «Yamal», «50 Years of Victory», «Taimyr», «Vaigach» as well as two maintenance and repair ships servicing nuclear icebreakers – «Imandra» and «Rossita».

Reactor units of all nuclear ships use water-cooled water-moderated reactors designed and supplied by OKBM Afrikantov OJSC.

Since 2009, the world-first floating nuclear power unit is being built at Baltiysky Zavod – Shipbuilding yard in Saint-Petersburg. The unit will produce electric and thermal power on a floating NPP. In accordance with the contract signed with Atomflot in August 2012, the plant is building LK-60 nuclear icebreaker of new generation, project 22220.

The floating NPP operates a reactor similar to those which are installed on nuclear icebreakers. Integrated «RITM-200» nuclear reactor will be installed on the icebreaker of new generation.

It is obvious that successful operation of the nuclear fleet and other nuclear facilities is only possible when highly qualified naval engineers experienced in nuclear engineering are available. To solve the task, the world-only system of training engineers for the nuclear fleet has been developed in Russia.

Since 1958 engineers for civil nuclear ships (the first crew of «Lenin» icebreaker) have been trained only in our University. Over 1,000 specialists have been trained for 9 nuclear icebreakers and one LASH-ship for 55 years; over 3,500 specialists have undergone retraining.

During the whole period of nuclear ships operation there has been no nuclear emergency or serious breakdown that would cause radioactive contamination of the environment.

It means that developed methods of training specialists have proved to be effective and ensured high quality of education.

Engineers are trained in accordance with the State Education Standard of Higher Education, Major 658000 «Operation of Water Transport and Transport Equipment». Specializations: 180402 – Navigation; 180403.01 – Operation of Nuclear Energy Plants; 180404.02 – Operation of Electrical Equipment and Automation Systems of Nuclear Ships; 180404.03 – Operation of Measurement and Control Systems of Nuclear Ships. The following Federal State Education Standards approved by order No 2060 of the RF Ministry of Education and Science of December 12, 2010 are also in force (Major 180405 – Operation of Marine Power Propulsion, specialization 180405.01 – Operation of Marine Nuclear Power propulsion) and order No 2026 of December 23, 2010 (Major 180407 – Operation of Marine Electrical Equipment and Automation Systems, specialization 180407.65.02 – Operation of Electrical equipment and Automation Systems on Nuclear Ships).

Department of Marine Nuclear Propulsion Systems responsible for all nuclear engineering disciplines was organized in 1980.

In accordance with order of the Minister of Sea Fleet No 177 of November 10, 1987, the University became the basic university of the Ministry responsible for training and retraining of engineers for nuclear ships and the whole range of educational, methodological and research issues.

Special School of Personnel Retraining specializing in Operation of Nuclear Ships was organized in 1988. In 2002, the School was reorganized in Special Courses of Enhanced Training of Command Squad of Nuclear Ships.

The special courses of the University provided:

– enhanced retraining of all specialists of a nuclear ship required for assignment to the position of the first-grade engineer;

– retraining of specialists of the nuclear engineering service, electromechanical service, control and instrumentation service, radiation safety service – once in five years;

– additional training required for assignment to a higher post, in particular, that of chief mate or chief duty engineer;

– training of crews of newly commissioned nuclear ships.

Training and retraining was certified by appropriate diplomas and certificates.

On October 27, 1979, the Board of the Ministry of Sea Fleet took a decision to set up a training center for practical training of specialists for nuclear ships. Experts of the Department of Marine Nuclear Propulsion Systems performed scientific and technical supervision of designing simulators, simulation models and software for simulators «Mga-21», «Franeium», «Neva», «YaPPU» and «Mars». Unfortunately, for various reasons the decision of the Board has not been implemented in full. Instead of the training center a simulation center was organized at Murmansk Ocean Company.

In December 1990 «Mga-21» simulator of controlling nuclear icebreaker propulsion, project 10521, was put into operation.

In 1991 «Taimyr» simulator of controlling nuclear icebreaker propulsion, project 10580, was commissioned. Since July 1992 «YaPPU» simulator was used for icebreaker project 10521. When «50 Years of Victory» icebreaker was being built, Aurora Research and Production Association designed and produced T-705 simulator.

In 2008, the management system of the nuclear fleet was reorganized: instead of being in trust management by Murmansk Ocean Company, the nuclear icebreakers were transferred to Atomflot State Enterprise (Rosatom Corporation). Unfortunately, all the simulators but T-705 remained the property of Murmansk Ocean Company and were not transferred to the ownership of Atomflot.

Due to that decision the simulator that were so important for quality training of specialists could not be used in the academic process.

Another heavy blow on the efficient system of training specialists for the nuclear fleet was the RF Ministry of Transport decision to cancel the system of nuclear seamen certification made in September 2013.

As a result, state regulation of training, retraining and certification of the command squad of nuclear facilities is nonexistent now; quality training of atomic specialists in SUSRU is replaced by low quality education in institutions that lack pedagogical, methodological and technical means. It would hardly contribute to the improvement of the quality of training. But it does not bother bureaucrats.

«Nuclear school» of SUSRU is a result of enormous efforts exerted by many highly qualified specialists. It accumulated advanced design ideas and information about nuclear ships operation. The best designers and analysts from the top research institutes and universities of Saint-Petersburg and whole Russia (Moscow, Nizhny Novgorod, Obninsk, Sosnovy Bor) read lectures and conducted practical classes. Gradually the school grew into the SYSTEM. The effectiveness of the System is proved by the accident-free operation of nuclear ships in the Arctic region.

At the Department of Marine Nuclear Propulsion Systems students are engaged in methodological and research activities; they participate in scientific conferences, write articles for scientific journals, develop application programs. Professors organize scientific and technical seminars at which students make their presentations. They use materials of the graduation papers of the operating personnel of nuclear icebreakers written at the special courses (since 2012 – Special Center). In this way the main innovation ideas of experienced operating staff are passed over to the younger generation. Department of Marine Nuclear Propulsion Systems, sponsored by the University administration, has organized many conferences devoted to topical issues of staffing the nuclear sector; the conferences were attended by the best experts from research and educational institutions including Aurora Research and production Association, Central Research Institute named after Academician A.Krylov, Military Marine Academy named after N.Kuznetsov, OKBM Afrikantov, NITI named after A.Alexandrov, Rosenergoatom, Mortransproekt (Marine Transportation Projects) LLC, Saint-Petersburg State Technical University, Marine Engineering Institute, etc.

The Special Center of the University offers elective programs of training specialists of nuclear ships as well as programs of retraining specialists engaged in nuclear engineering. The following programs are offered:

– refueling at nuclear icebreakers, spent fuel and solid and liquid radioactive waste treatment (career enhancement course for command squad of nuclear ships);

– nuclear and radiation safety in the process of the reactor repair (career enhancement course for specialists of Atomflot repair and maintenance ship);

– nuclear and radiation safety in the process of nuclear icebreaker construction (career enhancement course for specialists of Baltiysky Zavod (Baltic Plant) JSC, Baltic Plant-Shipbuilding LLC, Sevzapmontazhavtomatika JSC);

– spent fuel and liquid radioactive waste treatment (career enhancement course);

– nuclear materials transportation and storage (career enhancement course).

With the growing number of nuclear ships and other hazardous facilities, the task of ensuring their safety to be solved at the stages of design, construction and operation becomes even more important. The availability of qualified personnel is one of the most essential factors. Staffing nuclear facilities requires constant sophistication of approaches to training and its centralization.

Due to the education reform, decreased number of universities and young people, their reluctance to serve in the fleet, irregularities in commissioning of new ships and other floating facilities, training marine specialists has become a more complicated problem.

Now many floating facilities of various purpose are built in small series; they do not need many specialists. The list of facilities includes nuclear and diesel icebreakers, floating NPP, drilling rigs, LNG carriers, chemical carriers, tankers, etc. It is not reasonable to train specialists separately for each type of facility. Universities must train well-educated multifunctional experts who will be further educated in operating a specific facility. The number of students and the content of additional education must take into account the requirements of a specific shipowner.

The strategic goal must be formulated, specifically: to set up a single center with sufficient technical and methodological facilities. The center must be engaged in retraining and career enhancement of specialists responsible for safe and efficient operation of ships and other floating facilities, both nuclear and conventional.

SUSRF training SYSTEM can serve a prototype and the basis for organization of such a center since it is a reliable and experienced educational structure which is also available.

Russia's strategic interests require renovation and proliferation of nuclear floating facilities in the Arctic region. To operate such facilities qualified personnel is required. But due to the negative trends in the education system the accumulated experience can be lost and the number of atomic specialists of required qualification can become too small.

Кадры флоту и верфям

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

603950, Нижний Новгород,
ул. Минина, д. 24
Тел.: (831) 436-23-25
Факс: (831) 436-94-75
E-mail: nntu@nntu.nnov.ru
www.nntu.ru

Подготовка специалистов по кораблестроительному направлению в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева, одном из старейших высших технических учебных заведений России, была начата еще в 1921 году. Тогда в НГТУ началось обучение инженеров-механиков по специальности «Речное кораблестроение», а руководил подготовкой профессор Сергей Антонович Карпов – выпускник кораблестроительного факультета Санкт-Петербургского политехнического института имени Петра Великого. В 1925 году были защищены первые три дипломных проекта, авторы которых, Н.Г. Кабачинский, В.Н. Керичев и С.Н. Якимовский, впоследствии стали известными учеными-педагогами, занимали руководящие посты в судостроительной промышленности.

С развитием судостроительной промышленности России росла и потребность в квалифицированных кадрах для флота и судостроительного производства. В 1936 году в Нижегородском государственном техническом университете (тогда – Горьковский индустриальный институт) был организован кораблестроительный факультет, в 2006 году преобразованный в факультет морской и авиационной техники. В настоящее время подготовка специалистов-кораблестроителей ведется в составе Института транспортных систем. НГТУ осуществляет один из самых больших приемов и выпусков в России по направлению подготовки «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры». Так, в 2014 году на первый курс бакалавриата было принято четыре учебных группы, а в магистратуре сформированы три группы магистрантов – всего более ста человек. Большим спросом на судостроительных предприятиях пользуются также выпускники НГТУ по другим направлениям, задействованным в кораблестроении: специалисты в области ядерной энергетики и электрооборудования судов, материаловеды и металлурги, технологи, программисты, радиотехники и экономисты.

С 2011 года наш вуз входит в число пяти опорных вузов ОАО «Объединенная судостроительная корпорация». Нижегородский государственный технический университет осуществляет целевую контрактную подготовку специалистов по заказу предприятий Минпромторга, решая задачи распределения

Рисунок 1. Движение модели исследовательского судна в битом льду / Figure 1. A research vessel model navigating in brash ice

и трудоустройства будущих выпускников уже на этапе поступления в высшее учебное заведение. Договоры о целевом обучении в 2014 году были заключены с сорока предприятиями, в том числе с восемью организациями, специализирующимися на проектировании и постройке объектов морской техники. НГТУ является одним из лидеров России по организации обучения в рамках прикладного бакалавриата, предусматривающего особенное внимание формированию у студентов навыков практической работы на конкретных предприятиях.

Подготовка в НГТУ базируется на активном участии преподавателей в научных исследованиях и в производственной деятельности, отвечающих современным интересам реального сектора экономики. Так, если в 40-е и 50-е годы двадцатого века основным науч-

Рисунок 2. Испытания модели ледокольной приставки на воздушной подушке / Figure 2: Testing a model of icebreaker hoverplatform

Рисунок 3. Строительство ледокольной приставки на воздушной подушке / Figure 3: Building an icebreaker hoverplatform

ным направлением в области кораблестроения было освоение внутренних водных путей, разработка научных подходов и методов проектирования мелкосидящих речных судов, то в 60-е и 70-е годы усилия были направлены на скоростное судостроение, на проектирование и постройку судов с динамическими принципами поддержания. В настоящее время в НГТУ в рамках программы стратегического развития реализуется проект «Повышение эффективности освоения арктических и внутренних водных путей России». Результатом данного проекта стало создание лаборатории освоения Арктики, научного опытно-конструкторского бюро «Лед-НН», переоснащение ледовых опытовых бассейнов. Впервые в истории Нижегородского региона открыта новая магистерская программа подготовки «Проектирование судов и морских сооружений, эксплуатирующихся в ледовых условиях».

Созданная в Нижнем Новгороде научная школа профессора В.А. Зуева, работающая в области теории разрушения ледяного покрова, наряду и совместно с научными школами ФГУП «Крыловский научный центр» и ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», является лидером России в разработке и проектировании ледовой техники. Полученные научные результаты отражены в фундаментальных монографиях «Основы проектирования судов ледового плавания» и «Ледовая ходкость судов», удостоенной международной премии Стенли Грея королевского общества Великобритании, в десяти работах на соискание ученых степеней докторов и кандидатов наук, защищенных за последние восемь лет. Нижегородскую ледовую школу особо отличает тот факт, что результаты ее исследований обладают большой практической значимостью, реализуются в металле. Так, зимой 2013-2014 годов на ОАО «Завод «Красное Сормово» была построена и прошла все виды испытаний полунатурная модель ледокольной платформы на воздушной подушке, спроектированная в нашем университете. Среди постоянных заказчиков прикладных научных исследований в НГТУ по ледовой тематике такие известные в стране предприятия, как ОАО «КБ «Вымпел», ОАО «ЦКБ «Лазурит», ОАО «СПМБМ «Малахит».

Благодаря своему географическому положению, высокому кадровому потенциалу, активной работе в современных условиях Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева стал уникальной площадкой для широкой научной и производственной кооперации как среди промышленных и проектных предприятий, так и среди научных и образовательных школ в области кораблестроения. Мы готовы к взаимовыгодному эффективному сотрудничеству на благо нашей родины – Российской Федерации.

Рисунок 4. Этапы работы научной школы – испытание модели, постройка и спуск на воду, прокладка судоходного канала во льдах / Figure 4: Stages of a research team work: model testing, construction and launching, ice servicing

Human Resources for the Fleet and Shipbuilding Yards

NIZHNY NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER R. ALEXEEV

24, Minina street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia
Phone: (831) 436-23-25
Fax: (831) 436-94-75
E-mail: nntu@nntu.nnov.ru
www.nntu.ru

Training of shipbuilders was initiated at Nizhny Novgorod State Technical University named after R. Alexeev, one of the oldest technical universities of Russia, as early as in 1921. Teaching engineers majoring in River Shipbuilding was supervised by professor Sergei Karpov, a graduate of School of Shipbuilding of Saint-Petersburg Technical University named after Peter the Great. In 1925, the first three graduation dissertations were defended by N. Kabachinsky, V. Kerichev and S. Yakimovsky who later became prominent scientists and top managers in shipbuilding industry.

The need for qualified manpower was growing alongside with the development of Russia's shipbuilding industry. School of Shipbuilding was founded in Nizhny Novgorod State Technical University (original name – Gorky Industrial Institute) in 1936; in 2006 the School was reorganized into School of Marine and Aviation Technology. Now shipbuilders are trained at the Transport Systems Institute. NNSTU trains the greatest number of specialists majoring in Shipbuilding, Ocean Engineering and System Engineering for Marine Infrastructure. In 2014, four academic groups of first-year students and three groups of master students were organized totaling to 100. NNSTU graduates who majored in other technologies used in shipbuilding industry (nuclear engineering, power supply systems, material science, metallurgy, programming, radio technology, economics) are in great demand at shipbuilding companies.

NNSTU is one of the five basic universities of United Shipbuilding Corporation JSC since 2011. It trains specialists at orders of the Ministry of Industry and Trade on contractual basis. The problem of the graduates employment is solved at the time students enroll in the academic programs. In 2014, contracts for employer-sponsored education were signed with forty companies; eight of them are engaged in designing and construction of marine technologies. NNSTU has the leading position in organizing applied bachelor programs that stress the importance of developing practical skills required for work at specific companies. NNSTU professors participate actively in scientific research and in production that meet requirements of modern real economy. Inland navigation and development of inland vessels was the main field of research in shipbuilding in 40s-50s of the previous century, while in 60s-70s efforts were focused on designing and production of high-speed dynamically supported ships. Within the strategic development program, NNSTU implements the project «Boosting Efficiency of Arctic and Inland Waterways Development». The project has already resulted in organizing an Artic development laboratory, Ice-NN experimental design office and re-equipment of ice model basins. For the first time in the history of the Nizhny Novgorod region the master program «Design of Ships and Marine Infrastructure for Ice Conditions» has been launched.

The scientific school of Professor V. Zuev engaged in disintegration of ice cover in cooperation with Krylov Research Center and Saint-Petersburg State Marine Technology University has taken the leading position in design and development of ice technologies. The research results are formulated in monographs «Foundations of Designing Icegoing Vessels» and «Ship Ice Performance» that has been rewarded with Stanly Gray Award of the Royal Society, Great Britain, as well as in ten dissertations defended in recent eight years. Nizhny Novgorod ice school is peculiar for laying stress on practical applicability of its developments in production. In winter 2013-2014, an iron bird model of an icebreaker hoverplatform developed at our University was tested at Krasnoye Sormovo Plant JSC. The list of our customers includes famous companies, such as Vympel Design Office, Lazurit Central Design Office, Malakhit Saint-Petersburg Marine Engineering Office.

Enjoying favorable geographical location, boasting a pool of highly qualified personnel and acting vibrantly in modern conditions, NNSTU named after R. Alexeev has grown into a ground where cooperation between production and design companies as well as research and education schools is established in the field of shipbuilding. We are ready for mutually beneficial partnership for the sake of the Russian Federation.

Медико-санитарное обеспечение экипажей судов с атомными энергетическими установками

6-7 июня 2013 г. в Мурманске на борту переоборудованного под музей атомного ледокола «Ленин» и атомного ледокола «50 лет Победы» ФГУП «Атомфлот» состоялась первая Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы медико-санитарного обеспечения плавсостава судов с ЯЭУ, судов атомного технологического обслуживания и работников судостроительной отрасли России». В её работе участвовали представители центрального аппарата ФМБА России, руководства ФГУП «Атомфлот», ФГБУЗ ЦМСЧ № 120 ФМБА России, ФГУП НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России, НИИ медицины труда РАМН, медицинских центров ФМБА России и промышленных предприятий из Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Омска, Нижнего Новгорода.

Конференция была приурочена к 25-летию создания филиала № 2 ФГБУЗ ЦМСЧ № 120 ФМБА России, предназначенного для обслуживания атомного ледокольного флота.

Своим созданием медсанчасть обязана первому в мире атомному ледоколу «Ленин». Ледокол был заложен 24 августа 1956 года на стапеле Адмиралтейского завода в Ленинграде, 5 декабря 1957 года спущен па воду, 15 сентября 1959 года он вышел на ходовые испытания в Финский залив, после завершения которых 29 апреля 1960 года в сопровождении ледокола «Капитан Воронин» первый в мире атомный ледокол вышел на север, в порт приписки Мурманск. 6 мая 1960 года атомный ледокол «Ленин» встречали на причалах Мурманского морского торгового порта.

Разработкой «Проекта 92» в начале 50-х занималось ленинградское ЦКБ-15 (ныне ЦКБ «Айсберг»). Почему 92? Это порядковый номер урана в таблице Менделеева. Позднее, в семидесятых годах прошлого века, когда а/л «Ленин» пришел в Мурманск для работы на трассе «Севморпути», в Мурманске была создана 92 база ледокольного флота, преобразованная впоследствии в РТП (ремонтно-технологическое предприятие) «Атомфлот», которое через четверть века трансформировалось во ФГУП «Атомфлот».

Первым капитаном «Ленина» стал Павел Пономарев, а в 1962 году экипаж ледокола возглавил Борис Макарович Соколов. Именно в период его руководства ледоколом формировалась структура медико-санитарной части, которая стала прообразом медико-санитарных частей на последующих атомных ледоколах первого поколения и основой для формирования филиала МСЧ № 2. Медицинский блок состоял из терапевтического, зубоврачебного, рентгеновского, физиотерапевтического кабинетов, процедурной, операционной, а также лаборатории и аптеки, которые были оборудованы новейшим для того времени медицинским оборудованием. На первом в мире а/л «Ленин» штат состоял из пяти работников: терапевта-радиолога, хирурга, стоматолога, фельдшера-лаборанта и фельдшера. В числе первых работников медсанчасти а/л «Ленин»: Н.С. Лисицин – врач-терапевт и одновременно начальник медсанчасти, врач-хирург Ю.М. Коломейц, фельдшер Е.А. Коцюба, фельдшер-лаборант Т.И. Бугрова.

В марте 1968 года было принято правительственное решение о строительстве трех

мощных атомных ледоколов с медико-санитарными частями на борту. Следующий после «Ленина» атомный ледокол в СССР построили только в 1975 году. Им стал атомоход «Арктика», положивший начало целой серии судов этого класса. В 1977 году начал осуществлять проводки атомоход «Сибирь». Однотипные с «Арктикой» суда «Россия» (1985 г.) и «Советский Союз» (1990 г.) в строю по настоящее время.

В 1981 году была проведена реорганизация судовых медпунктов на всех действующих атомных ледоколах, в результате чего на предприятии РТП «Атомфлот» начал работать врачебный здравпункт МСЧ-120 и санэпидемстанция. Первой заведующей здравпункта стала В.М. Гурьева. Позже врачебный здравпункт преобразовался в медико-санитарную часть № 2, которой руководила С.Н. Муренец – врач функциональной диагностики. С первых дней медсанчасти и по настоящее время работой среднего медицинского персонала руководит Г.В. Королева – неутомимый труженик, организатор и оптимист.

Филиал «Медико-санитарная часть № 2» создан по приказу Третьего Главного управления при МЗ СССР от 19.01.1988 г. № 12з «Об организации медико-санитарной части № 2 Центральной медико-санитарной части №120 МЗ СССР». Возглавил филиал и руководил его работой в непростые 90-е годы В.В. Коцюбинский, врач-хирург, на долю которого выпал тяжелый период финансовой дестабилизации, новоселье в новой поликлинике, кадровый дефицит, поиск новых возможностей финансирования учреждения, первый опыт работы с фондом обязательного медицинского страхования. С 2001 года на протяжении 10 лет филиал МСЧ № 2 возглавляла Л.В. Румянцева. Именно в этот период осваивается и внедряется в практику метод психофизиологического обследования, формируется как отдельное структурное подразделение отделение судовой медицины, разрабатывается и утверждается номенклатура судового медпункта, выстраиваются новые взаимоотношения с ФГУП «Атомфлот», лицензируются новые виды медицинской деятельности в поликлинике.

В настоящее время филиал МСЧ № 2 продолжает функционировать в качестве промышленной медсанчасти с цеховыми терапевтическими участками, клинической лабораторией, круглосуточным фельдшерским здравпунктом, службами функциональной и лучевой диагностики, штатом узких специалистов.

Накопленный годами опыт находит отражение в наши дни. Обновлена современным цифровым медицинским оборудованием поликлиника, наряду с прикрепленным контингентом медсанчасть обслуживает и сторонние организации, внедряются новые методики диагностики, лечения и документооборота.

Уже очевидно, что настало время вернуться к тому высокому уровню обслуживания моряков, что был раньше. Атомные ледоколы могут не только проводить спасательные операции, но также стать центрами медицинского обслуживания по всей трассе Северного морского пути. Это актуально в связи с возрождением и постоянным увеличением перевозок по Северному морскому пути, в том числе, связанных с проводкой иностранных судов. Иностранные компании очень щепетильны в вопросах страховки всевозможных рисков, и возможность оказания врачебной помощи в рейсе является одним из благоприятствующих факторов.

В.Н. МИЗЕРНЮК,
начальник филиала МСЧ № 2
ФГБУЗ ЦМСЧ 120 ФМБА России

Health Service Support on Nuclear Icebreakers

6-7 June 2013 in Murmansk «Lenin» nuclear icebreaker converted into a museum and «50 Years of Victory» nuclear icebreaker of «Atomflot» hosted the first all-Russian scientific and practical Conference «Vital Problems of Health Care for Personnel of Nuclear Ships, Atomic Technology Ships and Shipbuilding Industry». It was attended by representatives from the Federal Medical and Biological Agency (FMBA), «Atomflot», Central Medical Unit No 120 of FMBA, Research Institute of Industrial and Naval Medicine, Research Institute of Occupational Medicine, FMBA medical centers and industrial enterprises from Moscow, St.-Petersburg, Novosibirsk, Omsk, Nizhny Novgorod.

The Conference was dedicated to the 25th anniversary of FMBA Medical Branch No. 2 servicing nuclear icebreaker fleet.

The creation of the medical unit was linked to the world-first nuclear icebreaker «Lenin» construction. The icebreaker was laid down on August 24, 1956 on the stocks of Admiralteisky shipyard in Leningrad; on December 5, 1957, it was launched and on September 15, 1959 it came out on sea trials in the Gulf of Finland. After the trials were completed on April 29, 1960, the icebreaker, accompanied by the «Captain Voronin» icebreaker, floated to its homeport Murmansk. On May 6, 1960 «Lenin» nuclear icebreaker was welcomed in the Murmansk sea commercial port.

In the early 50s «Project 92» was developed by CDO-15 (Central Design Office) in Leningrad (currently «Iceberg» CDO). Why 92? It is the atomic number of uranium in the periodic table. Later, in the 70s, when «Lenin» icebreaker came to Murmansk for working on the Northern Sea Route, the 92nd icebreaker fleet base was established in Murmansk, later transformed in Atomflot repair and production company; 25 years later it was reorganized in Atomflot Federal State Enterprise.

Pavel Ponomaryov became the first captain of the «Lenin» icebreaker, and in 1962 the crew was headed by Boris M. Sokolov. It was during his leadership when the structure of the health unit was formed; it became the prototype of health units in subsequent nuclear icebreakers of the first generation and the basis for the formation of the Medical Branch No. 2. The medical unit comprised therapeutic, dental, x-ray, physiotherapy cabinets, procedural, operational divisions as well as laboratories and pharmacies which were equipped with the latest medical equipment. The medical personnel included five employees: a physician-radiologist, a surgeon, a dentist, a medical laboratory technician and a paramedic. The first medical personnel of «Lenin» icebreaker listed: N.S. Lisitsin, a therapeutist and Chief of the medical unit, surgeon Yu.M. Kolomeits, assistamt E.A. Kotsiuba, paramedic technician T.I.Bugrova.

In March 1968, a governmental decree was adopted to build three powerful atomic icebreakers with health units on board. It was only in 1975 when the next nuclear icebreaker was built in the USSR. It was «Arktika» nuclear icebreaker which started a series of vessels of this class. «Sibir» icebreaker began ice channeling in 1977. «Russia» (1985) and «The Soviet Union» vessels (1990) are still in the service.

In 1981, health posts at all nuclear icebreakers were reorganized. After that medical health center Clinic-120 and a sanitary epidemiological station were established at Atomflot repair and production enterprise. V.M.Gurieva became the first Director of the health center. Later the Medical Center was reorganized into Health Unit No. 2, which was headed by S.N.Murenets, a functional diagnostics physician. From the early days of the unit and to present the work of the nursing staff has been led by G.V.Korolyova, a tireless worker, organizer and an optimist.

Branch «Health Unit No. 2» was organized as per order of the Third Head Department of the Ministry of Health of the USSR of January 19,1988 No. 12z «On Organization of Health Unit No. 2 at Central Medical Unit No. 120». In tough 90s, the branch was headed by V.V. Kotsyubinsky, a surgeon, who faced many problems of financial instability, moving to a new building, personnel shortages, search for new financing resources, the first experience with the compulsory health insurance fund. Since 2001, over 10 years, Branch No. 2 has been headed by L.V. Rumyantseva. It was during this period that the method of psycho-physiological inspection was developed and implemented, a separate unit of naval medicine was organized, the nomenclature of the ship's medical units was developed and approved, new relationship with Atomflot were established and new types of medical activity were licensed.

Currently, Medical Unit No. 2 Branch continues to operate as an industrial medical unit with its therapeutic divisions, a clinical laboratory, a 24-hour primary health service station, functional and radiographic diagnosis units and a staff of specialized doctors.

The experience accumulated for years is in great demand now. The Polyclinic has been equipped with state-of-the-art digital equipment, the branch provides services to third-party organizations, new methods of diagnosis, treatment and document circulation are being introduced.

It is clear that it is time to get back to the original high level of servicing sailors. Atomic icebreakers can not only carry out rescue operations, but also become health-care centers throughout the Northern Sea Route. This is a challenging task because the traffic on the Northern Sea Route constantly increases, and the mission of convoying foreign ships becomes all the more important. Foreign companies are very scrupulous in matters of insurance of all kinds of risks, and the possibility to provide medical assistance on sea is one of the advantages.

V.N. MIZERNYUK,
Head, Central Medical Unit-120 –
Branch № 2, Federal Medical
and Biological Agency

Кабели для цепей управления и контроля: эволюция и решения

М.В. ШОЛУДЕНКО, к.т.н., руководитель лаборатории ОАО «ВНИИКП»
И.С. БЕКРЕНЕВА, главный технолог ЗАО «Завод «Электрокабель»

С целью присоединения измерительных преобразователей и исполнительных механизмов к программно-техническим средствам АСУТП по технологии MAXI-TERMI-POINT применяются кабели для цепей управления и контроля парной скрутки.

Ранее для этих целей в системах общепромышленного применения широко применялись кабели JE-Y(St)Y по немецкому стандарту DIN VDE 0815.

Указанные кабели имеют изолированные поливинилхлоридным (ПВХ) пластикатом однопроволочные медные жилы диаметром 0,8 мм, скрученные в пары, которые скручены в элементарные четырёхпарные пучки, в свою очередь скрученные в сердечник кабеля. Поверх сердечника кабеля последовательно наложена поясная изоляция, экран из алюмополимерной ленты и оболочка из ПВХ пластиката. Количество пар в кабеле 2, 4, 8, 12, 16, 20, 32 и 40.

Кабели JE-Y(St)Y с изоляцией и в оболочке из ПВХ пластиката общепромышленного применения не распространяют горение при одиночной прокладке, класс пожарной опасности кабелей по ГОСТ 31565-2012 – 01.8.2.5.4.

Кроме того, при горении и тлении кабеля выделяется значительное количество дыма и коррозионно-активных продуктов горения, что может привести к повреждению электрооборудования АСУТП.

В настоящее время кабели JE-Y(St)Y не соответствуют требованиям Технического регламента о требованиях пожарной безопасности от 02 июля 2008 года № 123-ФЗ, ГОСТ 31565-2012 и СТО 1.1.1.01.001.0902-2013 и поэтому не могут применяться для групповой прокладки в помещениях, оснащённых компьютерной и микропроцессорной техникой, в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей.

Учитывая опыт отечественных и международных разработок, ОАО «ВНИИКП» в соответствии с техническими требованиями ФГУП «ВНИИА» совместно с кабельными заводами России разработало серию кабелей для цепей управления и контроля, которые обеспечивают подсоединение по технологии MAXI-TERMI-POINT.

В 2009 году были разработаны кабели с однопроволочными медными и медными луженными жилами диаметром 0,8 мм с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, марок КУППнг(А)-HF и КУППлнг(А)-HF по ТУ 3561-411-00217053-2009.

Конструктивные и электрические параметры разработанных кабелей аналогичны параметрам кабелей JE-Y(St)Y. Разработано серийное производство.

Показатели пожарной безопасности и электрические параметры кабелей для цепей управления и контроля указаны в таблице 1.

В результате применения в конструкции разработанных кабелей изоляции и оболочки из полимерной композиции, не содержащей галогенов, класс пожарной опасности кабелей по ГОСТ 31565-2012 – П 1б.8.1.2.1.

Однако, по сравнению с кабелями JE-Y(St)Y разработанные кабели КУППнг(А)-HF являются более жёсткими и имеют в 1,5 раза больший допустимый радиус изгиба при его прокладке и монтаже.

В 2012 году разработаны огнестойкие кабели марок КУППлнг(А)-FRHF и КУППнг(А)-FRHF ТУ 3561-442-00217053-2012 с однопроволочными медными и медными луженными жилами, с экраном из алюмополимерной ленты и контактной медной луженой проволокой.

Разработано серийное производство кабелей.

Поверх токопроводящей жилы кабелей наложен термический барьер и изоляция из полимерной композиции, не содержащей галогенов.

Класс пожарной опасности кабелей по ГОСТ 31565-2012 - П1б.4.1.2.1.

Кабели сохраняют работоспособность при воздействии землетрясения интенсивностью 9 баллов по MSK при размещении над нулевой отметкой до 60 м в соответствии с ГОСТ 30546.1 и имеют срок службы 30 лет.

В результате опыта по изготовлению первой серии кабелей для цепей управления и контроля и с учетом требований потребителей в 2012 году были разработаны кабели марок КУППмнг(А)-HF и КУППмнг(А)-FRHF, ТУ 3561-441-00217053-2012 с многопроволочными жилами, с изоляцией и в оболочке из полимерных материалов, не содержащей галогенов, с экраном в виде оплетки из медных луженых проволок. Также разработано серийное производство.

Применение в конструкции многопроволочной жилы позволило уменьшить жёсткость и допустимый радиус изгиба кабеля, который в 1,5 раза меньше, чем у кабеля JE-Y(St)Y.

Кабели с многопроволочными жилами стойки к 10 монтажным изгибам на угол $\pm 90^0$ вокруг пары цилиндров диаметром, равным пятикратному максимальному наружному диаметру кабеля.

Идентификация кабельных элементов в разработанных кабелях (основная и дополнительная расцветка изоляции жил, расцветка скрепляющих элементов каждого элементарного пучка) улучшает процесс визуального контроля, что исключает ошибки при монтаже кабелей.

Изолированные жилы в парах каждого элементарного пучка имеют основную расцветку в соответствии с указанной в таблице 2.

С целью идентификации изолированных жил в сердечнике кабеля, скрученном из нескольких элементарных пучков, на основную расцветку изоляции жил в каждом элементарном пучке нанесена дополнительная расцветка (маркировка) в виде группы поперечных полуколец (полос) чёрного цвета.

Число полуколец (полос) в группе и их ширина для каждого элементарного пучка соответствует указанным в таблице 3.

Расстояние между группами поперечных полуколец - 50-70 мм.

Расстояние между полукольцами в группе – 4-6 мм.

С целью идентификации элементарных пучков, скрученных в сердечник кабеля, на каждый элементарный пучок наложена по открытой спирали скрепляющая обмотка из цветных синтетических нитей или узких синтетических лент, в соответствии с указанной в таблице 3.

В маркировке кабелей дополнительно применяются мерные метки на наружной оболочке, что исключает ошибки при измерении длины кабеля в процессе монтажных работ.

В начале августа 2014 года на ЗАО «Завод «Энергокабель» работала межведомственная комиссия с участием специалистов ОАО «Концерн Росэнергоатом» по проведению типовых испытаний новых типов кабелей для цепей управления и контроля марок КУПЭфПмнг(А)-HF, КУПЭфПмнг(А)-FRHF с многопроволочными жилами с экраном из алюмополимерной ленты.

Применение в качестве экрана алюмополимерной ленты позволило уменьшить трудоемкость изготовления кабелей по сравнению с кабелями с экраном в виде оплетки из медных луженых проволок.

По результатам типовых испытаний межведомственная комиссия подтвердила целесообразность внесения изменений в конструкцию и технологический процесс изготовления кабелей для цепей управления и контроля с многопроволочными жилами по ТУ 3561-441-00217053-2012, а именно:

– включение новых типов кабелей марок КУПЭфПмнг(А)-HF и КУПЭфПмнг(А)-FRHF;

– установление требований по огнестойкости кабелей с индексом нг(А)– FRHF – не менее 180 мин;

– установление требований по минимальному сроку службы кабелей – 40 лет;

– введение требований по стойкости кабелей к дезактивирующим растворам.

В соответствии с заключением ФГУП «ВНИИА» кабели с индексом нг(А)-HF и мнг(А)-HF позволяют производить монтаж по технологии MAXI-TERMI-POINT, существенно ускоряющий присоединение измерительных преобразователей и исполнительных механизмов к программно-техническим средствам АСУТП, что подтверждено испытаниями и опытом практического монтажа на Кольской АЭС и Нововоронежской АЭС-2.

Таким образом, серия кабелей для цепей управления и контроля, разработанная ОАО «ВНИИКП» и выпускаемая заводами России, обеспечивает высокий уровень пожарной и электробезопасности, а также удобство монтажа при высоком качестве изготовления и надежности поставляемой продукции по конкурентоспособной цене. Данная серия кабелей обеспечивает полное импортозамещение, соответствует всем требованиям законодательства Российской Федерации в области пожарной безопасности и требованиям, заложенным при проектировании программно-технических средств АСУТП атомных станций.

Таблица 1. Показатели пожарной опасности и электрические параметры кабелей для цепей управления и контроля

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметров				
	Кабель JE-Y(St)Y	КУППмнг(А)-HF	КУППмнг(А)-FRHF	КУППлнг(А)-HF КУППнг(А)-HF	КУППлнг(А)-FRHF КУППнг(А)-FRHF
1	2	3	4	5	6
1. Параметры пожарной безопасности:					
1.1. нераспространение горения	при одиночной прокладке	при групповой прокладке по категории А	при групповой прокладке по категории А	при групповой прокладке по категории А	при групповой прокладке по категории А
1.2. снижение светопроницаемости, %, не более	*	40	40	25	40
1.3. показатели коррозионной активности: а) содержание газов галогеносо держащих кислот в пересчете на HCl, мг/г, не более б) удельная проводимость водного раствора с адсорбированными продуктами дымогазовыделения, мкСм/мм, не более в) показатель pH, не менее;	 * * *	 5,0 10,0 4,3	 5,0 10,0 4,3	 5,0 10,0 4,3	 5,0 10,0 4,3
1.4. огнестойкость, не менее, мин.	*	*	90	*	90
2. Электрические параметры:					
2.1. электрическое сопротивление ТПЖ постоянному току, Ом/км, не более	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6
2.2. омическая асимметрия жил в рабочей паре, %, не более	*	3,0	3,0	*	3,0
2.3. электрическое сопротивление изоляции ТПЖ, МОм·км, не менее	100	100	100	100	100
2.4. испытательное напряжение пе-ременного тока частотой 0,05 кГц в течение 1 мин, В: – между жилами – между жилами и экраном	 800 800	 1000 2000	 1000 2000	 1000 *	 1000 1500
2.5. рабочая емкость на частоте 0,8 или 1 кГц, нФ/км, не более	100	120	120	120	120
2.6. коэффициент затухания, дБ/км, не более, на частотах, кГц: 0,8 10 39 1000	 1,1 * * *	 1,1 2,9 5,0 30,0	 1,1 2,9 5,0 30,0	 1,1 * * *	 1,1 2,7 4,0 20,0
2.7. волновое сопротивление, Ом, на частотах, кГц: 0,8 31,25 1000	 * * *	 350±20% 100±20% 80±20%	 350±20% 100±20% 80±20%	 350±15% * *	 450±15% 120±15% 110±15%
2.8. переходное затухание на ближнем конце на частоте 0,8 кГц, дБ/1000 м, не менее	*	70	70	70	70
Примечание: * – не нормируется					

Таблица 2

Условный номер пары в элементарном пучке или сердечнике	Обозначение и расцветка изоляции жил в паре	
	жила «а»	жила «б»
1	голубой	красный
2	серый	жёлтый
3	зелёный	коричневый
4	белый	фиолетовый

Таблица 3

Условный номер элементарного пучка	Количество полуколец (полос)	Ширина полукольца, мм	Расцветка скрепляющих элементов элементарного пучка
1	1	1-2	голубой
2	2	1-2	оранжевый
3	3	1-2	зеленый
4	4	1-2	коричневый
5	5	1-2	серый
6	1	7-8	белый
7	2	7-8	красный
8	3	7-8	черный
9	4	7-8	желтый
10	5	7-8	фиолетовый

Cables for Control and Monitoring Circuits: Evolution and Solutions

M.V. SHOLUDENKO, Candidate of Science (Engineering), Chief of Laboratory of OJSC «VNIIKP»
I.S. BEKRENEVA, Chief Process Engineer of JSC «Zavod «Energokabel»

In order to connect transducers and actuating mechanisms with software and hardware facilities of APCS (Automatic Process Control Systems) with MAXI-TERMI-POINT cables of control and monitoring circuits with pair wise construction are used.

Earlier for this purpose in the systems of general industrial application cables JE-Y(St)Y in accordance with German standard DIN VDE 0815 were widely used.

The mentioned cables have single copper wires with diameter of 0.8 mm twisted to pairs and insulated with vinyl (PVC) blend which in turn were twisted into elementary four pair bundles, which in turn were twisted into strand. Above the strand were in series placed wrapping, screen made of aluminum polymer band, and sheath of PVC plastic compound. Number of pairs in cable is 2, 4, 8, 12, 16, 20, 32, and 40.

General industrial application insulated cables JE-Y(St)Y with sheath of PVC plastic compound are flame-retardant with separate laying; fire-safety class of cables according to GOST 31565-2012 is 01.8.2.5.4.

Besides that, burning and smoldering of the cable emits sufficient amount of smoke and corrosive combustion gases, which may result in damaging of APCS electric equipment.

Today cables JE-Y(St)Y do not comply with requirements of Technical Regulations on fire safety regulations as of July 2, 2008 № 123-FZ, GOST 31565-2012 and STO 1.1.1.01.001.0902-2013 and therefore can not be used for group laying in the rooms equipped with computerized and microprocessor equipment, in the buildings and structures with massive presence of people.

Taking into account experience of domestic and foreign developments, in accordance with requirements of FSUE «VNIIA», OJSC «VNIIKP» in cooperation with cable producing companies has developed a series of cables for control and monitoring circuits which enable connection on MAXI-TERMI-POINT technique.

In 2009 were developed cables with single copper and tin-plated cooper wires with diameter of 0.8 mm with insulation and sheath made of halogen-free polymer compounds of КУППнг(А)-HF and КУППлнг(А)-HF grades in accordance with technical specifications TU 3561-411-00217053-2009.

Functional and electric parameters of developed cables are equal to ones of JE-Y(St)Y cables. Mass production has also been developed.

Fire safety characteristics and electric parameters of cables for control and monitoring circuits are shown in Table 1.

As a result of implementation of insulation and sheath made of halogen-free polymer compounds in the structure of developed cables fire-safety class of the cables according to GOST 31565-2012 is П 16.8.1.2.1.

However, in comparison with cables JE-Y(St)Y developed cables КУППнг(А)-HF are more rigid and have 1.5 times more allowable bending radius during their laying.

In 2012 were developed fire-resistant cables of КУППлнг(А)-FRHF and КУППнг(А)-FRHF grades in accordance with technical specifications TU 3561-442-00217053-2012 with single copper and tin-plated cooper wires, shielded with aluminum polymer band and contact copper wire.

Mass production of the cables has also been developed.

Above conductor there is a thermal barrier and insulation made of halogen-free polymer compound.

Fire-safety class of the cables according to GOST 31565-2012 is П16.4.1.2.1.

The cable survive the earthquake with magnitude of 9 points by MSK provided that they are placed above the ground level at up to 60 m in accordance with GOST 30546.1 and have service life of 30 years.

Based on the experience gained during manufacturing of the first series of cables for control and monitoring circuits as well as on the customers requirements, in 2012 were developed cables of КУППмнг(А)-HF and КУППмнг(А)-FRHF grades, in accordance with technical specifications TU 3561-441-00217053-2012 with stranded conductors, insulated and with sheath made of halogen-free polymer compounds, with screen made as braid from tin-plated copper wires. Mass production has also been developed. Implementation of stranded conductors made possible to reduce rigidity and allowable bending radius of the cable which is 1.5 times less than one of JE-Y(St)Y cable.

Cables with stranded conductors are resistant to 10 installation bends per angle of $\pm 90^0$ around of pair of cylinders with diameter equal to quintuple outer diameter of the cable.

Identification of cable components of developed cables (main and auxiliary color coding of wire insulation, color coding of fasteners of each elementary bundle) improves visual monitoring which eliminates mistakes during installation of the cables.

Insulated wires within pairs of each elementary bundle have main color coding in accordance with one shown in Table 2.

For the purpose of identification of insulated wires within the strand twisted from several elementary bundles, main color coding of insulation of each elementary bundle has an auxiliary color coding (marking) in the form of a group of black transverse half-rings (stripes).

Number of half-rings (stripes) within the group and their width for each elementary bundle are shown in Table 3.

Distance between the groups of transverse half-rings is 50–70 mm.

Distance between the half-rings within one group is 4–6 mm.

For the purpose of identification of elementary bundles twisted into cable core each elementary bundle in an open spiral pattern is covered with bracing wrap made of multicolor filaments or narrow synthetic tapes in accordance with Table 3.

Cable marking has auxiliary dimensional marks on the outer sheath which eliminates mistakes when measuring cable length during installation works.

In the early August 2014, JSC «Zavod «Energokabel» was holding a meeting of interagency committee with the participation of experts of OJSC «Rosenergoatom Concern», dedicated to performing of type testing of new cables for control and monitoring circuits of КУПЭфПмнг(А)-HF, and КУПЭфПмнг(А)FRHF grades with stranded conductors, and shielded with aluminum polymer band.

Application of aluminum polymer band as a shield made it possible to reduce complexity of manufacturing of the cables relative to cables with the shield in the form of braid made of tin-plated copper wires.

Judging by results of type testing the interagency committee has confirmed the expediency of alteration of design and production process of the cables for control and monitoring circuits with stranded conductors on technical specifications TU 3561-441-00217053-2012, as follows:

– incorporation of new types of cables of КУПЭфПмнг(А)-HF, and КУПЭфПмнг(А)-FRHF grades;

– determination of fire-resistance requirements for the cables with нг(А)-FRHF index as many as 180 minutes;

– determination of minimum service life requirements to the cables as 40 years;

– introduction of requirements on durability to the decontamination fluids for the cables.

According to conclusion made by FSUE «VNIIA» cables with «нг(А)-HF» and «мнг(А)-HF» index allow for installation with MAXI-TERMI-POINT technique which sufficiently increases connection of transducers and actuating mechanisms with software and hardware facilities of APCS, confirmed by testing and practical experience of installation on Kolskaja NPP and Novovoronezhskaya NPP-2.

This way, series of cables for control and monitoring circuits developed by OJSC «VNIIKP» and being produces by Russian companies provides high level of fire and electrical safety as well as convenience of installation along with high manufacturing quality and reliability of supplied products with competitive price. This series of cables ensures complete import substitution, fully complies with requirements of Russian legislation on fire safety and requirements set out during design of software and hardware facilities of APCS of nuclear power plants.

Table 1. Fire hazard characteristics and electric parameters of cables for command and control circuits

Parameter name, unit of measurement	Parameter value				
	cable JE-Y(St)Y	КУППмнг(А)-HF	КУППмнг(А)-FRHF	КУППлнг(А)-HF КУППнг(А)-HF	КУППлнг(А)-FRHF КУППнг(А)-FRHF
1	2	3	4	5	6
1. Fire safety parameters:					
1.1. Fire propagation	with separate laying	with group laying according to “A” category	with group laying according to “A” category	with group laying according to “A” category	with group laying according to “A” category
1.2. Decrease of transparency, %, not exceeding	*	40	40	25	40
1.3. Characteristics of corrosive activity: a) gas content of halogenic acids in equivalent of HCl, mg/g, not exceeding b) specific conductivity of aqueous solution with absorbed produces of smoke and gas emission, mqSm/mm, not exceeding c) pH index, not less than	* * *	5.0 10.0 4.3	5.0 10.0 4.3	5.0 10.0 4.3	5.0 10.0 4.3
1.4. Fire-resistance, not less than, min.	*	*	90	*	90
2. Electric parameters:					
2.1. Electric resistance of conductor to DC, Ohm/km, not exceeding	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6
2.2. Ohmic asymmetry of conductors in operating pair, %, not exceeding	*	3.0	3.0	*	3.0
2.3. Electrical insulation resistance of conductor, MOhm·km, not less than	100	100	100	100	100
2.4. AC test voltage with frequency of 0.05 kHz within 1 minute, V: – between wires – between wires and shield	 800 800	 1000 1200	 1000 1200	 1000 *	 1000 1500
2.5. Operating capacitance at the frequency of 0.8 or 1 kHz, nF/km, not exceeding	100	120	120	120	120
2.6. Maximum attenuation rate, dB/km, at the frequencies, kHz: 0.8 10 39 1000	 1.1 * * *	 1.1 2.9 5.0 30.0	 1.1 2.9 5.0 30.0	 1.4 * * *	 1.1 2.7 4.0 20.0
2.7. Characteristic impedance, Ohm, at the frequencies, kHz: 0.8 31.25 1000	 * * *	 350 ± 20 % 100 ± 20 % 80 ± 20 %	 350 ± 20 % 100 ± 20 % 80 ± 20 %	 350 ± 15 % * *	 450 ± 15 % 120 ± 15 % 110 ± 15 %
2.8. Coupling attenuation at close end at the frequency of 0.8 kHz, dB/1000 m, not less than	*	70	70	70	70
Note: * – not rated					

Table 2

Arbitrary number of pair within elementary bundle or core	Designation and color code of wire insulation within a pair	
	wire «a»	wire «b»
1	blue	red
2	grey	yellow
3	green	brown
4	white	violet

Table 3

Arbitrary number of elementary bundle	Number of half-rings (stripes)	Half-ring width, mm	Color coding of fasteners of elementary bundle
1	1	1–2	blue
2	2	1–2	orange
3	3	1–2	green
4	4	1–2	brown
5	5	1–2	grey
6	1	7–8	white
7	2	7–8	red
8	3	7–8	black
9	4	7–8	yellow
10	5	7–8	violet

Наука без границ

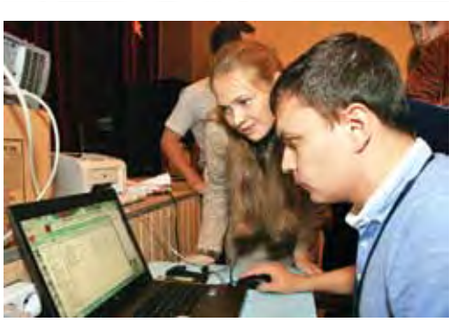
В рамках Международного бизнес-саммита-2014 Нижегородский научно-исследовательский институт измерительных систем имени Ю.Е. Седакова провел девятую научно-техническую конференцию молодых ученых «Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе».

По словам заместителя главного конструктора НИИИС, доктора технических наук Алексея Титаренко, «цель конференции — обменяться опытом, продемонстрировать достижения. Особенность конференции прежде всего в том, что она объединяет увлеченных наукой молодых людей, и организуют ее молодые ученые — Совет молодежи НИИИС совместно с администрацией института при поддержке Госкорпорации «Росатом». Задача — помочь молодым ученым приумножить свой профессиональный уровень.

Участие в научных конференциях всегда повышает вовлеченность молодых специалистов в процесс решения актуальных научно-производственных вопросов и задач как на уровне отдельных предприятий, так и атомной отрасли в целом. Ребята всегда возвращаются с конференций воодушевленными, готовыми к новым открытиям. Немаловажно, что работы, представляемые на конференции, получают вполне конкретное практическое применение. Находятся реальные контрагенты на наиболее актуальные разработки».

Эксперты единогласно отметили высокий уровень докладов, профессиональную компетентность докладчиков, актуальность поднимаемых вопросов.

Журнал «Атомный проект» традиционно поддерживает молодых специалистов атомной отрасли и представляет работы, занявшие призовые места, вниманию своих читателей.



Деаэраторы системы подпитки и борного регулирования с насадочными колоннами

Л.Д. ЛИТВИНЕНКО, А.Г. АМЕЛЮШИНА, А.Г. МИТРЮХИН, В.В. БЕЗЛЕПКИН, ОАО «АТОМПРОЕКТ»

В области ядерной энергетики ведется последовательная и целенаправленная работа по повышению безопасности и надежности АЭС. Одной из важных систем, обеспечивающих надежную работу первого контура, является система подпитки и борного регулирования, которая предназначена для поддержания материального баланса теплоносителя первого контура во всех эксплуатационных режимах: управления реактивностью реактора путем изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура, регулирования водно-химического режима теплоносителя первого контура, обеспечения дегазации теплоносителя первого контура и т. д.

В состав основного технического оборудования системы подпитки и борного регулирования входит деаэратор[1], который предназначен для дегазации теплоносителя, выводимого из первого контура. В процессе дегазации теплоносителя удаляются растворенные в нем водород, кислород и радиоактивные инертные газы ксенон, криптон и другие.

Деаэратор подпитки и борного регулирования (рис. 1) представляет собой цилиндрический аппарат, состоящий из двух частей: бака-аккумулятора и деаэрационной колонки. Деаэрационная колонка установлена на верхнем днище бака-аккумулятора, внутренний диаметр равен 1400 мм. Внутри колонки установлены:

– малая насадочная колонна;

– главная и периферийная распределительные камеры;

– центральная и кольцевая струйные камеры;

– большая насадочная колонна.

Опыт эксплуатации системы сжигания водорода и системы подпитки и борного регулирования первого контура на Тяньваньской АЭС, проводимого ОАО «Атомтехэнерго», выявил негативный эффект при комплексной работе этих систем в режиме с деаэрацией теплоносителя первого контура. При вводе в деаэратор воды из продувки первого контура происходит выход воды в трубопроводы системы сжигания водорода (рабочая среда – газ) и, как следствие, долговременное блокирование выхода неконденсируемых газов из деаэратора. Этот эффект подтвердили операторы отечественных АЭС.

С помощью теплогидравлического расчетного кода КОРСАР/ВЗ[2] выполнен гидродинамический анализ работы деаэратора существующей конструкции.

Проведенный расчет показал, что при штатной работе деаэратора подпитки и борного регулирования в режиме с увеличением расхода продувочной воды первого контура, поступающей в деаэратор, через трубопровод отвода выпара из деаэратора, расположенного в верхней части головки деаэратора, вместо парогазовой смеси начинает поступать борированная вода первого контура. Впоследствии происходит поступление воды в «газовую» систему сжигания водорода, что может привести к выходу из строя компрессоров.

Произведенное моделирование работы деаэратора средствами расчетного кода КОРСАР/ВЗ [2] подтвердили результаты расчетов по методикам РТМ[3]. Практически во всех режимах работы с расходом поступающей среды больше 5 т/ч происходит захлебывание насадок, которое приводит к забросу воды в трубопроводы системы сжигания водорода.

Как показывает анализ литературных данных, для деаэраторов с неупорядоченными насадками из колец Рашига в настоящее время нет надежных методик и программных средств расчета гидродинамических процессов.

Анализ эксплуатационной информации и проведенных расчетов позволяет предложить следующие пути решения проблемы:

– увеличить диаметры насадок первой ступени деаэрации с целью обеспечения запаса до захлебывания во всем диапазоне заданных расходов и температуры воды;

– перейти на другой тип элементов неупорядоченных насадок, например на омегообразные, для которых существует методика расчета[3];

– разделить выпар: 30 кг/ч – через напорную тарелку верхней насадки, 100 кг/ч – из объема нижней насадки.

Принятые решения должны быть обоснованы и всесторонне подтверждены экспериментальными исследованиями, включая испытания головного образца на стенде в условиях, максимально приближенных к натурным.

Усовершенствованная конструкция деаэратора подпитки и борного регулирования повысит безопасность работающих и вновь вводимых в эксплуатацию АЭС.

1. 03.8170.077ТО. Деаэратор подпитки и борного регулирования. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ОАО «Сибэнергомаш», 2001.
2. КОРСАР/ВЗ. Руководство пользователя. ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2007 г.
3. В.А. Пермяков, А.С. Гиммельберг, Г.М. Виханский, Ю.М. Шубников. РТМ 108.030.21-78. Расчет и проектирование термических деаэраторов. Изм. 1. 1979.

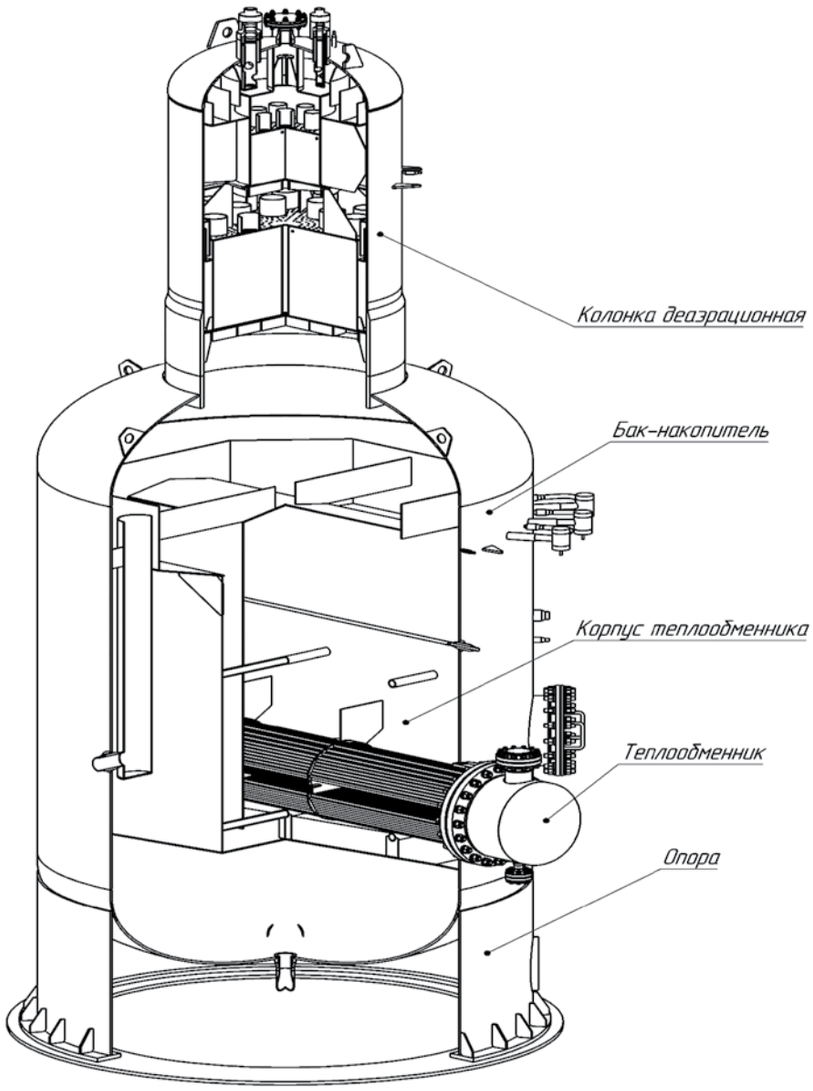


Рис. 1. Деаэратор подпитки и борного регулирования

Систематизация обязательных требований в области обеспечения физической защиты ядерных материалов и радиоактивных веществ

В.А. ДРАГУНОВ, АНО «Корпоративная академия Росатома»

Безопасность в атомной отрасли включает в себя три основных направления: ядерная и радиационная безопасность, физическая защита и гарантии нераспространения ядерного оружия. Предметом рассмотрения настоящей статьи является отраслевая система физической защиты, в частности, нормативное регулирование в данной области.

Развитие технологий неотрывно связано с возникновением риска их использования в противоправных целях. Нарушитель, имеющий целью проникновение на ядерный объект (ЯО) и совершение террористического акта, непременно будет использовать последние разработки в области техники, а также в области информационных технологий. Для успешного противодействия нарушителю система физической защиты (СФЗ) должна также постоянно совершенствоваться.

Требования к обеспечению физической защиты (ФЗ) ядерных материалов (ЯМ) и радиоактивных веществ (РВ) Госкорпорации «Росатом» устанавливаются комплексом нормативных документов различного уровня.

Нормативные документы регламентируют подходы к проектированию СФЗ, порядок ее ввода в действие и особенности эксплуатации. Также нормативные документы определяют состав СФЗ, методику оценки ее эффективности и требования к характеристикам конкретных элементов СФЗ. И так как именно нормативные документы являются обоснованием применения того или иного оборудования при создании или модернизации СФЗ ЯО, они также должны совершенствоваться и регулярно обновляться.

Анализ действующей нормативной базы

Основой нормативной базы в области ФЗ ЯМ и РВ является Федеральный закон Российской Федерации «Об использовании атомной энергии».

Основные требования по организации и обеспечению ФЗ ЯМ, ядерных установок и пунктов хранения ЯМ на территории Российской Федерации, обязательные для выполнения всеми юридическими лицами, осуществляющими деятельность по производству, использованию, хранению, утилизации, перевозке (транспортированию) ЯМ, проектированию, сооружению, вводу в эксплуатацию, эксплуатации и выводу из эксплуатации ядерных установок и пунктов хранения ЯМ, раскрываются в Правилах физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов (далее – Правила ФЗ).

Федеральные нормы и правила: НП 083-07 «Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов», НП-034-01 «Правила физической защиты радиоактивных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ» и НП-073-11 «Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании» – устанавливают требования к категорированию предметов ФЗ, к порядку создания и совершенствования СФЗ, а также к особенностям эксплуатации, структуре и элементам СФЗ.

Вместе с тем, существует ряд документов ведомственного уровня, также устанавливающих требования к СФЗ ЯО и радиационно опасных объектов (РО), такие как Положение об общих требованиях к системам физической защиты ядерно опасных объектов Минатома России (далее – Положение об общих требованиях), Требования к проектным решениям, Инструкция по организации проектирования (РД 95 10544-99) и другие. Часть таких документов введена в действие приказами по Госкорпорации «Росатом», часть – приказами Министерства Российской Федерации по атомной энергии, а некоторые утверждены заместителем генерального директора по безопасности Госкорпорации «Росатом» и не введены в действие соответствующими приказами. При этом отсутствует единая система разделения и классификации нормативных документов, что приводит к возникновению определенных сложностей при выполнении работ в области ФЗ ЯМ и РВ.

1. Несистематизированные требования

В перечень нормативных документов по ФЗ ЯМ и РВ, принимаемых в качестве обязательных к применению, входят положения, методические рекомендации, руководящие документы, концепции, требования.

При этом отсутствует единая иерархия документов, то есть сопоставление типов и уровня документов с охватываемыми ими вопросами в области ФЗ ЯМ и РВ. Необходимость работы со множеством различных нормативных документов затрудняет работу как работников служб безопасности ЯО и РО, ответственных за состояние СФЗ, так и проектировщиков, определяющих состав СФЗ на объектах. Наибольшие проблемы вызывает вопрос об обязательности таких документов с точки зрения законодательства, в частности, при проведении инспекций и проверок. Также данная проблема затрудняет процесс формирования системы подтверждения соответствия технических средств физической защиты.

2. Противоречия требований

В связи с отсутствием единой структуры требований к СФЗ ЯО и РО возникают ситуации, когда нормативные документы устанавливают различные требования к элементам СФЗ. Различия в требованиях приводят либо к излишним затратам на обеспечение ФЗ ЯМ и РВ низких категорий, в случае принятия руководством объекта более строгих, иногда необоснованных требований, либо к возникновению разногласий с надзорными органами, в случае принятия других решений.

3. Различия в терминологии

В различных нормативных документах встречаются случаи применения различной терминологии, что затрудняет восприятие положений нормативных документов, а также может послужить причиной принятия неверных проектных решений при создании СФЗ на ЯО и РО. Регулярные споры вызывает термин «защищенная зона». В соответствии с определением, приведенном в предполагаемом к утверждению проекте «Правил физической защиты радиоактивных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ» «защищенная зона – территория радиационного объекта, доступ в которую ограничивается и контролируется, окруженная физическими барьерами, постоянно находящимися под охраной и наблюдением». Вместе с тем в соответствии с «Правилами ФЗ» «защищенная зона – территория ядерного объекта, доступ в которую ограничивается и контролируется, окруженная физическими барьерами, постоянно находящимися под охраной и наблюдением». Неоднозначность данного термина вызывает проблемы структуры СФЗ для площадок, на территории которых расположены как ядерные установки, так и хранилища РВ, так как требования к оборудованию таких зон различны.

Также одним из примеров различной терминологии является определение для понятий «пульт управления» и «пункт управления» (место размещения пульта управления) в различных документах и установление соответствующих требований к ним. Проведем сравнение применения данных понятий для различных нормативных документов.

4. Дублирование требований

Требования к одним и тем же элементам физической защиты устанавливаются различными нормативными документами, при этом некоторые документы повторяют другие в отдельных частях, что приводит к их усложнению, увеличению объемов, трудности восприятия и к неоднозначности применения нормативных ссылок.

Одним из примеров является дублирование требований к элементам и составу СФЗ ЯМ, установленных документами «Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» и «Положение об общих требованиях».

Особенности стандартизации в ОИАЭ

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «О техническом регулировании» в отношении продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии (ОИАЭ); процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации, захоронения соответственно указанной продукции обязательными требованиями наряду с требованиями технических регламентов являются требования, установленные органами государственного управления использованием атомной энергии, государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии, и (или) государственными контрактами (договорами). В этой связи, в 2013 году на основании постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения

Таблица 1. Сопоставление терминов различных нормативных документов

Документ	Используемый термин
Правила ФЗ	пункт управления системы физической защиты
НП 083-07	пункт управления
НП-034-01	пульт управления техническими средствами системы физической защиты
Положение об общих требованиях	пункт управления
Требования к проектным решениям	пульт управления системы физической защиты
Порядок организации охраны	пульт управления инженерно-технических средств охраны; пункт управления инженерно-технических средств охраны

об особенностях стандартизации продукции …» был разработан комплекс нормативных документов Госкорпорации «Росатом», регламентирующих деятельность по стандартизации в ОИАЭ с учетом ее особенностей, в том числе определяющих порядок отнесения документов по стандартизации к обязательным.

С учетом требований указанных документов в ГК «Росатом» проводится пересмотр существующих нормативных документов, их структуры и статуса. При планировании работ по стандартизации в ОИАЭ в сфере деятельности ГК «Росатом» в обязательном порядке обеспечивается анализ и оценка действующих документов по стандартизации для планирования их улучшения и устранения недостатков, а также внедрение передовых научно-технических решений в планируемых к разработке документах по стандартизации, нацеленных на достижение мирового уровня качества и безопасности продукции и технологических процессов в организациях ГК «Росатом».

Для придания обязательного статуса документам по стандартизации уполномоченные в соответствии с Федеральным Законом Российской Федерации «Об использовании атомной энергии» органы государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии и органы государственного управления использованием атомной энергии представляют предложения об их включении в сводный перечень документов по стандартизации в области использования атомной энергии (далее – Сводный перечень) в Ростехнадзор, ГК «Росатом», Министерство чрезвычайных ситуаций России или Минприроды России, которые в свою очередь с учетом результатов экспертиз принимают решение о включении представленных документов в Сводный перечень.

«Физическая защита ядерных установок, радиационных источников, пунктов хранения, ядерных материалов и радиоактивных веществ» является одним из тематических разделов Сводного перечня. Нормативные документы ГК «Росатом», устанавливающие требования к обеспечению ФЗ ЯМ и РВ, подлежат пересмотру и актуализации, так как напрямую связаны с обеспечением безопасности в ОИАЭ.

Видится целесообразным провести актуализацию нормативной базы в области ФЗ ЯМ и РВ в рамках формирования новой системы стандартизации в ОИАЭ. При этом необходимо учесть описанные ранее проблемы, связанные с особенностями действующих нормативных документов, а также использовать опыт систематизации требований, используемый в МАГАТЭ.

Рекомендации МАГАТЭ по обеспечению ФЗ ЯМ и РВ подразделяются на 4 уровня (рис. 1):

1. Основополагающим является документ Nuclear Security Fundamentals (Основы физической ядерной безопасности), устанавливающий общие цели и принципы физической защиты ЯМ и РВ, а также определяющий зоны ответственности государственных органов.

2. Recommendations (Рекомендации) отражают подходы к организации СФЗ для ЯО и для РО, а также к противодействию незаконному обороту ЯМ и РВ. В документах данного уровня приведены общепризнанные подходы и описан общий механизм создания СФЗ ЯМ и РВ.

3. Implementing Guides (Практические руководства) детализируют требования для различных аспектов физической защиты, в том числе описывают особенности: культуры ФЗ, защиты от внутреннего нарушителя, ФЗ при транспортировании, порядка разработки модели нарушителя, и т. д.

4. Technical Guidance (Технические руководящие материалы) описывают порядок применения практических руководств, либо более детально раскрывают их положения.

Целевая модель нормативной базы

Рассмотрим вариант целевой модели нормативной базы в области ФЗ ЯМ и РВ. Целевая модель представляет собой перспективное видение нормативной базы и определяет основные направления ее изменений.

Для выстраивания однозначной структуры нормативных документов предлагается выстроить единую иерархию документов, а также ввести практику применения ссылок на стандарты в документах более высокого уровня. Применение ссылок позволяет выделить из множества нормативных документов конкретные требования к элементам СФЗ ЯМ и РВ и сформулировать их в качестве стандартов Госкорпорации «Росатом» (либо национальных стандартов).

В качестве основополагающего нормативного правового акта, регламентирующего необходимость обеспечения ФЗ ЯМ и РВ и определяющего зоны ответственности государственных органов, как и в настоящий момент, принимается Федеральный закон «Об использовании атомной энергии».

Документы уровня постановлений правительства предполагается сопоставить с рекомендациями в системе нормативных документов МАГАТЭ. Постановления правительства задают общий порядок организации ФЗ ЯМ и РВ, а их положения раскрываются в других документах.

В рассматриваемой модели предлагается отвести федеральным нормам и правилам (далее – ФНП) роль документов, устанавливающим требования к процессам создания СФЗ, организациям, принимающим участие в таких процессах, порядку подтверждения соответствия СФЗ и их инспектирования. При этом, в соответствии с Единым отраслевым порядком разработки (пересмотра) и согласования проектов федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, при подготовке предложений по разработке (пересмотру) ФНП необходимо анализировать сведения о наличии и содержании положений в действующих ФНП, которые целесообразно перенести в документы по стандартизации. Таким образом, детальные требования к элементам СФЗ будут заменяться ссылками на стандарты ГК «Росатом» (либо национальные стандарты).

Особая роль в данной системе отводится стандартам, которые определяют все конкретные требования к элементам СФЗ ЯМ и РВ, такие как: заглубление заграждения, освещенность запретной зоны, оборудование центрального пункта управления СФЗ и т. д. При этом для придания стандартам обязательного статуса они должны включаться в Сводный перечень. Так как при включении документов в Сводный перечень проводится их согласование всеми федеральными органами исполнительной власти, участвующими в деятельности в ОИАЭ, принимаемые стандарты учитывают требования всех заинтересованных сторон. В случае целесообразности применения стандартов исключительно в ГК «Росатом» им придается статус стандартов Госкорпорации «Росатом», в случае же признания целесообразным использования таких стандартов для всех организаций, участвующими в деятельности в ОИАЭ, им придается статус национальных стандартов. Также, в случае необходимости, могут разрабатываться стандарты отдельных организаций.

Технические документы, описывающие порядок применения стандартов ГК «Росатом» и учитывающие особенности конкретных организаций, могут разрабатываться ими для внутреннего использования, а необходимость придания им обязательного статуса в организации должна определяться ее руководством.

Сопоставим отмеченные ранее проблемы с результатами внедрения предлагаемого подхода к построению нормативной базы в области ФЗ ЯМ и РВ.

1. Несистематизированные требования: данная проблема решается внедрением четкой системы нормативных документов:

- Федеральный закон Российской Федерации «Об использовании атомной энергии» – распределение ответственности за ФЗ;
- постановления правительства – общие подходы к ФЗ ЯМ и РВ;
- ФНП – требования к процессам, организациям, подтверждению соответствия;
- стандарты ГК «Росатом» (либо национальные стандарты) – детальные требования к СФЗ и их элементам;
- стандарты организаций – методические пособия.

При этом обязательность стандартов устанавливается их включением в Сводный перечень. Сводный перечень (за исключением части, содержащей служебную информацию ограниченного распространения) подлежит опубликованию в информационно-телекоммуникационной сети Интернет на официальных сайтах федеральный органов исполнительной власти, что позволяет легко проверить наличие в нем тех или иных документов ведомственного уровня и таким образом исключить вопрос об обязательности их применения.

2. Противоречия требований: при включении стандартов в сводный перечень проводится их экспертиза, в ходе которой проводится анализ соответствия требованиям действующих нормативных документов.

3. Различия в терминологии: применение системы ссылок на стандарты в других нормативных документах подразумевает использование единой терминологии.

4. Дублирование требований: проблема решается путем установления требований к конкретным элементам СФЗ ЯМ и РВ в соответствующих стандартах, ссылки на которые используются в других нормативных документах.

Вероятностный анализ безопасности проекта Курской АЭС-2

А.А. ЧЕКИН, Е.В. БАЙКОВА, Е.С. ШИШИНА, В.Н. ЛЕВИН, М.В. ФЕДУЛОВ, ОАО «Атомэнергопроект»

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) первого уровня (ВАБ-1) разрабатывался для комплексной качественной и количественной оценки уровня безопасности блока АЭС проекта Курской АЭС-2, подтверждения ее соответствия установленным в НП-001-97[1] и Техническом задании на разработку проекта Курской АЭС-2[2] вероятностным целевым показателям и выявления факторов, вносящих наибольший вклад в количественные показатели безопасности блока. В соответствии с НП-001-97, в качестве одного из вероятностных показателей безопасности должна рассматриваться вероятность тяжелых запроектных аварий на реактор в год, которая не должна превышать значение $1 \cdot 10^{-5}$ на реактор в год. В Техническом задании на разработку проекта Курской АЭС-2 установлено требование, что для обеспечения радиационной безопасности вероятность тяжелого повреждения активной зоны должна быть менее $1 \cdot 10^{-5}$ на энергоблок АЭС в год.

Характеристика и цели вероятностного анализа безопасности первого уровня

В качестве методологической основы для разработки вероятностного анализа безопасности первого уровня (ВАБ-1) для внутренних инициирующих событий использована широко применяемая в мировой практике методология деревьев событий и деревьев отказов. ВАБ-1 является инженерным итерационным анализом, при проведении которого выполняется ряд взаимосвязанных задач. Процесс разработки ВАБ-1 начинается в самом начале проектирования, ход которого влияет на разработку и корректировку интегральной модели ВАБ-1. В свою очередь, промежуточные результаты ВАБ-1 оказывают влияние на принятие решений в ходе проектирования.

Основными целями ВАБ-1 являются:

- оценка достигнутого в проекте уровня безопасности на основе определения значения частоты повреждения ядерного топлива в активной зоне реактора;
- определение доминантных факторов, вносящих наибольшие вклады в указанную частоту, и анализ основных причин реализации доминантных аварийных последовательностей (инициирующие события, отказы оборудования и систем, включая отказы по общим причинам, ошибки персонала и т. п.).

Всего рассмотрено 48 различных типов инициирующих событий для двенадцати групп эксплуатационных состояний (ЭС), в том числе:

- 39 инициирующих событий для ЭС при работе блока на мощности, включая работу на минимально контролируемом уровне с остановленной турбиной;
- от 3 до 26 инициирующих событий для различных ЭС с остановленным реактором (11 групп ЭС).

При оценке вероятностных показателей безопасности рассмотрены в том числе и не учитываемые в проекте события запроектных аварий с катастрофическим разрывом корпуса реактора, корпуса и коллектора парогенератора, а также аварии при избыточном дренировании первого контура и аварии с падением тяжелых предметов в реактор в стояночных режимах.

Модели аварийных последовательностей разрабатывалась с учетом необходимости достижения безопасных конечных состояний. В соответствии с общепринятым подходом, критерием таких состояний является стабильное выполнение основных функций безопасности (останов реактора, поддержание реактора в подкритическом состоянии и отвод остаточного тепла от ядерного топлива), которое может быть обеспечено в течение неограниченного времени за счет применения средств, предусмотренных в проекте. В качестве основного количественного приемочного критерия принималось непревышение максимальной температуры оболочки твэлов 1200°С с учетом критериев по окислению оболочек твэлов.

Для определения критериев успеха выполнения функций безопасности использовались результаты детерминистических анализов и теплогидравлических расчетов, как специально проведенных в поддержку ВАБ-1, так и выполненных в рамках анализа аварий в ПООБ.

Минимальный учитываемый в ВАБ-1 период времени, который отвечает штатной работе систем безопасности в соответствии с критериями успеха, определенными по теплогидравлическим расчетам, принят равным 24 ч.

Максимальный учитываемый в ВАБ-1 период времени определяется для конкретных последовательностей запроектных аварий (с учетом отказов основных активных систем безопасности, предусмотренных в проекте, и работы пассивных систем до исчерпания их ресурса) и составляет не менее 72 часов.

Результаты вероятностного анализа безопасности первого уровня проекта Курской АЭС-2

Средняя оценка значения суммарной по всем группам внутренних ИС для всех режимов энергоблока частоты ПАЗ составляет $2{,}2 \cdot 10^{-7}$ на реактор в год, значение точечной оценки равно $2{,}2 \cdot 10^{-7}$ на реактор в год, т. е. совпадает со средним значением. При этом частота ПАЗ на мощности составляет $9 \cdot 10^{-8}$ на реактор в год и, соответственно, в стояночных режимах $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ на реактор в год.

Среди отдельных групп ИС наибольшие вклады в частоту ПАЗ вносят:

- разрыв корпуса реактора на номинальном уровне мощности – 17,1%;
- потеря техводы ответственных потребителей при техническом обслуживании и ремонте оборудования с дренированием первого контура – 9,0%;
- нарушение отвода тепла при техническом обслуживании и ремонте оборудования с дренированием первого контура – 6,1%;
- закрытие стопорных клапанов турбины на номинальном уровне мощности – 4,8%;
- падение тяжелых предметов при сборке реактора (САПР в работе по ЛРР, один канал на плановом техобслуживании) – 4,1%;
- падение тяжелых предметов при разборке реактора, ремонте, дренировании теплоносителя первого контура (САПР в работе по ЛРР) – 4,1%;
- общие переходные процессы со срабатыванием системы аварийной защиты на номинальном уровне мощности – 3,8%;
- потеря техводы ответственных потребителей при сборке реактора (САПР в работе по ЛРР, один канал на плановом техобслуживании) – 3,3%.

Высокий вклад от запроектных аварий, для которых не предусмотрены действия систем безопасности (например, разрыв корпуса реактора, падение тяжелых предметов), объясняется, в первую очередь, консерватизмом в оценке частот таких событий (детальные вероятностно-прочностные анализы для данных инициирующих событий не завершены).

Высокий вклад от аварий при техническом обслуживании и ремонте с дренированием первого контура объясняется, в первую очередь, консерватизмом в оценке критериев успеха, свойственным данной стадии разработки проекта и первой итерации разработки ВАБ-1.

На рис. 1 представлено распределение общей частоты ПАЗ по категориям внутренних ИС.

В соответствии с документом МАГАТЭ INSAG-12[3] результаты ВАБ должны использоваться для подтверждения достигнутого в проекте уровня безопасности АЭС как в отношении качественных, так и количественных критериев.

Результаты ВАБ демонстрируют, что основными решениями, обеспечивающими выполнение принципа единичного и удовлетворяющими требование, применяемое к т. н. расширенным условиям проекта, которое необходимо для обеспечения безопасности для комплексных аварийных последовательностей с числом отказов помимо ИС более одного, могущих иметь место вследствие отказов общего вида, характерных для одинаковых по конструкции элементов систем в проекте Курской АЭС-2, являются:

- применение взаиморезервирующих каналов в составе СБ, построенных по активному принципу действия, резервирование наиболее ответственных элементов в составе каналов указанных СБ, резервирование элементов, имеющих зависимые отказы от исходных событий. Применение данного решения обеспечивает возможность соответствия критерию единичного отказа с учетом работы только активных систем;
- применение функционального резервирования, то есть, обеспечение возможности выполнения основных функций безопасности как минимум двумя различными защитными системами. Такая мера позволяет существенно повысить надежность выполнения функций безопасности;
- применение в проекте систем, основанных на различных (пассивных и активных) принципах действия. При таком решении обеспечивается выполнение требования по конструктивному разнообразию, достигается наибольшая степень защиты от отказов общего вида и значительно повышается уровень защиты от ошибочных действий персонала;
- обеспечение полной независимости различных каналов активных СБ с учетом их физического и функционального разделения, обеспечение максимально целесообразной степени разделения применяемых в проекте пассивных и активных систем, а также применение дополнительной (диверсной) управляющей системы безопасности, основанной на применении принципа разнообразия как в использовании технических средств, так и программного обеспечения. Эти решения позволяют практически полностью исключить возможность тяжелых последствий для любых условий расширенного проектирования;
- применение высокого уровня автоматизации по управлению активными СБ для исключения влияния на безопасность ошибок персонала на начальных периодах развития аварий, что позволяет значительно снизить влияние человеческого фактора на безопасность АЭС.

Анализы чувствительности были проведены для определения влияния различных факторов на изменение расчетной общей частоты ПАЗ (точечная оценка $2{,}2 \cdot 10^{-7}$ 1/год). Рассмотрены как факторы повышения, так и факторы понижения частоты ПАЗ. Для каждого фактора влияния рассчитано абсолютное значение частоты ПАЗ, полученное при воздействии данного фактора, а также его отношение к основному результату (фактор повышения или фактор понижения риска).

Наиболее значимым фактором, повышающим риск, является потенциальное влияние внешних воздействий. При расчете полагалось равное единице значение вероятности невосстановления электроснабжения от энергосистемы и зависимого обесточивания при всех ИС для всех эксплуатационных состояний, при этом частота ПАЗ составляет $4{,}95 \cdot 10^{-6}$, т. е. фактор повышения риска составляет 22.

Среди факторов, снижающих риск, наиболее значимым является снижение частот всех запроектных аварий, непосредственно ведущих к повреждению активной зоны. При снижении частот всех ЗПА частота ПАЗ составляет $1{,}53 \cdot 10^{-7}$ 1/год, фактор снижения риска при этом 1,44.

Результаты ВАБ-1 подтверждают, что в проекте обеспечено выполнение всех основных инженерных принципов современной концепции глубокоэшелонированной защиты, включая принципы функционального и конструктивного разнообразия, защиты от отказов общего вида, защиты от ошибочных действий персонала. По полученному значению частоты повреждения активной зоны можно сделать вывод о том, что для проекта Курской АЭС-2 обеспечен более высокий уровень безопасности по сравнению с другими проектами (например AP1000[4]), в особенности принимая во внимание консерватизм в оценке частот инициирующих событий запроектных аварий.

Результаты ВАБ-1 подтверждают, что требование технического задания на проект Курской АЭС-2 и нормативных документов по частоте ПАЗ выполнено со значительным запасом.

На основе результатов ВАБ-1 для внутренних инициирующих событий разрабатывается ВАБ-1 для площадочных и внешних воздействий и ВАБ уровня 2.

1. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97, Госатомнадзор России, 1997 г.
2. KUR-AEC0002 Курская АЭС-2. Энергоблоки № 1 и № 2. Техническое задание на разработку проектной документации энергоблоков № 1 и № 2 Курской АЭС-2. ОАО «Атомэнергопроект», 2013 г.
3. 75-INSAG-3 Rev. INSAG-12 «Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency», Vienna, 1999 г.
4. Г.В. Токмачев. АЭС АР-1000 компании Westinghouse, обладающая повышенной экономичностью и безопасностью. Атомная техника за рубежом, Москва, 2006 г., № 5, стр. 17-23.

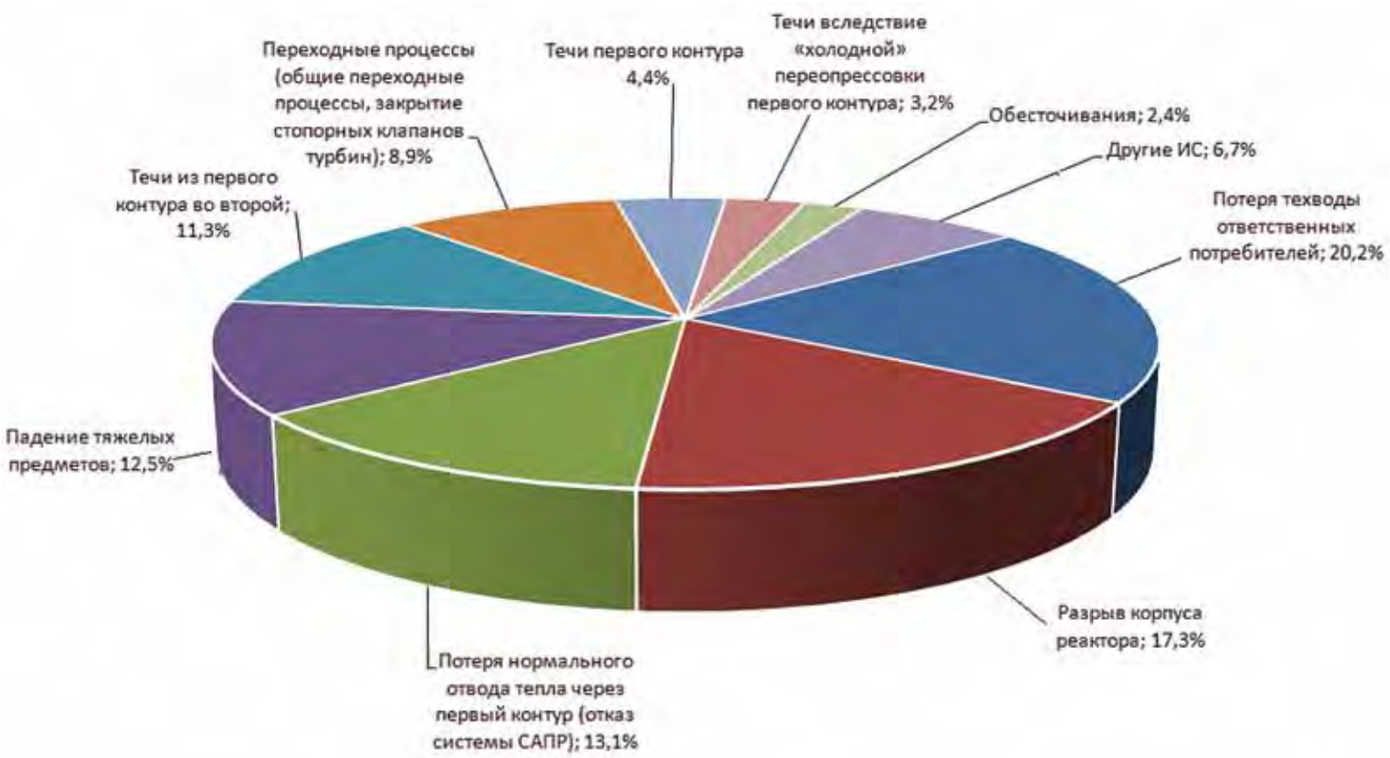


Рис. 1. Распределение общей частоты ПАЗ по категориям внутренних ИС

Обеспечение безопасной переработки взрывчатых веществ – система допуска взрывчатых веществ на предприятии

И.А. ЛУШИН, И.А. БУЛАТОВА
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

В настоящее время обеспечение безопасности работ при переработке взрывчатых веществ (ВВ) является первостепенной задачей деятельности руководства и служб предприятия. В связи с этим разработаны мероприятия, выполнение которых в комплексе позволяет достигнуть наиболее высоких показателей в области безопасного выполнения работ на опасном производстве.

К таким мероприятиям относятся:

- автоматизация контроля и регистрации параметров технологических процессов;
- видеонаблюдение особо опасных технологических операций;
- совершенствование технологических процессов переработки ВВ;
- развитие лабораторного комплекса по входному контролю и допуску в работу ВВ.

Остановимся на организации системы допуска взрывчатых веществ в производство как на мероприятии, позволяющем предотвратить поставку некачественной продукции, своевременно выявить опасные изменения свойств взрывчатых веществ и дать заключение о степени взрывоопасности ВВ, пригодности их для хранения и применении на производстве.

Все ВВ, поступающие на предприятие, можно разделить на:

– штатные ВВ (ШВВ) – это индивидуальные или смесевые ВВ, имеющие нормативную документацию (НД) – технические условия (ТУ), отраслевые стандарты (ОСТ) и др. Их, в свою очередь можно разделить на впервые поступившие в институт штатные ВВ и штатные ВВ, допущенные к проведению работ;

– экспериментальные ВВ (ЭВВ) – это смесевые ВВ, изготовленные в институте на основе применяемых ШВВ:

1) с изменением соотношения содержащихся в них компонентов менее чем на 10% от регламентированного нормативной документацией (НД) на ШВВ;

2) с введением в их состав активных или инертных добавок (окислителей, металлов, песка и т. п.) в количестве менее 10% за счет компонентов, регламентированных НД на ШВВ;

– новые ВВ (НВВ) – это смесевые ВВ, изготовленные в институте на основе применяемых ШВВ:

1) с изменением соотношения содержащихся в них компонентов на 10% и более от регламентированного НД на ШВВ;

2) с введением в их состав активных или инертных добавок (окислителей, металлов, песка и т. п.) в количестве 10% и более за счет компонентов, регламентированных НД на ШВВ.

Входной контроль

Все поступающие в институт взрывчатые материалы должны быть внесены в «Перечень взрывчатых материалов, допущенных к применению в РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» и пройти входной контроль в соответствии с требованиями технологической инструкции «Входной контроль и запуск спецматериалов, порохов, ПТС в производство» – С.ИО, разработанной на основании требований ГОСТ 24297-87 и стандарта института СТПР 74-90 «Входной контроль продукции. Основные положения».

Объем и методики входного контроля продукции определяются «Перечнем контролируемых параметров для входного контроля», утвержденным главным конструктором и согласованным с военным представителем (ВП).

К входному контролю (доставка на территорию завода) допускаются ВВ (изделия, содержащие ВВ), принятые отделом технического контроля (ОТК) предприятия-изготовителя, поступившие с сопроводительными документами, оформленными в установленном порядке.

Входной контроль продукции, поступающей на завод, проводится ОТК завода при участии физико-химической лаборатории (ФХЛ), также в отдельных случаях в нем принимают участие представители «ВП 4760»:

- при поступлении на ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» продукции, предназначенной для использования в изделиях, подлежащих приемке ВП.
- при поступлении продукции из подразделений института (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»), принятой ВП.

Входной контроль производится на рабочих местах, специально предназначенных для проверки сопроводительной документации и ее соответствия требованиям НТД, осмотра, распаковки тары, взвешивания и отбора проб. По его результатам вносится запись в сопроводительную документацию.

Для определения физико-химических показателей ВВ производится отбор проб для ФХЛ. Окончательное заключение о соответствии ВВ требованиям НТД осуществляется по результатам анализов в ФХЛ, к которым относится определение:

- массовых долей основных компонентов, влаги и летучих веществ, золы, кремнезема, свободных кислот;
- температуры плавления;
- удельной поверхности;
- стойкости по пробе pH.

Продукция, прошедшая входной контроль, хранится в таре завода под пломбами ОТК и ВП. Забракованная продукция маркируется словом «БРАК» и направляется в изолятор брака. Бракованная продукция возвращается поставщику на основании требований ГОСТ 24297-87, ГОСТ 15703-78, инструкции Р92Т961.

Протокол безопасности

В настоящее время изменяются компоненты взрывчатых составов (ВС), создаются новые ВС, изменяется структура и природа материалов, появляются новые изготовители, изменяется и совершенствуется технология получения ВВ. Поэтому требуется постоянное изучение свойств ВВ, статистическая наработка опытных данных, отработка технологии, оснастки и инструмента, использование современного оборудования. В этом направлении работает научно-исследовательская лаборатория завода. Одной из важнейших задач лаборатории является установка минимальных обязательных требований к продукции. В частности, до начала научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для ЭВВ, НВВ или впервые поступивших ШВВ обязательным является выпуск «Протокола безопасности», в котором должны быть указаны:

- цель исследований/испытаний ЭВВ, НВВ или впервые поступивших ШВВ, а также ссылка на программу, которой данные работы предусмотрены;
- методики и оборудование, применяемые для определения характеристик безопасности;
- уровни характеристик ЭВВ, НВВ или впервые поступивших ШВВ, определенные в НИЛ завода № 2, в объеме, соответствующем введенному на предприятии положению. Для оценки уровня безопасности ЭВВ, НВВ или впервые поступивших ШВВ в Протоколе должны быть представлены аналогичные характеристики ШВВ, применяемых в институте, или/и ШВВ, на основе которых разрабатываются ЭВВ, НВВ;
- виды проводимых с ЭВВ, НВВ или впервые поступившими ШВВ работ и особые меры безопасности при их проведении. Разрешение на проведение операций ручной доработки НВВ, ЭВВ должны быть оговорены отдельным пунктом;
- подразделения, в которых разрешено проведение работ с ЭВВ, НВВ или впервые поступившими ШВВ;
- способы хранения, транспортировки, уничтожения отходов ЭВВ, НВВ или впервые поступивших ШВВ.

Отдельно остановимся на характеристиках безопасности ВВ, которые являются неотъемлемой частью протокола безопасности, их определение проводится в НИЛ завода.

Само определение – характеристики безопасности – подразумевает определение таких показателей, знание которых позволяет обеспечить надежное и безопасное обращение с исследуемым ВВ.

К таким характеристикам относятся:

- чувствительность к механическим воздействиям (удар, трение);

Рис. 1. Копер Каста

Рис. 2. Рабочая зона прибора И-6-2

Рис. 3. Прибор для определения температуры вспышки

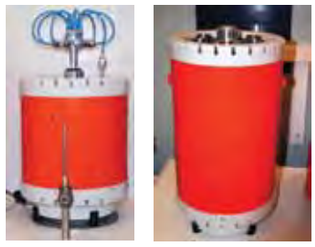


Рис. 4. Термостаты ИВК «Вулкан-2000СМ»

■ чувствительность к тепловым воздействиям (температура вспышки, химическая и термическая стойкости).

Чувствительность к удару, характеризуемая частостью взрывов (%) и нижним пределом чувствительности (мм), определяется на копре Каста в соответствии с ГОСТ 4545-88.

Чувствительность к трению, характеризуемая нижним пределом чувствительности (МПа), определяется на приборе И-6-2 в соответствии с принятой методикой.

Чувствительность к тепловому воздействию, оцениваемая по величине температуры вспышки (оС), определяется на приборе ЦД-3 в соответствии с технологической инструкцией.

Оценка химической стойкости, характеризуемой количеством нитрит-ионов (%) и давлением газообразных продуктов (мм рт. ст.), выделившихся при термировании ВВ, проводится на ИВК «Вулкан-2000СМ» в соответствии с принятыми в НИЛ методиками.

В основу оценки термической стойкости ВВ положено определение параметров термического разложения, полученных методом дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК анализ) и термогравиметрии (ТГА анализ) на приборах TGA/DSC 1 и DSC 822e.

Чувствительность к механическим воздействиям

В НИЛ № 206 из всего многообразия механических импульсов, определяющих безопасность обращения с ВВ, исследуются удар и трение.

Испытания на чувствительность ВВ к удару проводятся на копре Каста (рис. 1),

В соответствии с требованиями ГОСТ 4545-88 за ее характеристики принимают:

■ нижний предел чувствительности к удару – максимальная высота (мм), при которой в 25 параллельных испытаниях сбрасывание груза массой 10 кг на навеску ВВ массой (0,100±0,005) г, помещенную между роликами прибора №2, не вызывает ни одного взрыва;

■ частость взрывов – количество взрывов (%) из 25 испытаний при сбрасывании груза массой 10 кг (2 кг) с высоты 250 мм на навеску ВВ массой (0,050±0,005) г, помещенную в роликовый прибор №1.

Чувствительность к трению определяется согласно принятой в НИЛ методике на приборе И-6-2 (рис. 2).

Критерием ее оценки служит величина нижнего предела – максимальное давление прижатия (МПа), при котором не происходит взрыва навески ВВ массой (0,030±0,001) г, находящейся между поддоном и вращающимся со скоростью 275 об/мин пуансоном прибора. При этом испытания проводятся с «чистой» пробой и с добавлением в нее в качестве сенсибилизатора песка с размером частиц от 50 до 100 мкм.

За взрыв при испытаниях на чувствительность к обоим импульсам принимается взрывчатое превращение вещества, сопровождаемое звуковым эффектом, пламенем или следами ожогов на роликах или муфте прибора, при этом изменение цвета ВВ за взрыв не принимается.

Чувствительность к тепловым воздействиям

Температура вспышки – это та минимальная температура, до которой за заданный промежуток времени (задержка) должно быть нагрето определенное количество ВВ до его воспламенения, сопровождающегося звуковым, световым эффектом. Суть метода ее определения, предусмотренного технологической документацией НИЛ, заключается в установке пробирки с ВВ массой порядка 50 мг в прибор ЦД-3 (рис. 3),

Теплоносителем которого является металлический сплав Вуда, при определенной температуре с фиксацией времени, через которое происходит вспышка. За искомую величину температуры вспышки берется минимальная не менее, чем из 5 испытаний, при которых время задержки составляет 30 секунд.

В процессе эксплуатации и хранения ВВ способны самопроизвольно разлагаться и претерпевать различные физико-химические превращения, которые способны привести к изменению свойств ВВ. Поэтому немаловажной характеристикой их безопасности является показатель химической стойкости, для оценки которого используется измерительно-вычислительный комплекс «Вулкан-2000СМ» (рис. 4),

Рис. 5. Приборы термического анализа

Термостат ИВК «Вулкан-2000СМ» обеспечивающий проведение исследования двумя методами:

1) манометрической пробы, мм рт. ст. – давление газообразных продуктов, выделившихся в процессе 14-часового термирования в замкнутом объеме первичного преобразователя (ПП) ВВ массой около 1,0 г при температуре 110^{o}С. В основу работы ПП заложен компенсационный принцип: давление газообразования при нагревании вещества в реакционном объеме первичного преобразователя (ПП) вызывает прогиб мембраны и замыкание ее электроконтакта. Компенсационное давление сжатого воздуха, подаваемого в ПП, возвращает мембрану в исходное состояние до размыкания контакта. При этом давление компенсации регистрируется в ПК.

2) ФЭК-методом, [NO2-] % – количество нитрит-ионов, выделившихся при нагревании в термостате ИВК ВВ массой около 2 г при 110^{o}С за 8 часов. Метод основан на определении содержания растворившихся в воде нитрит-ионов по величине оптической плотности их водных растворов, окрашенных за счет реактива Грисса-Иллосвая.

В основу оценки термической стойкости ВВ, определяемой в НИЛ, положено определение характеристических температур тепловых превращений и величины убыли массы, полученных методами дифференциального термического анализа (ДТА-анализ), дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК-анализ) и термогравиметрии (ТГА-анализ), реализованных на высокоточных современных приборах КТИ «Тепло», DSC 822e, TGA/DSC 1 (рис. 5).

Использование целой серии приборов позволяет получать наиболее полную информацию об эффектах, происходящих при полном термическом разложении ВВ. Основными показателями, их характеризующими, являются так называемые характеристические температуры (начала разложения, интенсивного разложения, фазовых переходов, плавления). Помимо этого есть возможность оценки изменения (неизменности) массы в процессе тепловых превращений, ряда теплофизических характеристик, таких как удельные теплоемкость, теплопроводность.

Также подобные термоисследования позволяют определить и оценить (по кинетическим параметрам процесса разложения) возможности продления гарантийного срока хранения, чистоту исследуемого материала, его совместимость с конструкционными материалами.

Таким образом, реализация достаточно насыщенного комплекса оценки различных характеристик как при проведении входного контроля, так и при оформлении протокола безопасности, позволяет оценивать уровень безопасности обращения с ВВ, что в свою очередь позволяет повысить безопасность работ с ВВ.

Разработка схемы поиска мест неплотностей вакуумной системы турбогенераторов Курской АЭС с использованием галогенного течеискателя БГТИ-7/1

А.М. СОБОРОВ, С.Е. РУМЯНЦЕВ, филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»

Присосы воздуха в вакуумную систему являются основной причиной ухудшения вакуума и оказывают решающее влияние на снижение мощности и экономичности турбоустановки. Каждый процент снижения вакуума уменьшает экономичность и вырабатываемую мощность на ~ 0,85% от номинальной. Увеличение присосов на каждые 20 кг/ч воздуха снижают вакуум на 0,1%, что снижает мощность и экономичность на ~ 0,08%.

Воздух и другие неконденсирующиеся газы попадают в конденсатор двумя путями: с паром и через неплотности вакуумной системы турбины. Количество неконденсирующихся газов, поступающих в конденсатор с паром, невелико и составляет величину порядка нескольких процентов от общего количества удаляемого из конденсатора воздуха. Таким образом, основное количество газов, удаляемое из конденсатора, составляет воздух, проникающий из атмосферы через неплотности элементов турбоустановки, находящихся под разрежением.

В настоящее время на Курской АЭС поиск мест присосов воздуха в вакуумную систему осуществляется на остановленном ТГ методом налива (гидравлической опрессовки). В паровое пространство конденсатора заливается вода до расточек уплотнений выхлопного патрубка. Места неплотностей при этом определяются по вытекающей из них воде. Такой способ не позволяет проверить возможные источники присосов воздуха, недоступных для визуального осмотра, недостаточно чувствителен и может применяться лишь при «холодном», а не рабочем состоянии установки.

Определение мест присосов воздуха при работе ТГ осуществляется с помощью горящей свечи по отклонению ее пламени, а также с применением тонкой полимерной пленки. Эти способы позволяют находить присосы воздуха, только в доступных местах и при определённых условиях (отсутствие водорода, кислорода, сквозняков), что значительно ограничивает возможность их применения.

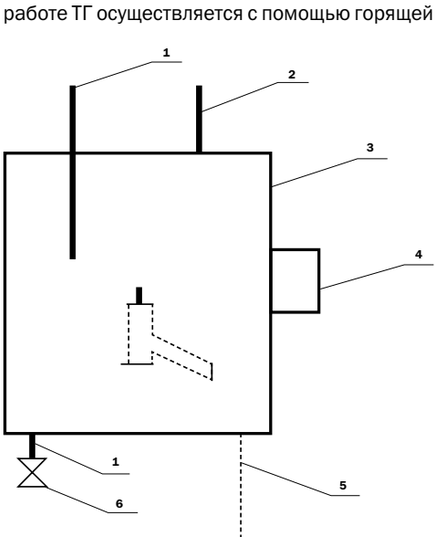


Рис. 1. Бак устройства подготовки проб со щупом БГТИ – 7/1 (бак № 2). 1 – труба Ду-10, 2 – штуцер Ду-6, 3 – корпус бака, 4 – ручка, 5 – опора (3шт.), 6 – вентиль Ду 10

Все эти методы весьма трудоемки и, естественно, не соответствуют современному уровню развития энергетики. В связи с этим возникла необходимость внедрения новых методов отыскания мест неплотностей вакуумной системы.

Теоретическая часть

В настоящее время разработаны и апробированы следующие основные методы определения неплотностей в вакуумных системах с использованием технических средств, основывающихся на применении ультразвуковых и галогенных течеискателей.

Проведенные нами экспериментальные работы по определению мест присосов с использованием УЗ течеискателя показали, что прибор реагирует на посторонние шумы: паровые свищи, движение потоков пара, воды и воздуха внутри труб и т. п. То есть, мы не можем с уверенностью сказать, что сигнал на прибор поступает именно от присоса. Вследствие этого мы пришли к выводу, что применение ультразвукового течеискателя для определения мест присосов воздуха на ТГ КуАЭС малоэффективно.

Проанализировав опыт отыскания воздушных неплотностей в вакуумных системах таких крупногабаритных объектов, как турбины электростанций, хранилищ нефтепродуктов, протяженных объектов и т. п., мы пришли к выводу, что наиболее совершенным и современным способом для этой цели является использование галогенных течеискателей. С помощью этих приборов удается обнаружить самые незначительные присосы воздуха в любых местах турбоустановки, находящихся под разрежением.

Нами было принято решение применить данный метод для поиска присосов воздуха в вакуумную систему ТГ-2 Курской АЭС.

Детально рассмотрев множество существующих галогенных течеискателей, мы остановили свой выбор на приборе БГТИ – 7/1 из-за его особенностей: простота в обслуживании, неприхотливость в работе и хранении, удобство и простота в эксплуатации, небольшие габариты и масса, широкое распространение и доступность пробных газов-маркеров, используемых при работе.

Принцип действия галогенных течеискателей основан на свойстве платины в раскаленном состоянии испускать ионы. Эмиссия ионов возрастает, когда в среде, в которой находится разогретая платина, присутствует галогеносодержащий газ. Таким образом, если в каком-либо газе окажется даже незначительное присутствие галогенов, то эффект эмиссии ионов становится заметным, что фиксируется щупом прибора и вызывает отклонение стрелки регистрирующего блока на некоторую величину (мкА).

Практическая часть

Особенностью реактора РБМК-1000 является наличие в эжекторных газах высокого содержания водорода. Поэтому мы решили уделить особое внимание безопасности проведения работ.

Эксклюзивность разработанной схемы заключается в следующем:

– использование штатных линий пробоотборов;

– использование переносного устройства подготовки пробы, разработанного нами совместно со специалистами КТО Курской АЭС;

– осуществление непрерывного контроля за содержанием водорода в пробе;

– недопущение образования взрывоопасных концентраций водорода.

Принцип нашей схемы заключается в следующем: если какой-либо узел (фланец, сальник и др.), имеющий неплотность, обдувать галогеносодержащим газом, а в месте отсоса воздуха из конденсатора поставить датчик прибора (щуп), то газ вместе с воздухом попадает в вакуумную систему турбины и будет отсасываться из нее эжектором. Появление галогена в отсасываемом воздухе будет отмечено прибором. Отсутствие сигнала на приборе указывает на воздушную плотность испытуемого элемента вакуумной системы.

Местом для установки прибора и подключения устройства подготовки проб был выбран пробоотборный шкаф ТГ, в котором, помимо множества пробоотборников, имеются необходимые нам: «вход УСГС» (установка сжигания горючей смеси), «выход УСГС» и «вход основных эжекторов» (побудитель расхода). Щуп прибора помещен в специальный герметичный металлический бак (бак №2, рис. 1), который через штуцер поз. 1 и гибкий шланг соединён с побудителем расхода (вход ОЭ). Изначаль-

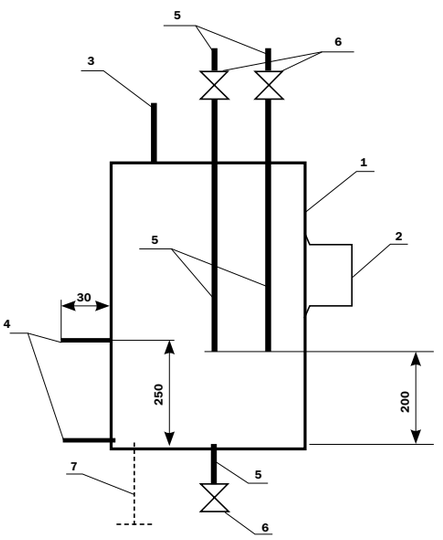


Рис. 2. Бак устройства подготовки проб для создания допустимой концентрации водорода (бак № 1). 1 – корпус бака, 2 – ручка, 3 – штуцер Ду 6, 4 – штуцер Ду 6, 5 – труба Ду 10, 6 – вентиль Ду 10, 7 – опора (3 шт.)

но, щтуцер бака поз. 2 было запланировано соединить с пробоотборником «вход в УСГС», что обеспечило бы подачу в бак воздушной среды с линии входа в УСГС и щуп БГТИ 7/1 без проблем определял бы в данной среде галоген, в случае возможных неплотностей любого узла вакуумной системы.

Но концентрация водорода в среде в точке взятия пробы (вход УСГС) достигает 4%, что может быть взрывоопасно. Для решения этой проблемы был разработан ещё один бак устройства подготовки проб (бак №1) (Рис. 2), в котором происходит разбавление среды, перед подачей её в бак со щупом прибора (бак № 2).

Трубопроводы бака №1 поз. 5 соединены с пробоотборниками «вход УСГС» и «выход УСГС»; тем самым, забирая среду с линии подачи в УСГС, мы имеем возможность разбавлять её средой с выхода УСГС, т. е., закрытием-открытием вентиля на выходе УСГС мы можем поддерживать концентрацию водорода на необходимом нам уровне (не более двух процентов). Баки объединены между собой гибким шлангом через штуцеры поз. 2 (бак № 2) и поз. 3 (бак № 1). На нём для контроля содержания водорода в пробе было решено установить портативный газоанализатор водорода АВП-02Г. Данный анализатор может определять концентрацию водорода в среде с точностью до 0,01%. Он прост и удобен в работе, имеет понятный интерфейс. Секундомер на дисплее прибора позволяет засечь время, необходимое на разогрев БГТИ – 7/1 (30 мин.) без использования других подручных средств.

На сегодняшний день разработанная нами схема поиска мест неплотностей вакуумной системы ТГ Курской АЭС с использованием галогенного течеискателя БГТИ 7/1 имеет следующий вид (рис. 3)

Работа по поиску присосов ведётся по следующему принципу.

Устройство подготовки пробы устанавливается возле пробоотборного шкафа ТГ. После установки устройства производится монтаж коммуникаций схемы поиска присосов, подключение газоанализатора АВП-02Г и течеискателя БГТИ-7/1. После прогрева и настройки приборов схема готова к работе. Перед началом работ устанавливается содержание водорода в пробе не более двух процентов по показаниям портативного анализатора водорода АВП-02Г. Поток газовой смеси из пробоотборной линии поступает в устройство подготовки пробы. При необходимости концентрация водорода снижается путем разбавления анализируемой смеси газом из выходного коллектора УСГС. Анализируемая смесь подается на щуп галогенного течеискателя БГТИ-7/1.

Оперативный персонал производит обдув вероятных мест присосов галогенсодержащим газом в течение 1÷1,5 секунд в последовательности, предусмотренной утверждённой программой поиска присосов. Персонал ОИТПЭ производит контроль концентрации фреона в пробе по показаниям галогенного течеискателя БГТИ-7/1, тем самым выявляя неплотности обдуваемого узла.

Наиболее подходящим галогеносодержащим газом является фреон. Фреон не обладает токсическими свойствами, не горюч, не взрывоопасен и не действует агрессивно на металлы. Для обдувки фреоном мест возможных присосов используется переносимая в руках емкость (баллон) со шлангом, из которого производится обдувка.

В прошедшем году были выполнены первые работы по поиску мест присосов воздуха в вакуумную систему ТГ-2 по разработанной

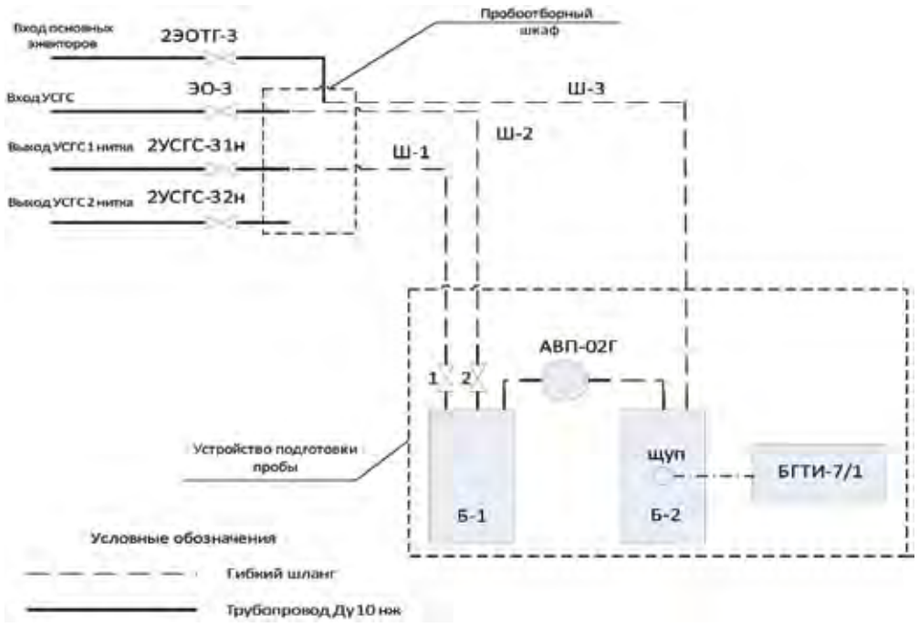


Рис. 3. Схема соединений импульсных линий штатного пробоотборного шкафа со штуцерами устройства подготовки пробы

нами схеме. Было зафиксировано наличие присосов воздуха в вакуумную систему ТГ-2 через концевые уплотнения ЦНД ТГ-2.

Для подтверждения показаний галогенного течеискателя БГТИ-7/1 проверка плотности концевых уплотнений ЦНД ТГ-2 дополнительно проводилась многофункциональным ультразвуковым прибором ULTRAPROBE 550. Выявленные галогенным течеискателем БГТИ-7/1 места присосов воздуха были подтверждены.

Результаты

Одной из последних (июнь этого года) была проведена работа по обследованию главного разъёма ЦНД ТГ-2 с использованием БГТИ-7/1. Полученные данные представлены в таблице ниже.

После устранения выявленных нами неплотностей были получены следующие положительные результаты:

– разрежение в камере выдержки увеличилось более чем на 20% (с -37 мм в.ст. до -55 мм в.ст.);

– расход эжекторных газов снизился более чем в 2 раза (с 235 м^3/час до 108 м^3/час);

– удельная активность выбросов в вентиляционную трубу снизилась с 5.6x10 – 6 Ku/л до 4.9x10 – 6 Ku/л.

За период выполнения работ было многократно обследовано более чем 130 вероятных мест присосов воздуха в вакуумную систему КНД.

На Курской АЭС при выполнении работ по поиску присосов воздуха в вакуумную систему КНД основное внимание уделяется безопасности. Применение разработанного устройства подготовки пробы позволяет снижать и поддерживать концентрацию водорода в пробе на стабильно безопасном уровне. Стоит также отметить, что методика поиска мест неплотностей вакуумной системы ТГ с использованием галогенного течеискателя БГТИ-7/1 была отмечена как положительная практика при проведении партнерской проверки в ноябре 2013 года.

Таблица 1. Результаты обследования главного разъёма ЦНД ТГ-2

№ упл.	Ряд	Показания БГТИ-7/1 (мкА)	
		первичный обдув	после уплотнения разъёмов
1	А	10	10
	Б	15	15
2	А	0	0
	Б	7	7
3	А	0	0
	Б	20	20
4	А	7	7
	Б	75	10
7	А	70	20
	Б	180	35
8	А	30	30
	Б	70	5
9	А	0	0
	Б	35	35
10	А	40	40
	Б	400	10

Интеллектуальные НКУ и КРУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ для проекта ВВЭР-ТОИ

А.М. БОЛЬШАКОВ, ФГУП «ВНИИА»

Техническое решение, взятое за основу разработки интеллектуальных низковольтных комплектных устройств (НКУ) и КРУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ, представлено в проектной документации ВВЭР-ТОИ, раздел 5, часть 5.1.8. Разработка интеллектуальных НКУ и КРУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ позволит реализовать требования пункта 5.9.2.3.25 технического задания на АЭС с ВВЭР-ТОИ - «Средства автоматизации должны быть размещены с максимальным приближением к оборудованию и/или устройствам КРУЗА 0,4 кВ или 10кВ».

Основной целью разработки является создание и испытание образца (макета) интеллектуальной НКУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ на соответствие требованиям, заложенным в проекте ВВЭР-ТОИ. В процессе разработки необходимо получить подтверждение проектных решений, исключить принципиальные ошибки, выявить необходимые доработки интеллектуальных НКУ и сформировать рекомендации для разработки конструкторской документации. Поскольку в одном конструктиве шкафа размещается микропроцессорная техника и оборудование коммутации силовых цепей электроприводного оборудования с большими пусковыми токами, вопрос электромагнитной совместимости требует экспериментальной проверки и подтверждения работоспособности.

Применение интеллектуальных НКУ позволит упростить общую схему системы, относительно решений, применяемых ранее. Схемы без применения интеллектуальных НКУ состоят из 5 звеньев с двумя протяженными участками проводных связей. Использование совмещенного

Рис. 2. Крейты питания и СВВ

Рис. 3. «Совмещенный» шкаф

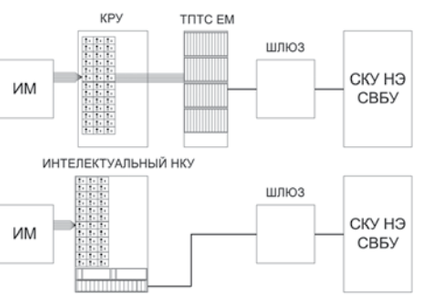


Рис. 1. Схемы с применением интеллектуальных НКУ и без

шкафа позволит сократить количество звеньев до 4 и исключить один участок проводных связей. Схемы с применением интеллектуальных НКУ и без показаны на рисунке 1.

Шкаф НКУ-РУ комплектуется станцией ввода-вывода (СВВ) в крейте формата 3U, кроссовыми модулями, установленными на DIN-рейку и двумя блоками питания БПМ 27 в отдельном крейте формата 3U. Крейты питания и СВВ показаны на рисунке 2.

В шкаф НКУ-РУ должна быть предусмотрена возможность установить до 1 коммутатора. Модули индивидуального управления СВВ соединяются с кроссовыми модулями при помощи шлейфов, в свою очередь кроссовые модули проводными связями соединяются с разъемами выкатных блоков. СВВ комплектуется одним диагностическим модулем (ТПТС55.1671), который устанавливается в первый слот, пятнадцатью модулями связи с процессором (ТПТС55.1673) и двумя интерфейсными модулями или автономным контроллером (АКА) в зависимости от комплектации. Общий вид «совмещенного» шкафа приведен на рисунке 3.

Сборка «совмещенных» шкафов в многошкафные конструкции будет производиться на базе установки в шкаф крейта с автономным контроллером автоматизации (АКА) и подключением к нему до 16 СВВ.

Пример схемы многошкафной конструкции приведен на рисунке 4.

Интерфейсные модули СВВ объединяются по шине ENL через коммутаторы и соединяются с АКА, который в свою очередь соединен с СКУ НЭ по шине EN.

Для осуществления диагностики оборудования в выкатные блоки планируется установить встроенную систему диагностики электроприводной арматуры производства НТЦ «Диапром».

Основным результатом работ на данном этапе стала разработка конструкции «интеллектуального» шкафа НКУ и сборка макета этого шкафа, что позволило проводить отработку технических решений и испытания, необходимые для создания опытного образца совмещенного шкафа. Макет «интеллектуального» шкафа НКУ принял участие в отраслевой выставке АТОМЭКС-2013.

Создание интеллектуальных КРУ и НКУ на базе средств автоматизации ТПТС-НТ отвечает требованиям проекта ВВЭР-ТОИ и имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с техническими решениями, применяемыми ранее.

Максимально близкое расположение средств автоматизации к оборудованию КРУ приведет к значительному сокращению физического объема кабельной продукции.

Техническое решение «совмещенного» шкафа позволит уменьшить общее количество шкафов электротехники и АСУ ТП (16 шкафов).

Уменьшение количества шкафов ТПТС позволит освободить площади помещений АЭС (≈ 50 м^2).

Также уменьшение общего количества шкафов электротехники и АСУ ТП приведет к сокращению временных и финансовых затрат на установку шкафного оборудования, прокладку и разделку кабелей.

Применение интеллектуальных КРУ и НКУ на базе оборудования ТПТС-НТ приведет к повышению заводской готовности поставляемого оборудования, сокращению сроков проведения строительно-монтажных работ и сокращению сроков проведения пуско-наладочных работ.

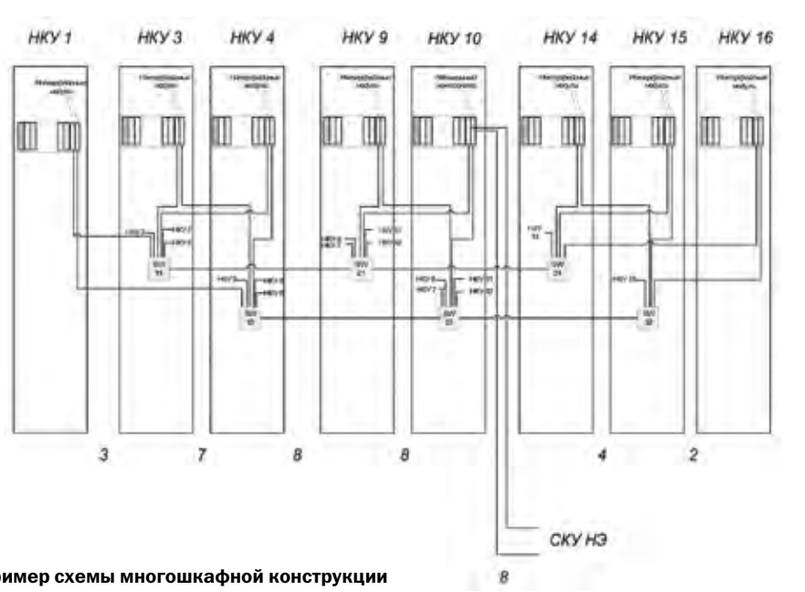


Рис. 4. Пример схемы многошкафной конструкции

Методы и алгоритмы для выявления нештатных ситуаций на магистральном газопроводе

В.А. ФРОЛОВ, В.Д. ИСАЕВ,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Газотранспортная система России, собственником которой является ОАО «Газпром», не имеет аналогов в мире. Общая протяженность только магистральных газопроводов (МГ) составляет более 154 тысяч километров. В настоящий момент изношенность основных элементов газотранспортной системы составляет до 56%, что приводит к возникновению нештатных ситуаций (НС) на элементах газотранспортной системы. Поскольку аварийные ситуации на многониточном магистральном газопроводе возникают достаточно редко, то вследствие отсутствия опыта диспетчер не всегда может быстро и адекватно оценить ситуацию. Неверные действия диспетчера при локализации НС и управлении газовыми потоками посредством систем автоматики и телемеханики могут привести к значительным экологическим и финансовым потерям. В связи с этим возникает необходимость в создании системы выявления нештатных ситуаций (СВНС), предназначенной для раннего выявления НС на многониточном магистральном газопроводе в режиме реального времени, определения типа и места НС и помощи диспетчеру в их локализации.

Теоретическая часть

На линейной части МГ возможны следующие типы НС: утечка газа на МГ или разрыв МГ, несанкционированная перестановка линейных кранов на МГ, переток газа между МГ с различными газодинамическими режимами транспорта, а также отказ датчиков давления.

В основу СВНС положен принцип сравнения данных реального времени, поступающих от систем линейной телемеханики (СЛТМ) и автоматики компрессорных цехов (САУ КЦ), и данных процесса моделирования в реальном времени. В качестве математической модели используется математическая модель тренажёра диспетчера ЛПУ, обеспечивающая достаточно точное (с отклонением показаний до 2%) моделирование линейной части и компрессорных цехов контролируемого участка МГ в реальном времени. В качестве входных данных для модели используются данные о производительности КЦ, собираемые с предыдущего и последующего линейного участка, производительность КЦ и состояние запорной арматуры текущего участка. Выходными данными математической модели являются значения давления и температуры газа в местах расположения соответствующих датчиков. Наличие НС определяется путем сравнения показаний реальных датчиков давления и моделируемых значений. Моделирование в реальном времени позволяет получать значения не только в стационарном режиме транспорта газа, но и во время переходных процессов, что позволяет отличать изменения, вызванные санкционированными перестановками запорной арматуры, изменением производительности цехов и прочими штатными ситуациями, от изменений, вызванных НС.

Алгоритм обнаружения НС состоит из четырёх основных этапов.

1) Для всех групп, состоящих из линейного крана и двух датчиков давления, связанных с другими подобными группами через перемычки, производится сравнение реальных и моделируемых данных, вычисляется разница в показаниях. Для групп, связанных через открытые перемычки, используется сумма изменений соответствующих датчиков, что позволяет распознавать отклонения в показаниях на сложных участках многониточного МГ: дюкерных переходах, лупингах, участках охранных кранов КЦ. После нормирования разницы показаний датчиков для каждой группы по линейному крану можно составить матрицу прецедентов, в которой описывались бы все возможные состояния такой группы и поставленные им в соответствие возможные ситуации. После отсечения штатных режимов транспорта газа матрица прецедентов приобретает вид, показанный в таблице 1.

Рис. 1. Принцип работы параболического метода

2) При определении НС по первому этапу происходит подтверждение уверенности в возникновении НС посредством анализа смежных линейных кранов, соединенных перемычками (получение высокой или средней степени уверенности).

3) При обнаружении утечки в МГ СВНС определяет место разрыва с использованием параболического метода [1] (рис. 1).

Суть метода состоит в том, что в случае утечки на графике распределения давления газа по МГ образуется впадина, экстремум которой, предположительно, и является местом разрыва трубы. Для аппроксимации реального распределения давления газа в трубе используется парабола, так как количество групп датчиков на МГ зачастую не позволяет построить многочлен более высокой степени, а единственность экстремума функции позволяет упростить процедуру нахождения места утечки. В качестве точек для построения аппроксимирующей параболы используются группы датчиков на данной нити МГ, координатой x является номер километра группы датчиков, координатой y – среднее арифметическое отклонений датчиков. Так как со временем волна падения давления достигает далеко отстоящих от места утечки групп датчиков, рассчитанные координаты утечки будут накапливаться по мере поступления данных, что позволяет дополнительно уточнить место утечки при помощи математических методов.

4) Для обеспечения наивысшей степени уверенности производится моделирование прогнозируемой НС в ускоренном режиме. При совпадении данных ускоренного моделирования и реальных данных, накопленных в стеке, происходит дополнительное подтверждение НС и сообщение диспетчеру о наличии на трассе НС.

Экспериментальная часть

Поскольку при отладке нет возможности работать с реальными данными НС, то было решено использовать в качестве поставщика данных реального времени тренажер диспетчера ЛПУ разработки НИИИС. Данный тренажер обеспечивает моделирование данных по ЛЧ и КЦ в реальном масштабе времени и формирование всех видов возможных НС. Данная схема позволила построить двухмашинный стенд, состоящий из прототипа СВНС, интегрированного в комплекс телемеханики УНК ТМ, и модифицированного тренажёра диспетчера ЛПУ в качестве имитационного модуля. Такое решение позволило разработать прототип СВНС, отработать алгоритмы обнаружения НС, получить статистику по возможности обнаружения различных типов НС, а также провести сравнительные испытания скорости обнаружения НС при помощи СВНС и штатных средств телемеханики.

Проведённые испытания показали, что раннее выявление НС по перетоку газа между газопроводами с разным газодинамическим режимом и НС по нештатной перестановке крана происходит даже при малых углах отклонения реального положения кранов от положения, передаваемого на пульт диспетчера. В ходе испытаний по выявлению утечек были получены следующие данные по времени и точности обнаружения НС в зависимости от размера и места утечки:

1) уверенное выявление утечек средствами СВНС возможно при диаметре утечки не менее 15% от диаметра газопровода. Это связано с тем, что работа СВНС основана на показаниях датчиков давления, изменения в которых при малых объёмах утечки происходят очень медленно или не происходят вовсе;

2) СВНС обеспечивает более раннее обнаружение утечек по сравнению со средствами телемеханики, выводя сообщение о нити и километре, на которых произошла утечка до срабатывания предупредительных уставок телемеханики;

3) точность обнаружения километра утечки при помощи параболического метода зависит от положения относительно линейных кранов и КЦ: наибольшая точность (порядка двух километров) возможна ближе к середине отрезка между кранами, в то время как утечки вблизи кранов и КЦ определяются с большей погрешностью.

Испытания показали, что в большинстве случаев СВНС обеспечивает раннее обнаружение НС, причем, если средства телемеханики дают лишь информацию об изменении показаний конкретного датчика, СВНС выдаёт диспетчеру более полную информацию о НС, определяет её тип и место.

СВНС является начальным этапом создания системы поддержки принятия решений (СППР), которая обеспечит рекомендации диспетчеру по оптимальной локализации аварийных ситуаций, с применением используемых систем автоматики и телемеханики. Наличие СВНС или СППР на пункте управления поможет диспетчеру быстрее сориентироваться в случае возникновения нештатной ситуации и локализовать ее с минимальным ущербом для окружающей среды и газотранспортной системы.

Таблица 1. Вид матрицы прецедентов

№	dP1	dP2	Key	Описание (возможные ситуации)
1	0	1	1	Перемычка (МВ)
2	0	1	-1	Перемычка (СВ), кран (СВ)
3	0	-1	1	Кран (СВ), утечка (МВ), перемычка (МВ)
4	0	-1	-1	Кран (МВ), утечка (СВ), перемычка (СВ)
5	1	0	1	Кран (СВ), перемычка (МВ)
6	1	0	-1	Кран (МВ), перемычка (СВ)
7	1	1	1	Перемычка (ВВ)
8	1	1	-1	Невероятное событие
9	1	-1	1	Кран (ВВ)
10	1	-1	-1	Кран (СВ), утечка (МВ), перемычка (МВ).
11	-1	0	1	Утечка (МВ), перемычка (МВ).
12	-1	0	-1	Кран (МВ), утечка (СВ), перемычка (МВ).
13	-1	1	1	Невероятное событие
14	-1	1	-1	Утечка(СВ), кран (ВВ)
15	-1	-1	1	Утечка (ВВ), перемычка (ВВ)
16	-1	-1	-1	Утечка (СВ)

Модернизация ПТС для ПТК ВУ АСУ ТП АЭС

А.Н. ПОЗДНЯКОВ, Э.Р. САМИНОВ,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Уже более 10 лет НИИИС производит и поставляет на российские и зарубежные АЭС различные ПТС с использованием практически неизменных технических и конструктивных решений.

Данная продукция продолжает пользоваться определенным спросом у заказчиков, однако существующие тенденции позволяют говорить о ее существенном моральном устаревании, касающимся, в первую очередь, рабочих станций и серверных систем.

Так, для РС модернизация обусловлена необходимостью:

– гибкости конфигурации РС в части конструктива, производительности, количества и типов каналов связи в зависимости от требований заказчика;

– повышения эргономических характеристик;

– возможности комплектования РС системными блоками и мониторами разных производителей;

– расширения доступа к диагностической информации для ПТК;

– повышения технологичности (снижения трудоемкости производства);

– снижения стоимости изделия.

Для УСУ требуется модернизация в части:

– повышения производительности;

– возможности резервирования вычислительной мощности в рамках единого конструктива;

– возможности автономного обслуживания устройства серверного унифицированного без привлечения дополнительных устройств;

– расширения доступа к диагностической информации для ПТК;

– снижения стоимости изделия.

Также необходимо отметить, что перспективные ПТК предполагают оптимизацию используемого при размещении устройств пространства. Этим, а также улучшением характеристик синхронизации, обусловлена необходимость включения в состав УСУ системы точного времени.

Решение для РС

Решение включает в себя следующие элементы:

- модульность;
- использование широкоформатных мониторов;
- смена вычислительной платформы;
- расширение системы самодиагностики.

Модульность

Модульность подразумевает возможность создания рабочих станций путем комбинации элементов:

– БКЕ – тумба с установленными электронно-вычислительными компонентами и столешница с размещенным на ней посредством кронштейна видеомонитором, основной элемент РС;

– ДКЕ – тумба и столешница с размещенным на ней посредством кронштейна видеомонитором;

– проставка – столешница с размещенным на ней посредством кронштейна видеомонитором, фиксируемая на конструктивных элементах БКЕ (ДКЕ).

Возможны следующие конфигурации:

– однодисплейная РС-БКЕ.

– двухдисплейная РС-БКЕ и ДКЕ.

– трехдисплейная РС-БКЕ и ДКЕ, соединенные проставкой, либо ДКЕ+БКЕ+ДКЕ.

– четырехдисплейная РС-ДКЕ и БКЕ, соединенные двумя элементами (БКЕ или проставка).

В зависимости от назначения, многодисплейная рабочая станция может быть дополнена МПКУ, либо выполняющим ее роль сенсорным видеомонитором из состава ТС ОДУ, интегрируемых в поверхность столешницы ДКЕ или проставки.

Такое конструктивное решение позволяет существенно упростить процесс конструирования и изготовления, а также повысить привлекательность для потребителя за счет широкого списка опций.

Визуализация трехдисплейного исполнения РС представлена на рис.1.

Использование широкоформатных мониторов

Отказ от производства ЖК-матриц формата 4:3 и 5:4 обуславливает необходимость отказа от видеомониторов с экранами вышеуказанных форматов и как следствие изменение конструктива рабочей станции в части адаптированного под вышеуказанный формат мониторов.

В рамках данного решения предполагается размещение видеомониторов на кронштейнах со стандартизированным креплением типа «VESA», который повышает эргономические характеристики РС (появляется ранее недоступная возможность регулировки наклона и поворота видеомонитора), а также позволяет расширить список потенциально используемых видеомониторов.

Промышленные мониторы, помимо высокой цены (до 15 раз по сравнению с непромышленным аналогом), имеют избыточную функциональность (в части устойчивости к ВВФ и ЭМС). В связи с вышеуказанным, в рамках данного решения предполагается использование видеомониторов офисного класса с расширенными характеристиками по устойчивости к ВВФ и ЭМС, экран которых должен иметь диагональ 24 дюйма и разрешение 1920x1080 пикселей.

Размер видеомонитора определен согласно максимально допустимой ширине – 600 мм (ширина стандартизированной тумбы).

Смена вычислительной платформы

Произошедший за последнее время рост вычислительной мощности процессоров, использование более высокоскоростных интерфейсов и как следствие увеличение требуемой величины пропускания информационной шины компьютерных систем обуславливают необходимость отказа от ранее используемых систем с PCI как не отвечающих современным требованиям. Данное решение для РС предполагает переход на промышленные компьютеры с шиной PCIe позволяющее:

– снизить стоимость РС за счет применения системных блоков на основе компонентов с шиной PCIe;

– использовать высокоскоростные подключения для периферийных устройств (например, подключение мониторов через DisplayPort);

– увеличить модернизационный потенциал рабочей станции в части вычислительных мощностей;

– упростить обслуживание и ремонт РС.

Таблица 1. Сравнение существующего и предлагаемого решения РС

Характеристика	РС-2Б4	РС-М
Процессор Частота	Core2Duo 1,8 GHz	Core i7 3,4 GHz
ОЗУ, объем	4 ГБ DDR3	До 8 ГБ DDR3
НЖМД, объем	500 ГБ	от 500 ГБ
Сетевые интерфейсы 100Base-FX 10/100/1000Base-T/TX 1000Base-SX	 2 шт. 2 шт. -	 Общее количество каналов различных спецификаций до 10 шт.
Системная шина Скорость обмена	cPCI 1 Гб/с	PCIe Более 2,5 Гб/с
Видеомонитор Кол-во: Диагональ: Разрешение:	Kontron 2 шт. 21” 1600x1200	Dell До 4 шт. 24” 1920x1080
Диагностика:	Только при включенном системном блоке	Также при выключенном системном блоке
Мощность потребления	не более 600 ВА	
Мониторный кожух	+	-
Разнесенное исполнение	-	+
Средняя стоимость материалов	1.7 млн руб.	< 1 млн руб.

Таблица 2. Сравнение существующего и предлагаемого решения УСУ

Характеристика	УСУ-2Б4	УСУ-М
Блок системный Количество	HP rx6600 1	DELL R820 2
Процессор* Количество Ядра Частота	Itanium 1 2 1,6 GHz	Xeon до 4 до 8 2,3 GHz
ОЗУ, объем	8ГБ	До 2 ТБ
НЖМД, Количество Объем	 6 300 ГБ	 до 12 600 ГБ
Сетевые интерфейсы 1000Base-SX 100Base-FX	 До 10 -	 До 14 До 8
Таймсервер	-	КОМСЕТ ССВ-1Г ГЛОНАСС/GPS
KVM консоль	-	17”
Диагностика:	Только при включенном системном блоке	Также при выключенном системном блоке
Мощность потребления	не более 2200 ВА	
Средняя стоимость материалов	3,5 млн.	от 2,2 млн.

Расширение системы самодиагностики

Учитывая существующие тенденции в максимизации автоматизации процессов, а также принимая во внимание неоднократно высказанные пожелания заказчиков, данное решение предполагает подключение МКБ и ИБП к ЛВС через диагностируемые коммутаторы, что позволяет улучшить возможность диагностики системы, в том числе и при выключенном/неработоспособном системном блоке.

Сравнение существующего и предлагаемого решений

Сравнение отдельных характеристик РС, построенной на существующем (на примере РС-2Б4) и предлагаемом решении, приведено в таблице 1.

Из таблицы видно, что РС, построенная на основе предлагаемых решений, имеет более высокие характеристики и отвечает обозначенным ранее требованиям по модернизации

Решение для УСУ

Решение включает в себя следующие элементы:

– универсальность и резервирование;

– смена производителя системных блоков;

– добавление системы точного времени;

– добавление средств автономной диагностики;

– расширение системы самодиагностики.

Универсальность и резервирование

Настоящее решение предполагает использование двухмашинной конфигурации с перекрестным резервированием по питанию. Данный подход позволяет:

– реализовать все многообразие выпускаемых ПТК на едином решении, что обеспечит снижение стоимости производства и упростит эксплуатацию АСУ ТП в целом;

– обеспечить возможность резервирования вычислительной мощности в едином конструктиве и таким образом уменьшить количество ПТС в составе ПТК (особенно актуально в современных проектах, имеющих существенные ограничения по возможностям размещения).

Смена производителя системных блоков

Используемые в производимых институтом УСУ блоки системные ф. HP с процессором Intel Itanium имеют высокую стоимость, морально устарели и не отвечают современным требованиям. Предлагаемое решение подразумевает использование многопроцессорных решений ф. DELL на основе последнего поколения процессоров Intel Xeon. Данный переход позволяет:

– существенно снизить стоимость УСУ (решения ф. DELL имеют на 30% меньшую стоимость по сравнению с аналогами от ф. HP);

– при значительном увеличении показателей производительности (применение более современных и высокоскоростных компонентов);

– улучшить показатели по климатической устойчивости (решения ф. DELL, имея аналогичный диапазон рабочих температур +10 – +35°С, допускают возможность использования до 10% рабочего времени при температуре до 40°С).

Добавление системы точного времени

Настоящее решение учитывает вышеуказанную потребность в добавлении в состав УСУ системы синхронизации времени и включает в себя:

– сервер синхронизации времени ГЛОНАСС/GPS с поддержкой выдачи сигналов точного времени по NTP, PTP, TTL;

– двухдиапазонную антенну с грозозащитой;

– набор конверторов для преобразования и последующей выдачи информационных пакетов с метками времени различных стандартов.

Добавление средств автономной диагностики

Данное решение предполагает добавление в состав УСУ консоли с KVM-переключателем, позволяющее существенно упростить и ускорить процесс настройки, обслуживания и диагностики по месту узлов и элементов ПТС без привлечения дополнительного оборудования из состава КСА.

Расширение системы самодиагностики

Учитывая существующие тенденции в максимизации автоматизации процессов, а также принимая во внимание неоднократно высказанные пожелания заказчиков, данное решение предполагает подключение МКБ и ИБП к ЛВС через диагностируемые коммутаторы, что позволяет улучшить возможность диагностики системы, в том числе и при выключенных/неработоспособных системных блоках.

Сравнение существующего и предлагаемого решений

Сравнение отдельных характеристик УСУ, построенного на существующем (на примере УСУ-2Б4) и предлагаемом решении, приведено в таблице 2.

Из таблицы видно, что УСУ, построенное на основе предлагаемых решений, имеет более высокие характеристики и отвечает обозначенным ранее требованиям по модернизации.

Построенные на основе предлагаемых решений опытные образцы ПТС на настоящий момент находятся в производстве, проводится подготовка к натурным испытаниям на устойчивость к ВВФ и ЭМС.

Предполагается использование построенных на основе выработанных решений ПТС в составе ПТК ВУ АСУ ТП Белорусской АЭС, АЭС «Ханкикиви», АЭС «Аккую» и других российских и зарубежных АЭС.

Также возможно применение рабочих станций и серверов в качестве основы клиент-серверного решения для АСУ ТП будущих поколений.

Рис.1. Трехдисплейная РС

Архитектура управляющей системы безопасности на базе КСА ТПТС-СБ для проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ

К.П. АРТЕМЬЕВ, ФГУП «ВНИИА»

Основными задачами управляющей системы безопасности (УСБ) являются измерение технологических параметров, их логическая обработка с целью выявить приближение и возникновение аварийной ситуации, выдача команд на механизмы, выполняющие защитные действия и представление информации о состоянии управляемого оборудования и исполнении заданных алгоритмов. Управляющая система безопасности связана с управляющей системой нормальной эксплуатации (УСНЭ), а именно:

- информация, присутствующая в УСБ, может использоваться в алгоритмах, реализуемых УСНЭ;
- исполнительные механизмы системы безопасности могут управляться системой нормальной эксплуатации, некоторые участвуют в алгоритмах нормальной эксплуатации.

При отказе, даже полном, управляющей системы безопасности энергоблок АЭС может быть остановлен, переведен в безопасное состояние и поддерживаться в этом состоянии сколь угодно долго только средствами системы нормальной эксплуатации. При полном отказе управляющей системы нормальной эксплуатации аналогичная задача может быть выполнена с использованием только управляющей системы безопасности.

Отказ по общей причине УСБ и УСНЭ должен быть минимизирован. Это свойство программно-технического комплекса (ПТК) автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) может быть достигнуто, если программно-технические средства УСНЭ и УСБ не имеют общих видов отказов системного характера.

Система должна отвечать требованиям концепции по защите в глубину, согласно которой:

- система нормальной эксплуатации удерживает энергоблок в проектных пределах;
- система предупредительных защит возвращает энергоблок в проектные пределы;
- система безопасности осуществляет останов блока, локализацию и поддержание энергоблока в безопасных пределах;
- поддержание энергоблока в подкритическом состоянии при тяжелых запроектных авариях возможно сколь угодно длительное время.

Логическая структура программно-технического комплекса АСУТП атомной станции, отвечающая принципу единичного отказа, приведена на рисунке 1.

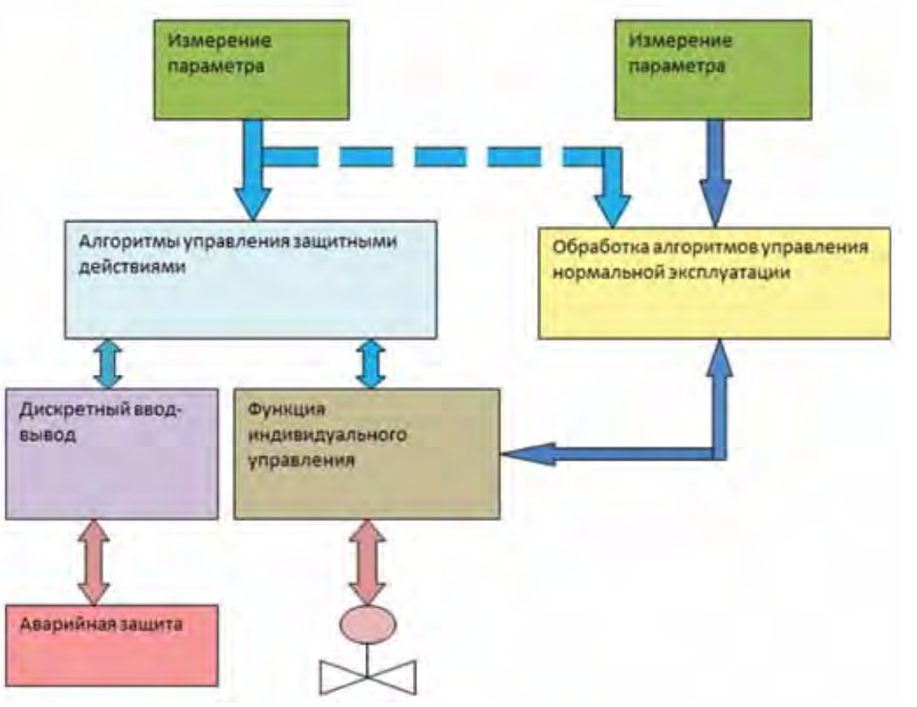


Рис. 1. Логическая структура комплекса управляющей системы безопасности. Взаимодействие с системами нормальной эксплуатации

Логическая структура отвечает следующим требованиям:

- результаты измерений, выполняемых в управляющей системе безопасности, должны быть доступны для алгоритмов, реализуемых в системе нормальной эксплуатации;
- исполнительные механизмы систем безопасности могут управляться также по командам, формируемым в системах нормальной эксплуатации.

С целью снижения вероятности отказа по общей причине (ООП) в аппаратуре ТПТС-СБ учитываются:

- требования по стойкости к внешним воздействующим факторам при разработке и испытаниях аппаратуры;
- требования независимости, согласно которым предусматривается физическое и гальваническое разделение СНЭ и УСБ;
- требования к независимости каналов и независимости диверситетов в канале.

В настоящее время широко обсуждается вопрос о необходимости обеспечить защиту УСБ от отказов по общей причине, прежде всего связанных со скрытыми ошибками в программном обеспечении. Как один из способов защиты – применение принципов разнообразия.

Применение аппаратуры ТПТС-СБ обеспечивает реализацию трех из шести возможных принципов разнообразия:

разнообразие оборудования;

- человеческое разнообразие;
- программное разнообразие.

Остальные принципы разнообразия реализуются проектным путем.

В аппаратуре ТПТС-СБ принципы разнообразия реализуются за счет применения различных программно-аппаратных средств.

В диверситетах системы безопасности А и Б и СНЭ применяются различные процессорные платформы, применяются различные среды разработки и средства отладки. Разработку базового программного обеспечения ведут различные группы программистов.

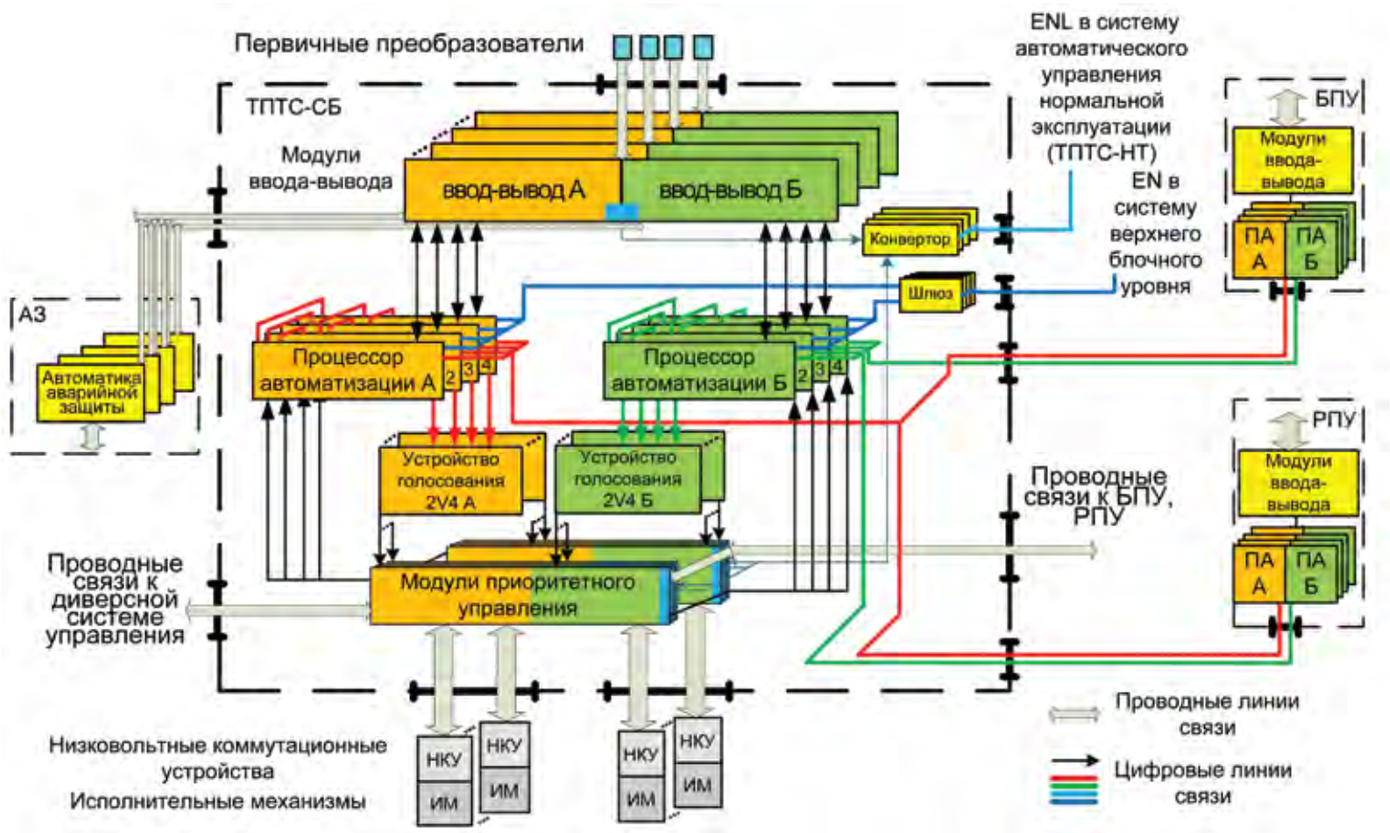


Рис. 2. Структурная схема ТПТС-СБ

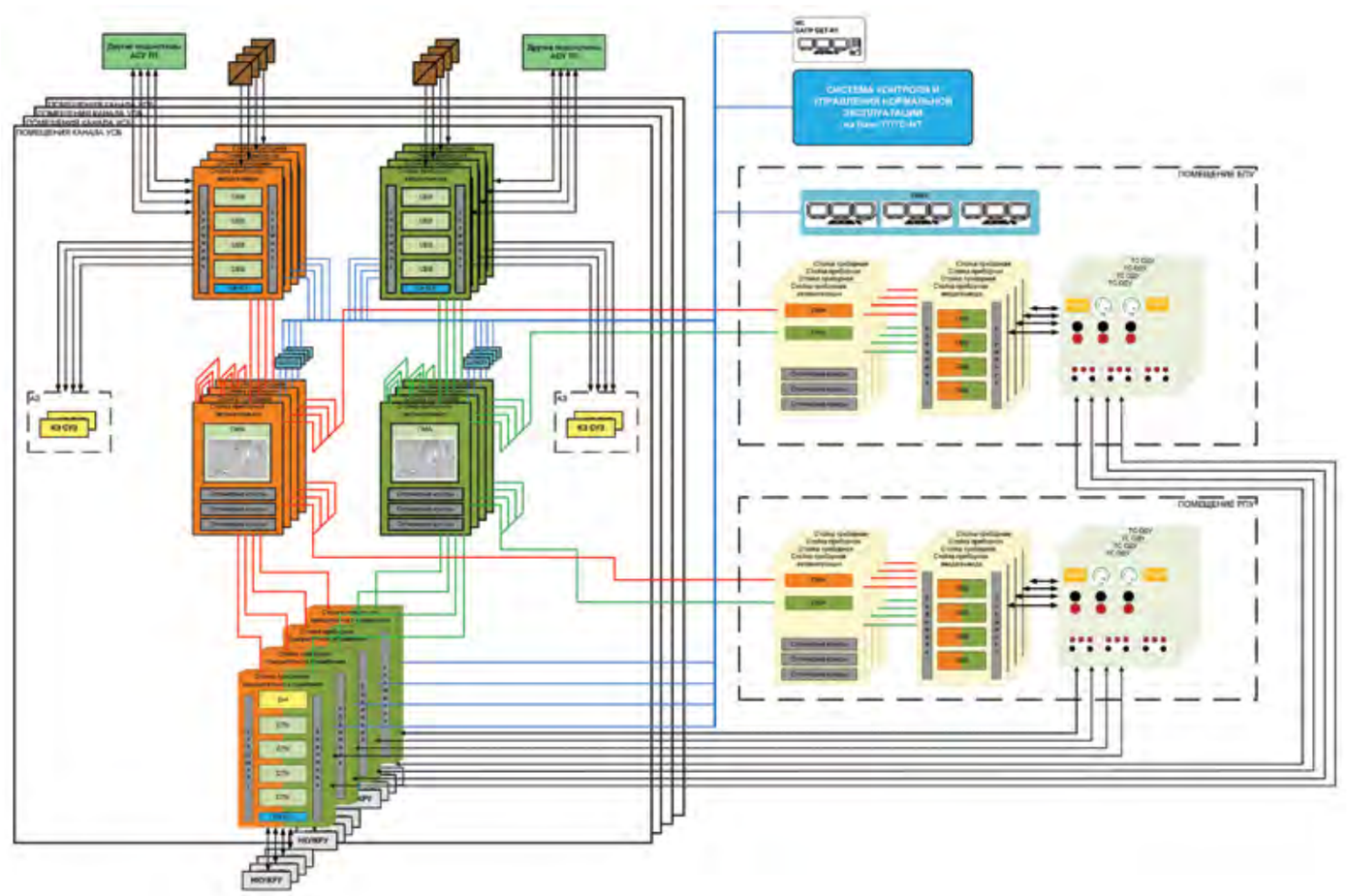


Рис. 3. Структура одного канала УСБ ЛЕН АЭС-2

Обобщенная структурная схема ТПТС-СБ показана на рисунке 2.

На схеме показаны функции ввода-вывода сигналов, приоритетного управления, связь с БПУ/РПУ, связь с СНЭ.

В составе модуля приоритетного управления исполнительными механизмами предусмотрены:

- раздельные и логически независимые узлы функций индивидуального управления по командам от диверситетов А и Б инициирующей части УСБ и командам от панелей безопасности;
- отдельная функция индивидуального управления (функция нормальной эксплуатации), не зависящая от логики работы функций, работающих по командам управления защитными действиями от диверситетов А и Б;
- аппаратная логика приоритетов, пропускающая команды задачи нормальной эксплуатации в отсутствие команд и сигналов запрета, поступающих от диверситетов А и Б;
- раздельные и логически независимые узлы приема-передачи сигналов в инициирующую часть УСБ диверситетов А и Б (цифровые каналы связи);
- аппаратные входы и выходы для приема команд дистанционного управления и формирования сигнализации о состоянии исполнительных механизмов.

Построение программно-технического комплекса УСБ на базе аппаратуры ТПТС-СБ рассмотрено в рамках проектов ЛЕН АЭС-2 и НВО АЭС-2.

Для проекта ЛЕН АЭС-2 в проекте выбран вариант «1 датчик в канале на 1 комплект».

На рисунке 3 показана структура одного канала УСБ с двумя комплектами аппаратуры ТПТС-СБ в пределах одного помещения. Стойки приборные ввода сигналов с датчиков (других подсистем) и выдачи сигналов в другие подсистемы взяты в количестве двух штук на комплект. Стойки приборные ввода-вывода в количестве двух штук используются для информационного обмена с панелями БПУ (1 стойка) и РПУ (1 стойка). Количество стоек приоритетного управления выбрано 8.

В составе стоек приоритетного управления и ввода-вывода имеются контроллеры нормальной эксплуатации (НЭ) для обеспечения задач НЭ, таких как автоматическое управление исполнительными механизмами по командам НЭ, информационный обмен с СВБУ, диагностика измерительных каналов и исполнительных механизмов и т.д.

Для проекта НВО АЭС-2 в проекте выбран вариант «1 датчик в канале на 2 комплекта».

На рисунке 4 показана структура одного комплекта УСБ с тремя каналами аппаратуры ТПТС-СБ в пределах одного помещения. Стойки приборные ввода сигналов с датчиков (других подсистем) и выдачи сигналов в другие подсистемы. Стойки приборные ввода-вывода в количестве двух штук используются для информационного обмена с панелями БПУ (1 стойка) и РПУ (1 стойка).

В составе стоек приоритетного управления и ввода-вывода имеются контроллеры НЭ для обеспечения задач НЭ, таких как автоматическое управление исполнительными механизмами по командам НЭ, информационный обмен с СВБУ, диагностика измерительных каналов и исполнительных механизмов и т. д.

Интегрированная УСБ на базе КСА ТПТС-СБ обеспечивает следующие преимущества:

- гибкость при построении структуры УСБ, включая возможность подключения дополнительного диверситета на жесткой логике. Это в свою очередь обеспечивает выполнение как российских, так и зарубежных требований по безопасности, в том числе в части защиты в глубину;
- выполнение всех функций безопасности с защитой от отказа по общей причине без увеличения объема оборудования;
- принцип разнообразия на каждом этапе выполнения функций УСБ, что гарантирует выполнение функции при единичном отказе, в том числе, при отказе по общей причине;
- 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.

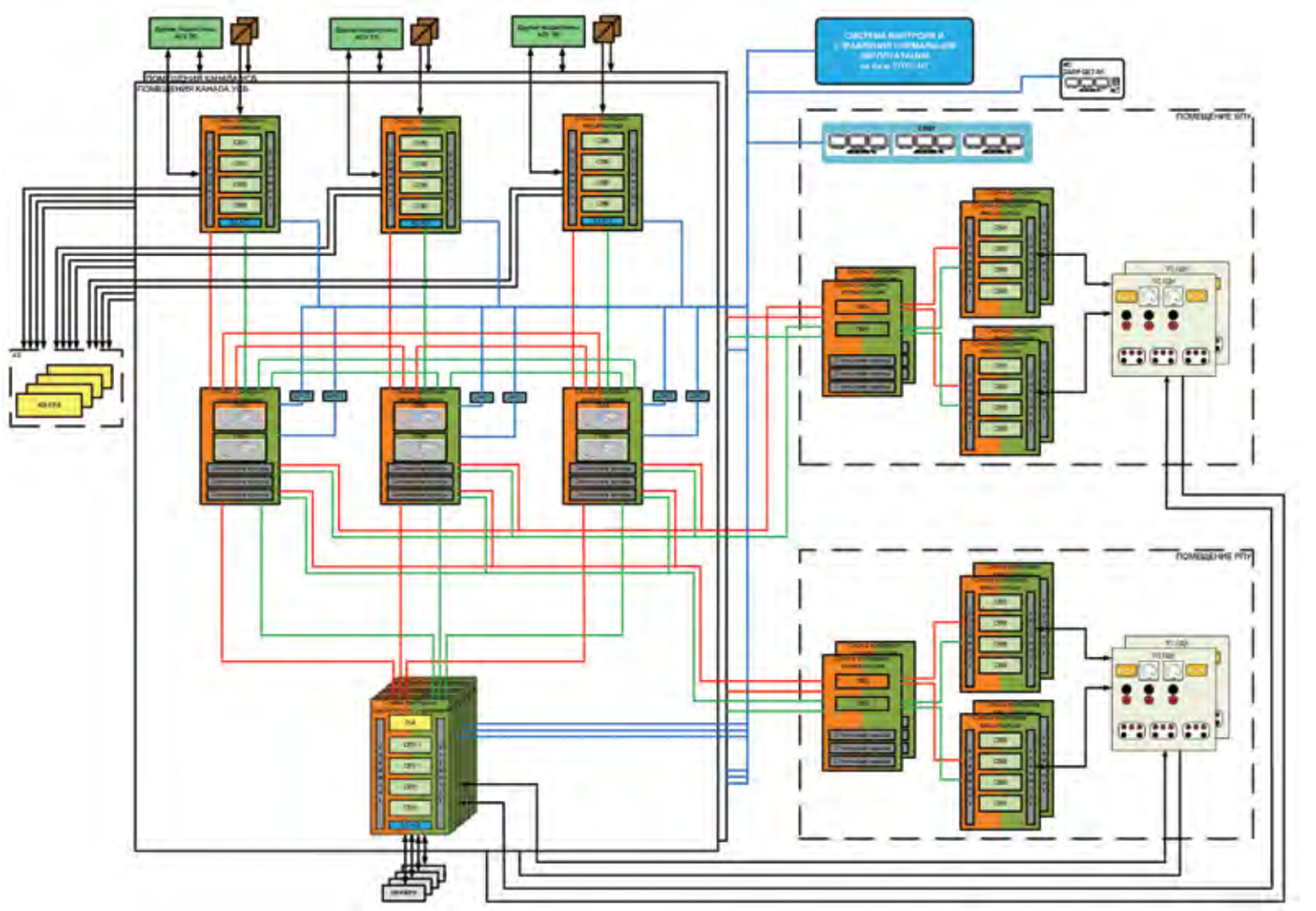


Рисунок 4. Структура одного канала УСБ НВО АЭС-2

Особенности разработки электронных инструкций для эксплуатационных процедур

Л.Н. НЕУСТУПКИНА, Е.П. ОБРАЗЦОВ, А.Э. ШИРВАНЯНЦ, ОАО «Атомпроект»

На данный момент на АЭС РФ при вводе технологических систем в работу или при переводе энергоблока из одного состояния в другое используются бумажные версии документации. Количество такой документации при пуске блока значительно, и она находится на столе у оперативного персонала.

Разработка и внедрение электронных инструкций (ЭИ) позволяет повысить эффективность работы оперативного персонала и исключить ошибки, связанные с человеческим фактором.

В настоящее время ведется работа по разработке пилотного проекта ЭИ для режима пуска АЭС на примере АЭС-2006: разработаны общие проектные решения по представлению ЭИ на АРМ пунктов управления и контроля, разработаны схемы для режимов «Разогрев», «Переход на МКУ», «Переход на мощность».

Создание электронной инструкции (ЭИ)

ЭИ представляют собой структурированный комплекс взаимосвязанных технических данных, предназначенный для предоставления в интерактивном режиме справочной и описательной информации об эксплуатационных и ремонтных процедурах, связанных с конкретным изделием.

Процесс создания ЭИ включают в себя:

– создание базы данных входящих в нее информационных модулей, с системой кодирования, соответствующей принятой в проекте;

– выбор системы отображения ЭИ, удовлетворяющей требованиям европейского стандарта на подготовку электронной эксплуатационной документации AESMA 1000D и ГОСТ Р ИСО 10303, ГОСТ Р 50.1-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции», с задачами:

– создания шаблона электронной инструкции, предназначенного для визуализации информационных модулей ЭИ;

– обеспечения интерактивного взаимодействия с пользователем;

– системы редактирования информационных модулей ЭИ.

Назначение электронных инструкций

ЭИ пунктов управления и контроля АЭС предназначены для решения следующих задач:

– обеспечение оперативного персонала соответствующим, для решения конкретной технологической задачи, содержанием правил эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования, а также предупреждения и локализации аварии;

– обеспечение справочным материалом об устройстве и принципах работы оборудования, входящего в соответствующую функциональную технологическую группу;

– обеспечение оперативного персонала справочными материалами, необходимыми для эксплуатации оборудования, выполнения регламентных работ и ремонта, потребности в необходимых инструментах и материалах;

– планирование и учет проведения регламентных работ.

Состав электронных инструкций

- Регламенты по безопасной эксплуатации энергоблока АЭС, связывающие требования к реализации режимов НЭ (нормальной эксплуатации), функций безопасности, локальных общеблочных (станционных) функций и задач в их технологической взаимосвязи;
- окончательное обоснование обеспечения безопасности (ООБ);
- регламенты по эксплуатации локальных технологических функций (АСРК, АСХК, водоподготовки), локальных инструкций по эксплуатации РУ, ТУ;
- инструкции по эксплуатации технологических систем;
- инструкции по эксплуатации и обслуживанию отдельного оборудования;
- правила проведения регламентных технологических операций (анализы, испытания и т. п.);
- инструкции реагирования на сигнал;
- нормативные требования по эксплуатации, периодическим осмотрам и ремонтам.

Планы по разработке и внедрению электронных инструкций

Пилотную версию электронной инструкции «Режим пуска АЭС на примере АЭС-2006» планируется отработать на программно-техническом комплексе «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (ПТК «ВЭБ»), предназначенном для проверки проектных решений АЭС-2006.

Рассматривается возможность отработки ЭИ на тренажере для оперативного персонала Ленинградской АЭС.

Возможно включение ЭИ в типовой проект «АЭС-2006».

Автоматизация ультразвукового неразрушающего контроля тонкостенных криволинейных изделий

Р.Р. ИСХУЖИН, В.Г. АТАВИН, А.А. УЗКИХ, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академ. Е.И. Забабахина»

УЗ неразрушающий контроль тонкостенных изделий, в том числе сварных соединений, является актуальной задачей и востребован в настоящее время в производстве дорогостоящих ответственных узлов. Стандартизованные методы УЗ контроля не распространяются на УЗ контроль сварных соединений толщиной стенки изделия менее 3 мм [1, 2]. Выполнение контроля тонкостенных изделий осуществляется с применением специальных УЗ систем, разрабатываемых под конкретные типы конструкций. Уровень автоматизации средств анализа волновых процессов в материалах объектов контроля, а также возможность автоматизированной интерпретации сложных волновых диаграмм в дефектограммы контролируемых изделий значительно определяют объективность и достоверность результатов контроля.

Методы УЗ контроля тонкостенных изделий основаны на применении объемных поперечных волн и волн Лэмба [1]. Возбуждение и прием волн при этом обычно осуществляется в иммерсионной среде методом наклонного падения УЗ пучка. В качестве источника и приемника УЗ волн применяются фокусирующие преобразователи, обеспечивающие высокую разрешающую способность дефектоскопии (≈ 0,1 мм).

Процессы возбуждения и распространения УЗ волн в условиях иммерсионного контроля достаточно точно описываются с помощью прямолинейной упругой изотропной пластины толщиной d, со скоростью продольных волн C_l и поперечных волн C_t (рис. 1, слева). Пластина помещена в жидкость, имеющую скорость распространения продольных волн $C_{ж}$. Из жидкости на участок поверхности пластины под некоторым углом α падает продольная плоская монохроматическая волна.

В результате падения волны из жидкости на поверхность пластины в общем случае возникают: отраженная продольная волна в жидкости, продольная и поперечная волны в пластине. При определенных соотношениях толщины пластины и частоты падающей волны, вследствие переотражений возбужденных в пластине объемных волн (рис. 1, справа), в пластине возбуждаются распространяющиеся волны Лэмба – нормальные волны вертикальной поляризации [3-5].

Волны Лэмба имеют компоненты смещений U_x и U_z и подразделяются на две группы по типу движений: симметричные S-волны (рис. 3, слева), в которых смещения U_x относительно плоскости $z=0$ имеют одинаковые знаки, а смещения U_z – противоположные; антисимметричные a-волны (рис. 3, справа), в которых смещения U_x относительно плоскости $z=0$ имеют противоположные знаки, а смещения U_z – одинаковые.

Кроме типа движений (симметричные и антисимметричные), волны Лэмба подразделяются на моды, имеющие собственные частотные зависимости волновых чисел, скоростей и смещений по толщине материала. На рис. 4 приведены графики зависимостей от частоты групповых скоростей мод волн Лэмба $a0$-$a2$ и $s0$-$s2$ для титановой пластины толщиной 0,8 мм. Кружками на графиках обведены расчетные области максимальной амплитуды смещений в модах, вычисленной с использованием зависимостей [3].

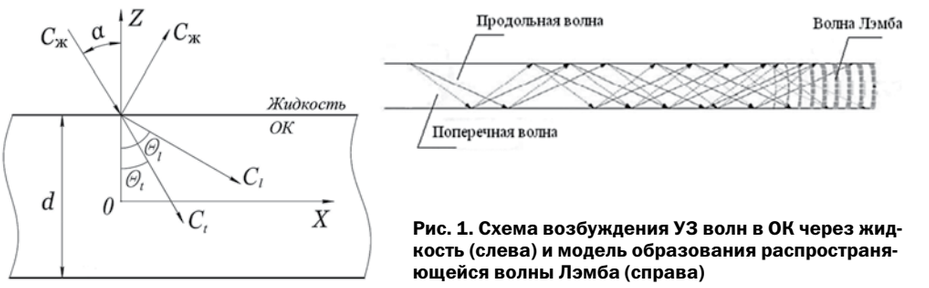


Рис. 1. Схема возбуждения УЗ волн в ОК через жидкость (слева) и модель образования распространяющейся волны Лэмба (справа)

Рис. 3. Модель распределения смещений в низших симметричной $s0$ (слева) и антисимметричной $a0$ (справа) модах волн Лэмба

Теоретические частотные зависимости волн Лэмба используются для предварительного анализа волноводных свойств ОК и последующей идентификации мод, регистрируемых при проведении экспериментальных исследований. Фактическое амплитудно-частотное распределение мод волн Лэмба, позволяющее сделать оценки при выборе информативной моды УЗ контроля, получают с использованием преобразователей со стандартными центральными частотами (1,0 МГц; 2,25 МГц; 3,5 МГц; 5,0 МГц и т. д.). При этом экспериментальные исследования на плоских образцах могут быть проведены с использованием линейных фазированных антенных решеток (ФАР). ФАР позволяет формировать волновые пакеты объемных волн, падающих на поверхность образца под переменным углом. Высокая скорость изменения угла падения возбуждающих волн позволяет наблюдать различные моды волн Лэмба в составе единой волновой диаграммы. Идентификация волн Лэмба на волновой диаграмме (ФАР) осуществляется с помощью теоретических зависимостей времени прихода волн от угла их возбуждения.

На рис. 5 приведена частотно-угловая диаграмма возбуждения волн Лэмба в титановой пластине толщиной 0,8 мм через плексигласовую призму. На той же диаграмме показаны экспериментальные значения максимальных амплитуд УЗ волн Лэмба и поверхностных волн в волновом пакете, измеренные с помощью ФАР. На диаграмме около экспериментальных значений максимальных амплитуд указаны соответствующие коэффициенты усиления дефектоскопа и центральные частоты ФАР.

Из результатов измерений, проведенных с помощью ФАР, следует, что максимальной амплитудой смещений в титановой пластине толщиной 0,8 мм характеризуется волновой пакет, состоящий из моды $a0$ и поверхностной волны. Среди волн Лэмба максимальной амплитудой смещений обладает мода $s0$ при возбуждении на частоте 2,25 МГц и угле падения 27°. Возможность возбуждения «чистой» моды (без наложения поверхностной волны) с наибольшей относительной амплитудой, позволяет сделать вывод об оптимальности использования моды $s0$ в качестве информативной волны для рассмотренного случая.

На основании теоретического и экспериментального (ФАР) анализа волновых процессов в материалах ОК выбираются информативные типы волн и определяются амплитудные, частотные и угловые характеристики их возбуждения. Полученные на прямолинейных образцах экспериментальные данные могут быть непосредственно использованы в УЗ контроле прямолинейных объектов, например, листовых заготовок или конструкций.

Однако в практике высокотехнологичного производства наиболее актуален и востребован УЗ контроль криволинейных изделий, особенно криволинейных сварных соединений.

В лаборатории НК накоплен значительный опыт разработки средств и методов УЗ контроля тонкостенных криволинейных изделий. Исходя из опыта работы с данными ОК можно выделить основные осложняющие факторы, требующие применения специальных средств:

1) криволинейность поверхности ОК и некоторый угловой диапазон (≈15°) возбуждения

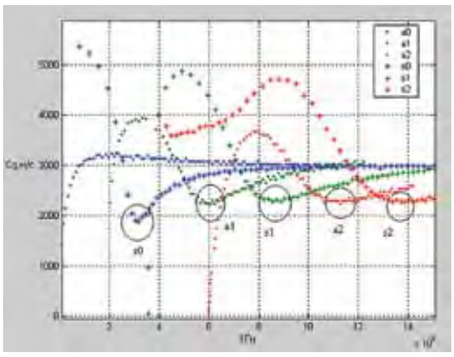


Рис. 4. Графики частотных зависимостей групповых скоростей мод *a0-a2* и *s0-s2* для титановой пластины толщиной 0,8 мм (кружками обведены расчетные области максимальной амплитуды смещений в модах)

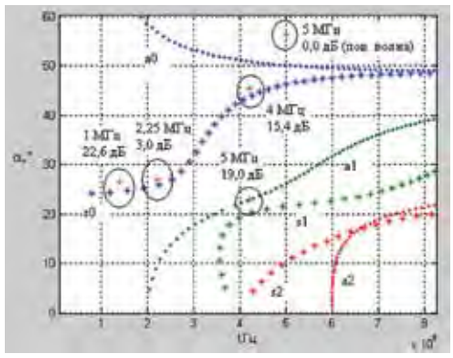


Рис. 5. Частотно-угловая диаграмма возбуждения волн Лэмба в титановой пластине толщиной 0,8 мм через плексигласовую призму (крестиками в кружках показаны экспериментальные значения максимальных амплитуд УЗ волн в волновом пакете)

волн фокусирующими преобразователями создают условия для появления нескольких типов (паразитных) волн;

2) крупнозернистость структуры материала в зоне сварного шва является источником повышенного уровня структурных шумов;

3) вогнутость сварных швов часто являться источником ложных отраженных сигналов.

Вследствие указанных причин совокупный отраженный волновой пакет, как правило, имеет в своем составе сигналы нескольких типов волн, приходящих одновременно. Понятно, что подобный волновой пакет не может быть интерпретирован оператором только с помощью традиционных временных селекторов (стробов), что ограничивает применение стандартных универсальных дефектоскопов в УЗ контроле тонкостенных сварных соединений.

Эффективная система УЗ контроля тонкостенных криволинейных сварных соединений должна включать в себя механизированные устройства сканирования ОК, аппаратуру возбуждения и приема УЗ волн в широком диапазоне частот и, главное, программные средства частотно-временного разложения волновых пакетов и селекции сигналов одновременно как по времени, так и по частоте. Наиболее широкое применение в реализации подобных средств обработки сложных волновых пакетов в реальном времени имеет алгоритм непрерывного вейвлет преобразования [6]:

$$W_{nm} = \sum_{k=1}^{N} \hat{S}_k \hat{g}^* \left(\frac{f_k'}{f_m} \right) e^{2\pi i k n / N},$$

где $n=1...N$ и k – индексы временной оси; $m=1...M$– индекс частной оси; W_{nm} – вейвлет-спектр сигнала; $\hat{S}_k$– Фурье-спектр исходного сигнала; f_m – частота; $f_k'=k\gamma / N$; γ– частота дискретизации; *– комплексное сопряжение;

$$\hat{g}(\omega) = \sigma\sqrt{2\pi} e^{-(\omega-2\pi)^2\sigma^2/2}$$

– Фурье-спектр материнского вейвлета Морле; σ – параметр вейвлета.

Применение данного алгоритма позволяет фильтровать сигналы УЗ волн, отраженных от дефектов, и фиксировать их амплитуду в качестве информативного параметра.

Специалистами лаборатории НК разработано несколько систем УЗ контроля тонкостенных объектов. Ядром этих систем является дефектоскоп «Контроль 1», состоящий из аппаратной части, выполненной в виде отдельного блока и программного комплекса, функционирующего на базе стандартных ПК. Разработанные устройства сканирования позволяют выполнять УЗ контроль тонкостенных объектов в виде труб диаметром от 5 мм до 50 мм и сферических оболочек диаметром от 10 мм до 200 мм. Системы УЗ контроля на базе дефектоскопа «Контроль 1» прошли апробацию и показали достаточно хорошие результаты при выполнении УЗ контроля тонкостенных (0,3 мм) шовных труб малого диаметра (7,8 мм) из сплава ПлРд-20 и сварных соединений тонкостенных (0,4 мм – 3,0 мм) сферических оболочек.

Одним из наиболее показательных результатов применения разработанной системы является УЗ контроль глубины провара сварного соединения полусфер, со ступенчатой формой разделки стыка (рис. 6). Толщина материала контролируемого изделия составляет f=0,4 мм, при этом глубина провара должна быть обеспечена не менее $H_{ПР}$=0,2 мм.

На рис. 7 приведены экспериментальные результаты сопоставления фактической глубины провара сварного шва, полученной по данным металлографического анализа, и амплитуды (А) информативного УЗ сигнала.

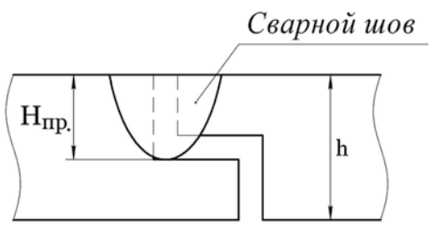


Рис. 6. Схема контролируемого сварного соединения

В результате обработки статистических данных среднеквадратическое отклонение линейной корреляционной зависимости составило 0,012 мм при коэффициенте корреляции 0,93. Полученная точность измерений, необеспечиваемая другими средствами неразрушающего контроля, показывает высокую эффективность разработанной системы УЗ контроля.

Представленные разработки имеют важное значение в обеспечении качества ответственных тонкостенных изделий, выпускаемых предприятиями Росатома. Разработанные системы контроля на базе дефектоскопа «Контроль 1» планируются к внедрению на серийные предприятия, а также могут быть использованы лабораториями научно-исследовательских институтов и предприятиями энергетического комплекса. Дефектоскоп «Контроль 1» (аппаратное и программное обеспечение) прошел метрологическую аттестацию и утвержден как средство измерений приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 849 от 29.07.2013, о чем выдано свидетельство RU.E.27.086.A № 51762.

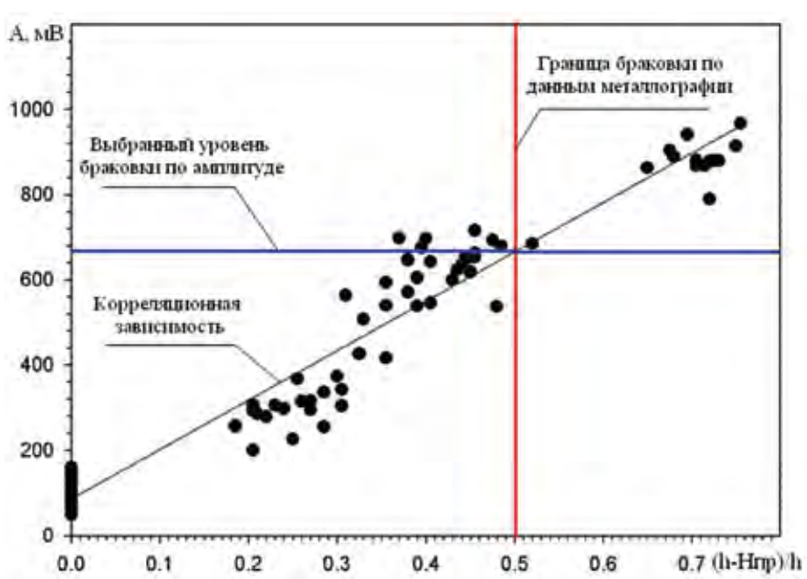


Рис. 7. Экспериментальные данные УЗ контроля сварного соединения

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т./ Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2008. – 864 с.: ил.

2. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 496 с., ил.

3. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. – 169 с.: ил.

4. Matt, Howard M. «Structural Diagnosis of CFRP Composite Aircraft Components by Ultrasonic Guided Waves and Built-In Piezoelectric Transducers». PhD Thesis, University of California, San Diego (USA), 2006.

5. Giurgiutiu Victor. «Structural Health Monitoring with Piezoelectric Wafer Active Sensors». Academic Press-Elsevier, San Diego, California (USA), 2008.

6. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. Пер. с англ. – М., Издательский дом «Вильямс», 2004.– 992 с., ил. – Парал. тит. англ.

Внедрение технологии прецизионного травления проводящих рисунков современных печатных плат на автоматизированном комплексе Kuttler

И.В. СКОБЕЛЕВА, Л.Н. СУЧКОВА, Т.П. ЛЮБИМОВА, ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Печатная плата – это диэлектрическое основание, пронизанное металлическими проводниками и металлизированными отверстиями. Она является основой, на которой создается вся радиоэлектронная аппаратура. В настоящее время современная аппаратура обретает всё меньшие размеры при выполнении все большего числа функций. При этом возрастают интеграция и миниатюризация электронных компонентов, что приводит к непрерывному увеличению плотности межсоединений печатных плат и в первую очередь к уменьшению ширины проводников и зазоров. Непрерывно растущая потребность в получении линий малой ширины является движущей силой для исследований, разработки и создания процессов и оборудования, отвечающих этим требованиям.

Цель данной работы – исследование влияния параметров травления на качество травления проводящих рисунков.

Теоретическая часть

Травление – одна из важнейших операций получения проводящего рисунка печатных плат. Перед травлением рисунок на фольгированном медью диэлектрике защищают травильным резистом: металлорезистом (обычно это гальваническое покрытие олово-свинец или гальваническое олово) или фотополимерной плёнкой (фоторезистом). Затем с участков, не защищенных травильным резистом, полностью удаляется медь в специальных травильных растворах – происходит травление проводящего рисунка. Химическая реакция, происходящая при этом, выглядит следующим образом:

$Cu + [Cu(NH_3)_4]^{2+} = 2[Cu(NH_3)_4]^{+}$

Диаминовый комплекс двухвалентной меди при взаимодействии с металлической медью восстанавливается и образуются два диаминовых комплекса одновалентной меди.

Наилучшим результатом травления является получение проводящего рисунка с номиналами, заданными в конструкторской документации. Эта непростая задача не может быть осуществлена в полной мере, т. к. во время травления неизбежно происходит подтравливание. При этом подтрав проводников (рис. 1) характеризуется величиной заужения ширины проводника после травления относительно его номинального значения (x) и называется боковым подтравливанием.

Рассмотрим, из чего складывается понятие качества травления. Его составляющие: фактор травления и равномерность травления.

1. Фактор травления равен отношению толщины фольги к величине бокового подтравливания (рис. 1). Как видно из формулы, чем выше фактор травления, тем меньше боковое подтравливание. А оно, в свою очередь, зависит от параметров травильного раствора. В щелочных медно-аммиачных травильных растворах это концентрация меди, температура, pH [1].

Рис. 1. Поперечное сечение проводника после травления, где F – фактор травления; t – величина бокового подтравливания; x – толщина травящейся меди

- Концентрация меди

Увеличение содержания меди в травильном растворе повышает скорость травления за счёт образования большего количества травящих ионов диаминового комплекса двухвалентной меди.

- Температура

Повышение температуры также приводит к увеличению скорости травления за счёт увеличения скорости перемещения травящих ионов. С учётом гарантированной устойчивости конструкционных материалов оборудования она должна быть не выше 55°С.

- Водородный показатель, pH.

В идеальных условиях травления диаминовый комплекс одновалентной меди [Cu(NH3)4]+, образованный в ходе реакции травления, образует на боковых стенках плёнку. Она выступает в качестве естественного ограничителя, защищающего боковые стенки от подтравливания. Однако, при наивысшем значении pH, плёнка в присутствии свободного аммиака и растворенного кислорода быстро растворяется. Как правило, это происходит при pH более 8,6 [2].

Для достижения наилучшего компромисса между наивысшей скоростью травления и наименьшей величиной бокового подтравливания необходимо учитывать и контролировать каждый из этих параметров.

2. Равномерность травления обеспечивается равномерным воздействием травильного раствора на всю поверхность травимой заготовки и обычно выражается в среднеквадратичном отклонении ширины проводника по всей поверхности. Равномерность травления зависит:

– от толщины стравливаемой меди. Чем больше толщина стравливаемой меди, тем меньше равномерность травления, т. е. разброс ширины проводников и зазоров может увеличиваться;

– от конструкции модуля травления. Равномерность распыления раствора травления обеспечивается типом форсунок, оптимизированным расположением форсунок на раме распыления и её осцилляцией. Рисунки 2 и 3 иллюстрируют зависимость фактора травления от конструкции форсунок и типа осцилляции рамы с форсунками.

Внедряемая установка травления травильного комплекса оснащена форсунками веерообразного типа (рис. 2, в) и вида осцилляции перпендикулярно движению конвейера (рис. 3, а). Форсунки расположены параллельно заготовке сверху и снизу. Эта система распыления позволяет достичь максимальной площади покрытия и равномерности травления при наименьшем количестве распыляемого на поверхность заготовки раствора. Уменьшение количества распыляемого раствора приводит к эффективному снижению количества лужиц на поверхности платы и повышает равномерность ширины стравливаемых проводников. При травлении распылением существует значительное различие в условиях обработки между верхней и нижней сторонами заготовки. При прохождении через камеру травления продукты травления и сам травитель задерживаются на верхней стороне заготовки. На нижней стороне эта проблема отсутствует, поскольку раствор сразу же падает вниз под действием силы тяжести. Чтобы уравнять скорости травления сверху и снизу, регулируют давления на верхних и нижних форсунках.

Рис. 2. Зависимость фактора травления от типа форсунок: а) F ~1,5; б) F~2,0; в) F~3,0

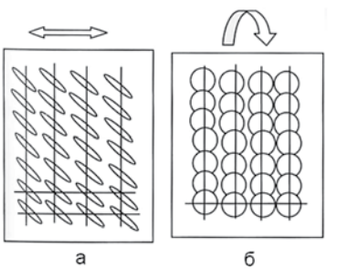


Рис. 3. Зависимость фактора травления от типа осцилляции: а) поперёк движения заготовки, F~4,0; б) вдоль движения заготовки, F~2,0

Используемый в установке травления и регенерации травильный раствор Al-Recycling-Etch принципиально соответствует известным щелочным медно-аммиачным травильным растворам. Используемый обычно хлорид меди здесь заменён на сульфат меди. Применение его даёт возможность осуществлять прямой электролиз травильного раствора, во время которого не выделяется ядовитый газ хлор. Совместная работа системы регенерации с травильной установкой позволяет осуществлять подачу на форсунки травильного раствора с постоянным химическим составом, поддерживаемым в автоматическом режиме. Технологическая схема процесса травления и регенерации приведена на рис. 4.

Регенерация травильного раствора состоит из двух циклов. В первом цикле выходящий травильный раствор из установки травления постоянно подвергается повторному восстановлению в модуле окисления. Одновалентные ионы меди, образующиеся при травлении, окисляются повторно до двухвалентных ионов путём поступления кислорода. Здесь же происходит подпитка газообразным аммиаком для под-

держания pH. Реакция, происходящая в модуле окисления, выглядит следующим образом:

$4[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 8NH_3 + O_2 + 2H_2O =$

$4[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4OH$

Во втором цикле регенерации происходит электролитическое осаждение излишков меди из раствора травления в электролизёре. В процессе электролиза выделяется кислород и газообразный аммиак. Установка регенерации сконструирована таким образом, что смесь из газообразного аммиака/кислорода возвращается в первый цикл регенерации, чтобы оптимизировать процесс травления и снизить расход газообразного аммиака из баллонов.

Экспериментальная часть

При внедрении травильного комплекса были решены следующие задачи:

1. Определение оптимальных и предельных значений параметров травильного раствора: pH, концентрация меди, температура.

Даже незначительные изменения параметров травления приводят к изменению качества травления. Чтобы обеспечить его стабильность на протяжении всего процесса, необходимо минимизировать колебания основных параметров. Были выбраны оптимальные значения каждого параметра: pH = 8,5, концентрация меди 100 г/л; температура 52°С. Травильный комплекс позволил поддерживать эти значения с точностью: pH раствора ±0,02, концентрация меди ±4 г/л, температура ±2°С, задавая тем самым предельные значения.

2. Обеспечение равномерности травления.

Установка травления оснащена системой раздельного управления давлением распыления на каждую распылительную трубку верхней рамы травления. В процессе проведения исследований было установлено давление на каждую распылительную трубку и сформирован индивидуальный профиль травления поперёк направления движения заготовки. Это дало возможность достигнуть максимального эффекта равномерности травления по всей поверхности заготовки.

Были проведены исследования по выбору давления подачи травильного раствора отдельно на верхнюю и нижнюю рамы распыления. На верхней раме оно составило 3,1 бар, на нижней – 0,95 бар. Увеличение давления сверху в комплексе с оригинальным расположением форсунок убирает «лужи» с верхней стороны заготовки, обеспечивая одинаковое травление меди с обеих сторон.

В результате формирования индивидуального профиля травления верхней рамы была получена равномерность травления по поверхности заготовки не более ±5 мкм (табл. 1). За счёт регулирования давления подачи на верхнюю и нижнюю рамы распыления разброс измерений ширины проводников одной стороны относительно другой составил всего 1,5 мкм.

3. Исследование влияния установленных параметров на качество травления печатных плат.

После установления параметров травления и регулировки давления были проведены исследования качества травления печатных плат на новом травильном комплексе.

Для исследования были выбраны заготовки габаритами 305х305 мм с различной толщиной фольги (12 мкм, 18 мкм, 35 мкм). Травление производили по фоторезисту и по металлорезисту. Задача: травить проводящий рисунок с размерами элементов 100 мкм с точностью не хуже ±10 мкм.

Так как в травильном комплексе химический состав, температура и pH подобраны и поддерживаются автоматически, то оптимальную скорость травления для каждой толщины фольги подбирали регулировкой скорости конвейера. Оптимальной считается та скорость, при которой получается четкий край рисунка без нависания травильного резиста над проводящими элементами рисунка или без выступания меди за край травильного резиста.

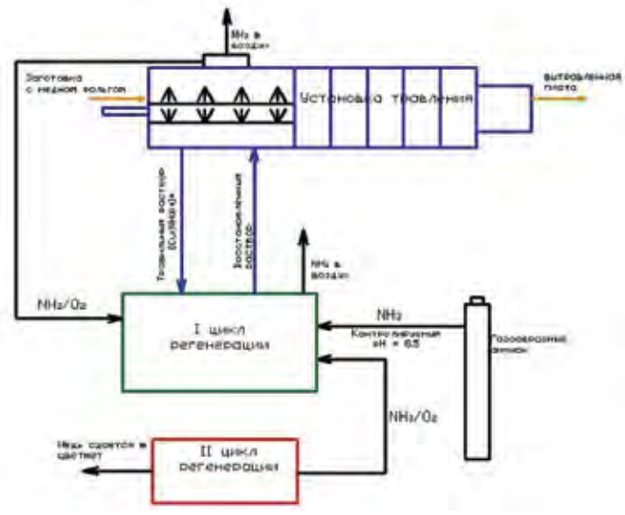


Рис. 4. Технологическая схема процесса травления и регенерации

Согласно литературным данным[2], фактор травления щелочных медно-аммиачных травильных растворов составляет около 5. Из полученных нами результатов (табл. 2) видно, что фактор травления в среднем приближается к высокому значению в среднем выше 5. Т. к. чем выше фактор травления, тем меньше боковое подтравливание, нам удалось добиться минимального бокового подтравливания. Для фольги 12 мкм оно составило 2-3 мкм, для 18 мкм – 3-5 мкм, для 35 мкм – 6-8 мкм. При таком высоком факторе травления получили минимальное боковое подтравливание. Оно составляет значительно меньше половины толщины стравливаемой меди, если рассматривать стандартные показатели.

При сопоставлении технических характеристик травильного комплекса с техническими характеристиками имеющейся в цехе установки травления E1000 TFS FLEX ф. Resco, качество травления установки Resco намного хуже по сравнению с травильным комплексом. Концентрация меди (от 90 до 130 г/л) и pH раствора (от 8,2 до 8,8) не поддерживаются, требуется постоянная ручная корректировка, постоянный подбор оптимальной скорости конвейера, заготовку необходимо пропускать через установку как минимум по два раза для получения равномерности травления.

Таким образом, с применением травильного комплекса удалось стабилизировать параметры травления (температура, pH, содержание меди, скорость травления), поддерживать их с максимально возможной точностью и тем самым стабилизировать и повысить качество травления.

В 2014 году в НИИИСе внедрён современный травильный комплекс, обладающий наилучшими характеристиками для данного класса оборудования. В нём предусмотрен замкнутый цикл: травление меди с заготовки и одновременное восстановление её в виде металла. Если раньше отработанные растворы сдавали сторонней организации и платили деньги за их утилизацию, то теперь при сдаче регенерированной меди платят институту. Кроме того, применен травильный раствор длительного срока работы – до трех лет, позволяющий экономить на закупке химикатов.

Применение сотрудниками НИИИС грамотной обвязки и герметизации всей системы травления позволяет возвращать выделенный при регенерации аммиак в систему травления, экономя расход сжиженного аммиака.

Хорошим результатом исследований и отработки режимов травления явилось повышение фактора травления и соответственно точности травления до ±5 мкм для проводников шириной 100 мкм. Это высокий показатель, позволяющий травить платы будущего – платы до 7 класса точности.

1. Медведев А. Печатные платы. Процессы травления рисунка. Технологии в электронной промышленности. 2013. № 8. С 28 – 32.

2. Смертина Т. Высокоточное травление. От теории к практике. Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3. С 12 – 19.

Таблица 1. Равномерность травления

Толщина фольги, мкм	Травильный резист	Сторона А			Сторона В		
		δср, мкм	σ, мкм	δ= δср ± 2σ	δср, мкм	σ, мкм	δ= δср ± 2σ
12	фоторезист	3,27	2,1	3,27±4,2	3,67	2,14	3,67±4,28
	металлорезист	6,3	1,63	6,3±3,26	5,6	1,18	5,6±2,36
18	фоторезист	4,86	2,16	4,86±4,32	5,53	2,42	5,53±4,84
	металлорезист	10,5	2,35	10,5±4,7	10,2	2,39	10,2±5,7
35	фоторезист	5,93	2,1	5,93±4,2	7,4	2,0	7,4±4,0
	металлорезист	16,0	2,0	16±4,0	16,5	2,23	16,5±4,97

Таблица 2. Величина бокового подтравливания и фактор травления

Толщина фольги, мкм	Травильный резист	Величина бокового подтравливания, мкм	Фактор травления
12	фоторезист	1,75	6,9
	металлорезист	3,2	5,3
18	фоторезист	2,7	6,6
	металлорезист	5	4,6
35	фоторезист	6,1	5,7
	металлорезист	8,1	4,9

Исследование и оптимизация централизованных систем холодоснабжения АЭС

А.А. КОВАЛЬЧУК, В.В. НИКИТИН, Ж.В. ПРУСОВА, ОАО «Атомэнергопроект»

В настоящее время энергосбережение и повышение энергоэффективности являются одними из приоритетных направлений в области мирового развития. Вследствие усиления глобальной конкуренции и исчерпания сырьевых источников необходимо повышение эффективности использования всех видов энергоресурсов. В Российской Федерации в 2009 году принят Федеральный Закон об энергосбережении, с 2010 года осуществляется Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности, поставлена задача снижения к 2020 году энергоёмкости ВВП не менее чем на 40 процентов, развернута работа по созданию правовой базы в области энергосбережения, реализации соответствующих проектов и организации информационной поддержки проводимых мероприятий.

В ГК «Росатом» осуществляется программа энергосбережения и повышения энергоэффективности организаций атомной отрасли на период 2012-2016 годов. Непосредственно для АЭС можно выделить следующие основные направления повышения энергоэффективности:

1) увеличение мощности ядерного реактора;

2) снижение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ);

3) повышение КПД за счёт совершенствования технологических процессов и тепломеханического оборудования;

4) снижение расхода электрической и тепловой энергии на собственные нужды.

Потребление электроэнергии на собственные нужды энергоблока на различных АЭС ГК «Росатом» находится на уровне 4,5 – 8,5% от общей генерации [1], на АЭС в Америке и странах Западной Европы – на уровне 4,5 – 5,5%. Нивелирование данного отставания позволит значительно повысить конкурентоспособность отечественных АЭС.

Не менее важной задачей является повышение надёжности АЭС, базирующееся на следующих требованиях:

- обеспечение высокого качества проектирования, изготовления и монтажа систем;
- обеспечение технологического и схемного исключений негативных последствий единичных нарушений;
- ограничения последствий возможных аварийных ситуаций.

Таким образом, проведение научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование технологического оборудования, улучшение качества работы систем АЭС, повышения их надёжности и энергоэффективности является необходимым условием создания объективных преимуществ отечественных АЭС и отвечает новейшим мировым тенденциям.

В качестве объекта настоящего исследования выбрана централизованная система холодоснабжения (ЦСХ) АЭС, предназначенная для охлаждения воды до заданной температуры и подачи её потребителям – вентиляционным и технологическим системам. В состав исходной (базовой для оптимизации) ЦСХ АЭС входят:

- холодильные машины на базе центробежных турбокомпрессоров, включающие в себя все узлы, агрегаты и трубопроводы, необходимые для их функционирования;
- закрытый контур холодной воды, включающий в себя циркуляционные насосы, аккумулирующий бак, арматуру и трубопроводы;
- контур охлаждающей среды, включающий в себя арматуру и трубопроводы;
- система автоматического регулирования (САР), интегрированная с АСУ ТП АЭС;
- дополнительное оборудование, необходимое для функционирования системы.
- Особенностями централизованной системы холодоснабжения АЭС являются:
- отсутствие в ассортименте регулирующей арматуры трехходовых клапанов (для 2-го класса безопасности);
- требуемый диапазон регулирования холодопроизводительности – 30-100% для 4-го класса безопасности и 0-100% – для 2-го класса безопасности;
- разветвлённая гидравлическая сеть, большое количество потребителей;
- значительное количество потребителей с малыми расходами и диаметрами подводящих трубопроводов (DN15 ÷ DN32).

Основными задачами при разработке ЦСХ АЭС являются:

- обеспечение требуемого расхода холодоносителя (количественное регулирование) с заданной температурой у каждого потребителя;
- обеспечение постоянного расхода холодоносителя через испаритель ХМ;
- высокая надёжность и энергоэффективность системы, снижение эксплуатационных затрат.

В базовой централизованной системе холодоснабжения температура холодной воды, подаваемой к потребителям, поддерживается за счёт внутренней системы регулирования холодильных машин, требуемый расход у потребителей обеспечивается двухходовыми регулирующими клапанами, постоянный расход через испарители холодильных машин предполагается поддерживать за счёт установки байпаса с регулятором перепада давления между подающим и обратным трубопроводами. Энергопотребление холодильных машин в диапазоне изменения холодопроизводительности Qx от 70 до 100% составляет около 0,25·Qx, меняясь незначительно при дальнейшем снижении холодопроизводительности вплоть до остановки холодильной машины. Энергопотребление насосов остаётся постоянным весь период работы системы и составляет около 0,03·Qx.

Актуальность названных проблем и возможность снижения энергопотребления ЦСХ АЭС позволили сформулировать основную цель настоящей работы: разработка энергоэффективной централизованной системы холодоснабжения АЭС.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи настоящего исследования:

1. провести анализ существующих централизованных систем холодоснабжения (ЦСХ) АЭС;

2. выявить основные факторы, влияющие на энергопотребление ЦСХ АЭС;

3. ровести исследование эффективности использования различных схемных решений ЦСХ и на основе проведённых исследований выбрать оптимальное схемное решение для ЦСХ АЭС;

4. провести исследование эффективности использования наиболее энергозатратного оборудования в составе ЦСХ. На основе проведённых исследований выбрать оптимальный состав оборудования для ЦСХ АЭС.

Исследовательская часть

Основными факторами, влияющими на энергопотребление централизованной системы холодоснабжения АЭС являются:

1) схемное решение системы;

2) характеристики установленного оборудования.

Рассмотрим данные факторы подробно.

Регулирование расхода холодной воды у потребителей может осуществляться с помощью трёхходовых и двухходовых клапанов.

Изменение перепада давления на любом участке сети неизбежно влечёт за собой изменение перепада на остальных участках и соответствующее перераспределение расходов воды по потребителям. В случае применения для регулирования расхода воды через потребителей трехходовых или двух двухходовых клапанов, являющихся заменой трёхходовым в системах второго класса безопасности, регулирование расхода на одном участке не вызывает разбалансировку всей системы в целом. Преимуществом таких систем является обеспечение постоянного расхода воды через испаритель холодильной машины без использования дополнительных средств, недостатком – постоянное энергопотребление системы при снижении требуемых параметров воды.

В случае применения единичных двухходовых клапанов на каждом потребителе изменение расхода воды через любого потребителя неизбежно приведёт к разбалансировке остальных участков гидравлической сети, смещению кривой характеристики системы, сдвигу рабочей точки насоса и, следовательно, к изменению расхода воды через испаритель холодильной машины, что при превышении допустимых пределов приведёт к останову ХМ. Поэтому применение регулирующих двухходовых клапанов может быть целесообразно только при использовании дополнительных мер по обеспечению постоянства расхода воды через испаритель, в качестве которых были выбраны установка регулятора перепада давления или гидравлического разделителя в двухконтурной системе.

В первом случае на байпасе между коллекторами подающих и обратных трубопроводов устанавливается регулятор перепада давления, поддерживающий при изменении расхода воды через любого потребителя заданный общий перепад давления, что позволяет избежать разбалансировки системы в целом. Энергопотребление насоса остаётся равным базовому.

Во втором случае централизованная система холодоснабжения разбивается на два контура – контур холодильной машины и контур потребителей. В контуре холодильной машины циркуляционный насос, энергопотребление которого вследствие малого напора составляет 25% от потребления насоса в базовой системе, подаёт воду от гидравлического разделителя к холодильным машинам, обеспечивая постоянный расход воды через испаритель. В контуре потребителей насос с частотным регулятором поддерживает постоянный напор при изменении расхода, подавая воду потребителям также из гидравлического разделителя. Максимальное потребление насоса потребителей составляет 80% от энергопотребления насоса в базовой системе, при снижении требуемого расхода энергопотребление снижается до уровня 30%.

В результате сравнения количественных и качественных показателей данных схемных решений для дальнейшей оптимизации была выбрана двухконтурная схема, обеспечивающая максимальное снижение энергопотребления насосов при поддержании требуемых параметров воды у потребителей и постоянного расхода через испарители холодильных машин.

Далее в рамках настоящей работы были исследованы гидравлические разделители, из всего существующего многообразия которых были выделены три принципиальных конструкции: буферный бак, труба-перемычка, диаметром равная диаметру магистральных трубопроводов, и ресивер. В результате проведённых рядом авторов исследований [2] было установлено, что при использовании буферного бака температура воды, подаваемой потребителям, выше требуемой вследствие подмеса отеплённого потока. Гидроразделитель в виде трубы-перемычки лишён данного недостатка, поэтому рекомендуется авторами к установке в систему холодоснабжения.

Более совершенная конструкция гидравлического разделителя [3] представляет собой герметичную ёмкость диаметром в три раза больше диаметра магистральных трубопроводов и высотой около шести диаметров. Данная конструкция, в отличие от трубы-перемычки, предотвращает завоздушивание и загрязнённость системы, а также обеспечивает выравнивание давления в первичном и вторичном контурах.

В результате для установки в ЦСХ АЭС нами был выбран ресивер-разделитель.

Энергопотребление циркуляционных насосов в ЦСХ АЭС составляет порядка 10% от общего энергопотребления, при этом почти 80% энергопотребления приходится на компрессоры холодильных машин, что определяет приоритетное направление разработок мер по энергосбережению.

В рамках настоящей работы были исследованы различные типы компрессоров: поршневые, спиральные, мембранные, винтовые, центробежные и т. д. В результате в качестве основных вариантов для установки в ЦСХ АЭС были выбраны центробежные и винтовые компрессоры.

Основными преимуществами центробежных компрессоров являются: малые габариты, высокий межсервисный интервал, высокая производительность. Данные компрессоры целесообразно устанавливать в системах с небольшим требуемым диапазоном изменения холодопроизводительности, т. к. эффективный диапазон регулирования холодопроизводительности центробежных компрессоров составляет порядка 70-100%.

Основными преимуществами винтовых компрессоров являются широкий диапазон регулирования холодопроизводительности (25-100%), высокая энергоэффективность, более кратковременные циклы «пуск-останов».

Каждый запуск центробежного турбокомпрессора существенно снижает его ресурс работы, годовое количество циклов строго ограничено, что обуславливает необходимость поддержания требуемого диапазона холодопроизводительности именно холодильной машиной, а не гидравлической системой, что, в свою очередь, приводит к существенному перерасходу электроэнергии. Также применение в центробежных компрессорах частотного регулятора ограничено зоной помпажа, вследствие чего эффективный диапазон регулирования составляет всего около 30%.

Эффективность регулирования винтового компрессора в разы превосходит эффективность центробежного. Нормируемое число циклов в год на несколько порядков выше, что делает возможным на нижнем уровне холодопроизводительности осуществлять регулирование не с помощью холодильных машин, а с помощью гидравлической сети, что особенно важно для систем второго класса безопасности, где требуемый диапазон холодопроизводительности составляет 0-100 %

В результате для установки в ЦСХ АЭС были выбраны винтовые компрессоры, обеспечивающие расчётную экономию электроэнергии равную 19,7%.

На основании всех проведённых исследований была оптимизирована существующая централизованная система холодоснабжения АЭС: заменена технологическая схема и оборудование. Расчётная экономия электроэнергии при внедрении оптимизированной системы составила 21%.

При проведении настоящих исследований не учитывались нелинейности, следовательно, объект регулирования – централизованная система холодоснабжения АЭС – может быть неустойчивым. В дальнейших работах будут исследованы динамические характеристики переходных процессов выбранных схем, определены в связи с нелинейностью отдельных узлов устойчивость и запас устойчивости по критерию Рауса-Гурвица, осуществлено построение годографа Михайлова, исследована устойчивость по Найквисту и т. д., что позволит оптимизировать систему автоматического регулирования ЦСХ АЭС для повышения качества поддержания требуемых параметров воды.

В рамках настоящего исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1) проанализированы существующие централизованные системы холодоснабжения АЭС, выявлены основные факторы, влияющие на энергопотребление ЦСХ АЭС;

2) исследованы различные схемные решения ЦСХ. На основе проведённых исследований предложено схемное решение, обеспечивающее требуемые характеристики холодной воды во всех точках системы, обладающее наименьшим энергопотреблением;

3) исследованы различные варианты гидравлических разделителей потоков. На основе проведённых исследований выбран ресивер-разделитель;

4) исследованы холодильные машины на базе различных типов компрессоров. На основе проведённых исследований выбран чиллер с винтовыми компрессорами, обеспечивающий плавное регулирование холодопроизводительности во всем необходимом диапазоне и обладающий наименьшим энергопотреблением;

5) оптимизирована существующая централизованная система холодоснабжения АЭС. Расчётная экономия электроэнергии при внедрении оптимизированной системы составила 21%.

1. Зыков А.С. Энергосбережение и повышение энергоэффективности на АЭС: проблемы и пути решения. URL: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4438. Дата обращения: 14.08.2014.

2. Тимофеевский А.Л., Сайфуллин Т., Евдокимов К.М. К вопросу о совмещении функций буферного бака и гидравлического разделителя в системах холодоснабжения с чиллерами. URL: http://refrigeration.open-mechanics.com/years/2012/issues/2/. Дата обращения: 02.07.2014.

3. Котзаогланиан П. Пособие для ремонтника. Справочное руководство по монтажу, эксплуатации, обслуживанию и ремонту современного оборудования холодильных установок и систем кондиционирования. – М.: Эдем, 2007. – 832 с.

Опыт использования библиотеки S-MPI в параллельных приложениях

Г.И. ВОРОНОВ, А.Б. ДЕРБУНОВИЧ, Д.А. НОВАЕВ, Д.К. ЗЕЛЕНСКИЙ, В.Д. ТРУЩИН, РФЯЦ-ВНИИЭФ, ООО «Центр компетенций и обучения»

На сегодняшний день MPI является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании. Широко используется при разработке программ для кластеров и суперкомпьютеров.

Стандартизацией MPI занимается открытая группа MPI Forum, состоящая из экспертов по параллельным вычислениям, как из производственных, так и из научных кругов.

Первая версия стандарта MPI разрабатывалась в 1993-1994 гг. и вышла в 1994 году. Последняя на сегодняшнее время версия MPI 3.0 вышла в 2012 году.

Существуют множество реализаций стандарта MPI как свободно распространяемых, так и коммерческих для большого числа компьютерных платформ:

- MPICH – одна из самых первых разработанных библиотек MPI. На её базе было создано большое количество других библиотек, как открытых, например, MVAPICH, так и коммерческих – IntelMPI. MPICH разрабатывается в Аргоннской национальной лаборатории США;
- OpenMPI представляет собой объединение четырех исследовательских/академических реализаций MPI с открытым исходным кодом: LAM/MPI, LA/MPI (Лос-Аламосский вариант MPI) и FT-MPI (отказоустойчивый вариант MPI). Вскоре после создания группы OpenMPI к ней присоединилась команда проекта PACX-MPI.

Реализации MPI, как правило, ориентированы на обеспечение чрезвычайно высокой производительности, измеряемой такими показателями, как:

- низкие задержки при передаче коротких сообщений;
- высокая скорость отправки сообщений в сеть при передаче коротких сообщений;
- быстрый разгон (в зависимости от размера сообщения) до максимальной пропускной способности, поддерживаемой базовым транспортным механизмом;
- незначительное потребление ресурсов. Все ресурсы, используемые MPI (например, память, кэш и пропускная способность шины) не могут использоваться в приложении. Поэтому реализации MPI пытаются соблюсти баланс незначительного потребления ресурсов, одновременно обеспечивая высокую производительность.

Библиотека S-MPI

Основным недостатком существующих коммерческих реализаций является их закрытость, что создает определенную проблему в случае необходимости обеспечения высокого уровня безопасности расчетов. Основным недостатком реализаций с открытым исходным кодом является отсутствие технической поддержки на коммерческом уровне, при наличии в них нестабильных компонент. С 2012 года в ЦКО начата разработка отечественной библиотеки MPI под названием S-MPI[1] на базе открытых кодов OpenMPI.

Основные особенности библиотеки S-MPI:

- поддержка современных производительных коммуникационных систем;
- поддержка кластеров с гибридной архитектурой (GPGPU);
- автоматическое определение и использование топологии кластерной системы для выбора оптимальных алгоритмов функционирования компонент библиотеки;
- специальные топологические алгоритмы коллективных операций;
- новый механизм передачи сообщений через общую память;
- гибкое управление размещением процессов и их потоков на вычислительных ядрах;
- сбор внутренней статистики о вызовах MPI-функций приложением (интенсивность вызовов, использованное время, аргументы вызова и т. д.);
- масштабируемость с поддержкой до 150.000 одновременно работающих MPI-процессов;
- механизмы автоматического переключения на альтернативную коммуникационную среду в случае отказа основной.

Тестирование S-MPI

Для оценки производительности библиотеки S-MPI были выбраны тест EffectiveBandwidthBenchmar (b_eff)[2], наборы тестов SPEC MPI2007[3], подготовленные на основе реальных MPI приложений, применяемых для расчётов в различных областях промышленности. Также в тестировании применялись программные комплексы, разрабатываемые в Институте теоретической и математической физики (ИТМФ) РФЯЦ-ВНИИЭФ. Один из них – ПК «Логос Аэрогидромеханика». Сотрудники Саровского инженерного центра (СИНЦ) предоставили данные от сравнительных запусков расчётов с использованием коммерческого программного комплекса Star-CD [4].

Тест b_eff

Тест b_eff разработан в Штутгардском центре высокопроизводительных вычислений (High Performance Computing Center Stuttgart) для интегральной оценки пропускной способности коммуникационной среды (КС) многопроцессорной вычислительной системы (МВС). В результате работы теста предоставляется суммарная пропускная способность КС и удельная пропускная способность (пропускная способность на один процессор).

Целью проведения данного тестирования являлось сравнение поведения библиотек mvapich версии 1.2 и S-MPI версии 1.1.1. Запуски теста производились для диапазона числа процессоров, начиная с 12 процессов на каждый вычислительный узел с последующим удвоением вплоть до 6144 процессов включительно.

В результате работы тестов были получены суммарная пропускная способность КС и удельная пропускная способность (на один процессор). Для суммарной пропускной способности было рассчитано ускорение, полученное при использовании в тесте библиотеки S-MPI, относительно MVAPICH версии 1.2. В данном тесте оно составило от 18 до 27 про-

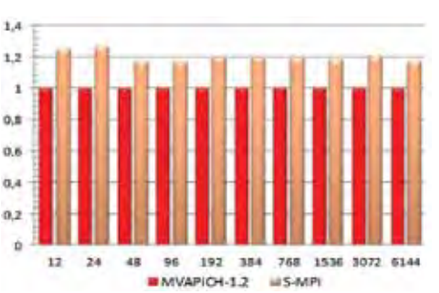


Рис. 1. Ускорение суммарной пропускной способности

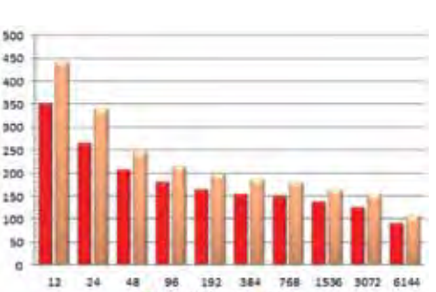


Рис. 2. Удельная пропускная способность, МБайт/с

Таблица 1. Результаты рейтинга SPECmpiM_base2007

	OpenMPI 1.5.4	OpenMPI 1.7.4	MVAPICH 1.2	MVAPICH2 1.9.0	IBM Platform MPI 9.1.2	S-MPI 1.1.1
104.milc	19,6	20	17,8	18	14,1	20,6
107.leslie3d	24,4	26,6	24,7	24,8	18,4	26,7
113.GemsFDTD	35,7	34	31,9	31,8	36,1	34,8
115.fds4	24,4	24,3	22	21,7	20,5	24,7
121.pop2	13,6	12,3	12,2	13	12,2	12,7
122.tachyon	20,2	23,8	20,1	19,7	24,1	23,2
126.lammps	21,6	21,7	20,7	20,7	20,2	22,1
127.wrf2	44,4	45,7	45,1	45,1	44,6	46,9
128.GAPgeofem	27,9	29	26,9	27	27,6	30,6
129.tera_tf	21,5	21,4	20,3	20,4	21,6	21,5
130.socorro	37,6	43,2	43,4	43,4	31,3	46,9
132.zeusmp2	27,4	27,9	26,4	26,3	22,2	28,8
137.lu	39,2	38,6	34,8	34,6	35,1	39,5
SPECmpiM_ base2007	26,14	26,8	25,06	25,14	23,69	27,47

центов. Результаты тестов представлены на графиках (рис. 1, 2).

SPEC MPI2007

Набор тестов SPEC MPI2007 предназначен для оценки и сравнения производительности высокопроизводительных вычислительных систем. Этот набор тестов сфокусирован на выполнении ресурсоемких MPI приложений. В отличие от синтетических тестов, коды для набора тестов SPEC MPI2007 разработаны на основе существующих MPI приложений, использующихся для повседневных расчётов в нуждах различных отраслей промышленности.

Набор тестов предоставляет два набора данных: средний (medium) и большой (large). Средний набор применяется при тестировании для числа процессоров в диапазоне от 4 до 128, большой для числа процессоров в диапазоне от 64 до 2048. Результатом выполнения каждого теста является коэффициент, рассчитанный с использованием времени выполнения теста на тестируемой системе и ориентировочного времени его выполнения, определенного SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation). Тестовые запуски проводились с использованием следующих версий MPI реализаций:

- OpenMPI 1.5.4;
- OpenMPI 1.7.4;
- MVAPICH 1.2;
- MVAPICH2 1.9.0;
- IBM Platform MPI 9.1.2;
- S-MPI 1.1.1

Полученные результаты сведены в таблицу и представлены на графике (рис.3). Большее значение соответствует лучшему результату. Следует отметить, что наилучшие результаты рейтинга SPECmpiM_base2007 были получены при использовании библиотеки S-MPI.

ЛОГОС Аэрогидромеханика

Отдел разработки программного комплекса «ЛОГОС Аэрогидромеханика» предоставил доступ к версии 4.0.6 программного комплекса, собранного с библиотеками MVAPICH-1.2 и S-MPI 1.1.1. В запусках использовались параметры MPI библиотек по умолчанию. В качестве теста использовалась задача расчёта аэродинамических характеристик моде-

Рис. 3. Рейтинг SPECmpiM_base2007 использования MPI-библиотек

Рис. 4. Результаты тестирования ЛОГОС Аэрогидромеханика с использованием S-MPI и MVAPICH

ли пассажирского самолёта. Расчётная сетка содержит около 48 миллионов ячеек. Запуски проводились на вычислительном центре коллективного доступа (ВЦКП) ВНИИЭФ для числа процессов в диапазоне от 384 до 3072. Полученные результаты представлены на графике (рис. 4). На всех запусках программный комплекс «ЛОГОС Аэрогидромеханика» пока-

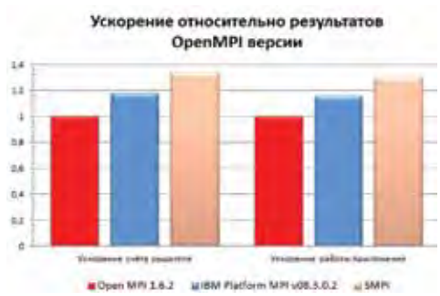


Рис. 5. Результаты тестирования ПК Star-CD с использованием различных MPI-библиотек

зал лучшее время счета при использовании библиотеки S-MPI. Ускорение по сравнению с mvapich версии 1.2 составляет 5-15%.

Коммерческое CFD приложение

Сотрудники Саровского инженерного центра согласились провести небольшое сравнительное тестирование производительности ПК Star-CD с использованием библиотеки S-MPI. Для тестирования использовался кластер общего назначения, установленный в Саровском инженерном центре. Были задействованы два вычислительных узла, имеющих по восемь вычислительных ядер. Использовалось следующее программное обеспечение:

- расчётный код: STAR-CD v4.20;
- задача: расчёт модели двигателя внутреннего сгорания, расчётная сетка имеет 765 тысяч ячеек, расчёт проводился для 3000 шагов;
- MPI реализации: IBM Platform MPI 08.3.0.2, OpenMPI 1.6.2, S-MPI 1.1.1.

Если взять результат, полученный с использованием библиотеки Open MPI за единицу, то видно, что использование библиотеки IBM Platform MPI уменьшает время счёта на 16-18%, а использование библиотеки S-MPI – на 30-33%. Полученные результаты представлены на рисунке 5.

1. Г.И. Воронов, В.Д. Трущин, В.В. Шумилин, Д.В. Ежов. Программный комплекс S-MPI для обеспечения разработки, оптимизации и выполнения высокопараллельных приложений на суперкомпьютерных кластерных системах// «Вопросы атомной науки и техники» Серия «Математическое моделирование физических процессов». 2013г, Вып. 3

2. Официальный сайт размещения теста Effective Bandwidth Benchmark. Режим доступа: www.hlrs.de/mpi/b_eff.

3. Официальный сайт размещения набора тестов SPEC MPI2007. Режим доступа: https://www.spec.org/mpi2007.

4. Официальный сайт с русскоязычным описанием ПК Star-CD. Режим доступа: http://www.saec.ru/starcd/.

Разработка математической модели и программного обеспечения виртуальных автоматизированных систем управления системой автоматической юстировки лазерной установки УФЛ-2М

Е.О. ВОТИНЦЕВА,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Информационно-управляющая система (ИУС) является составной частью лазерной установки УФЛ-2М и предназначена для управления установкой в автоматическом и автоматизированном режимах (по командам персонала), оперативного сбора информации о её работоспособности, сбора, хранения и предварительной обработки результатов экспериментов, обеспечения сервисного обслуживания установки.

Для обеспечения возможности создания ИУС УФЛ-2М параллельно и независимо от разработки физического оборудования, необходимы виртуальные автоматизированные системы управления (АСУ), которые должны имитировать работу реальных устройств. Это позволит вести разработку ИУС и ее тестирование до монтажа реальных устройств на установке УФЛ-2М, что, в свою очередь, обеспечит выполнение работ по проекту.

Виртуальные АСУ обеспечивают возможность безопасного тестирования нового и модернизируемого оборудования, а также позволят смоделировать различные аварийные ситуации оборудования для отладки работы ИУС.

Актуальность разработки

При разработке программного обеспечения виртуальных АСУ САЮ применялись современные системы и технологий, позволяющие дорабатывать и расширять функциональность системы за счет разработки оригинальных модулей.

Модульная архитектура позволит при необходимости добавлять и дорабатывать существующие виртуальные устройства АСУ САЮ.

Разработанное ПО является кроссплатформенным и может работать как на компьютерах под управлением ОС Windows, так и на системах под управлением Linux подобных ОС.

Все это позволит применять данные решения как при создании ИУС УФЛ-2М, так и в рамках других проектах.

АСУ САЮ

Автоматизированная система управления системой автоматической юстировки (далее по тексту АСУ САЮ) предназначена для управления положением и ориентацией в пространстве оптических элементов УФЛ-2М в 192 лазерных каналах на пути от системы формирования опорного излучения до мишени (силовой усилитель, преобразователь частоты, система транспортировки излучения, финальный оптический модуль, мишень) с целью контроля и изменения параметров лазерного излучения.

При разработке программного обеспечения виртуальных АСУ САЮ применялись современные системы и технологий, позволяющие дорабатывать и расширять функциональность системы за счет разработки собственных модулей.

Модульная архитектура позволит при необходимости добавлять и дорабатывать существующие виртуальные устройства АСУ САЮ.

Основными функциями АСУ САЮ являются:

- получение и обработка изображений юстировочного пучка и световых маркеров, имитирующих апертуры элементов установки;
- определение рассогласований и вычисления управляющих воздействий, которые должны быть выполнены для необходимого взаимного позиционирования пучка и маркеров;
- посылка команд двигателям и исполнительным механизмам;
- контроль работоспособности компонентов САЮ.

Алгоритм выполнения юстировки:

- выполняется юстировка силового усилителя по апертуре;
- выполняется юстировка силового усилителя по углу;
- выполняется юстировка заводящих зеркал с помощью юстировочных лазеров.

Математическая модель прохождения лазерного луча через модули зеркал

Для реализации модуля вычислителя была разработана математическая модель прохождения лазерного луча через модуль зеркал. Математическая модель была разработана на основе алгоритма выполнения юстировки.

Исходные данные:

$M(x_o, y_o, z_o)$ – точка излучения;

$N(x_з, y_з, z_з)$ – точка подвеса зеркала;

ϕ, ψ – углы нормали зеркала;

α_o, β_o – углы излучения;

$p(p_1, p_2, p_3)$ – направляющий вектор прямой (луча).

Уравнение плоскости (зеркала) в пространстве:

$A*x_з + B*y_з + C*z_з + D = 0$

Выразим x из канонического уравнения прямой:

$$x=\frac{p1}{p2}*(y-y_o)+x_o=y*\frac{p1}{p2}-\left(y_o*\frac{p1}{p2}-x_o\right) \quad (1)$$

Выразим z из канонического уравнения прямой:

$$z=\frac{p3}{p2}*(y-y_o)+z_o=y*\frac{p3}{p2}-\left(y_o*\frac{p3}{p2}-z_o\right) \quad (2)$$

$$kx=\left(y_o*\frac{p1}{p2}-x_o\right)$$

$$kz=\left(y_o*\frac{p3}{p2}-z_o\right)$$

Подставим выражения, соответствующие x и z в уравнение плоскости в пространстве:

$$A*\left(y*\frac{p1}{p2}-kx\right)+B*y+C*\left(y*\frac{p3}{p2}-kz\right)+D=0$$

Выразим из него y:

$$y=\frac{A*kx+C*kz-D}{A*\frac{p1}{p2}+B+C*\frac{p3}{p2}} \quad (3)$$

Таким образом, получаем возможность рассчитать точку (x, y, z) на поверхности зеркала, в которую попадет луч после излучения.

Углы отражения:

$$\alpha=(2*\psi+180-\alpha_o)\%360 \quad (4)$$

$$\beta=(2*\varphi+180-\beta_o)\%360 \quad (5)$$

Модули ПО АСУ САЮ

При разработке программного обеспечения виртуальных АСУ САЮ была применена модульная архитектура, которая позволит при необходимости добавлять и дорабатывать существующие виртуальные устройства АСУ САЮ.

Были разработаны следующие модули ПО:

- модуль вычислителя;
- модуль зеркала;
- модуль ПЗС камеры.

Модуль вычислителя

Лазерный луч, в зависимости от того, на какой камере он будет отображаться, проходит через определенное количество зеркал, например, при юстировке силового усилителя луч проходит через первое торцевое зеркало и два реверсорных зеркала, потом попадает на камеру силового усилителя.

Таким образом, точка на камере рассчитывается по формулам (1-3), причем для каждого

последующего зеркала точкой излучения M(x_o, y_o, z_o) будет являться точка (x, y, z), полученная при расчете для предыдущего зеркала.

Аналогично производится расчет и для углов отражения: углы излучения α_o, β_o для каждого последующего зеркала будут являться углы отражения α, β, полученные при расчете предыдущего зеркала (формулы 4,5).

Модуль вычислителя выполняет расчет точки попадания луча на камеру после прохождения его через систему зеркал.

Модуль зеркала

Модуль зеркала представляет собой устройство, осуществляющее поворот зеркала в плоскости осей координат X или Y.

Оправа зеркала приводится в движение при помощи двух шаговых двигателей (шаговый двигатель перемещения по вертикали и шаговый двигатель перемещения по горизонтали), работающих в диапазоне от 0 до 232 шагов.

Модуль зеркала имеет следующие параметры:

- управление наклоном по горизонтали;
- управление наклоном по вертикали;
- шаг перемещения по горизонтали;
- шаг перемещения по вертикали;
- скорость перемещения по горизонтали;
- скорость перемещения по вертикали;
- признак концевика.

Если при работе шагового двигателя концевик замкнут, то перемещение оправы зеркала в данном направлении становится невозможно.

Модуль ПЗС камеры

Модуль ПЗС камеры представляет собой устройство, осуществляющее регистрацию пучка СФОИ и световых маркеров на камере.

Модуль ПЗС камеры имеет следующие параметры:

- время экспозиции;
- усиление;
- четкость;
- увеличение;
- разрешение.

При юстировке силового усилителя существует возможность перемещать камеру по горизонтали при помощи шагового двигателя, работающего в диапазоне от 0 до 232 шагов. Если при работе шагового двигателя концевик замкнут, то перемещение модуля ПЗС камеры в данном направлении становится невозможно.

Список команд:

- включить/выключить ПЗС камеру;
- перемещение вправо по оси X (шаг перемещения равен 1);
- перемещение влево по оси У (шаг перемещения равен 1).

В каждый момент времени устройство находится в каком-либо состоянии. Для фиксирования этих состояния определены следующие статусы:

- устройство инициализировано;
- устройство выключено;
- устройство включено;
- устройство в режиме юстировки.

Основные особенности ПО модулей

В САЮ в каждый из 192 каналов входит по 5 модулей зеркал и по 4 модуля ПЗС камеры. Алгоритм работы у всех модулей одного типа одинаков. Интеграционная платформа позволяет создать один класс, в котором будет заложен алгоритм работы модуля зеркала (ПЗС камеры), а затем создать множество (зеркал – 960, камер – 768) устройств данного класса. Все устройства одного типа будут работать по одному алгоритму. Данный подход необходим при разработке и тестировании большого количества устройств, так как алгоритмы работы модулей зеркала и ПЗС камеры многократно редактировался. При этом менялся только один код – код класса. Сами устройства модулей не изменялись.

При разработке ПО модулей была предусмотрена возможность быстрой замены виртуальной АСУ на реальную. Пользователь до подачи команды «включение» на устройство может изменить режим работы устройства.

В режиме реального устройства – значения параметров считываются с оборудования, и команды выполняет оборудование. В режиме виртуального устройства – значение параметров формируются программным путем, на основании заложенных алгоритмов и поступивших команд.

Сложность разработки

В рамках работ по созданию АСУ САЮ был создан распределенный комплекс систем управления элементами САЮ. При этом все элементы данного комплекса взаимосвязаны и оказывают влияние на работу друг друга. Это учитывалось при разработке самих алгоритмов работы виртуальных АСУ, а также при выборе механизмов их взаимодействия.

Был разработан алгоритм работы и взаимодействия всех модулей АСУ САЮ, которые одновременно выполняются на разных компьютерах (виртуальных машинах). Кроме того, модули виртуальных устройств взаимодействуют не только между собой, но и со SCADA-системой – происходит обмен данными между устройствами и SCADA-системой.

Разработка АСУ САЮ велась на языке программирования C++ в ОС Linux с использованием инструментария TANGO. В ходе разработки ПО применялись технологии объектно-ориентированного программирования, паттернов проектирования и многопоточное программирование, были разработаны собственные классы.

Для реализации сложных процессов вычислений и оптимизации работы ПО была разработана математическая модель прохождения лазерного луча через модуль зеркал.

Для оптимизации работы ПО на многоядерных компьютерах и оптимизации процессов вычислений величин параметров в режиме виртуального устройства использовались технологии многопоточного программирования.

Настройки отдельных устройств АСУ САЮ хранятся в централизованном хранилище данных под управлением серверной БД MySQL.

Разработанное ПО является кроссплатформенным и может работать как на компьютерах под управлением ОС Windows, так и на системах под управлением Linux подобных ОС.

Завершенность разработки

Виртуальные АСУ модуля вычислителя, модуля зеркала, модуля ПЗС камеры разработаны в 2013 г. для отладки ПО ИУС и проведения испытаний, в ноябре 2013 г. система принята заказчиком и в настоящее время находится в опытной эксплуатации.

В ходе работы была выполнена разработка виртуальных автоматизированных систем управления системой автоматической юстировки лазерной установки УФЛ-2М. Разработка АСУ САЮ велась на языке программирования C++ в ОС Linux. Для разработки ПО применялись технологии объектно-ориентированного программирования, паттернов проектирования и многопоточное программирование, были разработаны собственные классы. Также были разработаны математическая модель прохождения лазерного луча через модуль зеркал, алгоритм работы и взаимодействия всех модулей АСУ САЮ. Кроме того, модули виртуальных устройств взаимодействуют не только между собой, но и со SCADA-системой и образует сложный программный комплекс. Для работы модуля вычислителя была использована обработка данных (значений параметров для вычисления траектории прохождения лазерного луча через систему модулей зеркал), хранение данных реализовано в структуре, состоящей из 9 основных таблиц, базы данных MySQL.

Разработанные виртуальные автоматизированные системы управления системой автоматической юстировки лазерной установки УФЛ-2М в совокупности образуют взаимосвязанный комплекс виртуальных устройств, модули которых одновременно выполняются на разных компьютерах (виртуальных машинах) и под управлением разных ОС (Linux, Windows).

Разработанное ПО является кроссплатформенным и может работать как на компьютерах под управлением ОС Windows, так и на системах под управлением Linux подобных ОС.

Виртуальные АСУ модуля вычислителя, модуля зеркала, модуля ПЗС камеры разработаны в 2013 г. для отладки ПО ИУС и проведения испытаний, в ноябре 2013 г. система принята заказчиком и в настоящее время находится в опытной эксплуатации.

Технология создания виртуальных устройств в составе автоматизированных систем управления является перспективным направлением и была впервые применена в рамках разработок нашего института.

Технологии создания специального программного обеспечения мобильных систем физической защиты

В.К. Де ВАНСА ВИКРАМАРАТНЕ, Г.Л. ДОМОЖИРОВ, Д.А. ИВАНОВ, Т.Е. ФЕДЯНИН, ФГУП «СНПО «Элерон»

В 2009 году в целях решения проблемы совместимости изделий разных производителей средств и систем физической защиты в ОАО «Концерн Росэнергоатом» был введен в действие стандарт СТО 1.1.1.04.007.0814-2009 «Технические требования. Система сбора и обработки информации комплекса инженерно-технических систем физической защиты атомных станций». Требования описывают архитектуру комплексов инженерно-технических средств физической защиты (далее КИТСФЗ), включающую в себя, в частности, специальное программное обеспечение аппаратно-программных интерфейсов (далее СПО АПИ).

Унификация управления оборудованием

Для обеспечения совместимости и интеграции в единый комплекс различных технических средств (далее ТС) КИТСФЗ стандартом предложено разделение программного обеспечения комплекса на универсальную часть «верхнего уровня», не зависящую от методов и протоколов управления техническими средствами, и специальное программное обеспечение, осуществляющее непосредственное взаимодействие с техническими средствами. Две части связываются по определённому стандартом унифицированному для абстрактных устройств протоколу на основе XML. Схема АПИ в составе КИТСФЗ представлена на рис. 1.

Универсальная часть названа системой сбора и обработки информации (ССОИ) и обладает интерфейсом для работы оператора. Специальное программное обеспечение названо СПО АПИ и не предназначено для взаимодействия с оператором напрямую и является «прослойкой» между командами по унифицированному протоколу от ССОИ и специализированными методами управления техническими средствами. Для унификации взаимодействия с различным оборудованием в протоколе используется понятие модели типа устройства. Модель типа устройства – это совокупность информации (характеристик) одного типа устройств (прибора, контроллера, шлейфа сигнализации, видеокамеры и т. п.). Модели связаны отношением «родитель-потомок», образуя дерево моделей определенного АПИ. Упрощенная схема модели устройства представлена на рисунке 2.

Модель типа устройства зависит от оборудования, которое она представляет. Дерево моделей передается из АПИ в ССОИ. Дерево моделей отражает множество типов оборудования, с которым потенциально может работать данное АПИ.

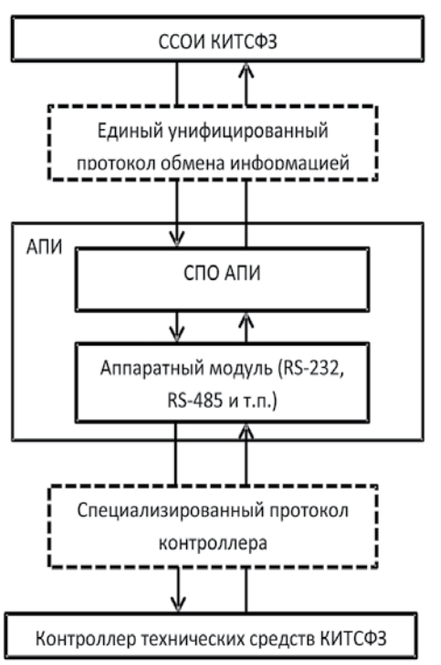


Рис. 1. Обобщенная схема АПИ в составе КИТСФЗ

Если модель является информацией о типе оборудования, то фактически подключенные ТС представляются экземплярами модели, названными «устройствами». Таким образом, управление оборудованием происходит в виде работы с его абстрактным представлением на языке модели типа этого устройства. В соответствии с деревом модели устройства также образуют дерево: добавление устройства возможно только в качестве дочернего к устройству, модель которого является родительской для модели добавляемого. К устройству может быть добавлено произвольное количество дочерних устройств одной модели.

Структура компонентов СПО АПИ

Часть функционала АПИ не зависит от множества поддерживаемого оборудования. Таким функционалом является в первую очередь поддержка протокола связи с ССОИ, локальная база данных АПИ и система управления деревом устройств. Функционал, отвечающий за поддержку оборудования, в свою очередь также можно представить отдельными модулями, отвечающими за поддержку отдельных устройств или их групп. Подобная модульность программного кода АПИ обеспечивает распараллеливание разработки, повторное использование кода, удобство тестирования и наглядность архитектуры приложения в целом.

Назовем модуль поддержки определенного оборудования драйвером соответствующе-

Рис. 2. Упрощенная схема модели типа устройства

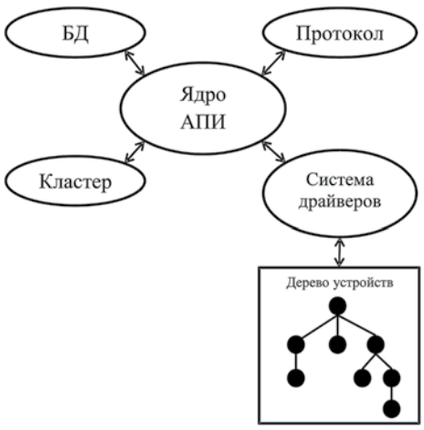


Рис. 3. Структурная схема АПИ

го устройства. Драйвер определяет модель устройства и содержит логику по работе с оборудованием и взаимодействию с другими драйверами. Таким образом, совокупность подсистем АПИ можно рассматривать как платформу и набор средств разработки (фреймворк) для разработки драйверов, которые являются дополнениями (плагинами), расширяющими функционал.

Далее будут рассмотрены некоторые из особенностей СПО АПИ (далее АПИ «Микро»), основным языком программирования которого является Java.

Последовательное чтение XML

Унифицированный протокол обмена информацией между ССОИ и АПИ основан на XML. Стандартным подходом к чтению XML является Объектная Модель Документа, Document Object Model (DOM). При чтении методом DOM документ целиком загружается в память и представляется далее в виде дерева узлов. Таким образом, предоставляется быстрый доступ к случайному элементу документа. DOM удобен, когда документ не является объемным, а его элементы запрашиваются в произвольном порядке и многократно. Основной недостаток: уменьшение скорости работы и потребление большого количество памяти при обработке документа, содержащего большое количество данных. В связи с тем, что, согласно протоколу, могут приходить большие сообщения, этот недостаток становится существенным и во избежание его в АПИ «Микро» применена одна из альтернатив DOM – Simple API for XML (SAX). SAX реализует событийно ориентированный подход к чтению документа. Документ не загружается в память целиком, вместо этого парсер последовательно читает документ, генерируя события при обнаружении нового XML-тега, ошибки и т. д.

Обмен данными между драйверами

Опыт показал, что в процессе работы АПИ драйверам нужно взаимодействовать между собой. Например, сообщение, прочитанное из интерфейса RS-232 соответствующим драйвером порта, должно быть передано драйверу подключенного по этому порту устройства для генерации события по модели. Также существуют события, о которых драйвер должен быть уведомлен системой драйверов: запуск, остановка, команды из ССОИ по модели и пр. Сообщения от разных драйверов и системы могут поступать параллельно. Это делает связь между драйверами напрямую через ссылки на java-объекты источником потенциальных ошибок в связи со следующими сложностями:

- необходимостью синхронизации вызовов обработчиков;
- необходимостью четкого следования Java Memory Model, т. к. изменению могут быть подвержены одни и те же данные;
- драйвер, к которому происходит обращение, может быть удален в произвольный момент времени командой из ССОИ;
- «зависанием» одного драйвера при зависании другого;
- возможностью возникновения взаимной блокировки (deadlock).

Для снижения вероятности ошибок программирования и повышения надежности АПИ в целом, обмен информацией между драйверами может быть основан на асинхронном взаимодействии. Каждому устройству можно поставить в соответствие «почтовый ящик» – фактически очередь входящих сообщений ограниченной длины. При отправке сообщения потоком драйвера в ящик кладется письмо, сразу же отпуская управление. Драйвер получателя оповещается одним из специальных потоков почтовой системы. Использование почтовой системы позволяет изолировать драйверы друг от друга, упростив тем самым многопоточное программирование драйверов, скрыв синхронизацию оповещающих потоков внутри почтовой системы.

В представлении каждого почтового ящика отдельной очередью сообщений кроется неэффективность расходования памяти: если ограничить очередь низким числом сообщений, то ее размер может оказаться недостаточен; если достаточно большим, то вследствие неравномерности использования ящиков устройствами зарезервированная память будет пропадать. Альтернативное решение могло бы заключаться в единой очереди сообщений большого размера. Такая крайность имеет другой недостаток: при скорости отправки сообщений лишь одному «медленному» устройству выше скорости их обработки будет заполнена вся очередь и станет недоступна отправка сообщений другим («быстрым») устройствам. В АПИ «Микро» применен компромисс между двумя подходами: «личные» очереди для каждого устройства и «общая» большая для всех. Сообщения сначала кладутся в «личную» очередь, а при ее заполнении – в «общую». Таким образом, с одной стороны, каждое устройство потенциально обладает суммарным ящиком большого размера, с другой стороны, если одно из устройств не успевает обрабатывать входящие сообщения, «личные» ящики других устройств не будут переполнены и устройства смогут продолжить функционирование.

Динамическая загрузка подсистем и драйверов

Выделение модулей подсистем АПИ и модулей драйверов можно продолжить идеей их динамической загрузки. В рамках АПИ динамическая загрузка модуля означает выделение скомпилированного кода модуля в файлы (.jar или .class) так, что основное приложение АПИ, не обладающее функционалом модулей, производит поиск, загрузку в память и исполнение модулей после своего запуска, т. е. во время исполнения СПО АПИ. В результате применения динамической загрузки исполняемое приложение АПИ сводится к программе загрузки модулей. Основное преимущество динамической загрузки – возможность сертификации частей программного обеспечения по отдельности, что существенно облегчает обновление и расширение функционала АПИ. Динамическая загрузка может быть применена как основным приложением АПИ к подсистемам, так и подсистемой драйверов к драйверам. На Java динамическая загрузка возможна при помощи Reflection API.

С течением времени в состав АПИ могут при сохранении старых быть включены новые драйвера. Новые драйвера, написанные позже, могут использовать обновленные версии тех же библиотек, что используют другие драйвера, подключенные к тому же АПИ. Имена некоторых классов в составе разных версий библиотек могут совпадать, что приводит к путанице и, в общем случае, невозможности их загрузки – следовательно, неработоспособности всего приложения. Эта проблема широко известна как JAR Hell. Для ее решения в АПИ «Микро» строится дерево загрузчиков классов. Метод основан на последовательности поиска класса в Java при его загрузке ClassLoader'ом: поиск класса сначала производится в родительском ClassLoader, а затем в текущем. Таким образом, классы библиотек разных версий, расположенные в разных ветвях дерева ClassLoader'ов, при загрузке не будут найдены одновременно. Для удобства распределения модулей по дереву ClassLoader'ов оно может быть сформировано на основе дерева файловой системы: каждый ClassLoader соответствует директории, содержит .jar/.class файлы только из нее и имеет дочерние ClassLoader, соответствующие вложенным директориям.

При создании АПИ «Микро» была поставлена цель запуска систем на его основе на мобильных устройствах, ограниченных в ресурсах. Для снижения потребления памяти и процессорного времени были применены различные методы, включая: SAX-парсер протокола, специальную систему обмена сообщениями, NoSQL база данных. Цель успешно достигнута, созданное АПИ внедрено на объектах заказчиков в системе на основе планшетного компьютера «Гранат». В настоящий момент на основе АПИ «Микро» разрабатывается программное обеспечение в рамках ряда опытно-конструкторских работ.

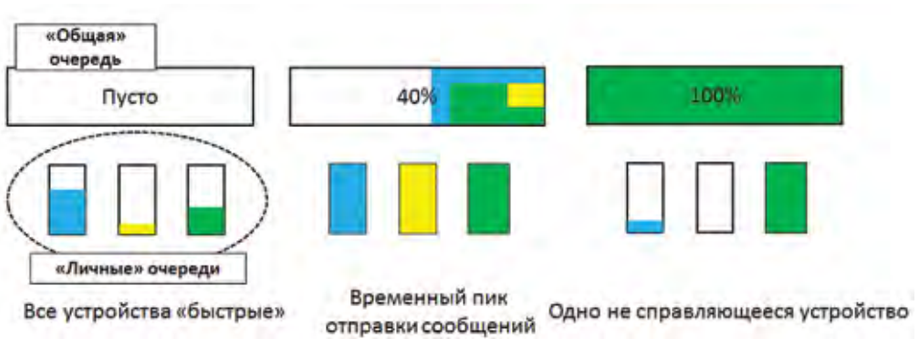


Рис. 4. Заполнение «почтовых ящиков»

Автоматизированные средства получения данных из комплексной процессной модели для формирования регламентирующих и методических документов предприятия по бизнес-процессам

Д.А. ДОДОНОВ, С.В. КАРПЕНКО, В.В. КОНОВАЛОВА, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

В связи с внедрением процессного подхода в ГК «Росатом» и на основании приказа директора РФЯЦ-ВНИИЭФ «О формировании комплексной процессной модели ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» возникла потребность автоматизированного получения регламентирующих и методических документов предприятия на основе комплексной процессной модели (КПМ).

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ проводятся работы по внедрению комплексной процессной модели предприятия. КМП разработана на основе методологии ARIS и представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодополняющих графических моделей: процессов, организационной структуры, карт знаний, НПБ, БКТ, целей, продуктов, каталога информационных систем и документов.

В докладе представлено понятие бизнес-процесса, описание методологии моделирования бизнес-процессов предприятия, определение комплексной процессной модели и ее составных частей, а также способы получения данных из КПМ с помощью разработанных автоматизированных средств.

Понятие бизнес-процесса

Цель любой предпринимательской деятельности – получение прибыли. В условиях рыночной экономики предприятие должно постоянно повышать свой потенциал – предполагаемый уровень получения прибыли в будущем. Повышение потенциала подразумевает совершенствование бизнес-процессов (процессов) предприятия: повышения качества, снижения себестоимости продукции, выполнение заказов в запланированные сроки и т. д.

Бизнес-процесс – это повторяющаяся совокупность упорядоченных и взаимосвязанных действий, создающая результат, значимый для потребителя.

Совершенствование деятельности предприятия может осуществляться за счет моделирования бизнес-процессов, что позволяет:

- составить перечень основных бизнес-процессов и на основании полученных данных сделать выводы о рациональности использования ресурсов, численности и загрузке персонала и т. д.;
- определить недостающие и дублирующие бизнес-процессы и внести соответствующие коррективы;
- определить перечень функций каждого подразделения и работника предприятия;
- установить взаимосвязи подразделений и выполняемых в них функций.

Представление деятельности организации как набора взаимосвязанных бизнес-процессов является одним из основных признаков процессного подхода. Процессный подход является важнейшим признаком совершенного управления. Этот подход, используемый в качестве базового в международных стандартах ИСО серии 9000:2000.

Описание методологии моделирования бизнес-процессов предприятия

Моделирование бизнес-процессов – это эффективное средство поиска путей оптимизации деятельности компании, позволяющее определить, как компания работает в целом и как организована деятельность на каждом рабочем месте. Под методологией создания модели бизнес-процесса понимается совокупность способов, при помощи которых объекты реального мира и связи между ними представляются в виде модели. Для каждого объекта и связей характерны ряд параметров (атрибутов), отражающих определенные характеристики реального объекта (номер объекта, название, описание, длительность выполнения (для функций), стоимость и др.).

Рекомендованный подход по описанию бизнес-процессов предприятий ЯОК Государственной корпорации «Росатом» основан на методологии ARIS (Architecture of Integrated Information Systems).[1] Он представляет собой структурированное описание деятельности организации в виде взаимосвязанных и взаимодополняющих графических моделей, удобных для понимания и анализа.

Модели, создаваемые по методологии ARIS, отражают существующую ситуацию с той или иной степенью детализации. Степень детализации описания зависит от целей проекта, в рамках которого проводится моделирование. Модели могут быть использованы для анализа и выработки различного рода решений по реорганизации деятельности предприятия, в том числе, по внедрению информационной системы, разработке систем менеджмента качества. Методология ARIS реализует принципы структурного анализа и позволяет определить и отразить в моделях основные компоненты организации, протекающие процессы, производимую и потребляемую продукцию, используемую информацию, а также выявить взаимосвязи между ними.

В отличие от других подходов, методология ARIS предполагает хранение всей информации в едином репозитории (единой базе данных), что обеспечивает целостность и непротиворечивость процесса моделирования и анализа, а также позволяет проводить верификацию моделей.

Методология ARIS поддерживает более двухсот типов моделей, которые можно классифицировать на четыре группы по соответствующему аспекту деятельности предприятия. Для построения этих моделей используются как собственные методы моделирования ARIS, так и различные известные методы и языки моделирования – ERM, UML, OMT и др.[2] Процесс моделирования можно начинать с любого из типов моделей.

В зависимости от выбранного метода моделирования для каждого типа моделей существует определенный набор типов объектов и типов связей между ними (например, объект «Должность» и объект «Организационная единица» могут иметь тип связи «Состоит из…» или «Является непосредственным руководителем…»).

Модель представляет собой совокупность свойств, объектов и связей, атрибутов и отношений между ними, которые адекватно описывают некоторые свойства моделируемой области.

В связи с тем, что один и тот же объект может находиться на нескольких моделях, применяются следующие определения: отображение объекта и определение объекта.

Отображение объекта (Occurrence) – это представление объекта, находящееся на определенной модели, причем, у объекта может быть несколько Occurrence. На уровне Occurrence определяется расположение объекта на модели (координаты), цвет объекта, активность объекта и т. д.[3]

Рис. 1. Схема хранения информации

Определение объекта (Definition) – это определение объекта, находящееся в папке базы данных, в котором находится основная информация об объекте (атрибуты). У объекта есть только один Definition, но дополнительно может быть и несколько Occurrence. При обходе базы данных скриптом необходимо по возможности использовать уровень Occurrence и только при необходимости переходить на уровень Definition.[3]

При обработке данных в БД, во избежание получения недостоверной информации, необходимо четко отслеживать, к какой сущности нужно обращаться. Модели и объекты расположены в папках базы данных. Техническое хранение информации организовано согласно схеме представленной на рис. 1.

Работа по созданию моделей бизнес-процессов должна регламентироваться жёсткими и объёмными соглашениями по моделированию (стандартами), методология ARIS поддерживает механизм методологических фильтров, позволяющих пользователю использовать только определённый набор схем и объектов. Разработка таких соглашений требует значительного времени и высококвалифицированных специалистов. Если проект с использованием методологии ARIS начинается без детальной проработки таких соглашений, то вероятность создания моделей бизнес-процессов, не отвечающих на поставленные вопросы, очень высока.

Определение комплексной процессной модели

На основании методологии ARIS в РФЯЦ-ВНИИЭФ была сформирована комплексная процессная модель (КПМ) предприятия (см. рис. 2).

КПМ – представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодополняющих графических моделей, описывающих различные предметные области деятельности РФЯЦ-ВНИИЭФ. Комплексная процессная модель РФЯЦ-ВНИИЭФ на настоящий момент времени сосредотачивает описание таких предметных областей, как бизнес-процессы деятельности, цели, продуктовая линейка, научно-производственная база, организационная структура, карты знаний, каталог документов и информационных систем. При этом связующим звеном между всеми моделями КПМ являются модели бизнес-процессов.

Наличие комплексной процессной модели предприятия является основой для выполнения следующих работ:

- проведение анализа, оценки и внесения предложений по совершенствованию деятельности предприятия;
- разработка автоматизированной системы управления предприятием;
- разработка системного проекта и внедрение типовой информационной системы (ТИС), поддерживающей систему управления.

Большой объем данных (более 48113 моделей, 384194 объектов, 764490 связей) подразумевает наличие автоматизированных средств получения информации из КПМ – скриптов.

Разработка автоматизированных средств получения информации из КПМ

Результатом формирования КПМ является набор взаимосвязанных моделей. Как правило, графическая информация о процессе, содержащаяся в моделях, легко усваивается, но для работы часто необходимо представить ее в виде обычных текстовых документов или таблиц (возможно, с рисунками). Для извлечения информации о моделях и объектах из

Рис. 2. Комплексная процессная модель

базы данных необходимо на языке JavaScript создавать программные модули (скрипты), с помощью которых осуществляется сбор и вывод информации в файлы документов.

Скрипт (script) – программа, набор специальных команд, в результате выполнения которых формируется файл отчета или изменяется наполнение базы данных.[4]

Помимо простого вывода информации, содержащейся в базе данных, с помощью скриптов возможно проводить анализ всей совокупности моделей и объектов (базы данных), обрабатывать статистику, проверять на корректность моделирования и выполнять любые другие действия, необходимые для документирования и анализа нарисованных моделей.

При создании скрипта, формирующего тот или иной отчет, необходимо хорошо представлять себе следующее:

- для кого будет создаваться отчет (например, отчет для руководства предприятия или отчет для средств массовой информации), т. е., какую информацию из базы данных отчет, возможно, отобразит;
- в какой форме (текст, рисунки, таблицы, графики) будет представлен отчет.

Сформированный отчет может быть сохранен в виде HTML-файла, файла формата текстового редактора MS Word, либо рабочей книги MS Excel.

Для формирования регламентирующих и методических документов по бизнес-процессам в РФЯЦ-ВНИИЭФ были разработаны следующие скрипты:

- таксономическая модель;
- паспорт аттестации рабочего места;
- структура процесса.

Для формирования информации о процессах, владельцах, кураторах, целях и продуктах процесса был разработан скрипт «Таксономическая модель». Скрипт предоставляет возможность выбора уровня детализации модели и формат сохранения отчета MS Word, либо MS Excel. Результатом работы скрипта является документ «Таксономическая модель ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

В связи с проведением проверки знаний и компетенций работников РФЯЦ-ВНИИЭФ, связанных с переходом на новые технологии, появилась необходимость автоматизированного получения паспорта аттестации рабочего места на основании данных КПМ. Для формирования паспорта аттестации рабочего места на каждую должность (профессию) работника, описанную в моделях организационной структуры, был разработан скрипт «Паспорт аттестации рабочего места». В состав паспорта входит информация по должности, процессам, информационным системам, целям, документам, НПБ, БКТ.

Для описания процессов КПМ был разработан скрипт «Структура процесса». Сформированный документ устанавливает объекты управления, цели, участников, границы, результаты, концептуальные основы, организации, определяет положение процесса в процессной модели ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Пользователями структуры процессов являются заместители директора, работники предприятия, являющиеся участниками процесса.

Также для своевременного анализа информации КПМ были разработаны скрипты-отчеты:

- получение информации по процессу – скрипт предназначен для получения сводной информации по процессу в виде таблицы отчета;
- проверка на типовые ошибки – скрипт предназначен для проверки разработанных моделей на типовые ошибки моделирования;
- статистика по описанию моделей – скрипт предназначен для сбора статистики по описанию моделей бизнес-процессов.

Все разработанные скрипты были зарегистрированы как интеллектуальная собственность и получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014615098 от 19.05.2014 «Библиотека программных кодов «Функции аналитической обработки информации (ФАОИ)».

Дальнейшее развитие КПМ даст возможность разрабатывать скрипты для проведения функционально-стоимостного анализа, проведения PERT-анализа.

В результате разработаны скрипты, с помощью которых решается основная задача – формирование регламентирующих и методических документов предприятия на основе комплексной процессной модели.

Возможность использования скриптов в БД КПМ является очень сильным инструментом, позволяющим документировать знания о компании и проводить анализ этих знаний. Решить данную задачу невозможно без применения скриптов, поскольку использование только графической информации во многих случаях невозможно или неудобно.

Информационные «выжимки» из базы данных КПМ в виде паспорта рабочего места, таксономический модели, структуры процесса являются одним из результатов описания деятельности РФЯЦ-ВНИИЭФ и активно используются сотрудниками компании.

1. СТО Росатом 3035-2012. Система управления бизнес-процессами.
2. [Electronic resource] Mode of access: http://www.scienceforum.ru.
3. Учебный курс «Создание и использование скриптов в ARIS». Руководство пользователя ARIS Script. Версия 6.0. Ноябрь, 2002.
4. Учебный курс «Создание скриптов для ARIS 7 Business Architect и ARIS Business Server». Версия 2.0. Июнь, 2006.

Опыт создания моделирующего комплекса для АЭС с РУ БН-1200

В.А. БОЛНОВ, И.С. ЗОТОВ, С.А. МАЛКИН, А.С. УШАТИКОВ, ОАО «ОКБМ Африкантов»

Проекты энергоблоков АЭС наряду с обоснованием безопасности должны проходить процедуру верификации – проверки проекта и его отдельных частей на моделях и экспериментальных данных, что соответствует рекомендациям МАГАТЭ[1]. В актуальной ревизии Европейских требований (EUR(D)) проект АЭС должен сопровождаться «инженерным симулятором» или моделирующим комплексом, который помимо верификации проектных решений должен использоваться как средство исследования динамических свойств установки на ранней стадии проектирования и поддержки эксплуатирующей организации.

Применение моделирующих комплексов позволяет конструктору (проектировщику) оперативно анализировать последствия отказов отдельного оборудования и принимать обоснованное решение по необходимой степени резервирования. Моделирующий комплекс является удобным инструментом для отработки алгоритмов автоматики и режимов при проектировании реакторной установки.

В ОАО «ОКБМ Африкантов» накоплен большой опыт создания моделей, предназначенных для отладки комплексных систем управления, компьютерных тренажеров и симуляторов для установок различных типов[2, 3]. Но особую актуальность создание моделирующих комплексов приобретает при проектировании инновационных реакторных установок.

Главной особенностью работ по созданию моделирующего комплекса для АЭС с РУ БН-1200 является разработка моделирующего комплекса на этапе технического проекта, что позволяет проводить проверку эффективности принимаемых технических и технологических решений по основным и вспомогательным системам, оптимизацию алгоритмов управления оборудованием и системами в различных режимах работы АЭС.

На этапе технического проекта целями создания моделирующего комплекса являются:

– проведение комплексной валидации проекта АЭС;

– моделирование режимов работы АЭС с целью обоснования технических и технологических решений по основным системам РУ и системам управления;

– подтверждение технических и технологических решений по системам и оборудованию АЭС;

– отработка алгоритмов управления оборудованием и системами РУ в составе проекта систем контроля и управления;

– проверка эксплуатационных пределов АЭС.

Структура моделирующего комплекса АЭС с РУ БН-1200

Моделирующий комплекс представляет собой совокупность расчетных кодов (РАСНАР-БН, SimInTech), объединённых в мультизадачу с программными оболочками, обеспечивающими выполнение расчета, связь кодов и графического интерфейса ввода-вывода, а также аппаратные средства, необходимые для моделирования процессов АЭС в реальном времени.

Моделирующий комплекс включает в себя:

- модель активной зоны, включая точечную модель кинетики нейтронов;
- теплогидравлические модели первого и второго контуров, промежуточного и воздушного контуров САОТ;
- граничные условия по третьему контуру;
- модель системы управления;
- видеокадры и упрощенную модель пультов управления.

Теплогидравлическая модель

Теплогидравлические модели первого и второго контуров, промежуточного и воздушного контуров САОТ, а также граничные условия по третьему контуру были созданы на базе программного комплекса (ПК) РАСНАР-БН. Расчетная схема в ПК РАСНАР-БН формируется по свободному принципу, обеспечивающему возможность выбора пользователем состава моделируемого оборудования, тепловых и гидравлических связей между элементами установки, разбиения элементов на расчетные участки в зависимости от целей расчета. В рамках данной работы ПК РАСНАР-БН был доработан в части возможности стыковки с ПК SimInTech, а также в части повышения устойчивости расчета воздушных контуров.

Исходные данные для моделирования были сформированы в виде интерактивных расчетных схем в среде SimInTech. Для этого ПК SimInTech был дополнен новой библиотекой блоков, соответствующих элементам ПК РАСНАР-БН.

Расчетная схема первого контура описывает основной тракт циркуляции для каждой из четырех петель, в который входят газо-натриевые объемы, промежуточный и автономный теплообменники, ГЦН-1, обратный клапан, клапан АТО и напорные трубопроводы. В расчетной схеме тракт циркуляции второго контура для каждой из четырех петель включает ПТО, два модуля ПГ, ГЦН-2, газовые объемы, трубопроводы и арматуру. Расчетная схема третьего контура включает в себя ПГ, коллектор на входе в ПГ и граничные условия.

На рисунке 1 приведен пример внешнего вида расчетной схемы.

Модель системы управления

Математическая модель системы управления (СУ) РУ была разработана в формате ПК SimInTech. Исходные данные для модели

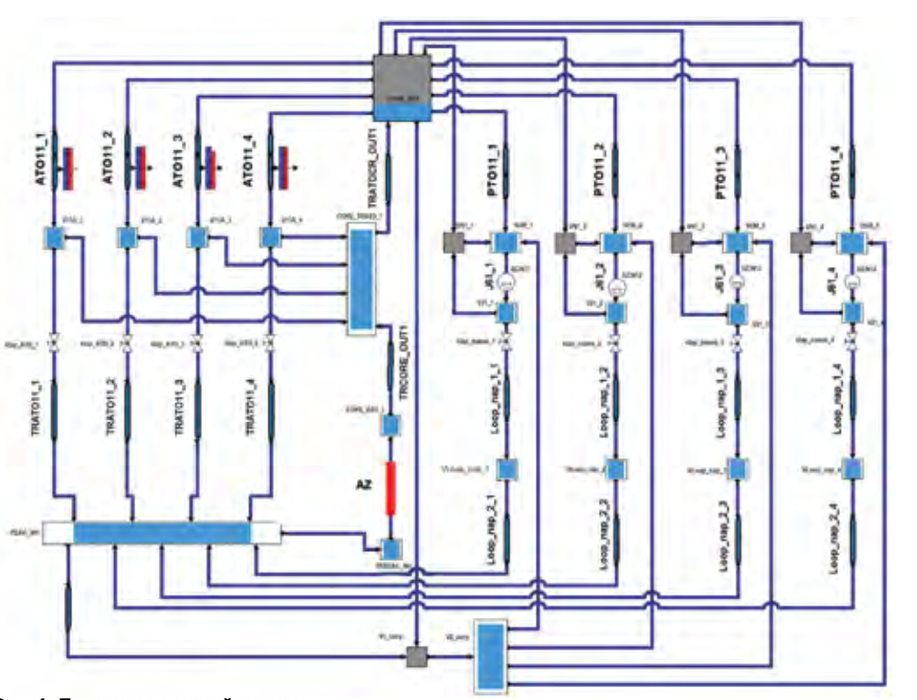


Рис. 1. Пример расчетной схемы

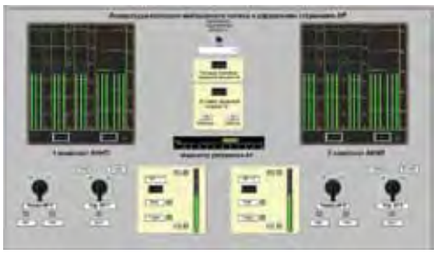


Рис. 2. Видеокадр контроля нейтронного потока

представляют собой совокупность файлов, содержащих все данные по моделируемым алгоритмам, базу данных сигналов, а также информацию о сетевых настройках ПО, данные, необходимые для обмена с моделью РУ. В ПК SimInTech исходные данные для модели СУ РУ представлены в виде графических диаграмм функциональных блоков. Это обеспечивает простоту и наглядность представления создаваемых алгоритмов. Непосредственно математическая модель создается автоматически при запуске расчета.

Модель СУ включает модель системы измерений, алгоритмы перемещения регулирующих органов, алгоритмы формирования сигналов АЗ и ПЗ, автоматический регулятор мощности.

Всем сигналам СУ, элементам арматуры, насосам, элементам системы измерения было присвоено имя в соответствии с KKS.

Пульт управления

Виртуальный пульт оператора представляет собой стендовую часть рабочего места оператора, которое содержит в себя средства отображения мозаичных панелей и видеокадров. Пульт оператора позволяет тестировать эргономику видеокадров, обосновывать функции оператора, а также проводить управление расчетом и визуальную демонстрацию работы математической модели энергоблока. Виртуальный пульт управления полностью эмулирует реальный пульт управления.

Разработка видеокадров мозаичных панелей и видеокадров произведена на базе программного комплекса SimInTech, который обладает полной библиотекой виртуальных элементов управления и контроля, применяемых на мозаичных панелях (рисунок 2). Разработка велась на базе мозаичных панелей и видеокадров проекта БН-800. Элементы управления и контроля разработанных видеокадров и мнемосхем «привязаны» к базе данных моделирующего комплекса.

Возможности комплекса по объему моделируемых режимов

Моделирующий комплекс РУ БН-1200 предоставляет возможность реалистичного динамического моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в основных системах и оборудовании в режимах нормальной эксплуатации и режимах с нарушением нормальной эксплуатации:

- переходные режимы снижения мощности со 100 %;
- отключение циркуляционных насосов первого и второго контура на номинальном режиме;
- режим со снижением или полной потерей питательной воды парогенератора (ов);
- потеря системного электроснабжения АЭС БН-1200.

Структура комплекса позволяет расширять номенклатуру рассчитываемых режимов, увеличивая состав моделируемого оборудования и систем, создавая на его базе стенд для отладки системы управления, полномасштабный или функциональный тренажер.

Пример использования комплекса для расчета режимов и отработки алгоритмов управления

Одним из применений моделирующего комплекса является отработка алгоритмов системы управления. Представление алгоритмов в виде функциональных схем позволяет значительно сократить сроки внесения изменений в модель системы управления и не требует от разработчика глубоких знаний языков программирования. В качестве примера можно рассмотреть задачу выбора режима работы шиберов ВТО при расхолаживании в случае потери системного электроснабжения АЭС. Данное исходное событие приводит к снижению расходов по первому и второму контурам, мощности теплоотвода третьим контуром и, как следствие, к увеличению температуры теплоносителя в реакторе. В качестве исходного состояния рассмотрим работу РУ на четырех петлях на номинальной мощности.

Для предотвращения указанных выше последствий в проекте предусмотрено срабатывание АЗ с подключением САОТ. Рассмотрим возможность осуществления расхолаживания в случае потери системного электроснабжения при одновременном участии САОТ и оборудования третьего контура. Рассмотрим вариант участия третьего контура при снижении давления за ПГ до 6 МПа и работе ВПЭН с подачей 10 % Dном для двух алгоритмов работы шиберов ВТО.

Моделируемая последовательность работы систем РУ для предложенного варианта приведена в таблице 1.

Результаты анализа влияния заданного значения температуры натрия на выходе из ВТО (рисунки 3-5) показали, что плавное снижение температуры натрия на выходе ВТО с 310° С до 230° С (для рассматриваемого значения расхода по третьему контуру и давления за ПГ) может привести к снижению мощности, отводимой САОТ, к прекращению расхода теплоносителя по первому контуру и промежуточному контуру АТО и, как следствие, «замерзанию» натрия в ВТО.

Таблица 1. Моделируемая последовательность работы систем РУ

Событие	Время, с
Снижение частоты вращения ГЦН-1 до 0	0 – 125
Снижение частоты вращения ГЦН-2 до 125 об/мин	0 – 28
Формирование сигнала АЗ «Потеря системного электроснабжения»	2
Ввод отрицательной реактивности 0,0206 К/К от стержней АЗ	2,7 – 3,7
Открытие шиберов ВТО (4 САОТ)	2,5 – 22,5
Закрытие отсечных секций выходных шиберов и изменение заданного значения температуры на выходе из ВТО - 310° С	При снижении температуры на входе в ВТО до 500°С
Вариант 1: Заданное значение температуры на выходе из ВТО начинает снижаться с 310 до 230°С со скоростью 30°С за час	При снижении температуры на входе в ВТО до 400°С
Вариант 2: Заданное значение температуры на выходе из ВТО изменяется на 230°С	при снижении температуры на входе в ВТО до 400°С

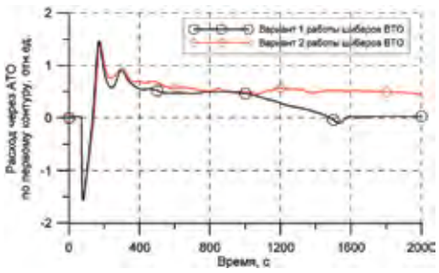


Рис. 3. Изменение расхода теплоносителя

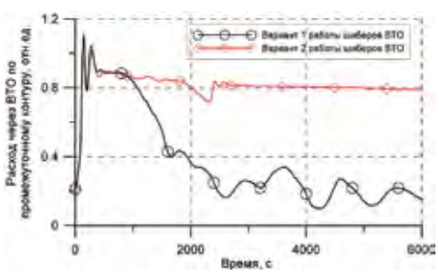


Рис. 4. Изменение расхода теплоносителя

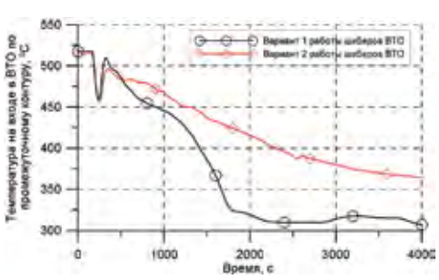


Рис. 5. Изменение температуры теплоносителя

Таким образом, проведенные оценочные расчеты показали, что расхолаживание в случае потери системного электроснабжения при одновременном участии САОТ и оборудования третьего контура возможно при расходе питательной воды 10% и втором алгоритме работы шиберов ВТО.

Из приведенного выше материала видно, что на любой стадии проектирования РУ разработчик, используя моделирующий комплекс в качестве рабочего инструмента, имеет возможность выбрать исследования любой сложности, разрабатывать и оптимизировать принципы регулирования параметров установки. Это достигается за счет использования современных средств моделирования системы управления установкой.

В ОКБМ создан моделирующий комплекс АЭС с РУ БН-1200, обеспечивающий оперативное исследование динамических характеристик при проектировании РУ и упрощающий процесс оптимизации алгоритмов управления.

В настоящее время идёт детализация модели реакторной установки и разработка модели паротурбинной установок, расширение моделирования системы управления, которые позволяют перейти к моделированию энергоблока в целом.

1. INSAG-10. Defence in depth in nuclear safety // IAEA. 1996.
2. Ф.М. Митенков, Н.Г. Кодочигов, В.А. Болнов и др. Разработка симулятора для проектирования реакторной установки ГТ-МГР // ВАНТ. 2004. С. 90-97.
3. А.Г. Эзеков, А.Н., Цыгвинцев, И.С. Зотов и др. Создание комплексной математической модели ЯЭУ в среде САПР МВТУ-4 // Материалы XI молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее-2013». СПб – ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2013. С. 176-178.

Сверхширокополосный индукционный измерительный преобразователь напряженности магнитного поля в полосе частот от 10 МГЦ до 15 ГГц

М.Г. КУЛИК, ФГУП «ВНИИА»

В статье приведены результаты исследования возможности измерения параметров магнитной компоненты электромагнитных полей в диапазоне частот от 10 мегагерц до 15 гигагерц с помощью индукционного измерительного преобразователя. Представлены особенности его работы и результаты экспериментальных исследований его характеристик.

В настоящее время, в связи с прогрессом в области развития высокочастотных средств радиосвязи значительный интерес представляют сверхширокополосные средства измерений, в особенности, в области сверхвысоких частот. Большинство измерений параметров электромагнитного излучения проводятся в дальней зоне излучения, где для получения информации о напряженности и временных параметрах импульса достаточно измерять лишь электрическую или магнитную компоненту. В ближней или промежуточной (в меньшей степени) зоне излучения доминирует электрическая или магнитная компонента, в зависимости от типа излучателя, что требует измерения каждой компоненты электромагнитного излучения в отдельности. Это актуально, например, при измерениях степени экранирования корпусов технических средств (ТС) или объектов, и при разработке мощных излучателей.

Предлагаемый измерительный преобразователь (ИП) позволяет в ходе испытаний ТС на воздействие электромагнитных полей вести контроль параметров нагружения по магнитной компоненте ЭМП, а также измерять наведенные магнитные поля внутри корпусов технических средств (ТС). Это даст дополнительную информацию о поведении ТС при воздействии электромагнитного поля (ЭМП) и позволит находить более эффективные меры защиты.

Основной характеристикой индукционного ИП является его переходная характеристика (ПХ), определяемая как реакция на воздействие ЭМП в виде единичного перепада напряженности с бесконечно коротким фронтом. ПХ реального ИП сначала быстро нарастает, а затем спадает по экспоненциальному закону. При измерении гармонических ЭМП целесообразно использовать амплитудно-частотную характеристику ИП.

За основу индукционного ИП была взята конструкция одновиткового ИП на ферритовом сердечнике[1,2,3,4]. Чувствительный виток образуется с помощью незамкнутой медной пластины с припаянным к ней коаксиальным кабелем так, что оплетка коаксиального кабеля припаяна с одной стороны медной пластины, а жила коаксиального кабеля – с другой стороны медной пластины. Низкоомное нагрузочное сопротивление устанавливается в разрыве медной пластины. Электрический отклик на воздействие импульса ЭМП снимается с нагрузки по коаксиальному кабелю и может быть зарегистрирован как по отдельности, так и в дифференциальном режиме осциллографом, имеющим соответствующую полосу рабочих частот.

В предполагаемой конструкции ИП форма медной пластины, образующей виток, подбиралась экспериментально из условия наилучшей равномерности вершины ПХ на начальном участке. В результате удалось добиться неравномерности менее ± 10% при времени нарастания ПХ ~ 20пс. Чувствительность ИП составила ~ 50 мВ/(А/м). Форма отклика ИП на воздействие ЭМИ с фронтом 24пс представлена на рисунках 1, 2. Погрешность воспроизведения амплитуды воздействующего импульса на рисунке 1 составила не более 10%.

Основным достоинством ИП данного типа является низкая чувствительность к электрической компоненте измеряемого ЭМП[5]. Если виток расположен в измеряемом поле так, что силовые линии электрической составляющей (вектора Е) параллельны вертикальной оси ИП с точностью ± 15°, токи, возбуждаемые на поверхности медной пластины и оплетке коаксиального кабеля, создают синфазную наводку на обоих концах нагрузки и не создают в ней сигнала напряжения. Отклонение вертикальной оси ИП от направления вектора Е нарушает синфазность наводки в нагрузке на временах порядка 50 – 100 пс (время растекания тока по витку), что приводит к наложению на полезный индуцированный сигнал наводки, как видно на рисунке 3.

На рисунках 4а и 4б показано, как изменяется форма отклика одновиткового чувствительного элемента с ферритовым сердечником при его вращении вокруг главной оси.

Из осциллограмм видно, что минимальная неравномерность отклика (менее ± 10 %) наблюдается в случае, когда одновитковый чувствительный элемент ориентирован по силовым линиям электрического поля относительно направления нагрузка – основание.

Следует отметить, что исследовалась «высокочастотная» неравномерность, имеющая характерные времена колебаний и выбросов 30 – 50 пс. Для исследований «низкочастотной» неравномерности переходной характеристики одновиткового чувствительного элемента использовался генератор И1-15, использующийся для измерения переходных характеристик четырехполюсников с фронтами переходных характеристик более 0,5 – 0,75 нс. Результат измерения показан на рисунке 5.

Неравномерность переходной характеристики на участке 0,5 – 3,5 нс составила не более ± 5 %. Измерения на более протяженном участке были затруднены тем, что через время 3,5 нс после фронта импульса приходит импульс электромагнитного поля, отраженный от полеобразующей установки.

Проведенные ранее измерения показали, что традиционное описание быстродействия ИП с помощью времени нарастания его ПХ является не совсем корректным в случае из-

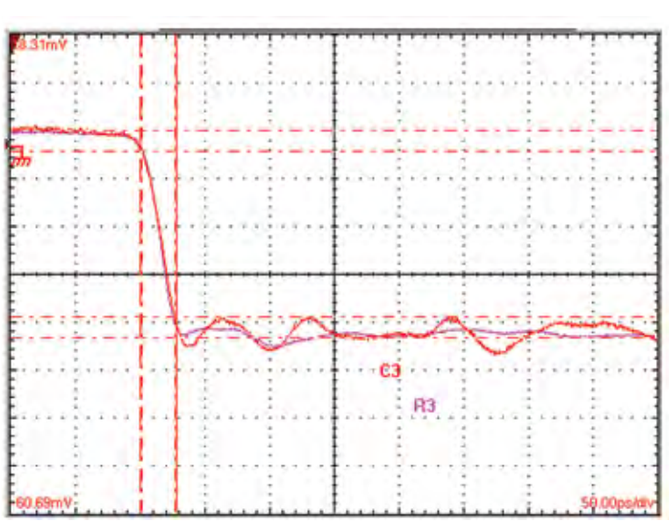


Рис. 1. Измерение неравномерности ПХ ИП на развертке 50 пс. R3 – импульс задающего генератора tфр = 24 пс, C3 – отклик ИП

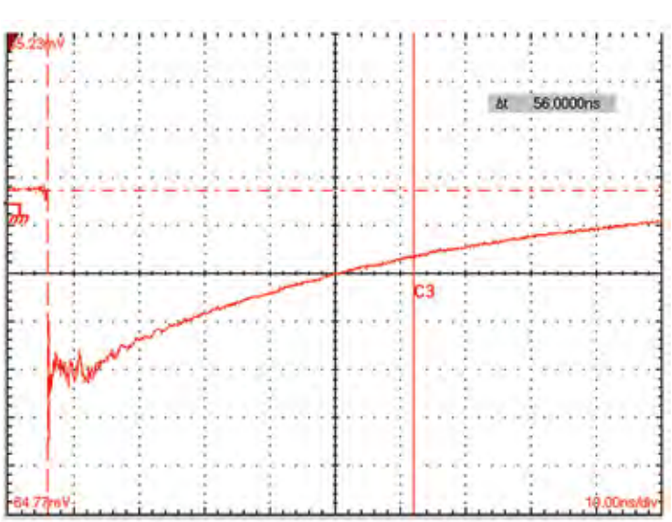


Рис. 2. Измерение неравномерности ПХ ИП на развертке 10 нс, C3 – отклик ИП

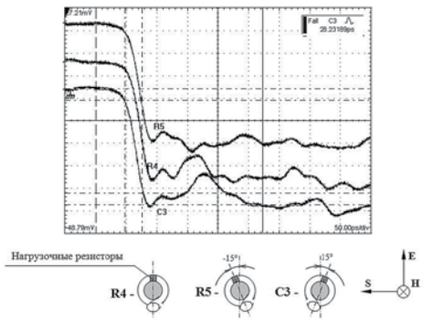
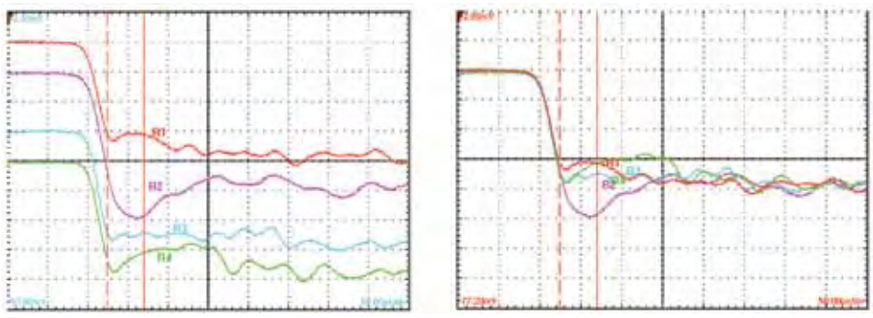


Рис. 3. Изменение формы отклика ИП при повороте вокруг главной оси. Фронт воздействующего ЭМИ – 24 пс



а) б)

Рис. 4. Зависимость неравномерности вершины переходной характеристики одновиткового чувствительного элемента с ферритовым сердечником при его различной ориентации относительно падающей волны. Развертка 50 пс/дел

мерения сигналов, минимальные длины волн спектра которых соизмеримы с размерами ИП. В данном случае отклик ИП может в точности воспроизвести очень короткий фронт воздействующего импульса, но затем в силу резонансных явлений или отражений форма отклика будет полностью искажена наложением паразитного сигнала в виде колебаний сложной формы, амплитуда которых может составлять до 100% полезного сигнала. Помимо вклада в отклик помех электрической компоненты, форма отклика искажается при наложении на него исходного импульса, отраженного от элементов конструкции ИП.

На рисунках 6 и 7 показаны амплитудно-частотные характеристики в полосе от 1 МГц до 20 ГГц, полученные для измерительного преобразователя с помощью полеобразующей установки и рупорной антенны с полосой 1-18 ГГц, соответственно.

Осцилляции в полосе от 1 ГГц до 20 ГГЦ в амплитудно-частотной характеристике измерительного преобразователя, показанные на рисунках 6 и 7, связаны с неравномерностью поля по длине измерительного преобразователя и возбуждением самого измерительного преобразователя на частоте около 9 ГГц и кратных ей, что видно на рисунке 7. Резкое уменьшение амплитуды выходного сигнала на рисунке 7 связано с верхней граничной рабочей частотой рупорной антенны равной 18 ГГц.

На рисунке 7 в отличие от рисунка 6 заметно возрастание амплитуды выходного сигнала в диапазоне от 1 ГГц до 18 ГГЦ. Коэффициент усиления антенны учитывался в характеристике на рисунке 7.

Основные характеристики измерительного преобразователя для импульсного электромагнитного поля представлены в таблице 1.

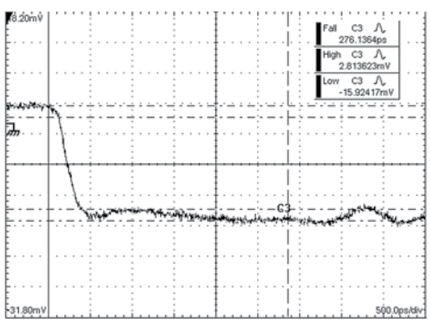


Рис. 5. Неравномерность переходной характеристики одновиткового чувствительного элемента с ферритовым сердечником на участке 0,5 – 3,5 нс. Развертка 500 пс/дел

Предложенный измерительный преобразователь позволяет измерять магнитные поля от 0,08 до 1300А/м в диапазоне частот от единиц мегагерц до 15 гигагерц. Точность измерения напряженности для магнитной составляющей импульсного электромагнитного поля по оценкам составляет около 10% (0,8 dB).

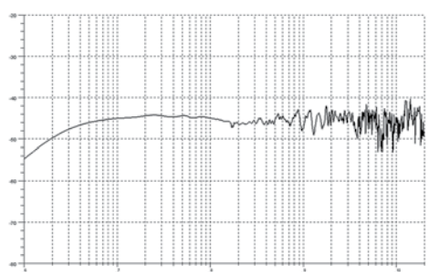


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика измерительного преобразователя от 1 МГц до 20 ГГц, полученная с помощью полеобразующей установки

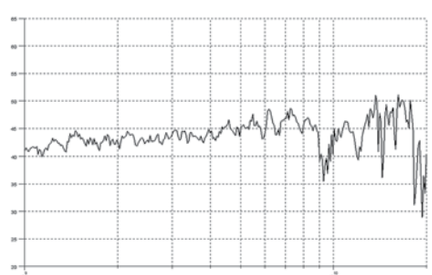


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика измерительного преобразователя от 1 ГГц до 20 ГГц, полученная с помощью рупорной антенны с полосой 1 ГГц – 18 ГГц

1. Baum C.E. Maximizing Frequency Response of a Loop // Sensor and Simulation. 1964. Notes VIII. pp. 1 – 12.
2. C. F. M. Carobbi, L. M. Millanta, L. Chiosi The high-frequency behavior of the shield in the magnetic-field probes, Proc. of IEEE Int. Symp. on EMC, Aug. 21-25th 2000, Washington, USA., pp. 35-40
3. Carobbi C. F. M., Millanta L. M. Analysis of the Common-Mode Rejection in the Measurement and Generation of Magnetic Fields Using Loop Probes // IEEE Trans. Inst. Meas. 2004. vol. 53. no. 2. pp. 514 – 523.
4. Ediss R. Probing the magnetic field probe. Philips Semiconductors. UK // Название сайта: URL: http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/030718.htm.
5. Кулик М.Г., Неуструев В.В., Филатов В.В. и др. Измерение магнитной компоненты электромагнитного поля гигагерцового диапазона с помощью сверхширокополосного индукционного преобразователя // Технология ЭМС. 2014. № 1/2 (48). с. 21-25.

Таблица 1

Наименование характеристики, единица измерения	Значение
1. Амплитудный диапазон напряженности измеряемых полей, А/м	0,08*-1300
2. Коэффициент преобразования, мВ/(А/м)	51
3. Основная погрешность коэффициента преобразования при доверительной вероятности P=0,95, %	± 10
4. Основная погрешность коэффициента преобразования в диапазоне температур от минус 20 до плюс 40°С, %	± 2
5. Основная погрешность коэффициента преобразования при относительной влажности до 90% и температуре 25°С, %	± 1,5
6. Время нарастания переходной характеристики (ПХ), пс	20
7. Постоянная спада ПХ до уровня 0,37 от установившегося значения, нс	50
8. Неравномерность вершины ПХ в интервале до 150 пс, %	± 10**
9. Длина кабельной линии связи (КЛС), м	3,5 ± 0,5
10. Габаритные размеры первичного преобразователя (ПП), мм	25x25x140

* Нижняя граница диапазона измерения определяется возможностями осциллографа на выходе ТПМП112. Значение 0,08 А/м соответствует работе со стробоскопическими осциллографами с коэффициентами отклонения до 1 мВ/дел.
** Нормируется при ориентации вертикальной оси ПП (стрелка Е на торцевой поверхности корпуса ПП) параллельно силовым линиям электрической составляющей измеряемого ЭМИ с погрешностью не более ± 10°.

Способ и устройство запуска пиротехнических средств при испытаниях на ракетном треке

А.В. ЗУБАНКОВ, В.А. НИКОЛАЕВ, И.И. КОРТЮКОВ, М.А. ХАЙРУЛЛИН, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

При проведении экспериментов на установках, предназначенных для разгона до заданной скорости различных объектов, одним из важнейших направлений являются испытания с моделированием свободного полета объектов в атмосфере.

Запуск в строгой последовательности линейных ступеней ракетных поездов (РП) и катапультирование объекта испытаний в свободный полет обеспечивает система запуска пиротехнических средств ступеней ракетного поезда.

Используемая в настоящее время система запуска пиротехнических средств ступеней ракетного поезда является системой контактного типа. Применяемая система проста в исполнении и эксплуатации и, что важно, обеспечивает выдачу исполнительных команд по пути движения РП, но она работоспособна при малых скоростях разгона.

Рис. 1. Система бесконтактного запуска пиротехнических средств [2]

Практика создания современных средств вооружений требует проведения высокоскоростных испытаний.

В связи с этим появилась необходимость в системе, обеспечивающей бесконтактный запуск пиротехнических средств высокоскоростных ракетных поездов. Система бесконтактного запуска пиротехнических средств представлен на рис. 1.

В основе способа заложен принцип формирования токовых импульсов для срабатывания пиротехнических средств движущихся ступеней

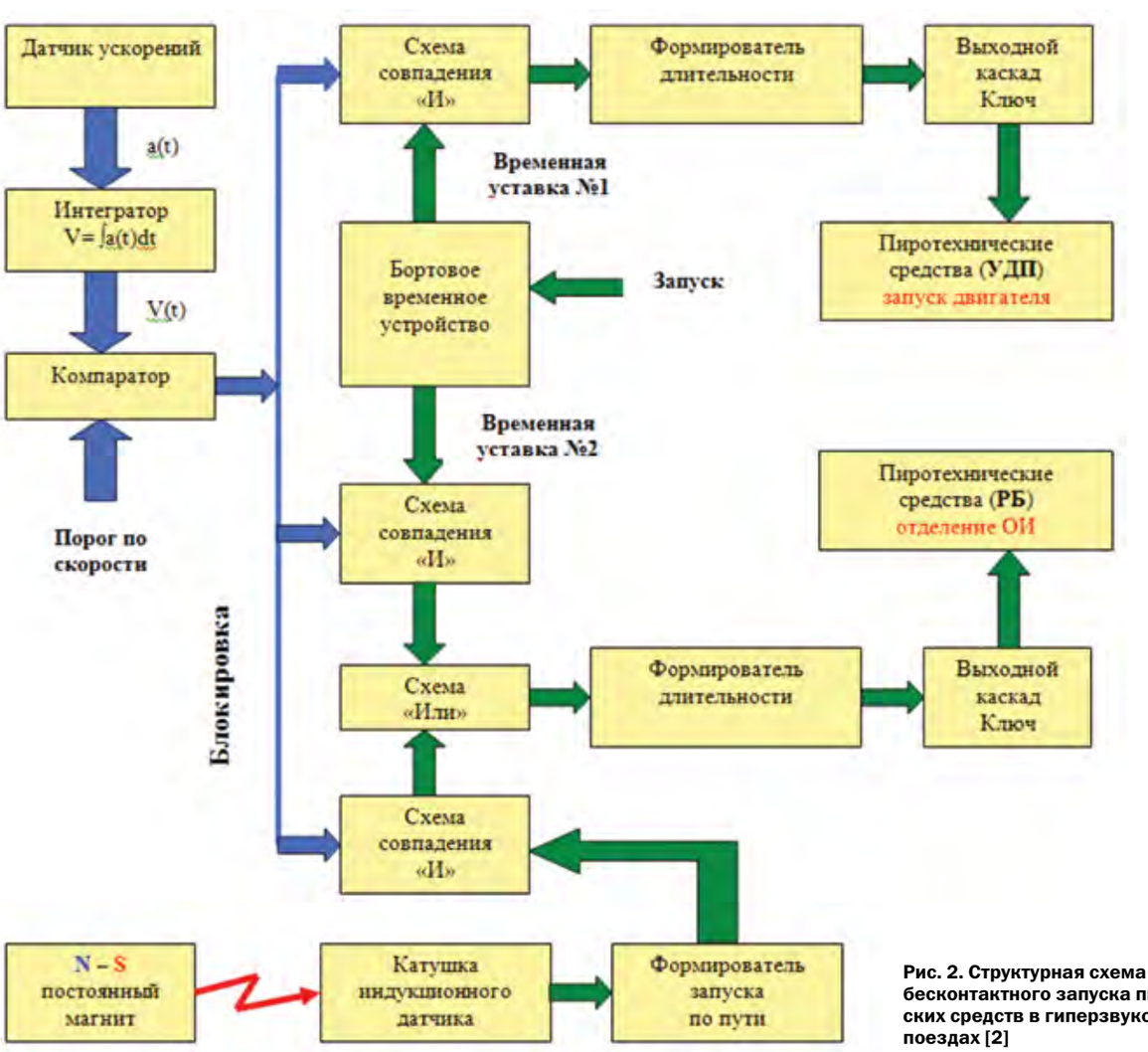


Рис. 2. Структурная схема устройства бесконтактного запуска пиротехнических средств в гиперзвуковых ракетных поездах [2]

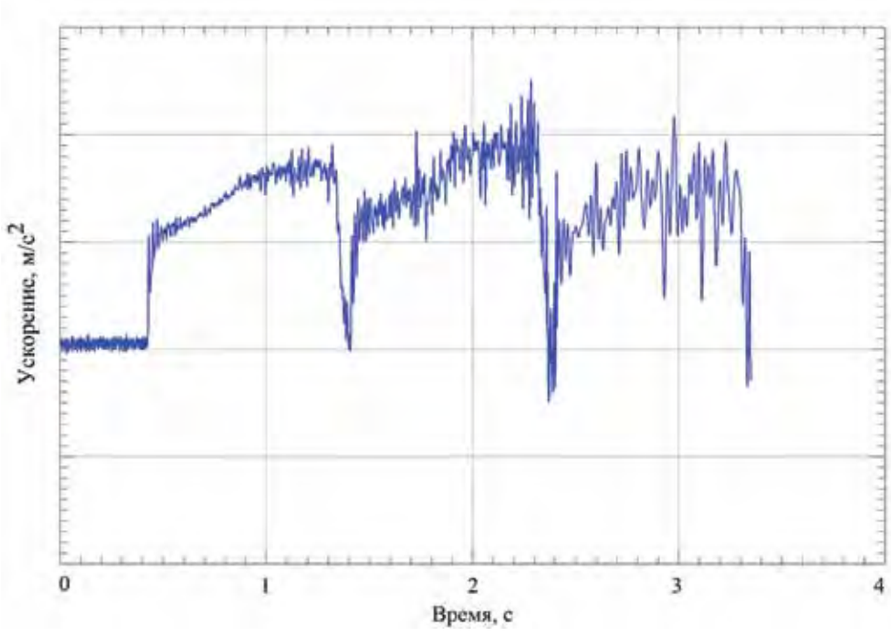


Рис. 3. Зависимость ускорения РП от времени

ракетного поезда при высоких скоростях от бортового временного устройства (запуск по времени) и отделение объекта испытаний (катапультирование объекта испытаний в свободный полет) в заданной координате (запуск по пути) от бортовой схемы, формирующей сигнал запуска пиротехнических средств, в момент прохода бортовой катушки индукционного датчика мимо установленного на рельсовых направляющих постоянного магнита.

Учитывая ответственность факта катапультирования и повышенные требования к исполнению команды на отделение объекта испытаний, предусмотрено дублирование команды на срабатывание пиротехнических средств от бортового временного устройства, но с приоритетом запуска по пути.

При своей простоте и доступности запуск пиротехнических средств по времени не является универсальным, менее пригоден, чем запуск по пути, хотя очевидно более надежен. Он в полной мере удовлетворяет требованиям запуска пиротехнических средств разгонных ступеней и в практике позволяет решать испытательные задачи, близкие к реальным. Но у запуска по времени есть существенный недостаток. При возникновении нештатных ситуаций (взрыв двигателя работающей ступени и т. д.) система запуска по времени отрабатывает и выдает команды на срабатывание пиротехнических средств в нерегламентированные моменты, что может привести к дополнительным разрушениям.

Для исключения подобных ситуаций в состав системы запуска пиротехнических средств по времени необходимо вводить ступени предохранения, блокировки. В качестве наиболее универсального и надежного блокирующего фактора необходимо использовать движение ракетного поезда. Запуск пиротехнических средств, то есть команда на разрешение запуска соответствующих устройств, произойдет только в том случае, если фактическая скорость движения РП превысит заданную величину.

Структурная схема устройства бесконтактного запуска пиротехнических средств в высокоскоростных ракетных поездах представлена на рис. 2, а зависимости ускорения, скорости РП и электрических сигналов исполнительных команд на запуск пиротехнических средств от времени представлены на рис. 3, 4 соответственно.

Разработанная система бесконтактного запуска может быть применена при проведении экспериментов с запуском пиротехнических средств при разгоне РП и катапультированием объектов в свободный полет.

При этом обеспечиваются:

– запуск по времени каждой ступени ракетного поезда, движущейся со скоростью выше заданных значений;

– запуск системы отделения объекта испытаний (катапультирование объекта испытаний в свободный полет) по пути (запуск по пути с резервированием по времени);

– блокировка цепей управления запуском пиротехнических средств с учетом фактической скорости движения ракетного поезда (команда на запуск пиротехнических средств может быть сформирована и выдана только при движении ракетного поезда со скоростью, превышающей заданную величину).

Предлагаемые способ и устройство запуска пиротехнических средств опробованы в условиях МИК и показали свою работоспособность.

1. Ю.И. Файков. Методы и средства наземной отработки боевого оснащения ракетного оружия. Избранные статьи и доклады. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2008.

2. А.В. Зубанков, В.А. Николаев, И.И. Кортюков, Ю.А. Кирдяшкин, В.В. Страбыкин, М.А. Хайруллин. «Способ запуска пиротехнических устройств и устройство для его осуществления». Бюллетень № 6, патент на изобретение № 2476712 опубликован 27.02.2013.

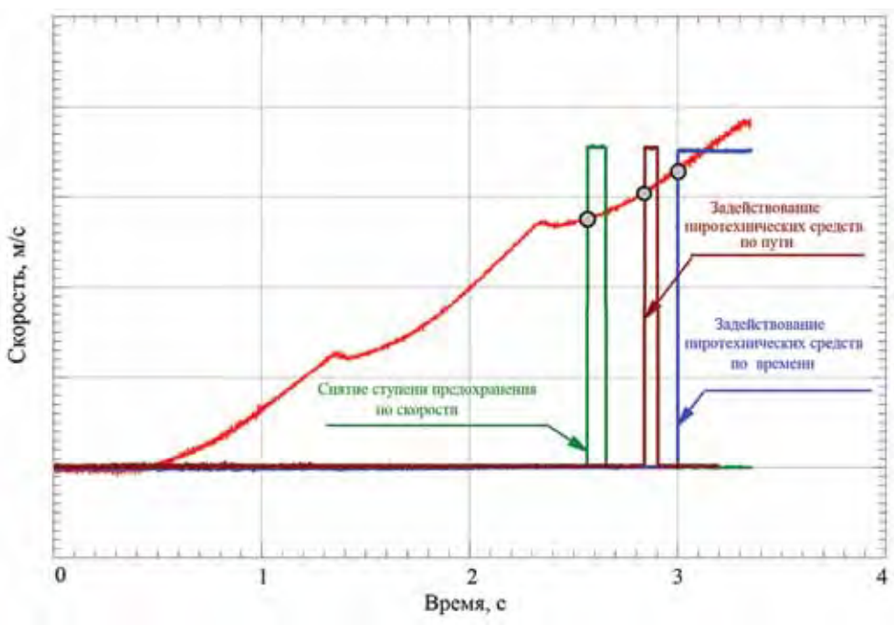


Рис. 4. Зависимость скорости РП и электрических сигналов исполнительных команд на запуск пиротехнических средств от времени

Применение методов моделирования в разработке многоканального анализатора спектра одиночных СШП-сигналов

А.В. КАШИН, А.Л. КУНИЛОВ, М.М. ИВОЙЛОВА, ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Для решения ряда научных и прикладных задач, обуславливающих применение одиночных СШП-сигналов, актуальным является создание высокочувствительных анализаторов спектра (АС), исследующих спектрально-энергетические параметры, способных функционировать в условиях сложной электромагнитной обстановки.

Среди многообразия научно-технических задач, стоящих перед разработчиками данной аппаратуры, особое место занимает проблема создания многоканального приёмного устройства (МПУ), обеспечивающего оптимальный приём и первичную обработку СШП– сигналов. МПУ, являющееся основным компонентом создаваемого АС, разрабатывается на основе многоканального приёмника прямого усиления, на входе каждого канала которого установлены высокодобротные полосно-пропускающие фильтры (ППФ), преобразующие принимаемый СШП-сигнал в радиоимпульс с длительностью, требуемой для его дальнейшей оптимальной обработки [1, 2].

В настоящей работе методами моделирования определены наиболее близкие к оптимальным значения параметров, входящих в приёмный канал устройств при воздействии на вход МПУ видеоимпульса длительностью $\tau \approx 0{,}5$ нс и радиоимпульса с ЛЧМ длительностью $\tau \approx$ 50 нс с изменением частоты в импульсе от 0,5 ГГц до 4,5 ГГц. Разработаны математическая и компьютерная модели приёмного канала, с помощью которых исследованы переходные и стационарные процессы прохождения СШП-сигналов и собственных шумов.

Структурная схема МПУ СШП-сигналов

Структурная схема МПУ приведена на рис. 1.

Входы приёмных каналов Вх 1 – Вх N подключены к широкополосной АФС. Выходы каналов Вых 1 – Вых N подключены к измерительному устройству, регистрирующему уровни максимального напряжения сигнала на этих выходах в заданном временном приёмном «окне». Как видно на рис. 1, каждый канал приёмного устройства является приёмником прямого усиления, особенностью которого

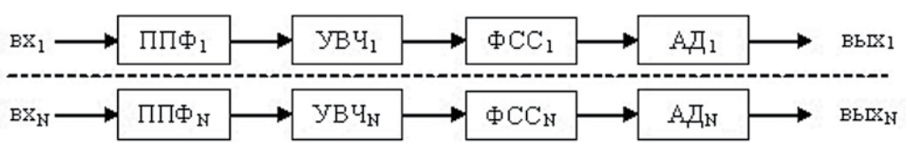


Рис. 1. Структурная схема МПУ

является наличие на входе полосно-пропускающего фильтра ППФ. При воздействии на вход приёмного устройства СШП-сигнала входные фильтры ППФ дают отклики в виде радиоимпульсов, которые усиливаются в УВЧ, фильтруются в фильтрах сосредоточенной селекции ФСС от собственных шумов УВЧ и далее детектируются амплитудными детекторами АД. Измерительное устройство, подключённое к выходу АД, в заданном приёмном «окне» измеряет с помощью АЦП максимальное значение напряжения (амплитуду) на его выходе. По полученным значениям амплитуды, огибающей радиоимпульсов на выходах всех приёмных каналов, воспроизводится форма энергетического спектра СШП-сигнала.

Таким образом, создание подобного МПУ предусматривает решение следующих задач:

– определение параметров ППФ каждого канала МПУ, обеспечивающих максимально узкую полосу пропускания при заданном ослаблении на центральной частоте, с учётом возможности их практической реализации на основе коаксиальных керамических резонаторов (ККР);

– определение параметров ППФ и ФСС, обеспечивающих в каналах МПУ преобразование СШП-сигналов в радиоимпульс, характеристики которого (длительность и форма огибающей) позволяют реализовать для него оптимальный приём;

– определение оптимального значения пороговой чувствительности каналов МПУ, обеспечивающего отсутствие в приёмном «окне» выбросов собственного шума УВЧ, прошедшего через ФСС и АД.

Практическое решение первой и второй задач затрудняется наличием в составе МПУ приёмных каналов, отличающихся по значению центральных частот ~ в 4 раза (нижняя граница спектра ~ 1 ГГц, верхняя ~ 4 ГГц). Это не позволяет реализовать входные фильтры каналов ППФ с идентичными характеристиками (полосами пропускания и коэффициентами передачи). Решение третьей задачи усложняется разбросом по каналам коэффициентов усиления и шума УВЧ.

Определение параметров входных ППФ и ФСС каналов МПУ

Входные ППФ должны обеспечивать максимально узкую полосу пропускания при заданном ослаблении на центральной частоте, поэтому в качестве ППФ рассматривается 2-резонаторный фильтр на основе ККР. В предположении идентичности каналов МПУ в части ширины полос пропускания входных ППФ, задача обеспечения полосы решалась для канала, настроенного на самую высокую частоту. Критерием выбора оптимального ФСС является требование формирования на его выходе радиоимпульса длительностью не менее 50 нс с одногорбой формой огибающей. Для обеспечения заданной длительности выходного сигнала в качестве ФСС рассматривается 3-резонаторный фильтр на основе ККР.

Коэффициенты передачи $K(\omega)$ и импедансы $Z_F(\omega)$ фильтров на основе ККР определяются с использованием принципа декомпозиции и матриц передачи А [3, 4]. Оптимальные значения параметров ППФ и ФСС получаются из решения системы уравнений вида

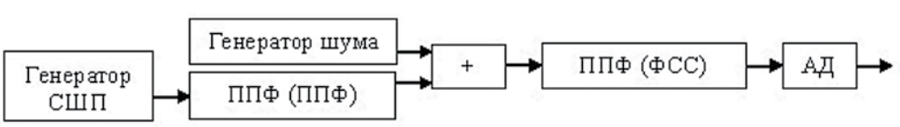


Рис. 2. Структурная схема модели приёмного канала с генератором СШП-сигналов

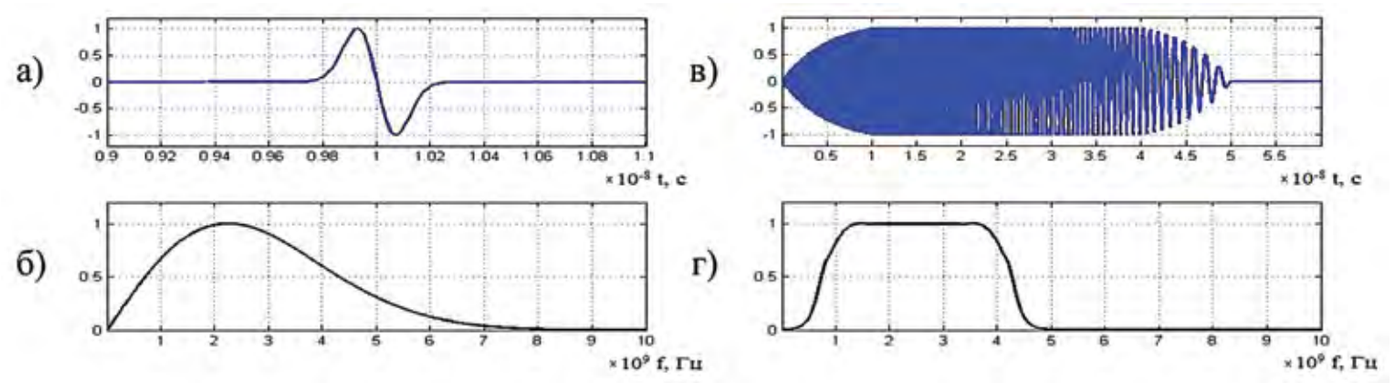


Рис. 3. Осциллограммы входных сигналов и их спектры: а) – моноцикл Гаусса; б) – спектр моноцикла Гаусса; в) – радиоимпульс с ЛЧМ; г) – спектр радиоимпульса с ЛЧМ

$$\begin{cases} \mathrm{Im}[Z_F(\omega_0)] = 0 \\ \left(\partial |K| / \partial \omega\right)_{\omega = \omega_0} = 0 \\ |K(\omega_1)| = 0.7|K(\omega_0)| \\ |K(\omega_2)| = 0.7|K(\omega_0)| \end{cases} \quad (1)$$

где ω_1 и ω_2 – верхняя и нижняя границы полос пропускания, ω_0 – центральные частоты.

Система (1) решается при условии, что первое и второе уравнения имеют один действительный корень на интервале от нуля до $3\omega_0$. Из всех возможных решений выбирается то, для которого ослабление на центральной частоте является минимальным.

Проведённые расчет и моделирование показали, что:

– предельные значения полос пропускания ППФ на основе ККР, реализуемые на всех частотных каналах, составляют ~ 30-50 МГц;

– оптимальное значение полосы пропускания ФСС на основе ККР, формирующего длительность радиоимпульса ~ 50 нс, составляет ~ 10 МГц;

Моделирование прохождения в приёмном канале СШП-сигнала и собственного шума УВЧ

Моделирование прохождения в приёмном канале СШП-сигнала и собственного шума УВЧ проводится в пакете ПО Matlab, при этом рассматривается СШП-сигнал двух видов – моноцикл Гаусса и радиоимпульс с ЛЧМ, собственный шум УВЧ – нормальный (гауссов), с равномерным распределением мощности спектральных составляющих («белый» шум). Смесь «сигнал + шум» считается аддитивной. Для удобства моделирования входной ППФ рассматривается в качестве генератора радиоимпульсных сигналов, а остальная часть приёмного канала – в качестве оптимального приёмника этих сигналов.

Структурная схема модели приёмного канала приведена на рис. 2.

Аналитически входные СШП-сигналы можно представить как моноцикл Гаусса [5]

$$s(t) = \frac{(t_0 - t)\sqrt{e}}{\rho} \exp\left[-\frac{(t - t_0)^2}{2\rho^2}\right] \quad (2)$$

где ρ – длительность импульса, t_0 – сдвиг по времени, и радиоимпульс с ЛЧМ [6]

$$s(t) = A(t)\sin\left(\frac{\mu}{2}t^2 + \omega_н t\right) \quad (3)$$

где

$$A(t) = \begin{cases} \dfrac{1 - \exp(-ct)}{1 - \exp(-c\tau_p)}, & 0 \le t \le \tau_p \\ 1, & \tau_p < t < \tau - \tau_p \\ \dfrac{1 - \exp(ct - c\tau)}{1 - \exp(-c\tau_p)}, & \tau - \tau_p \le t \le \tau \end{cases}$$

$\omega_н$ – несущая частота, μ – скорость изменения частоты во времени, c – крутизна фронтов, τ_p – длительность фронтов, τ – длительность радиоимпульса.

Осциллограммы входных сигналов и их спектры приведены на рис. 3.

Импульсные характеристики ППФ $h_{ППФ}$ и ФСС $h_{ФСС}$ можно выразить через обратное преобразование Фурье от их коэффициентов передачи. Представив коэффициенты передачи фильтров в виде ступенчатых функций с шагом Δω, получим

$$h_{ППФ} = \sum_{n=1}^{N} \frac{K_2(\omega_n)}{\pi t} \sin\left(\frac{\Delta\omega t}{2}\right) \exp\left[i\left(\omega_n + \frac{\Delta\omega}{2}\right)t\right] \quad (4)$$

$$h_{ФСС} = \sum_{n=1}^{N} \frac{K_3(\omega_n)}{\pi t} \sin\left(\frac{\Delta\omega t}{2}\right) \exp\left[i\left(\omega_n + \frac{\Delta\omega}{2}\right)t\right] \quad (5)$$

где $K_2(\omega_n)$ и $K_3(\omega_n)$ – n-ные отсчеты коэффициентов передачи ППФ и ФСС, $\omega_n = n\cdot\Delta\omega$ – n-ный отсчет по частоте.

Используя полученные импульсные характеристики фильтров, сигналы на выходе ППФ $S_{ППФ}$, ФСС $S_{ФСС}$ и АД $S_{АД}$ можно представить как свертки

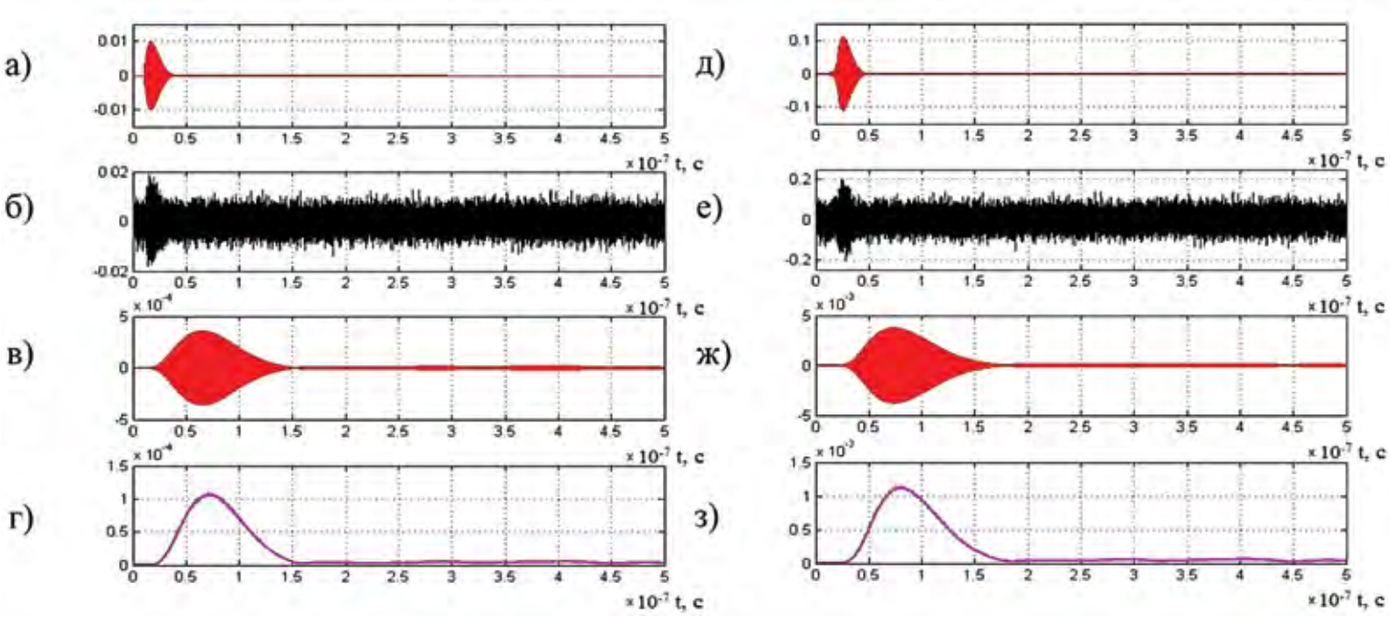


Рис. 4. Осциллограммы сигналов и шума на выходе ППФ, входе ФСС, выходе ФСС и выходе АД: а) – г) – для входного сигнала в виде моноцикла Гаусса; д) – з) – для входного сигнала в виде радиоимпульса с ЛЧМ

$$s_{ППФ} = \mathrm{Re}\{s * h_{ППФ}\} \quad (6)$$

$$s_{ФСС} = \mathrm{Re}\{(s_{ППФ} + s_{Ш}) * h_{ФСС}\} \quad (7)$$

$$s_{АД} = \mathrm{Re}\{I * h_{RC}\} \quad (8)$$

где $S_Ш(t)$ – шумовой сигнал,

$$I = I_0(\exp(s_{ФСС}/\varphi) - 1)$$

– ток на выходе диода АД, I_0 – обратный ток насыщения, φ – температурный потенциал,

$$h_{RC} = (1/C)\exp(-1/RC)$$

.

Осциллограммы сигналов и шума на выходе ППФ, входе ФСС, выходе ФСС и выходе АД для входного сигнала в виде моноцикла Гаусса приведены на рис. 4(а-г), для входного сигнала в виде радиоимпульса с ЛЧМ на рис. 4(д-з).

Анализ приведённых на рис. 4 осциллограмм показал, что:

– наблюдается эффект улучшения отношения сигнал/шум на выходе ФСС;

– форма сигнала на выходе ППФ подтверждает инвариантность приёмного канала к СШП-сигналам обоих видов.

Моделирование прохождения в приёмном канале собственного шума УВЧ

Целью моделирования являлось определение пороговой чувствительности приёмного канала, при которой на выходе АД полностью отсутствовали выбросы собственного шума УВЧ. Уровень собственного шума УВЧ на выходе АД определяется коэффициентом шума УВЧ, полосой пропускания и коэффициентом передачи приёмного канала.

Среднее число положительных выбросов стационарного Гауссова процесса x(t) можно определить по формуле [6]

$$M(x_0) = \frac{\sqrt{-r_x''(0)}}{2\pi}\exp\left[-\frac{x_0^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (9)$$

где x_0 – заданный уровень, σ_x – дисперсия, r_x'' – вторая производная нормированной на σ_x^2 функции корреляции случайного процесса.

Корреляционная функция R(τ) связана обратным преобразованием Фурье со спектральной плотностью мощности W(ω) процесса x(t). Тогда дисперсия и вторая производная нормированной корреляционной функции при τ = 0 равны

$$\sigma_x = R(0) = \sum_{n=1}^{N}\sqrt{\frac{W_n\Delta\omega}{2\pi}} \quad (10)$$

$$r_x''(0) = -\sum_{n=1}^{N}\frac{W_n\Delta\omega}{2\pi}\left[\frac{\Delta\omega^2}{4} + \left(\omega_n + \frac{\Delta\omega}{2}\right)^2\right] \Big/ \sum_{n=1}^{N}\frac{W_n\Delta\omega}{2\pi}$$

где

$$W_n = |K_3(\omega_n)|^2$$

– n-ный отсчет спектральной плотности мощности. Уровень максимального выброса определим, подставив в уравнении (9) M = 1 и выразив x_0 как

$$x_0 = \sqrt{-2\sigma_x^2\ln\left(2\pi/\sqrt{-r_x''(0)}\right)} \quad (11)$$

Оценка эффективного значения собственного шума на выходе АД проводилась во временном «окне» 0,5 мс. Результат моделирования приведен на рис. 5.

По результатам моделирования оценочное значение максимального выброса шума на выходе АД в ~ 7 раз (~ 17 дБ) превысило его среднее (эффективное) значение.

Практическое применение результатов моделирования

Полученные результаты моделирования приёмного канала были использованы при разработке экспериментального образца АС одиночных СШП-сигналов, предназначенного для проведения космического эксперимента по изучению диссипативных и дисперсионных свойств атмосферы и ионосферы [7]. Внешний вид и размещение на борту ИСЗ экспериментального образца АС одиночных СШП-сигналов приведены на рис. 6.

Таким образом, рассмотрена проблема создания МПУ, обеспечивающего оптимальный приём и первичную обработку СШП-сигналов, при этом разработаны математические и компьютерные модели устройств, которые позволяют сформулировать оптимальные технические требования к ним и отказаться от этапа предварительного макетирования, что значительно сокращает сроки и стоимость работ.

1. Глазков В.Я., Ивойлова М.М., Кунилов А.Л., Шишкин Д.Р. Особенности проектирования анализаторов спектрально-энергетических параметров одиночных СШП-сигналов // Материалы XVII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». Нижний Новгород. 2012. С. 82.
2. Ивойлова М.М., Кунилов А.Л., Шишкин Д.Р. Оптимизация характеристик приёмного СВЧ устройства анализатора спектра СШП-сигналов методами математического моделирования // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Екатеринбург. Изд-во УрГУ. 2012. С. 32.
3. Козлов В.А., Кунилов А.Л., Светлаков Ю.А., Шишкин Д.Р., Ивойлова М.М. Проектирование полосно-пропускающих СВЧ-фильтров на основе коаксиальных керамических резонаторов // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Екатеринбург. Изд-во УрГУ. 2012. С. 204-205.
4. Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е. М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М. «Связь». 1970. 440 с.
5. Дмитриев В. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов // «Компоненты и технологии». № 9. 2003.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М. «Высшая школа». 1988. 448 с.
7. Кашин А.В., Илларионов И.А., Кунилов А.Л., Глазков В.Я., Шишкин Д.Р., Яремчук Р.А., Ивойлова М.М. Регистратор спектрально-энергетических параметров СШП-сигналов // «Радиопромышленность». Вып. 1. Москва. 2013. С. 74-78.

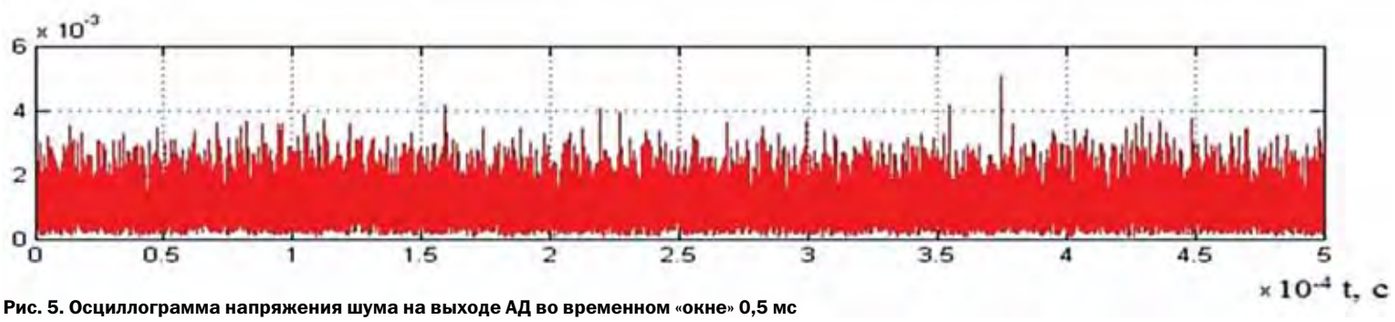
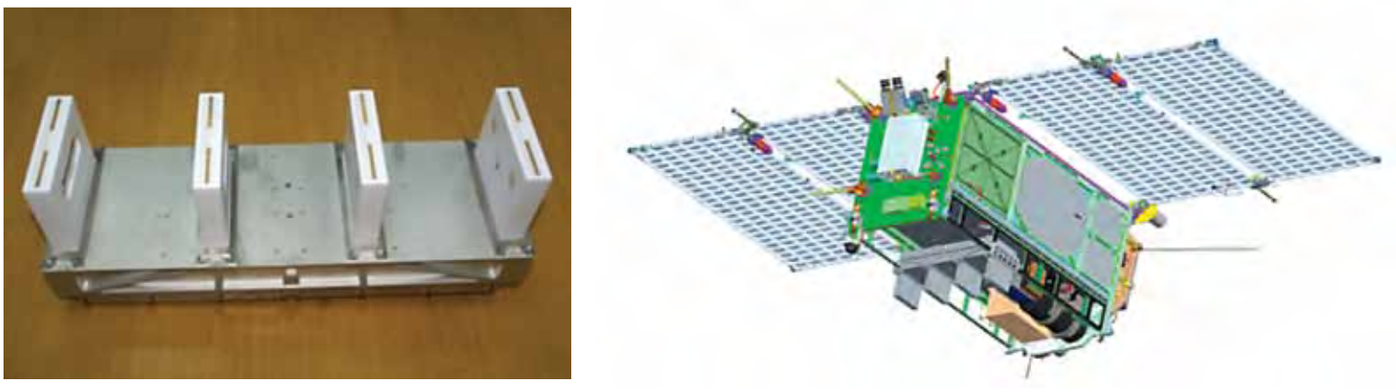


Рис. 5. Осциллограмма напряжения шума на выходе АД во временном «окне» 0,5 мс



а) **б)**

Рис. 6: а) – внешний вид АС; б) – размещение АС на борту ИСЗ

Исследование и разработка процесса осаждения тонких пленок нитрида кремния для формирования структур МИМ-конденсаторов МИС СВЧ

Н.С. КОЗЛОВА, А.О. ШИШКИН,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова»

В настоящее время монолитные интегральные схемы, работающие в сверхвысокочастотном диапазоне (МИС СВЧ), получили широкое распространение как в гражданской, так и в военной технике. МИС СВЧ представляют собой законченные устройства, не требующие каких-либо подстроечных компонентов. Основными достоинствами МИС СВЧ являются высокая надежность, небольшие размеры и низкая стоимость. Номенклатура МИС СВЧ включает генераторы сигналов, усилители, детекторы задержки сигналов, модуляторы и т. д.

Одним из факторов, обеспечивающих надежность МИС СВЧ в целом, является надежность входящих в состав схемы пассивных и активных элементов. К наиболее важным пассивным элементам МИС СВЧ относятся МИМ-конденсаторы в связи с широким набором выполняемых ими функций (пропускание колебаний высокой частоты, передача сигнала из одной части схемы в другую, блокировка постоянной или переменной составляющей сигнала и др.). При увеличении рабочей частоты в импедансе МИМ-конденсатора начинает преобладать индуктивная составляющая и он становится непригодным в качестве емкостного элемента электрической цепи. Для улучшения частотных характеристик устройств необходимо уменьшение импеданса, которое возможно при увеличении емкости МИМ-конденсаторов МИС СВЧ.

Емкость МИМ-конденсатора прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости материала между его обкладками, и обратно пропорциональна толщине диэлектрика между обкладками с фиксированной площадью. В связи с этим для изготовления МИМ-конденсаторов большой емкости необходимо применять материалы с высокой относительной диэлектрической проницаемостью и уменьшать толщину диэлектрика между обкладками.

В настоящей работе в качестве материала с высокой относительной диэлектрической проницаемостью для МИМ-конденсаторов МИС СВЧ выбран нитрид кремния (SiNx). Выбор SiNx обусловлен его полной совместимостью с технологией производства КМОП СБИС и бóльшей диэлектрической проницаемостью по сравнению с диоксидом кремния. Традиционно SiNx получают высокотемпературным осаждением, однако, в связи с необходимостью снижения температуры технологических процессов на этапе формирования металлизации, этот способ является неприменимым для формирования диэлектрического слоя МИМ-конденсаторов МИС СВЧ, поэтому необходимо использовать низкотемпературное осаждение из газовой фазы.

Таким образом, исследование и разработка процесса низкотемпературного осаждения тонких пленок SiNx для формирования структур МИМ-конденсаторов МИС СВЧ с большой емкостью является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка процесса осаждения тонких пленок SiNx для формирования структур МИМ-конденсаторов МИС СВЧ, характеризующихся высокой равномерностью осаждения по толщине, хорошей адгезией к металлическим слоям, коэффициентом преломления ≈(1,92±0,05) и низким содержанием водорода.

Осаждение пленок SiNx выполнялось в реакторе для химического осаждения из газовой фазы с холодной стенкой и плоскопараллельными электродами. Толщина и показатель преломления полученного SiNx измерялись методом эллипсометрии. Качественный состав пленок определялся методом ИК-Фурье спектрального анализа в диапазоне (400–4000) $см^{-1}$. Полученные в результате измерений данные обрабатывались согласно методам математической статистики.

В рамках настоящей работы получены следующие результаты:

1) Низкотемпературное осаждение тонких пленок SiNx при параметрах базового процесса характеризуется высокой скоростью осаждения (≈136 Å/с). Осаждение тонких пленок SiNx возможно только при замедлении скорости протекания химической реакции;

2) Проведен анализ способов уменьшения скорости осаждения пленок с учетом тенденций изменения характеристик SiNx в диапазонах варьирования входных параметров процесса. На уменьшение скорости осаждения оказывают влияние увеличение расхода азота, межэлектродного расстояния, мощности и давления, уменьшение расхода моносилана и аммиака, а также разбавление реакционной смеси инертным газом (аргоном);

3) Учитывая факторы, снижающие скорость осаждения, разработан процесс осаждения тонких пленок SiNx толщиной ≈150 Å. Пленки, осажденные в разработанном процессе, характеризуются:

- скоростью осаждения ≈30 Å/с;
- неравномерностью осаждения по толщине ≈2,2 %;
- коэффициентом преломления ≈1,94;
- неравномерностью распределения коэффициента преломления ≈1,0%;

4) Рассчитанная удельная емкость МИМ-конденсатора с толщиной SiNx ≈150 Å составляет ≈(4,13-5,31) $фФ/мкм^2$ при относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне от 7 до 9;

5) Рассчитанное максимальное напряжение пробоя SiNx толщиной ≈150 Å при диэлектрической силе, равной (5-10) мВ/см, составляет (7,5-15) В;

6) ИК-Фурье спектральный анализ тонких пленок SiNx показал, что колебания связей Si-H ((2000-2260) $см^{-1}$), N-H (3483 $см^{-1}$) и N-H2 (3337 $см^{-1}$) наблюдаются на уровне шума. Водород в пленках присутствует в виде связей N-H, которые совершают деформационные колебания на 1176 $см^{-1}$, однако указанные связи являются достаточно прочными и не представляют собой угрозы надежности изделия;

7) Установлено, что при минимизации количества водородных связей не происходит ожидаемого уменьшения коэффициента преломления SiNx. Предложены модели колебаний связей Si-N, которые объясняют стабильность коэффициента преломления пленок SiNx при изменении содержания связей Si-H и N-H.

Таким образом, исследован и разработан процесс осаждения тонких пленок SiNx толщиной ≈150 Å. Результаты представленной работы будут использованы для изготовления структур МИМ-конденсаторов МИС СВЧ. Разработанный процесс позволит формировать МИМ-конденсаторы на основе низкотемпературного SiNx с удельной емкостью до ≈ 6 $фФ/мкм^2$, что значительно превышает минимальное допустимое значение удельной емкости МИМ-конденсатора при проектировании МИС СВЧ (не менее ≈2 $фФ/мкм^2$). Изготовление МИМ-конденсаторов с использованием разработанного процесса улучшит частотные характеристики устройств и обеспечит широкие функциональные возможности МИС СВЧ.

В дальнейшем проведенные в работе исследования будут использованы при изучении структуры и свойств нестехиометрических тонких пленок SiNx с минимальным содержанием связей Si-H и N-H.

Разработка SPICE-моделей компонентов для импульсного преобразователя напряжения

В.А. ОТСТАВНОВА,
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Создана модель импульсного преобразователя напряжения в пакете схемотехнического моделирования SystemVision системы Mentor Graphics. Для создания модели всей схемы преобразователя были разработаны схемотехнические (SPICE) модели элементов: биполярных транзисторов npn и pnp типа, диодной матрицы, трансформаторов на ферритовых сердечниках (включая модель сердечника). В моделях компонентов учтено влияние на характеристики ЭРИ дестабилизирующего фактора – температуры, в диапазоне -60°С до +85°С, для обеспечения возможности рассчитать схему всего импульсного преобразователя при температурном воздействии.

Основная часть

Импульсный преобразователь напряжения включает в себя следующие компоненты:

- биполярные транзисторы npn (1НТ251А2) и pnp (2ТС622А1) типа;
- диодные матрицы (2ДС627В);
- трансформаторы на ферритовых сердечниках.

Для того, чтобы получить полностью рабочую математическую (схемотехническую) модель преобразователя, адекватную полученным при измерениях результатам, были созданы модели входящих в нее компонентов, с использованием результатов измерения их характеристик.

Модели активных элементов

Процедура определения параметров SPICE-моделей:

1. Измерение статических, динамических характеристик [1];
2. Определение и расчет параметров для SPICE-моделей из результатов измерений;
3. Определение температурного коэффициента XTI экспоненциальной зависимости тока насыщения от температуры для SPICE-моделей [1]. Формула (1) для расчета XTI [2,3] приведена ниже:

$$fact = \frac{EG_{eff}(T_{ном})}{V_t(T_{ном})} - \frac{EG_{eff}(T)}{V_t(T)} + XTI \cdot ln\frac{T}{T_{ном}} \quad (1)$$

где:

fact– коэффициент, учитывающий влияние температуры;

T – температура (в градусах Кельвина), при которой рассчитываются параметры;

$T_{ном}$ – номинальная температура окружающей среды (27°С);

$EG_{eff}(T)$ – ширина запрещенной зоны;

$V_t(T)$ – тепловой потенциал.

4. Проверка правильности работы разработанной модели.

На рис. 2 и 3 представлены измеренные и смоделированные характеристики моделей транзистора и диода для диапазона температур.

Модели пассивных элементов

SPICE-модели трансформаторов строились на основе модели перемагничивания Джилса-Атертона [4, 5].

Модель строится путем определения параметров модели по экспериментально снятым для различных амплитуд индукции семействам петель гистерезиса [6].

Также в модели трансформатора используется уточненная математическая модель сердечника, позволяющая адекватно отобразить монотонное снижение проницаемости, характерное для ферромагнетиков при сильных магнитных полях [7].

Для верификации макромодели использовалась часть схемы импульсного преобразователя, в состав которого входит трансформатор.

В полученной SPICE-модели трансформатора также были учтены температурные коэффициенты FBS, FBR и FHC [8, 9], которые рассчитывались по формулам (2, 3, 4):

BS(BTEMP) = BS . (1+ FBS . (BTEMP – T)) (2)
BR(BTEMP) = BS . (1+ FBR . (BTEMP – T)) (3)
HC(BTEMP) = BS . (1+ FBS . (BTEMP – T)) (4),

где:

FBS – коэффициент зависимости индукции насыщения BS от температуры, 1/°С;

FBR – коэффициент зависимости остаточной магнитной индукции BR от температуры, 1/°С;

FHC – коэффициент зависимости коэрцитивной силы HC от температуры, 1/°С.

На рис. 4 и 5 представлены смоделированные характеристики одного из трансформаторов (трансформатор понижающий), который использовался при создании модели импульсного преобразователя.

Моделирование работы схемы импульсного преобразователя

После того как все модели компонентов были созданы и проверены, они были добавлены в полную схемотехническую модель импульсного преобразователя.

Измеренное и смоделированное напряжение на выходе схемы представлено на рис.6.

Погрешность моделирования выходного напряжения составляет не более 15% по сравнению с результатами измерений.

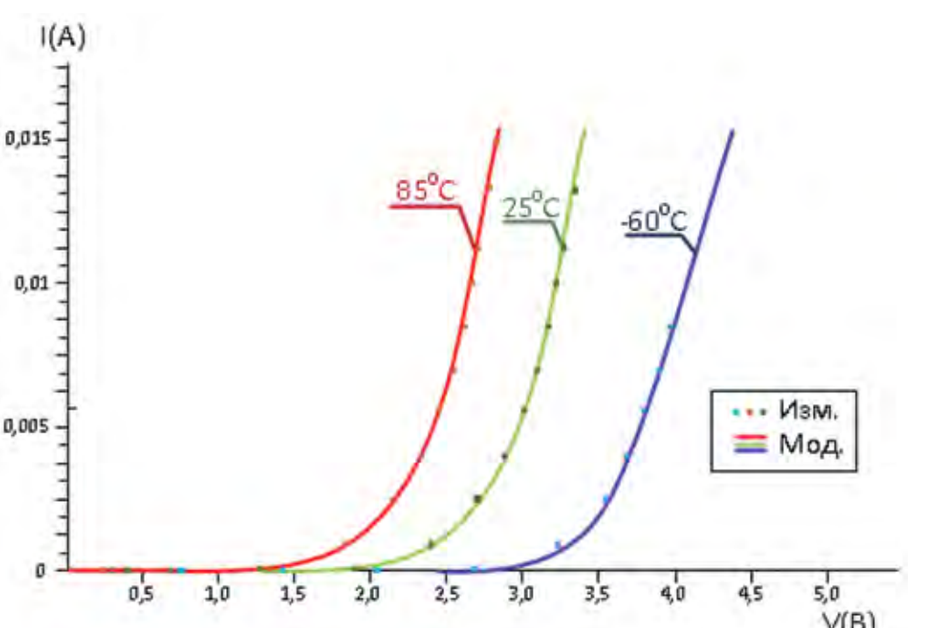


Рис. 2. Сравнение измеренной (квадраты) и смоделированной (линия) с помощью пакета SystemVision ВАХ для диодной матрицы 2ДС627В

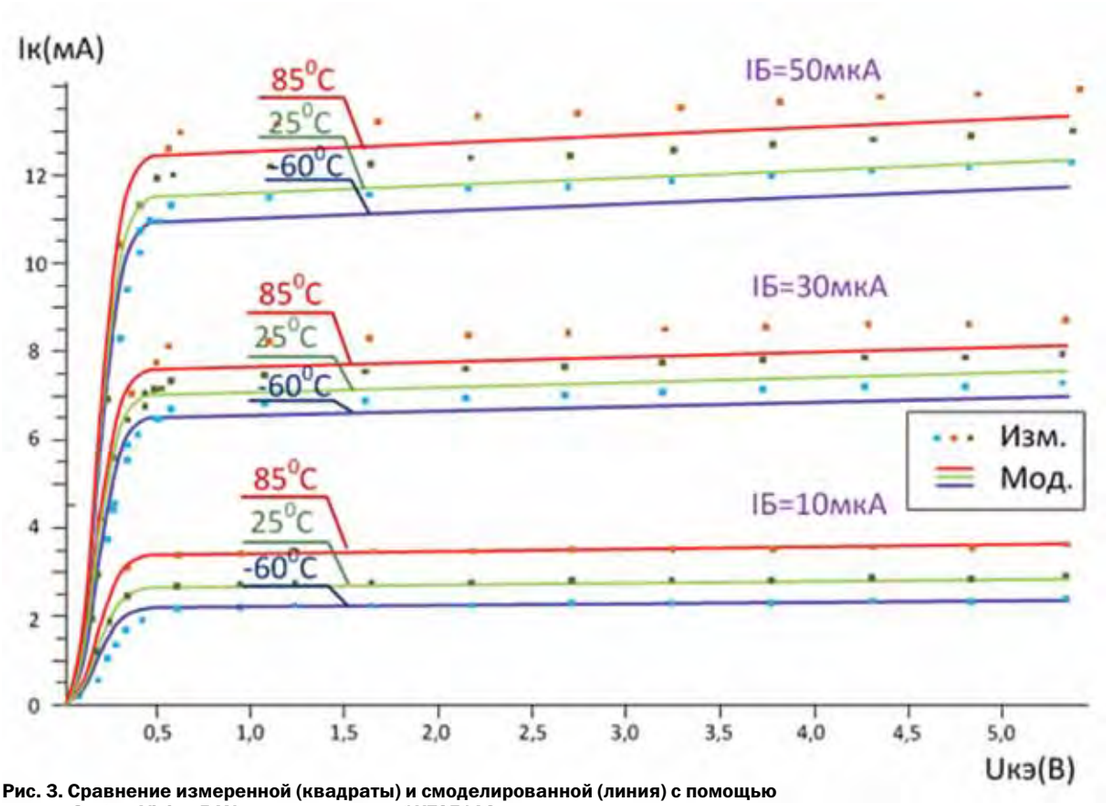


Рис. 3. Сравнение измеренной (квадраты) и смоделированной (линия) с помощью пакета SystemVision BAX для транзистора 1HT251A2

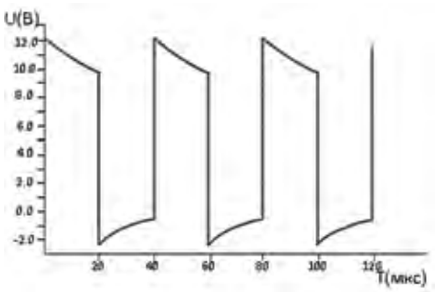


Рис. 4. Смоделированные входные импульсы на трансформаторе T2

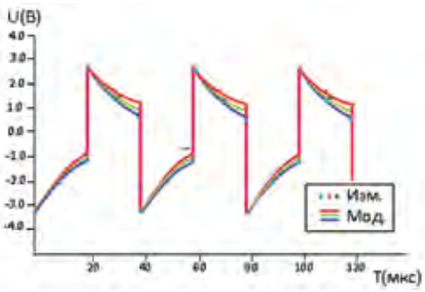


Рис. 5. Смоделированные выходные импульсы на трансформаторе T2

Выводы

Разработаны SPICE-модели компонентов: диодной матрицы 2ДС627В, транзистора 2ТС622А1 pnp и npn типа, трансформаторов ТТР5062-03, ТТР5149076, ТТР31499, ТТР5143.

Промоделирована работа импульсного преобразователя напряжения с использованием разработанных SPICE-моделей компонентов в пакете SystemVision. Модели компонентов обеспечили точность моделирования импульсного преобразователя напряжения не хуже 15% по сравнению с результатами измерений.

Созданная модель импульсного преобразователя напряжения позволила исследовать особенности его функционирования, работу при различных температурах (-60°С, +25°С, +85°С), проанализированы параметрические зависимости, что в свою очередь, позволило усовершенствовать схему. По результатам моделирования выданы предложения по корректировке схемы на серийное предприятие.

1. Харитонов И.А., Малышев А.А., Александров А.В., Гоманилова Н.Б., Петросянц К.О., Самодуров Д.А., Чемеза Д. М. // «Информационно-измерительный комплекс для определения параметров схемотехнических SPICE-моделей электронных компонентов с учетом температуры». Доклад на X Международной научно-практической конференции «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий». 2013.

2. SPICE Elements and device models manual, Version Z-2007.03. 2007.

3. SPICE MOSFET models manual, Version Z-2007.03. 2007.

4. Злоказов Ю.П., Климанский Ю.И. // Создание SPICE-моделей магнитных компонентов с использованием систем Accusim II и Eldo, Современная электроника № 7. 2013.

5. Новиков А.А., Амелин С.А. // Экспериментальное исследование параметров модели перемагничивания ферромагнетиков Джилса-Атертона. Электричество, № 9. 1999.

6. Isaak D. Mayergoyz // Mathematical models of Hysteresis and theis applications. Department of electrical and computer engineering University of Maryland, USA. 2003.

7. Calimera, A., Macii, A.; Macii, E. // THERMINATOR: Modeling, control and management of thermal effects in electronic circuits of the future // Proc. of 16th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), 6-8 Oct. 2010. Barcelona, Spain, p.p. 1–6.

8. Недолужко И.Г., Каюков Д.С. // Модификация Pspice-модели магнитного сердечника. Силовая электроника № 1. 2005.

9. Глебов Б.А., Каюков Д.С., Недолужко И.Г. // Модели магнитных компонентов. Практическая силовая электроника, № 11. 2003.

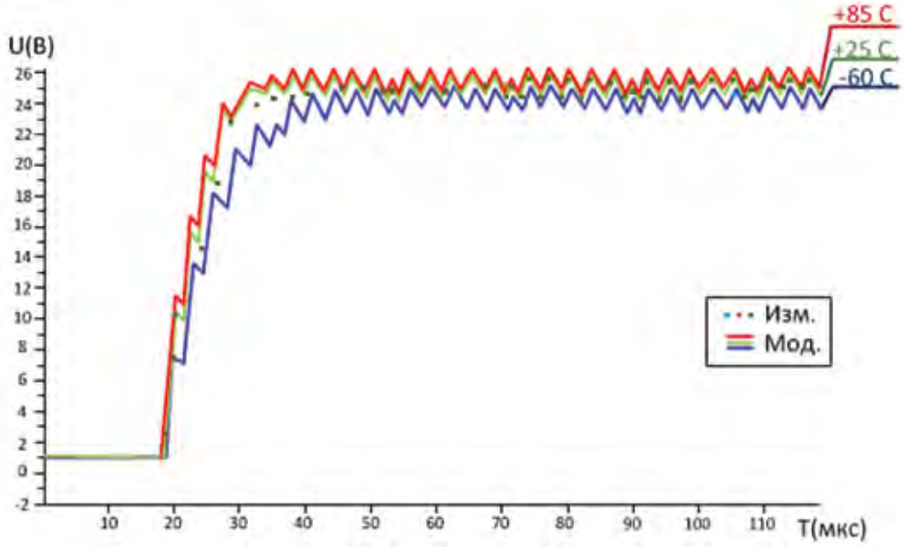


Рис. 6. Напряжение на выходе схемы импульсного преобразователя

Моделирование коаксиально-полоскового перехода

А.С. ДАНИЛОВ, С.Н. УСТИМЕНКО,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

В наши дни существует потребность измерения микросхем в СВЧ области. Основной интересующей характеристикой для многих устройств являются S-параметры, для измерения которых используются векторные анализаторы цепей. Однако измерения на частотах порядка гигагерц осложнены необходимостью учитывать весь путь сигнала от измерительного прибора до измеряемого устройства. Чтобы убрать из результатов измерений кабели и прочую измерительную оснастку векторного анализатора, разработаны различные методы калибровки (например, SOLT калибровка). А как быть с коннекторами (чаще всего коаксиально-полосковыми переходами) и предшествующими непосредственно измеряемому устройству цепями и печатными проводниками? Для этого можно использовать процедуру так называемого де-эмбеддинга, которая обычно применяется для измерений на пластине.

Основой для процедуры де-эмбеддинга служит теория четырёхполюсников, где было доказано, что если сложить матрицы сопротивлений (Z-матрицы) двух четырёхполюсников, включенных абсолютно последовательно, то результатом сложения будет служить матрица сопротивлений четырёхполюсника, образованного последовательным соединением исходных четырёхполюсников. А если четырёхполюсники включены совершенно параллельно, то следует складывать их матрицы проводимостей (Y-матрицы), чтобы получить матрицу проводимостей их параллельного соединения[1]. Так, путём вычитания Z и Y матриц различных тестовых структур из измерений, к примеру, транзистора, расположенного на пластине, убирают контактные площадки и прочие паразитные элементы[2].

Для вычитания всех предшествующих микросхеме цепей на плате одним из авторов данной работы было предложено использовать A-матрицы (подробно останавливаться на этом не имеет смысла, так как сама по себе идея совершенно не нова). Однако в процессе перепроверки методики было обнаружено, что коаксиально-полосковый переход вычитается из исходных измерений большее, чем нужно, число раз. Как уже было отмечено, данная методика не нова, и она решается измерениями интересующего нас перехода рефлектометром для кабельных линий [2], последующим моделированием перехода и вычитанием его из всех измерений (фактически мы спускаем калибровку до первой полосковой линии на плате). Далеко не во всех векторных анализаторах есть упомянутый выше рефлектометр, соответственно, надо, используя только S-параметры, составить модель коаксиально-полоскового перехода или, что ещё лучше, получить его A-матрицу. Данной проблеме и посвящена эта работа.

Теоретическая часть

Так как требуется получить матрицу A-параметров перехода для двух портов, самих переходов будет всегда два, один из которых будет расположен условно под 0 градусов к первому порту, а второй переход – под углом 180 градусов к первому порту. К тому же, между переходами неизбежно что-то будет (например, небольшой проводник). Получается, что если составить цепь A-матриц (их умножение даёт каскадное соединение четырёхполюсников), получится следующий результат: переход*проводник*перевёрнутый переход=результат измерений. Получается одно уравнение с двумя неизвестными. Допустим, что проводник – это простая линия задержки, тогда, если удвоить её длину, результат можно будет представить как две соединённые каскадом линии исходной длины, то есть: переход*проводник*проводник*перевёрнутый переход=результат измерений № 2. Это второе уравнение. Систему уравнений для A-матриц можно записать следующим образом.

Решая данную систему уравнений и учитывая, что переменные здесь – это на самом деле матрицы, у которых порядок умножения имеет значение, получаем следующее выражение: , где – обратная матрица для A измеренное 2. Данное выражение в дальнейшем может именоваться как основное уравнение. Итак, получается, что можно однозначно определить параметры четырёхполюсника, образованного каскадным соединением перехода и перевёрнутого перехода. Правильность полученного выражения была проверена путём моделирования в ADS. Была задана эквивалентная схема перехода, которая использовалась для построения приведённых выше тестовых структур. Затем математически были определены A-параметры левой и правой частей уравнения. Как видно на рисунке 1, они совпадают, что свидетельствует о правильности полученного выражения.

Теперь надо получить параметры самого перехода. Можно попытаться добавить третье уравнение, однако, чтобы не усложнять тестовые структуры и избежать погрешности, связанной с неточностью их изготовления, лучше этого не делать (добавление тестовой структуры с тремя линиями не позволяет разрешить систему уравнений относительно A-матрицы перехода).

Второй подход состоит в том, что при зеркальном отражении перехода по оси OY фактически поменяются местами элементы главной диагонали в A-матрице отраженного перехода по сравнению с неотраженным. Получается, что левая часть основного уравнения может быть представлена как произведение двух матриц вида . Так как правая часть однозначно определяется из измеренных S-параметров, то просто запишем её как какие-либо известные. Получаем систему уравнений.

$$a*d+b*c=A11$$
$$2*a*b=A12$$
$$2*c*d=A21$$
$$c*b+a*d=A22.$$

Решения данной системы показаны на рисунке 2.

Eqn Aline_assume1=stoabcd(Single_Line..S)*inverse(stoabcd(double_Line..S))*stoabcd(Single_Line..S) Eqn Acc_left=stoabcd(conn_forw..S)*stoabcd(conn_rev..S)

freq	Aline_assume1				Acc_left			
	..._assume1(1,1)	..._assume1(1,2)	..._assume1(2,1)	..._assume1(2,2)	Acc_left(1,1)	Acc_left(1,2)	Acc_left(2,1)	Acc_left(2,2)
1.000 GHz	-0.719 + j6.603...	-0.002 + j24.620	-2.238E-6 + j0.0...	-0.719 + j6.603...	-0.719 + j6.603...	-0.002 + j24.620	-2.238E-6 + j0.0...	-0.719 + j6.603...
1.100 GHz	-0.880 + j5.975...	-0.004 + j13.538	-2.914E-6 + j0.0...	-0.880 + j5.975...	-0.880 + j5.975...	-0.004 + j13.538	-2.914E-6 + j0.0...	-0.880 + j5.975...
1.200 GHz	-0.996 + j4.200...	-0.006 + j0.571	-3.595E-6 + j0.0...	-0.996 + j4.200...	-0.996 + j4.200...	-0.006 + j0.571	-3.595E-6 + j0.0...	-0.996 + j4.200...
1.300 GHz	-1.061 + j1.041...	-0.009 - j13.759	-4.208E-6 + j0.0...	-1.061 + j1.041...	-1.061 + j1.041...	-0.009 - j13.759	-4.208E-6 + j0.0...	-1.061 + j1.041...
1.400 GHz	-1.068 - j3.667E...	-0.012 - j28.858	-4.663E-6 + j0.0...	-1.068 - j3.667E...	-1.068 - j3.667E...	-0.012 - j28.858	-4.663E-6 + j0.0...	-1.068 - j3.667E...
1.500 GHz	-1.017 - j9.999E...	-0.014 - j44.089	-4.858E-6 + j7.6...	-1.017 - j9.999E...	-1.017 - j9.999E...	-0.014 - j44.089	-4.858E-6 + j7.6...	-1.017 - j9.999E...
1.600 GHz	-0.907 - j1.791E...	-0.017 - j58.798	-4.680E-6 - j0.0...	-0.907 - j1.791E...	-0.907 - j1.791E...	-0.017 - j58.798	-4.680E-6 - j0.0...	-0.907 - j1.791E...
1.700 GHz	-0.744 - j2.723E...	-0.019 - j72.349	-4.017E-6 - j0.0...	-0.744 - j2.723E...	-0.744 - j2.723E...	-0.019 - j72.349	-4.017E-6 - j0.0...	-0.744 - j2.723E...
1.800 GHz	-0.533 - j3.763E...	-0.020 - j84.152	-2.761E-6 - j0.0...	-0.533 - j3.763E...	-0.533 - j3.763E...	-0.020 - j84.152	-2.761E-6 - j0.0...	-0.533 - j3.763E...
1.900 GHz	-0.282 - j4.867E...	-0.020 - j93.690	-8.176E-7 - j0.0...	-0.282 - j4.867E...	-0.282 - j4.867E...	-0.020 - j93.690	-8.176E-7 - j0.0...	-0.282 - j4.867E...
2.000 GHz	-0.004 - j5.975E...	-0.019 - j100.548	1.885E-6 - j0.010	-0.004 - j5.975E...	-0.004 - j5.975E...	-0.019 - j100.548	1.885E-6 - j0.010	-0.004 - j5.975E...

Рис. 1. Моделирование в ADS полученного выражения

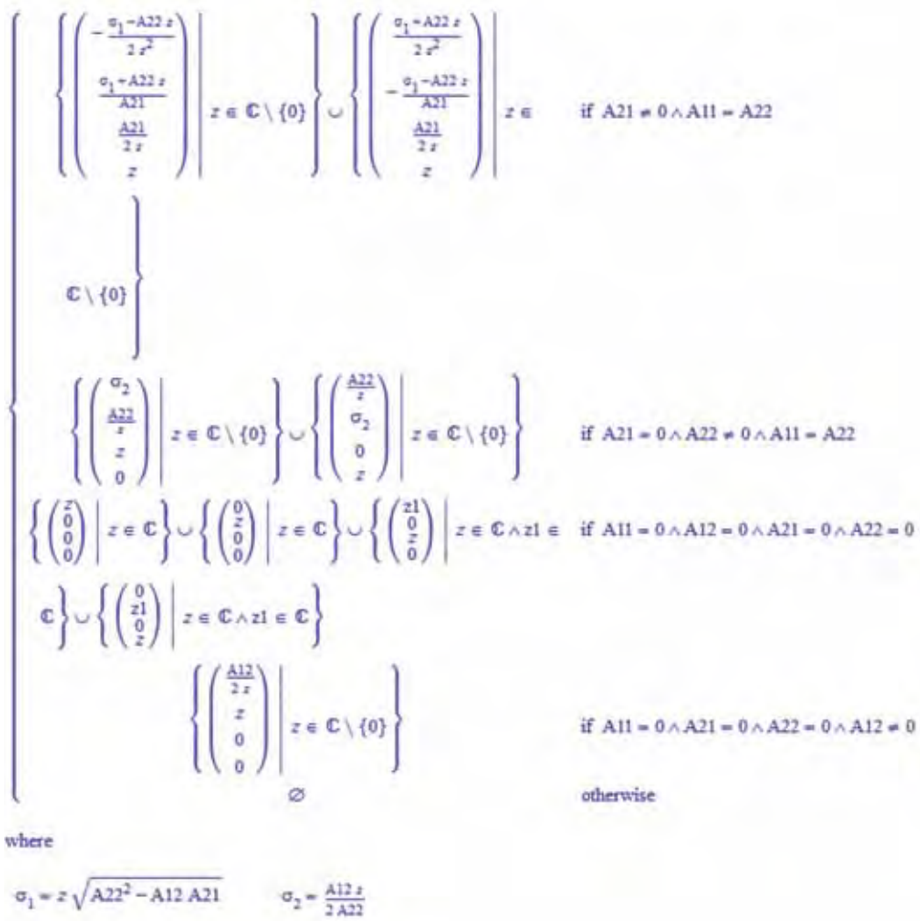


Рис. 2. Решения системы уравнений относительно A-параметров перехода

Анализируя полученный на рисунке 2 результат, можно сказать, что A-параметры в реальности не будут равны 0, поэтому остаётся лишь первое решение, которое представляет собой два бесконечных множества решений, зависящих от выбора A22 самого коаксиально-полоскового перехода. В ADS было проведено моделирование эквивалентной схемы перехода, в результате которого были получены A-параметры для двух портов. Подстановка A22 в качестве Z в полученные решения дала верный результат во втором множестве решений. Однако, как выбирать Z и определять, какое из двух множеств решений при этом обращается в верное, в случае с неизвестным реальным переходом авторы сказать затрудняются. Получается, что к плюсам математического подхода можно отнести точность, а к минусам – необходимость доработки. Это одно из направлений развития представленной в этой работе идеи использовать две тестовые структуры для получения A-параметров коаксиально-полоскового перехода.

Третий подход к определению A-параметров одного перехода из полученной матрицы A-параметров двух переходов заключается в моделировании перехода. То есть нужно задать эквивалентную схему перехода с неизвестными параметрами, соединить её с самой собой, но зеркально отраженной, и добиваться минимальной разницы результатов моделирования и правой части основного уравнения. Такая схема была собрана в ADS, где была проведена и оптимизация параметров. Схема представлена на рисунке 3, а результаты оптимизации параметров эквивалентной схемы – на рисунке 4. Методика была следующая: составить эквивалентные схемы тестов для измерения с заданными известными параметрами, промоделировать их, провести необходимые математические операции с результатами моделирования и записать полученные S-параметры в отдельный файл. Затем взять из эквивалентных схем для тестов схему перехода, «испортить» её параметры и путём их оптимизации добиваться минимальной разницы между S-параметрами эквивалентной схемы перехода и записанными ранее в файл S-параметрами. Как видно из рисунка 4, оптимизацией можно добиться весьма неплохих результатов (на самом деле полученные параметры эквивалентной схемы получились численно очень близкими к тем, которые использовались в эквивалентных схемах тестовых структур). К минусам данного метода можно отнести длительность оптимизации (для получения действительно близких параметров необходимо использовать довольно «прожорливый» алгоритм), а также не 100%-ая точность. Вдобавок необходимо примерно представлять диапазон значений параметров эквивалентной схемы, чтобы оптимизатор не выдал ёмкость в 10 фарад.

На момент написания доклада практических испытания не проводилось, однако ввиду простоты эксперимента они, скорее всего, будут проведены в скором времени. Авторы дают себе отчёт в том, что параметры перехода будут меняться от образца к образцу, поэтому надо будет провести измерения нескольких наборов тестовых структур и их статистическую обработку.

Перспективное направление развития данной идеи состоит в определении методики выбора полученных математическим образом решений, так как оптимизация занимает много времени и является неточным методом.

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов спец. «Радиотехника». – М.: Высш. шк., 1985. – 496с., ил.
2. Agilent Technologies. October 2010 IC-CAP Modeling Handbook. Author Name: Franz Sischka

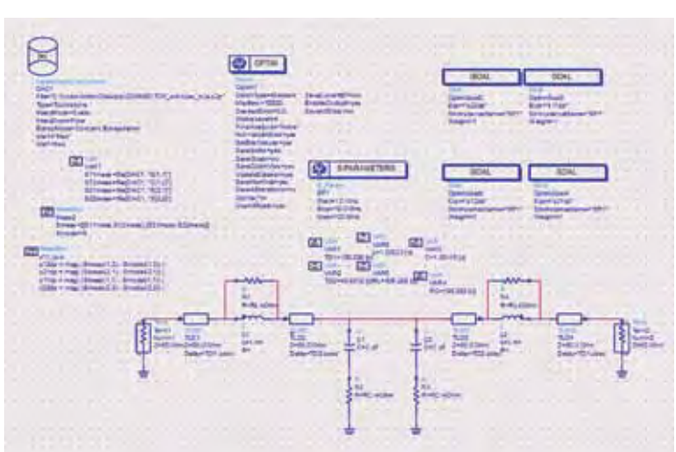


Рис. 3. Схема для моделирования левой части основного уравнения

Рис. 4. Результаты оптимизации параметров эквивалентной схемы для левой части основного уравнения

Преимущества и возможность применения пластинчатых теплообменников GEA на АЭС с реакторами ВВЭР-1200

ООО «ГЕА МАШИМПЭКС»

105082, г. Москва, ул. Малая Почтовая, д. 12, строение 1
Телефон: (495) 234-95-03
Факс: (495) 234-95-04
E-mail: moo_info@gea.com
www.gea-hx.ru

А.А. ХОМБАК – менеджер проекта направления «Атомная энергетика» компании ООО «ГЕА Машимпэкс», аспирант кафедры промышленной логистики МГТУ им. Баумана
П.В. ДМИТРИЕВ – директор департамента «Энергетика и судостроение» компании ООО «ГЕА Машимпэкс»

В настоящее время в рамках проекта «АЭС-2006» ведется активное строительство энергоблоков с ядерными реакторами ВВЭР-1200. Основанием для разработки проекта является исполнение Федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года». При этом учтена концепция АЭС с ВВЭР-1000/428 и АЭС – 91/99 для тендера в Финляндии, модернизированной с учетом опыта эксплуатации энергоблоков ВВЭР-1000/320, и проектных решений, принятых в разработках АЭС с ВВЭР-640 и АЭС-92.

Площадки сооружения АЭС с данными реакторами:

- Белорусская АЭС;
- Ленинградская АЭС-2;
- Нововоронежская АЭС-2;
- Балтийская АЭС (строительство временно остановлено).

Одним из поставщиков оборудования на Белорусскую АЭС, НВАЭС-2 и ЛАЭС-2 является компания «ГЕА Машимпэкс» (GEA Mashimpeks).

Компания «ГЕА Машимпэкс», основанная в 1995 году как российская инжиниринговая компания, сегодня является одним из признанных лидеров в производстве и поставке пластинчатых теплообменников. С 2011 года «ГЕА Машимпэкс» входит в сегмент GEA Heat Exchangers группы компаний GEA Group AG. Производство компании «ГЕА Машимпэкс» в России сертифицировано по международным стандартам ISO 9001:2011. На все производимое и поставляемое оборудование имеется полный комплект сертификатов. Компания обладает соответствующими лицензиями ФС ЭТАН на изготовление и конструирование оборудования для атомных станций.

Компания «ГЕА Машимпэкс» производит разборные пластинчатые теплообменники на собственных производственных базах в Московской области и Новосибирске по технологии немецкой компании GEA Ecoflex. В отдельных случаях производство также возможно на заводе GEA Ecoflex GmbH в городе Сарштадт, Германия. Пластинчатые теплообменники ГЕА Машимпэкс являются экономичным, надежным и безопасным решением благодаря своей высокой эффективности, малым габаритам, простоте обслуживания и выверенным годами немецким технологиям теплообмена. Возможное применение пластинчатых теплообменников ГЕА Машимпэкс на атомных станциях с реакторами ВВЭР-1200 предлагается рассмотреть на примере разборных и сварных пластинчатых теплообменников.

1. Разборные пластинчатые теплообменники (РПТО) (рис. 1) ГЕА Машимпэкс обладают эффектом самоочистки от накипи, который обеспечивается высокой турбулентностью потока. Крепление уплотнений пластин разборных пластинчатых теплообменников выполнено по технологиям LOC-IN (серия Varitherm) и ECO-LOC (серия NT). Эти технологии, запатентованные GEA Ecoflex, позволяют существенно улучшить фиксацию уплотнений в пластинах, обеспечить полную герметичность теплообменника и продлить межремонтный цикл.

Рис. 1. Разборный пластинчатый теплообменник

В обычных пластинах распределение потока происходит неравномерно, ввиду чего образуются застойные зоны, эффективность теплопередачи в которых ниже. Это означает, что площадь теплообмена используется не полностью, а значит, для достижения заданных параметров необходимо большее число пластин. Оптимизированная конфигурация профиля и гофров пластин в теплообменниках ГЕА Машимпэкс позволяет достичь большей эффективности теплообмена при меньшей площади теплопередачи за счет более равномерного распределения потоков по всей ширине пластины (рис. 2). Естественно, что это значительно удешевляет теплообменники серии NT.

Рис. 2. Преимущества пластины NT

Разборные пластинчатые теплообменники (РПТО) ГЕА могут применяться практически во всех зданиях атомной станции с реактором ВВЭР-1200, включая здание реактора, здание турбины, здание безопасности, во вспомогательном корпусе, в здании резервной дизельной электростанции системы аварийного электроснабжения и т. д. Ниже приведен неполный список возможных применений

РПТО ГЕА в привязке к Белорусской АЭС (с реактором ВВЭР-1200), на которую «ГЕА Машимпэкс» сейчас поставляет некоторые из перечисленных позиций:

– охладитель рециркуляции насосов подпитки и борного регулирования большой производительности KBA21AC001, KBA31AC001;
– теплообменник вывода теплоносителя KBA10AC003;
– регенеративный теплообменник подпиточной воды первого контура KBA10AC004;
– доохладитель подпиточной воды первого контура KBA10AC005;
– теплообменник системы охлаждения топливного бассейна FAK10AC001, FAK40AC001;
– теплообменник промконтура системы охлаждения ответственных потребителей KAA;
– теплообменник промконтура KAB10(20,30,40)AC001;
– охладитель конденсата греющего пара LCN30AC001;
– охладитель конденсата греющего пара LCN30AC002, LCN30AC003;
– охладитель конденсата KBF20AC001, KBF40AC001;
– охладитель борного концентрата KBF50AC001 и т. д.

2. Сварные пластинчатые теплообменники GEABloc являются эффективными и высокотехнологичными цельносварными теплообменниками (рис. 3) и обладают следующими преимуществами:

– компактность;
– различные варианты монтажа: возможно установить GEABloc горизонтально (для процессов конденсации и испарения), вертикально (конденсация с инертными газами) или под углом 45°;
– высокая тепловая эффективность;
– возможность выбора типа рифления пластины в зависимости от типа среды и характера механических включений;
– надежность конструкции: сварной пакет жестко фиксируется между боковыми стойками, что исключает вибрацию и позволяет выдерживать большое количество циклов нагружения;
– единственные уплотнения, используемые в GEABloc, – это специальные фланцевые уплотнения для панелей.

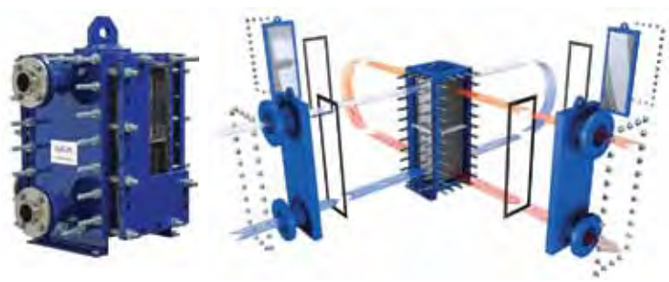


Рис. 3. Сварной пластинчатый теплообменник GEABloc

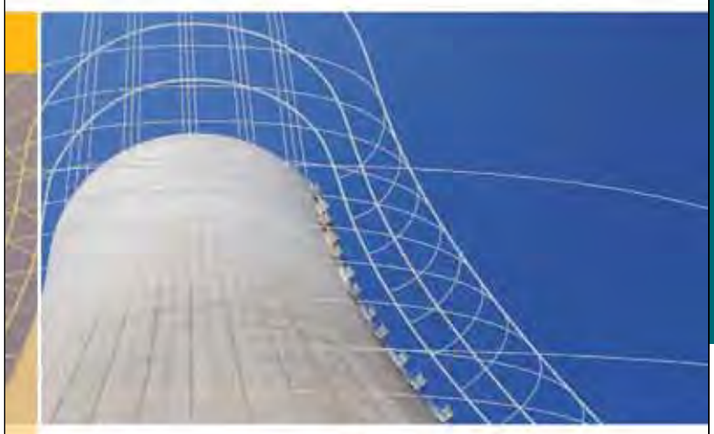
Список возможных применений сварных пластинчатых теплообменников GEABloc также в привязке к Белорусской АЭС с реактором ВВЭР-1200 представлен ниже:

– охладитель выпара расширителей дренажей LCM01AC001;
– подогреватель сетевой воды NAD11(12,13)AC001;
– охладитель продувки парогенераторов на линии дренажа LCQ20AC001;
– доохладитель продувки парогенераторов LCQ10AC002;
– регенеративный теплообменник продувки парогенераторов LCQ10AC001;
– теплообменник аварийного впрыска низкого давления JNG10AC001;
– теплообменник системы сжигания водорода KPL11(12)AC002;
– теплообменник системы очистки радиоактивного газа KPL31(32) AC001 и т. д.

Как упоминалось выше, спектр оборудования для атомных станций, поставляемого компанией «ГЕА Машимпэкс», не ограничивается пластинчатыми теплообменниками. Применение оборудования ГЕА возможно во многих уникальных и важных для безопасности (2, 3 класс безопасности по НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) системах АЭС, представленных ниже:

- аппараты воздушного охлаждения дизель-генераторных установок;
- фильтры дизельного топлива дизель-генераторных установок;
- градирни вентиляторные системы промконтура ответственных потребителей;
- градирни сухие с естественной или принудительной тягой;
- комбинированные системы воздушного охлаждения (сухое + мокрое)
- водяные фильтры с автоматической очисткой;
- системы охлаждения трансформаторов.

Компания «ГЕА Машимпэкс» предлагает заказчикам инновационные высокоэффективные решения задач теплообмена в различных технологических процессах с применением современного теплообменного оборудования, обеспечивая повышение эффективности энергетических систем при снижении капитальных и эксплуатационных затрат.



Теплообменное оборудование для атомных электростанций

Теплообменное оборудование GEA Mashimpeks применяется на атомных электростанциях для нагрева и охлаждения циркулирующих сред и обеспечения необходимых условий работы систем и оборудования АЭС:

- разборные пластинчатые теплообменники,
- сварные пластинчатые теплообменники,
- кожухотрубные теплообменники,
- аппараты воздушного охлаждения,
- градирни.

GEA Heat Exchangers
GEA Mashimpeks

ГЕА Машимпэкс
Россия, 105082, г. Москва, ул. Малая Почтовая, 12
Тел: +7 (495) 234-95-03 · Факс: +7 (495) 234-95-04
hx.ru@gea.com · www.gea-hx.ru

ООО НПП «ЭКРА»

Россия, 428000, Чувашская Республика
г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 3
Тел./факс: (8352) 220-110
E-mail: ekra@ekra.ru
www.ekra.ru

В апреле 2014 года на НПП «ЭКРА» прошла научно-техническая конференция «Электротехнические устройства и системы для объектов генерации». В работе конференции приняли участие более 100 представителей предприятий электроэнергетики практически из всех регионов России, а также из Казахстана и Белоруссии. Среди них – специалисты ОАО «СО ЕЭС», ОАО «РусГидро», ОАО «Концерн Росэнергоатом», территориальных генерирующих компаний, проектных организаций, промышленных предприятий, монтажно-наладочных организаций и научных кругов.

Конференция открылась приветственным словом технического директора НПП «ЭКРА» А.М. Наумова и демонстрацией фильма о предприятии. Директор по развитию В.А. Наумов в своем выступлении рассказал о технических решениях НПП «ЭКРА» для генерирующих объектов.

В ходе работы конференции были освещены вопросы релейной защиты и автоматики станционного оборудования и предложены типовые решения. Специалисты НПП «ЭКРА» также рассказали о новых разработках в области противоаварийной автоматики, интеграции в АСУ ТП, системах собственных нужд и вторичной коммутации на электростанциях. Кроме этого, были сделаны доклады о разработке типового технического проекта системы оперативного постоянного тока для АЭС и опыте проектирования шкафов на АЭС, предложены энергоэффективные решения для «малой генерации». Особое внимание участников конференции привлекла on-line демонстрация процесса тестирования устройств РЗ и ПА с использованием цифровой модели энергосистемы в режиме реального времени. Начальник ЭТЛ Кировской ТЭЦ-3 Кировского филиала ОАО «ТГК-5» А.В. Богомолов поделился опытом внедрения шкафов защит блока «генератор-трансформатор» газотурбинных установок. Участникам конференции было представлено мобильное оборудование компании OMICRON для испытаний силовых выключателей, трансформаторов тока и напряжения, а также автоматизации проверок РЗА.

Для участников конференции была организована экскурсия по предприятию, в ходе которой специалисты ознакомились с технологиями производства микропроцессорных терминалов и шкафов РЗА.

По окончании блока докладов гости предприятия смогли свободно пообщаться со специалистами НПП «ЭКРА», чтобы более подробно обсудить вопросы, возникшие в процессе эксплуатации оборудования и проектирования объектов.

Участники конференции отметили высокий уровень организации и информационную насыщенность мероприятия.

EKRA LLC

3, prospekt Yakovleva, Cheboksary,
Chuvash Republic, Russia, 428000
Tel./fax: (8352) 220-110
E-mail: ekra@ekra.ru
www.ekra.ru

In April, 2014 EKRA Research and Production Company held a scientific and technical conference «Electrical Devices and Systems for Generating Facilities». The Conference was attended by more than 100 representatives of power sector enterprises from almost all the regions of Russia, as well as from Kazakhstan and Belarus. The list of participants included specialists of UES JSC, Rushydro JSC, Rosenergoatom Concern, territorial generating companies, design companies, industrial companies, assembly and adjustment organizations and academia.

The Conference was opened by EKRA Technical Director A.M. Naumov's welcoming speech followed by demonstration of a movie about the company. V.A. Naumov, Development Director, spoke about EKRA technical solutions for generating facilities.

The Conference covered issues of relay protection and automation of station equipment and suggested standard design solutions. EKRA specialists also highlighted their new developments in the field of emergency control systems, integration in the automatic process control system, auxiliary systems and secondary equipment installed at power plants. Presentations were made on the drafting of a model technical project of automatic DC system for NPP and experience in designing cabinets at nuclear power plants, as well as energy-efficient solutions were suggested for «small generation technology". On-line demonstration of testing relay protection and emergency control devices with the use of a digital model in real time was one of the most remarkable features of the Conference. A.Bogomolov, Head of Electric Laboratory at Kirov TPP-3, shared experience in introducing a "generator-transformer" protection cubicle for gas-turbine power units. Participants were familiarized with OMICRON mobile equipment for testing power circuit-breakers, current and voltage transformers, relay protection and emergency control systems.

They were given a tour of the company, and were familiarized with technologies of producing microprocessor terminals and emergency control automated devices.

When reports were made, the guests were able to freely mingle with the company experts and discuss issues that had arisen during design and operation of facilities.

Conference participants noted the excellent organization and information richness of the event.

СКБ СПА

www.skbspa.ru
E-mail: admin@skbspa.ru,
om@kbspa.ru

Более 50 лет
в промышленной
автоматизации

МЭО-630-05А

МЭО-250-05А

МЭО-2000-05А

МЭП-11А

МЭМ-05А1

Разработка
Производство
Поставка

средств автоматизации для управления трубопроводной арматурой АЭС

- Механизмы исполнительные электрические МЭО, МЭМ, МЭП для трубопроводной арматуры;
- Управляющие устройства ФЦ-0650А для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами;
- Нормирующие преобразователи для индуктивных (НП-И10А) и реостатных (НП-Р20А) датчиков электрических исполнительных механизмов;
- Механизмы сигнализации положения: МСП-А для сигнализации положения регулирующих органов технологического оборудования АЭС, МСП-4 для систем регулирования турбоблоков.

НП-И10А НП-Р20А ФЦ-0650А

МСП-4

МСП-А

428018, г. Чебоксары, ул. Афанасьева, 8. Генеральный директор – Зеленев Александр Сергеевич
Приемная: (8352) 45-77-14, 45-04-42 (факс). Технические специалисты: (8352) 45-11-92
Отдел продаж: (8352) 45-89-50, 45-84-93, 45-69-98, 45-49-99 (факс)

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОРГСТРОЙПРОЕКТ

ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ»

115162, Россия, г. Москва,
ул. Люсиновская, д. 70, стр. 1
Тел.: (495) 663-91-42

Институт располагает специализированным отделом обследования и испытания строительных конструкций, работающим в тесном сотрудничестве с испытательной лабораторией, проектно-конструкторским отделом и предприятиями, занимающимися инженерно-геологическими изысканиями.

Специалистами института выполнялись работы по обследованию строительных конструкций крупнейших энергетических объектов, в числе которых: Обнинская АЭС, Ленинградская АЭС, Игналинская АЭС (Литва, в период строительства), Балаковская АЭС, Чернобыльская АЭС (после аварии), Волгодонская АЭС (возобновление строительства), Кольская АЭС, Мангышлакский энергокомбинат (г. Шевченко), Калининская АЭС. Помимо этого, наряду с обследованием строительных конструкций самых разнообразных зданий и сооружений предприятий Минсредмаша-Минатома-Росатома выполнялись обследования зданий и сооружений реакторов научно-исследовательских институтов: РНЦ «Курчатовский институт», МИФИ, ИТЭФ, НИТИ (г. Сосновый Бор), филиала НИКИЭТ (г. Заречный).

Работы выполняются по специальной программе комплексного обследования, разработанной ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ» на основе «Требований к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» (НП-024-2000); «Типовой инструкции по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций» (РД-ЭО-0007-93), «Методики оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности» (РД ЭО 0447-03) и нормативных документов Росстроя. Отдел обследования строительных конструкций располагает опытными специалистами, современным оборудованием, новейшими вычислительными и программными средствами, имеет тесные связи с учеными и специалистами ведущих проектных и научно-исследовательских институтов России.

ORGSTROYPROEKT CJSC

Build 1, 70, Ljusinovskaya st.,
Moscow, Russia, 115162
Phone: (495) 663-91-42

The Institute incorporates a specialized building structures survey and testing division that closely cooperates with the testing laboratory, the design division and enterprises engaged in geological engineering survey. Specialists of the Institute have performed survey of building structures of the largest power facilities.

The works are performed within a special program of comprehensive survey developed by ORGSTROYPROEKT in conformity normative documents of Russian Agency for Civil and Industrial Engineering.

The building structures survey division is staffed with experienced specialists and equipped with modern machinery, state-of-the-art computing facilities and software, has close ties with scientists and specialists of the leading design and research institutes of Russia.

У КАЧЕСТВА ЕСТЬ ПОСТАВЩИК

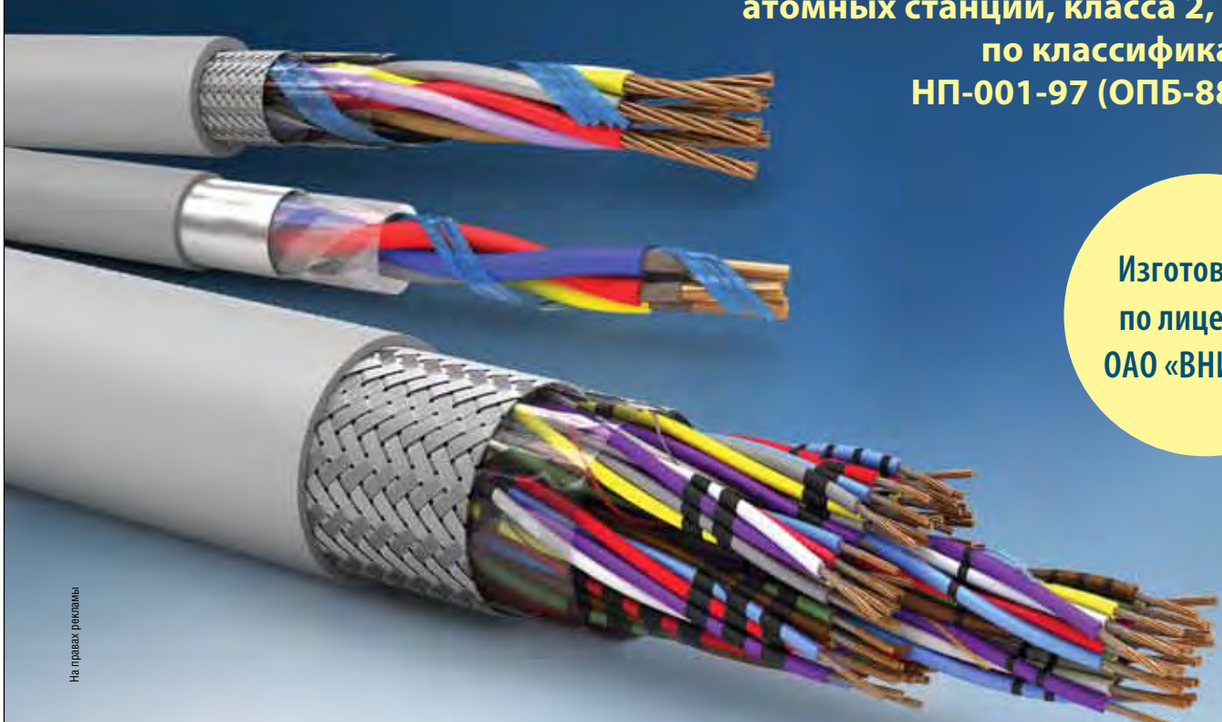
ЗАО «Завод «Энергокабель»

КАБЕЛИ ДЛЯ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

ТУ 3561-441-00217053-2012
ТУ 3561-442-00217053-2012

КУППмнг(А)-HF
КУППмнг(А)-FRHF
КУППнг(А)-FRHF
КУПЭфПмнг(А)-HF
КУПЭфПмнг(А)-FRHF
КУППлнг(А)-FRHF

для эксплуатации вне герметичной оболочки атомных станций, класса 2, 3 и 4 по классификации НП-001-97 (ОПБ-88/97)



Изготовлено по лицензии ОАО «ВНИИКП»

На правах рекламы

142455 Московская обл., Ногинский район, г. Электроугли, ул. Полевая, 10
+ 7 (495) 221 89 93 client@energokab.ru www.energokab.ru

Предприятие	Город	Стр.
Аврора, ОАО Концерн НПО	Санкт-Петербург	16
ГЕА Машимпэкс, ООО	Москва	76
ГУМРФ	Санкт-Петербург	19
Завод Электрокабель, ЗАО	Электроугли Московской обл.	81
Курчатовский институт, НИЦ	Москва	14
НГТУ им. Р.Е. Алексеева	Нижний Новгород	22
Приводы АУМА, ООО	Москва	80
ОРГСТРОЙПРОЕКТ, ЗАО	Москва	80
СКБ СПА	Чебоксары	79
ФМБА России	Москва	24
ЭКРА, ООО НПП	Чебоксары	78

Undertaking	City	Page
Aurora, JSC Concern RPA	Saint-Petersburg	18
EKRA, LLC	Cheboksary	78
FMBA	Moscow	25
Kurchatov Institute, NRC	Moscow	15
NNSTU af. R.E. Alexeev	Nizhny Novgorod	23
ORGSTROYPROEKT, CJSC	Moscow	80
SUSRU	Saint-Petersburg	21

2014 Международные Выставки

POWER ASTANA — www.machexpo.kz

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
5-я Казахстанская Международная выставка

8–10 апреля 2014 • Астана, Казахстан

KAZATOMEXPO — www.machexpo.kz

«АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
5-ая Казахстанская Международная выставка

8–10 апреля 2014 • Астана, Казахстан

MACHEXPO KAZAKHSTAN — www.machexpo.kz

«МАШИНОСТРОЕНИЕ, СТАНКОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ»
2-ая Казахстанская Международная выставка

8–10 апреля 2014 • Астана, Казахстан

POWER KAZAKHSTAN — www.powerexpo.kz

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
13-я Казахстанская Международная выставка и Форум энергетиков

28–30 октября 2014 • Алматы, Казахстан

LIGHTING KAZAKHSTAN — www.powerexpo.kz

«ОСВЕЩЕНИЕ, СВЕТОТЕХНИКА И СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
4-я Казахстанская Международная выставка

28–30 октября 2014 • Алматы, Казахстан

REENERGY KAZAKHSTAN — www.powerexpo.kz

«ВИЭ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»
4-я Казахстанская Международная выставка

28–30 октября 2014 • Алматы, Казахстан

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Iteca: Тел: + 7 (727) 258 34 47, 258 34 34, E-mail: power@iteca.kz
Менеджер проектов: Гульзана Абдушарипова