

Multi-D
engineering

РОССИЯ

RUSSIA
Atomic Project

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ



ИЗ ИЖОРСКИЕ ЗАВОДЫ
ГРУППА ОМЗ



#25
2016

>> ХОЛДИНГ ТЕХНАБ: ПОЗДРАВЛЯЕМ КОЛЛЕКТИВ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ СТАНЦИИ С НОВОЙ ПОБЕДОЙ!

ВВЭР-1200

>> НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС-2

Холдинг ТЕХНАБ поздравляет коллектив Нововоронежской АЭС с запуском уникального, не имеющего аналогов в мире, атомного энергоблока!

05.08.16

▶ Пятого августа в 03 часа 35 минут по московскому времени на Нововоронежской атомной электростанции состоялся запуск энергоблока с реактором ВВЭР-1200.

Одно из самых важных событий для российской атомной отрасли за последние годы произошло на Нововоронежской АЭС. Настоящий атомный гигант, не имеющий аналогов в мире, шестой энергоблок НВАЭС выдал в сеть первую электроэнергию. Имя этого атомного монстра – ВВЭР-1200. Это самый надежный, самый мощный из всех установленных атомных реакторов в истории человечества!

Блок построен по российскому проекту АЭС-2006, относится к новейшим инновационным атомным блокам поколения «3+», соответствующим самым современным требованиям надежности и безопасности, с улучшенными технико-экономическими показателями. Главная его особенность – не имеющее аналогов в мире сочетание активных и пассивных систем безопасности, которые не требуют вмешательства персонала атомной станции в случае возникновения аварийной ситуации и не допускают ее развития.

Энергоблоки поколения «3+» в настоящее время сооружаются в США и Франции. Однако именно российский энергоблок на Нововоронежской АЭС стал первым в мире атомным энергоблоком нового поколения, который вышел на этап энергопуска. За ВВЭР-1200 будущее развития российских атомных станций, будущее мирной ядерной энергетики планеты!

Нововоронежские атомщики за годы своей работы вписали в историю России немало примеров достойного служения Отечеству. И сегодня коллектив станции вновь продемонстрировал всему миру, что высочайший профессионализм российских специалистов позволяет выполнять сложнейшие технические задачи! Трудолюбие, изобретательность, а главное, любовь к делу всей жизни, буквально творят чудеса! Уникальный коллектив станции, где очень развиты традиции наставничества, не считаясь ни со временем, ни с трудностями, отдавая все ради поставленной цели, в очередной раз доказал: для него нет ничего невозможного!

Россия – крупнейший в мире поставщик атомных станций – снова первая! Российские атомщики, российские инновационные решения и технологии закрепляют свои позиции на мировом рынке. На фоне усиливающейся конкурентной борьбы это – настоящий прорыв!

Уважаемые коллеги, поздравляем с достойной победой! От всего сердца желаем вам счастья, здоровья и новых трудовых свершений на благо нашей Родины!



▶ ПЕРВЫЙ В МИРЕ АТОМНЫЙ ЭНЕРГОБЛОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

▶ САМЫЙ НАДЕЖНЫЙ И БЕЗОПАСНЫЙ, НЕ ИМЕЕТ АНАЛОГОВ В МИРЕ

▶ САМЫЙ МОЩНЫЙ БЛОК В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ

>> ХОЛДИНГ ТЕХНАБ / WWW.KVTENAB.RU

Холдинг ТЕХНАБ (Россия, г. Обнинск) осуществляет свою деятельность с 1993 года.

Основные направления деятельности холдинга: инженеринговые услуги, генподрядные работы, поставки оборудования на объекты атомной энергетики России, Армении, Беларуси, Венгрии, Индии, Ирана, Украины.

>> ХОЛДИНГ ТЕХНАБ: МЫ ГОРДИМСЯ, ЧТО ЖИВЕМ И РАБОТАЕМ В ГОРОДЕ ПЕРВОЙ В МИРЕ АТОМНОЙ СТАНЦИИ



ЭКРА

25
ЛЕТ

СОХРАНЯЯ ЭНЕРГИЮ

ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, пр. И.Яковлева, 3.
Тел./факс: +7 (8352) 22-01-10, 22-01-30.
E-mail: ekra@ekra.ru, www.ekra.ru



4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

МЕЂУНАРОДНА ПРИВРЕДНА ИЗЛОЖБА

EXPO-RUSSIA SERBIA 2017

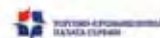
15-17. МАРТ 2017. | СРБИЈА, БЕОГРАД
КОНГРЕСНИ ЦЕНТАР METROPOL PALACE

4-Й БЕЛГРАДСКИЙ БИЗНЕС-ФОРУМ
БЕОГРАДСКИ ПОСЛОВНИ ФОРУМ

Организатор:
ОАО "Зарубеж-Экспо"



Соорганизатор:
ТПП Республики Сербия



Под патронатом:
ТПП Российской Федерации

Тематические разделы выставки:

- Энергетика и энергосберегающие технологии
- Машиностроение
- Металлургия
- Авиация
- Железнодорожный транспорт
- Нефтегазовая промышленность
- Химическая промышленность
- Горная промышленность
- Агропромышленный комплекс
- Высокотехнологичные и инновационные отрасли
- Банковская деятельность
- Телекоммуникации
- Медицина, фармацевтика
- Образование
- Сфера услуг (туризм, автоперевозки, транспортная логистика)

Цель выставки:

Дальнейшее расширение экономических связей между ЕАЭС и Сербией в контексте Соглашения о свободной торговле между двумя странами и содействие в развитии торговых отношений с другими балканскими государствами.



При поддержке:

Государственной Думы и Совета Федерации;
Министерства иностранных дел РФ;
Министерства экономического развития РФ;
Министерства промышленности и торговли РФ;
Русского центра науки и культуры в Сербии "Русский Дом";
Посольства РФ в Республике Сербия;
Посольства Республики Сербия в РФ;
Торгового представительства РФ в Сербии;
отраслевых министерств России и Сербии

В церемонии открытия выставки традиционно принимают участие руководство Республики Сербия, члены кабинета Министров, руководители промышленных и общественных структур, представители дипкорпуса, организации российских соотечественников, представители бизнес-элиты балканских стран, а также специалисты широкого профиля Сербии, Боснии и Герцеговины, Словении, Хорватии, Албании и других стран Юго-Восточной Европы

ОАО «Зарубеж-Экспо»
info@zarubezhexpo.ru | www.zarubezhexpo.ru
+7 495 721 32 36

Михаил Иванович Акопов
Директор за сарадњу са балканским регионом
petroleus@yandex.ru +381691775570

Атомный проект

ВЫПУСК ДВАДЦАТЬ ПЯТЫЙ

Будет представлен на семинарах по управлению проектами для специалистов предприятий-субподрядчиков АО «НИАЭП-АСЭ» (декабрь 2016 г.);

- на совместном семинаре с иностранными специалистами по проблемам PMC-бизнеса для отечественных заказчиков и производителей (1 квартал 2017 г.).

Руководители и специалисты более 300 предприятий атомной промышленности постоянно получают журнал «Атомный проект» direct-mail рассылкой. Список предприятий опубликован на сайте www.kuriermedia.ru

Atomic Project

ISSUE TWENTY-FIFTH

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

Информационно-аналитический журнал для специалистов в области атомного машиностроения

№ 25, декабрь, 2016 г.

Учредитель-издатель

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

Генеральный директор

Г. П. Митькина

Сайт в Интернете

www.kuriermedia.ru

Журнал издается при содействии:

• АО «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

С. С. Здорова

8-951-901-78-06

Трафик-менеджер

Л.И. Будилина

8-951-902-27-31

Допечатная подготовка

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

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

1500 экз.

на бумажном и CD-носителях

Дата выхода в свет

10.12.2016 г.

Типография

Центр оперативной печати
Нижний Новгород,
проспект Гагарина, 5

В свободной продаже отсутствует

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

КОРПОРАЦИЯ

Пост принял! **7**

ПОКОЛЕНИЕ «3+»

НВАЭС-2: успех российских технологий **8**

Безопасность проекта гарантирована **10**

Ижорские заводы и Нововоронежская АЭС: история общего успеха **11**

Инновации – залог успеха **12**

Опыт работы ООО «Следящие тест-системы» **13**

Важный вклад в общее дело **14**

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

Самый мощный в мире серийный встраиваемый компьютер класса Vostro сделан в России **15**

ООО «НТЛ-Прибор»: 25 лет развития российского производства **16**

Разработки НИИ физических измерений **18**

ОБРАЗОВАНИЕ

Alma mater будущих Архимедов **19**

ЮБИЛЕЙ

АО «Тяжмаш»: 75-летний опыт – на службу атомным технологиям **20**

У колыбели атомной науки **22**

Во имя безопасности России **24**

АО «Корпорация «ВНИИЭМ»: 75 лет в сфере наукоемких технологий **28**

КОНФЕРЕНЦИЯ

Вектор развития – объединение усилий **31**



Фото на обложке: Нововоронежская АЭС-2

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Разработка, исследование аппаратно-программных вариантов реализации алгоритма управления активным магнитным подвесом ротора турбокомпрессора-генератора газотурбинной системы преобразования энергии **32**

Оптимизация параметров работы контроллера PCI Express адаптерного блока системы межпроцессорных обменов SMP-10GA-AD **34**

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Разработка конструкции виброгасящего цоколя для современных ПТС АСУ ТП АЭС **36**

БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС

Испытания ТВС и привода СУЗ ШЭМ-3 на сейсмостойкость **38**

Методика исследования поведения газообразных продуктов деления в топливных композициях как один из ключевых инструментов по обоснованию безопасности ядерно-энергетических установок **42**

Экспериментальные исследования для обоснования вибропрочности трубного пучка парогенератора натриевого реактора большой мощности **45**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Архитектура и сопровождение высокопроизводительных вычислительных комплексов **50**

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Разработка монолитной интегральной схемы спецстойкого переключателя СВЧ диапазона **52**

Модель интегрального варактора А-типа **54**

Разработка и внедрение процесса осаждения тонких пленок нитрида кремния для изготовления МИМ-конденсаторов **56**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Магнитно-абразивное полирование режущего инструмента **58**

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ **60**

Редакционный совет журнала «Атомный проект»**РУКОВОДИТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

Седаков А. Ю. – директор ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», д. 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 АО «НИАЭП»

Борисов И. А. – вице-президент по развитию ГК «АСЕ»

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

Катин С.В. – научный руководитель ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» – начальник департамента организации научной деятельности института, д.т.н., профессор

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

Акимов Н.Н. – главный конструктор по АСУ объектами АЭ и ТЭК ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» – заместитель директора по инновационному развитию

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

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

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

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

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

21-23 ИЮНЯ 2017
БЕЛАРУСЬ, МИНСК



Международная
промышленная
выставка

EXPO-RUSSIA BELARUS 2017

МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ
РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКИЙ
БИЗНЕС-ФОРУМ

www.zarubezhexpo.ru

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

ЭНЕРГЕТИКА
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
МАШИНОСТРОЕНИЕ
АВИАЦИЯ
ТРАНСПОРТ
СВЯЗЬ
МЕДИЦИНА и ФАРМАЦЕВТИКА
ОБРАЗОВАНИЕ
АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ
КОМПЛЕКС



Организаторы: ОАО «Зарубеж-Экспо»

Поддержка: Совет Федерации, Государственная Дума, МИД РФ, Минэкономразвития, Минпромторг, Минэнерго, Минздрав, Росотрудничество, Посольство и Торгпредство России в РБ, МАФМ, Национальное Собрание, отраслевые министерства Республики Беларусь, Высший Государственный Совет и другие рабочие органы Союзного государства, Исполнительный комитет СНГ, Экономический совет СНГ, Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК), Российско-Белорусский Деловой Совет.

Цель выставки: Укрепление экономических, гуманитарных, социально-культурных и политических связей между народами Российской Федерации и Республики Беларусь.

Патронат:
Торгово-промышленная палата Российской Федерации и Белорусская торгово-промышленная палата

ОАО «Зарубеж-Экспо»
Москва, ул. Пречистенка, 10
+7(495) 637-50-79, 637-36-33, 637-36-66
многоканальный номер +7 (495) 721-32-36 info@zarubezhexpo.ru

Пост принял!

«Еще месяц назад я бы сказал, что меня с атомной отраслью роднят давние товарищеские отношения с главой Росатома Сергеем Владиленовичем Кириенко. Но теперь это надо как-то по-другому формулировать...»

Из интервью А.Е. Лихачева, главы ГК «Росатом»

Нижегородцев Сергея Кириенко и Алексея Лихачева связывает давняя дружба. И Лихачев, и Кириенко – из плеяды комсомольцев восьмидесятых, оказавшихся лидерами молодежной организации как раз в тот момент, когда коммунистическая идеология была отринута, союз молодежи распущен, а молодежный энтузиазм и желание строить новое общество оказались очень востребованными временем.

Бывший глава госкорпорации «Росатом», приглашенный ныне на работу в администрацию президента страны, 30 лет назад был избран секретарем комитета ВЛКСМ завода «Красное Сормово», на тот момент – одного из ведущих оборонных заводов закрытого города Горького, где строились знаменитые титановые подводные лодки «Барракуда». Именно там во второй половине восьмидесятых Сергей Кириенко стал инициатором создания Центра творческой молодежи (ЦТМ), в котором прогрессивные заводские комсомольцы занимались в том числе и коммерческой деятельностью. Такие инициативы приветствовались: в стране шла перестройка, уже несколько лет действовал закон о кооперации и начинала возрождаться частная предпринимательская деятельность. Позже как один из секретарей обкома ВЛКСМ Кириенко отвечал за организацию работы стройотрядов, продвигал и поддерживал молодежные коммерческие инициативы под эгидой центров научно-технического творчества молодежи.

К началу девяностых годов в Горьком был создан «Акционерный молодежный концерн» (АМК) под руководством Сергея Кириенко. Его соратником в этом весьма успешном бизнес-проекте стал Алексей Лихачев, бывший секретарь комитета комсомола Горьковского научно-исследовательского приборостроительного института – ведущего предприятия страны по разработке радиоизмерительной техники, в начале девяностых назначенный



первым секретарем Горьковского горкома комсомола. В структурах АМК зародилась, в частности, страховая компания «Аваль», которой с момента основания и до 2000 года управлял А. Лихачев.

В этом нет никакой случайности. Люди, стоявшие во главе комсомольских организаций, проходили отличную школу управления, приобретали навыки руководства коллективами и опыт организации и планирования деятельности этих самых коллективов. Комсомол научил их реализовывать крупные проекты при минимальных ресурсах.

Кстати, президент АО «НИАЭП» Валерий Лимаренко тоже из этой когорты, во второй половине восьмидесятых годов он возглавлял комсомольскую организацию РФЯЦ-ВНИИЭФ и в Саровском горкоме комсомола отвечал за молодежно-строительные комплексы. И таких людей в Росатоме немало. Наверное, именно поэтому корпорация активно поддерживает молодежную общероссийскую общественную организацию «Российские студенческие отряды», являясь генеральным спонсором многих мероприятий РСО.

В 1999 году Алексей Лихачев стал председателем политсовета Нижегородского регионального движения «Новая сила», вошедшего в канун парламентских выборов в Союз правых сил, одним из основателей которого и лидером избирательного списка был С. Кириенко. СПС тогда набрал более 8% голосов и сформировал фракцию в Госдуме (в избирательной кампании СПС участвовал с лозунгом: «Путина – в президенты, Кириенко – в Государственную думу!»)

В мае 2000 года Владимир Путин назначил Сергея Кириенко полпредом президента в ПФО, и его место в Госдуме занял Алексей Лихачев, избранный затем на второй срок и проработавший депутатом до 2007 года.

В 2008-2010 гг. Лихачев руководил Сводным департаментом анализа и регулирования внешнеэкономической деятельности Министерства экономического развития Российской Федерации.

В 2010 году Алексей Евгеньевич был назначен заместителем министра экономического развития Э. Набиуллиной. Последние два года в качестве первого заместителя министра МЭР А. Улюкаева отвечал за развитие международных экономических связей. А 5 октября 2016 года Президент РФ Владимир Путин по предложению С.В. Кириенко назначил А.Е. Лихачева на пост главы Росатома.

И вот первая декларация нового руководителя корпорации:

«Главная задача, которая сейчас передо мной стоит, — сделать так, чтобы тот высочайший темп развития, который отрасль набрала за последние годы, ни в коем случае не снижался, чтобы проекты в связи со сменой гендиректора не тормозились, чтобы укреплялась культура безопасности. Поскольку на госслужбе у меня была возможность сравнить состояние дел в разных госкомпаниях, могу сказать: меня восхищает в Росатоме способность сочетать всё лучшее. Эту высокую планку мы обязаны удерживать».

Согласитесь, хорошая преемственность.

НВАЭС-2: успех российских технологий

Нововоронежская АЭС расположена в 42 км южнее города Воронежа на левом берегу реки Дон. Эта станция – первенец освоения энергоблоков с реакторами типа ВВЭР. Каждый из ее реакторов является прототипом серийных энергетических реакторов, установленных на других АЭС.

Строительство первого энергоблока на НВАЭС началось в 1957 году. А через семь лет в оперативном журнале Нововоронежской АЭС появилась первая запись: «30 сентября 1964 года, в 15 часов 45 минут, турбогенератор №2 синхронизирован с системой. АЭС набрала нагрузку». 27 декабря того же 1964 года на станции был осуществлен энергетический пуск первого в стране водо-водяного энергетического реактора мощностью 210 тыс. кВт. Это была большая победа ученых, конструкторов, проектировщиков, строителей и эксплуатационников.

Спустя два дня после пуска Нововоронежская АЭС дала первый миллион киловатт-часов электроэнергии, принятый Объединенной энергетической системой Центра страны. На ее выработку потребовалось несколько сот граммов урана – вместо эшелона угля.

Рост энергетической отдачи реакторов без увеличения их геометрических размеров, за счет использования более обогащенного ядерного топлива, применения жидкого борного регулирования — на Дону в промышленных масштабах выдержали экзамен и продемонстрировали неоспоримые преимущества мощных энергоблоков с атомными реакторами водяного типа.

В 1984 и 1990 годах соответственно были выведены из эксплуатации первый и второй энергоблоки, прослужившие по 20 лет без серьезных нареканий. В конце 90-х годов подходило 30-летие эксплуатации 3-го и 4-го энергоблоков. Эти блоки были построены по проектам 60-х годов, разработанным исходя из представлений того времени. При конструировании, проектировании и изготовлении оборудования основной акцент делался на обеспечение безопасности за счет запасов прочности основного оборудования и эксплуатационной надежности. Однако после аварии в Чернобыле европейское сообщество увидело опасность в российских АЭС и выступило за закрытие станции. Ситуация поменялась,



когда в Нововоронеж прибыли специалисты МАГАТЭ и инспекторы Европейского банка реконструкции и развития. Они убедились, что закрывать блоки, которые к тому времени «расселились» по всему миру, ни к чему.

С предложением о продлении эксплуатации энергоблоков нововоронежцы вышли во все инстанции. В итоге два блока включили в программу по продлению их ресурсов. К началу работ приступили в 1998 году. Предстояло выполнить работы невероятного объема. Сложность заключалась прежде всего в том, что все делалось впервые, и что нужно было работать на действующем оборудовании. Возникли проблемы и у проектировщиков: как смонтировать новое оборудование, изготовленное по новым правилам, в старые схемы и системы? На каждом блоке около 1500 единиц оборудования, и каждую «единицу» необходимо рассмотреть от создания до эксплуатации. Выяснить, были ли дефекты, сколько, какие, какова надежность. Готовых методик не было – все начинали сначала.

Нововоронежские специалисты доказали свою высокую квалификацию. Станция начала получать деньги и суперсовременное оборудование.

Продление срока эксплуатации блоков первого поколения Нововоронежской АЭС – важнейшее событие не только для одной станции, не только для атомной энергетики России, но и для всех стран, где используются аналогичные блоки, созданные по советским проектам. Впервые России удалось организовать и выполнить работу, за счет которой было сохранено практически 834 МВт мощности.

Все действия по модернизации энергоблоков находились под пристальным вниманием

международных организаций, ведь проблема продления ресурса действующих блоков актуальна для многих стран. Ряд технических проблем тщательно изучались экспертами, например, тематика радиационного материаловедения. Были некоторые сомнения, и чтобы они никогда не возникали, привлекли самых именитых в атомной энергетике ученых по металлу, технологии, безопасности. Выводы оказались положительными. Потом была международная оценка – впервые в отечественной атомной энергетике. Блоки тщательно исследовали, подвергали разным испытаниям, обосновывая возможность безопасной и надежной эксплуатации.

Все работы были выполнены в основном силами российских специалистов. Иностранцы участвовали в монтаже некоторого оборудования, иностранные фирмы выступали в качестве экспертов.

Разработанную в Нововоронеже технологию по продлению срока эксплуатации энергоблоков можно назвать экономическим чудом, ведь она более чем в десять раз дешевле возведения нового объекта. На один киловатт установленной мощности нововоронежцы затратили порядка 160 долларов. А новый блок, головной пусковой, стоил бы 1500 долларов на один киловатт установленной мощности. При этом модернизированные установки ничем не уступают новым.

В период проведения работ по продлению срока эксплуатации энергоблоков №3 и 4 специалистами Нововоронежской АЭС была решена главная задача – создана нормативная база. 28 декабря 2001 года Госатомнадзор России выдал лицензию на продление эксплуатации энергоблока №3 Нововоронежской АЭС, в 2002 году – энергоблока №4.

Разработанная технология активно использовалась на самой станции. 18 сентября 2011 года турбоустановка №14 энергоблока №5 Нововоронежской АЭС была включена в сеть после проведения мероприятий по продлению срока эксплуатации, испытания вновь смонтированных систем и оборудования. Таким образом, энергоблок №5 – первый в стране энергоблок с реакторной установкой ВВЭР-1000 – вновь вошел в строй действующих.

Модернизированный «миллионник» по существу – это новый блок. В нем заменено 95% оборудования систем электроснабжения, систем безопасности и системы эксплуатации, 100% оборудования систем радиационного контроля, 95% оборудования систем управления и защиты и систем контроля управления, дополнительно смонтирован второй комплект оборудования систем управления и защиты. Одного кабеля заменено и вновь проложено более двух тысяч километров. Огромный объем работ выполнен по тепломеханическому оборудованию, оснащению энергоблока системами диагностики.

В период модернизации энергоблока №5 был проанализирован и учтен опыт аварии на



АЭС «Фукусима»: помимо системы индустриальной антисейсмической защиты энергоблока смонтирована система дожига водорода в герметичной оболочке.

Из 59 мероприятий проекта «Продление срока эксплуатации энергоблока № 5» 36 связаны с повышением безопасности энергоблока. Все работы проведены в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и российскими нормами и правилами. В результате энергоблок по уровню безопасности соответствует блокам третьего поколения.

Модернизация позволила продлить срок службы пятого блока Нововоронежской станции на 26-30 лет. Это первый в Европе случай столь значительного увеличения срока работы энергоблока после модернизации, а также первое в России продление эксплуатации энергоблока-миллионника.

20 июня 2007 года историческая миссия станции получила логическое продолжение: состоялась церемония закладки памятной капсулы в фундамент шестого энергоблока НВАЭС (или 1-го энергоблока четвертой очереди Нововоронежской АЭС) с реактором ВВЭР-1200.

В тексте послания, помещенного в капсулу, сказано: «Воронежская земля – историческая площадка сооружения всех головных атомных энергоблоков СССР с водо-водяными реакторами (ВВЭР). Сегодня мы начинаем новую программу развития атомной энергетики, призванную стать локомотивом развития экономики России».

Первый блок НВАЭС-2 – не просто блок, соответствующий всем российским и международным требованиям безопасности. Это первый в мире энергоблок, построенный по так называемым «постфукусимским» технологиям безопасности. Он относится к атомным блокам поколения «3+» с улучшенными технико-экономическими показателями, соответствующими самым современным требованиям надежности и безопасности. Особенности данного типа являются использование дополнительных систем безопасности, защита реакторов от землетрясения, падения самолета, урагана, цунами, расположенная под реактором ловушка расплава активной зоны и увеличенный до 60 лет срок службы энергоблоков. Ни Чернобыль, ни Фукусима такому атомному энергоблоку не страшны.

Реактор ВВЭР-1200 является развитием ВВЭР-1000, серийное строительство которого осуществлялось в СССР. Множество энергоблоков эксплуатируются уже по 20-30 лет и хорошо зарекомендовали себя. Однако реакторная установка имеет ряд существенных технических отличий.

Тепловая мощность 3200 МВт, электрическая — 1150 МВт. Так же, как и мощность, параметры первого контура несколько выше, чем у АЭС с ВВЭР-1000: давление около 16,2 МПа, температура теплоносителя на входе в реактор около 300, на выходе 330°C. Выше и параметры второго контура: давление пара перед турбиной 7,0 МПа, температура питательной воды около 225°C.

Строительство НВАЭС-2 проходило в сложнейших условиях экономического кризиса и заняло гораздо больше времени, чем планировалось изначально. Приведем краткую хронологию строительства.

24 июня 2008 г. – залит первый бетон в фундаментную плиту здания реакторного отделения первого энергоблока.

Апрель 2009 г. – Ижорскими заводами изготовлено первое крупногабаритное оборудование — парогенератор весом 160 тонн и длиной 11 метров.



Декабрь 2009 г. – начало монтажа ловушки расплава (вес 700 тонн).

Декабрь 2010 г. – на «Силовых машинах» проведены испытания головного образца новой быстроходной турбины мощностью 1200 МВт.

Лето 2011 г. – на площадку доставлен корпус реактора, преодолевший 3800 км по Неве, Ладожскому и Онежскому озёрам, Волго-Балтийскому каналу, Волге, Волго-Донскому каналу и Дону. Работы по установке реактора на штатное место завершены 7 сентября 2012 г.

Через неделю, 14 сентября, завершили сооружение габаритной рамы первого энергоблока проектной высотой 172,5 м. Это самое высокое сооружение подобного типа в России.

28 ноября 2012 г. – установлен последний из четырёх парогенераторов первого энергоблока НВАЭС-2.

1 июля 2015 г. – завершена сборка реактора первого энергоблока.

22 марта 2016 г. – получена лицензия на эксплуатацию ядерной установки энергоблока №6.

4 апреля – завершена загрузка топлива в активную зону реактора первого энергоблока.

20 мая – реактор выведен на минимально контролируемый уровень мощности.

5 августа – энергоблок дал первый ток. Энергоблок №1 НВАЭС-2 стал первым в мире атомным энергоблоком нового поколения, который вышел на этап энергопуска.

Разрешение Ростехнадзора на сдачу блока в опытно-промышленную эксплуатацию было получено в начале сентября, а в октябре энергоблок выведен на стопроцентную номинальную мощность.

Включение в сеть первого в мире блока АЭС, построенного по постфукусимским технологиям безопасности, является одним из самых важных событий для российской атомной отрасли за последние годы.

«Это первый в мире блок поколения «3+», и он референтный, то есть по подобным проектам будут строиться АЭС и в ряде других стран, с которыми у России заключены контракты, — отметил генеральный директор Росатома **Алексей Лихачев**. — Выход инновационного блока на 100% мощности — большой успех российских атомных технологий».

В промышленную эксплуатацию энергоблок будет принят по окончании сдаточных испытаний.



Визит главы Росатома А. Лихачева на НВАЭС-2

Безопасность проекта гарантирована



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Входящем 2016 году продолжилось развитие атомной энергетики – заработал первенец АЭС нового поколения «3+» с реактором ВВЭР-1200.

20 мая реактор шестого блока Нововоронежской АЭС (блок №1 НВАЭС-2) успешно выведен на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ). После проведения испытаний по измерению фактических нейтронно-физических характеристик активной зоны, соответствию проектным параметрам и проверки функционирования систем управления и защиты 5 августа ядерный энергоблок был впервые подключен к электросети. Началось освоение проектной мощности.

Блок №1 НВАЭС-2 отличается улучшенными технико-экономическими показателями и является самым мощным в России.

Особенностью нового энергоблока являются усовершенствованные системы безопасности, которые способны функционировать даже в случае полной потери электроснабжения и без вмешательства оператора. На объекте применены уникальные системы пассивного отвода тепла от реактора, рекомбинаторы водорода и ловушка расплава активной зоны реактора. Подобные энергоблоки в настоящее время еще только сооружаются в США и Франции.

НИЦ «Курчатовский институт», осуществляя научное руководство обеспечением ядерной и радиационной безопасности всех проектов АЭС с ВВЭР и реакторной установки, был одним из инициаторов и принимал активное участие в создании проекта АЭС-2006 и в реализации его головного блока на НВАЭС-2.

Развитие атомной энергетики в России и мире требует разработки новых поколений реакторных установок и АЭС, которые должны работать в XXI веке, демонстрирующих новые качественные шаги в обеспечении безопасности.

Опыт аварий в Пенсильвании и Чернобыле позволил сосредоточить внимание специалистов многих стран на нейтрализации тяжелых аварий.

В острый послечернобыльский период в нашей стране был проработан проект АЭС-88 с ВВЭР-1000, в котором были предусмотрены проектно-конструкторские меры для смягчения последствий вероятных тяжелых аварий: расплавление активной зоны (устройство удержания расплава), разрушение контейнента (фильтруемый сброс избыточной среды), опасность водородного взрыва внутри здания станции (рекомбинаторы водорода), значительные внешние воздействия (падение самолета, землетрясение, цунами, смерчи). Эта проработка дала основу для обеспечения приемлемого уровня безопасности современного и развиваемого парка АЭС, а также для формирования третьего поколения станций, которое должно обеспечить дальнейшее развитие атомной энергетики.

Следом за проектом АЭС-88 было разработано два варианта станций с реакторной установкой типа ВВЭР-1000: АЭС-91 и АЭС-92. АЭС-91 содержал традиционный набор продублированных активных средств, в проекте АЭС-92 было решено максимально возможным способом использовать пассивные средства безопасности, ограничившись такими решениями, которые не требовали длительных и дорогостоящих опытно-конструкторских работ. Референтный блок в

соответствии с российскими планами предполагалось реализовать на второй площадке Нововоронежской АЭС. В обоих проектах в конечном счете была предусмотрена двойная защитная оболочка и ловушка для удержания расплава активной зоны.

Действующие в стране требования к безопасности атомных станций предусматривают обязательные меры и средства управления тяжелыми авариями. Одновременно с этим международные рекомендации по безопасности, формулируемые МАГАТЭ, подчеркивают необходимость сбалансированных сочетаний активных и пассивных систем безопасности.

В соответствии с этими тенденциями были разработаны проекты, направленные на дальнейшее эволюционное развитие в нашей стране корпусного водо-водяного реакторостроения для крупномасштабной ядерной энергетики, в т. ч. базовый проект, получивший название АЭС-2006. Традиционная целевая установка сохранилась: максимально использовать опыт и задел серийного сооружения АЭС с ВВЭР-1000; вносимые в проект изменения, включая форсирование мощности, повышение параметров теплоносителя и паросилового цикла, должны опираться на опыт эксплуатации и не требовать существенных и тем самым длительных и дорогостоящих научно-исследовательских и конструкторских работ. Своеобразным обобщающим критерием для формирования технического облика создаваемого энергоблока стала возможность серийного сооружения, начиная с первого энергоблока. Этот концептуальный замысел ограничил максимальную мощность величиной 1200 МВт.

В основу конструкции ТВС для реакторной установки ВВЭР-1200 проекта АЭС-2006 легла разработанная ОКБ «Гидропресс» конструкция ТВС-2М. Для повышения объема топлива была увеличена высота топливного столба в ТВС с 3680 до 3730 мм при идентичных ВВЭР-1000 радиальных геометрических размерах оболочки твэла и топливной таблетки. Длительность работы между перегрузками составляет для базового режима 12 месяцев с возможностью реализации 18-месячных топливных циклов при КИУМ не менее 0,9.

В проекте АЭС-2006 зафиксированы следующие особенности по сравнению с базовым проектом АЭС с ВВЭР-1000:

- использование дополнительных пассивных систем безопасности в сочетании с активными традиционными системами;
- повышенная сейсмостойкость, защита от цунами, урагана, падения самолета;
- двойная защитная оболочка реакторного зала (гермообъем);
- устройство локализации расплава активной зоны, расположенное под корпусом реактора, которое предназначено для задержания и охлаждения расплава активной зоны в случае разрыва корпуса реактора. При запроектной аварии расплавленные топливные и конструкционные материалы заполняют полость устройства удержания расплава и не разрушат основание и фундамент под зданием реактора;
- пассивная система отвода остаточного тепла.

В проекте для увеличения срока службы энергоблока до 60 лет предусмотрено ужесточение требований к химическому составу стали с целью понижения критической температуры охрупчивания материала корпуса, для уменьшения флюенса нейтронов на корпус увеличен его диаметр.

Проект АЭС-2006 реализуется на НВАЭС-2 (головной блок), а также на ЛАЭС-2. При этом сооружаемые энергоблоки проекта АЭС-2006 на Ленинградской АЭС-2, несмотря на сходные с НВАЭС-2 технико-экономические показатели, имеют ряд отличий. Это связано прежде всего с различающимися концепциями проектировщиков (Санкт-Петербургского подразделения Атомэнергопроекта для ЛАЭС-2 и Московского подразделения для НВАЭС-2) в выборе технических решений по построению систем безопасности. Отсюда вытекают различия режимов работы в аварийных ситуациях, а также соответствующие компоновочные решения. Например, система пассивного отвода тепла от парогенератора (СПОТ ПГ) на ЛАЭС-2 предусматривает водяное охлаждение, а на НВАЭС-2 – воздушное. Также, например, конструкция машзала на ЛАЭС-2 – это монолит, а на НВАЭС-2 – металлокаркас; на НВАЭС-2 используется одна более высокая градирня на энергоблок, на ЛАЭС-2 – две.

Несмотря на спорность необходимости реализации двух проектных концепций в рамках проекта АЭС-2006, можно говорить об отработке различных технических решений, что в дальнейшем позволит выбрать оптимальные варианты для выхода, прежде всего, на зарубежные рынки. Следующий эволюционный проект развития технологии водо-водяных реакторов ВВЭР-ТОИ базируется на технических решениях проекта АЭС-2006 и направлен в основном на оптимизацию компоновочных решений с целью уменьшения стоимости АЭС и сокращения сроков строительства энергоблоков.

В процессе научного обоснования проекта НВАЭС-2, пуска и освоения мощности блока №1 сотрудниками Курчатовского института были выполнены новые исследования и разработки:

- разработан нейтронно-физический проект активной зоны;
- разработаны концепция управления тяжелыми авариями и руководства по управлению тяжелыми и запроектными авариями;
- разработана и поставлена на блок система контроля, управления и диагностики (СКУД), основанная на реализации функций внутриреакторного контроля (СВРК), обеспечивающая информационную поддержку оперативного персонала в процессе эксплуатации, включая режимы маневрирования мощности;
- выполнено дополнительное обоснование ядерной безопасности проведения загрузки активной зоны с применением современных вычислительных кодов, предложены новые методики измерений нейтронно-физических характеристик с использованием аппаратно-программного комплекса (АПИК);
- разработан новый водно-химический режим первого контура;
- совместно с эксплуатирующей и пусконаладочной организациями разработаны графики и методики процедур испытаний на этапах «Физический пуск» и «Опытно-промышленная эксплуатация» с учетом мер по обеспечению безопасности, в том числе испытаний, отнесенных к ядерно опасным работам.

Для заключительного отчета по сооружению и вводу в действие энергоблока №1 подготовлены рекомендации по оптимизации объема пусконаладочных работ на последующих энергоблоках серии АЭС-2006.

Можно надеяться, что ввод в эксплуатацию первого блока проекта АЭС-2006 станет важной вехой в развитии водо-водяного направления атомной энергетики.

Ижорские заводы и Нововоронежская АЭС: история общего успеха



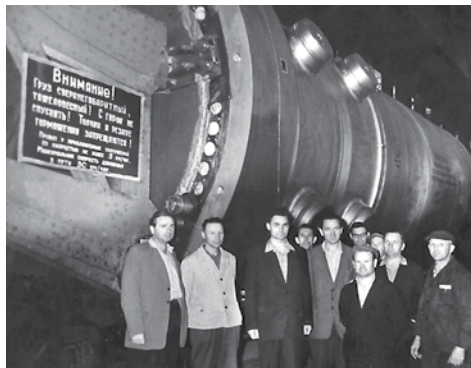
Ижорские заводы и Нововоронежскую АЭС на протяжении многих десятилетий связывают тесные партнерские отношения. Ижорские заводы стояли у истоков отечественной атомной энергетики, являясь головной производственной и конструкторской организацией по разработке проектов и изготовлению оборудования атомных энергетических установок для электростанций. А Нововоронежская АЭС на протяжении всей своей истории была своеобразным полигоном, где отработывались новые, в том числе и ижорские технологии, внедрялись первые головные энергоблоки ВВЭР.

История Ижорских заводов – пример того, что коллективу этого предприятия под силу любые самые сложные задачи, что именно ему обязаны своим рождением многие отрасли отечественной промышленности: паровое судостроение, точное приборостроение, броневое производство и многие другие. Именно поэтому после пуска Обнинской АЭС, первой на планете давшей энергию за счет использования атома в мирных целях (произошло это 23 июня 1954 года), изготовление оборудования для дальнейших объектов жароудающей атомной отрасли было поручено Ижорским заводам.

Самой первой задачей, поставленной перед заводом, было создание корпуса реактора для Нововоронежской атомной станции. Коллективу Ижорских заводов предстояло разработать конструкцию и технологию производства первого в СССР корпусного водо-водяного энергетического реактора мощностью 210 тысяч кВт. Корпус должен был иметь диаметр – 4 м, высоту – 11,5 м, а также выдерживать давление 125 кгс/кв.см при температуре теплоносителя до 300 градусов. Поэтому реактор необходимо было изготовить из высокопрочной термостойкой стали, а чтобы не было выхода продуктов коррозии со стенок корпуса в теплоноситель первого контура, нужно было всю внутреннюю поверхность изделия защитить наплавкой слоя нержавеющей стали.

Так рождался первенец отечественной промышленной атомной энергетики. В сентябре 1961 года первый ижорский реактор для первого блока НВАЭС, первой в СССР промышленной атомной электростанции, торжественно выехал из ворот цеха №4 Ижорских заводов. А в сентябре 1964 года на Нововоронежской станции приступил к работе атомный реактор с маркой «ИЗ».

История создания Нововоронежской атомной станции – старейшей АЭС в мире – дей-



ствительно уникальна. Ведь не только корпус реактора приходилось делать «с нуля», впервые приходилось делать все: от выбора площадки для строительства до освоения принципиально нового технологического процесса получения электрической энергии в промышленных масштабах. Нововоронежская АЭС была введена в строй в 1964 году и стала первой станцией с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР) корпусного типа. Реакторные установки такого типа уже давно признаны наиболее безопасными в мире.

Всего под Нововоронежем было построено пять энергоблоков с ВВЭР, и все реакторное оборудование для них было изготовлено Ижорскими заводами. Каждая новая энергетическая установка, с более мощным реактором, вводимая в промышленную эксплуатацию на Нововоронежской АЭС, становилась головной в серии энергетических установок: так серийным стал ВВЭР-440, впервые пущенный в эксплуатацию на 3-м энергоблоке станции, и реактор-миллионник ВВЭР-1000, пущенный в эксплуатацию на 5-м энергоблоке Нововоронежской АЭС.

Именно нововоронежские энергетики на деле доказали, что энергетические блоки с ВВЭР надежно работают длительное время, что технология, рожденная на берегах Ижоры, безопасна, и самое главное, что научно-технические решения, которые принимались более 50 лет назад, были правильными.

Вот и на новой Нововоронежской АЭС-2, которая сооружается по разработанному ОАО «Атомэнергопроект» проекту АЭС-2006, применена первая, еще более мощная реакторная установка с реактором ВВЭР-1200. Это головная установка проекта АЭС-2006, которая относится к самому современному поколению «З+». Она сохранила в себе все технологические характеристики установки с ВВЭР-1000, прекрасно зарекомендовавшей себя за более чем тридцатилетний период эксплуатации (реакторы-миллионники работают на АЭС с 1980 года) и приобрела новые: продлен срок службы основного оборудования до 60 лет, снижена длительность простоев и повышен коэффициент использования установленной мощности. Помимо этого в состав систем безопасности станции входят новые пассивные системы защиты: система пассивного отвода тепла, пассивный залив активной зоны, система пассивной фильтрации межбололочного

пространства, пассивная локализация и удержание расплавленных материалов активной зоны.

Контракт на производство и поставку реакторного оборудования для строящейся Нововоронежской АЭС-2 был подписан Ижорскими заводами в 2007 году. Этот контракт предусматривал производство двух комплектов основного оборудования реакторной установки ВВЭР-1200, в частности, корпусов реакторов с внутрикорпусными устройствами и верхними блоками, корпусов парогенераторов, компенсаторов давления, главных циркуляционных насосов и прочего оборудования общей массой более 3500 тонн.

Как и 50 лет назад, Нововоронежская АЭС и Ижорские заводы стали пионерами теперь уже современной российской атомной энергетики, ведь первый блок Нововоронежской АЭС-2 стал первым российским энергоблоком с реактором ВВЭР, построенным в 21 веке. В 2011 году в рамках выполнения данного контракта Ижорские заводы поставили ключевое оборудование для блока №1 Нововоронежской АЭС-2 или, как его называют на станции, энергоблока №6: сердце энергетической установки – корпус реактора ВВЭР-1200. А через два года с Ижорских заводов был отправлен еще один корпус реактора ВВЭР-1200, который будет работать на втором энергоблоке Нововоронежской АЭС-2.

В конце октября текущего года состоялось торжественное событие – пуск первого энергоблока Нововоронежской АЭС-2 в промышленную эксплуатацию. Для Ижорских заводов это событие стало столь же значимым, что и пуск первого энергоблока Нововоронежской АЭС больше полувека назад: предприятие снова подтвердило статус флагмана отечественного атомного машиностроения.

Сегодня атомное оборудование, изготовленное Ижорскими заводами, работает в России, Украине, Болгарии, Словакии, Финляндии, Индии, Китае, Иране. Суммарная наработка реакторов ВВЭР-440 составляет около 400 реакторо-лет, реакторов ВВЭР-1000 – более 200 реакторо-лет. А с октября 2016 года началась летопись истории ижорского реактора ВВЭР-1200 – и эта история началась на Нововоронежской АЭС-2.



Инновации – залог успеха



АО «ОБЪЕДИНЕННАЯ ЭНЕРГОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ»

117246, Россия, г. Москва
Научный проезд, д. 17
Телефон: +7(495) 644-33-77
E-mail: roek@roek.ru

Акционерное Общество «Объединенная Энергостроительная Корпорация» с момента своего создания в 2006 году ориентировалось исключительно на рынок энергетического строительства.

С 2013 года, 90% выручки Корпорации приходится на объекты атомной энергетики.

АО «ОЭК» принимало участие в строительстве Калининской АЭС, Балтийской АЭС, Ростовской АЭС и Нововоронежской АЭС-2.

На Нововоронежской АЭС-2 Корпорацией выполнено около 80% объемов работ по возведению объектов пускового комплекса энергоблока №1; строительно-монтажные работы на ряде объектов 2-го пускового комплекса нового поколения 3+ с реакторной установкой ВВЭР-1200. Головной блок проекта «АЭС-2006» – инновационный, прорывной объект атомной отрасли, который соответствует всем существующим требованиям безопасности, включая целый ряд принципиально новых технологий.

Комплекс работ АО «ОЭК» включал в себя работы по возведению пускового комплекса первого энергоблока НВО АЭС-2, в том числе:

- реакторное здание с транспортным порталом



В.А. Саакян, президент АО «ОЭК»

- вспомогательное реакторное здание
- здание турбины
- защищенный пункт управления
- хранилище свежего топлива
- насосная станция ответственных потребителей и другие объекты.

В августе 2016 г. состоялся энергетический пуск объекта.

Инновационные технологии при строительстве Нововоронежской АЭС-2

С апреля 2010 года при сооружении объектов НВО АЭС-2 начали применяться индустриальные методы строительства.

Одним из видов индустриальных методов строительства является проектирование с последующим возведением железобетонных конструкций зданий и сооружений укрупненными арматурными блоками, изготавливаемыми в цеховых условиях производства.

Применение индустриальных методов возведения объектов позволило:

- резко сократить трудозатраты на производство строительно-монтажных работ непосредственно на строительной площадке (более чем в 1,7 раза), что дало возможность сокра-

тить сроки выполнения строительных работ объекта, без увеличения численности рабочих;

- перенести большую часть трудозатрат на арматурные работы и работы по установке закладных деталей в цех, где имеются безусловно лучшие условия для работы;

- выстроить в цехе ритмичную работу, максимально сглаживая неизбежные сезонные факторы, негативно влияющие на строительный процесс;

- заметно улучшить качество сварочных и сборочных работ в условиях цеха – в результате приемка изделий, как правило, проводится с первого раза.

- преодолеть традиционную последовательность производства строительных работ, внедрить комплексное изготовление и монтаж конструкций, так как изготовление армоблоков последующего яруса сооружения выполняется одновременно с бетонированием предыдущего, процессы сокращены во времени, разнесены территориально и ведутся параллельно (одновременно), что безусловно сокращает сроки возведения объекта.

Анализ эффективности внедрения индустриальных методов строительства подтвердил важность и своевременность инновационного подхода, от которого зависят как сроки, так и окупаемость строительства Нововоронежской АЭС-2.

Завершая строительно-монтажные работы на основных сооружениях Блока №1 НВО АЭС-2, АО «ОЭК» расширило свое участие в строительстве Блока №2 Нововоронежской АЭС-2, заключив договор на выполнение строительно-монтажных работ на объектах 20УЖА «Реакторное здание», 20УКС «Вспомогательное реакторное здание», 20РАВ «Циркводоводы».

За десять лет развития Корпорация «ОЭК» по праву зарекомендовала себя как надежный и добросовестный партнер. На сегодняшний день АО «ОЭК» – одна из немногих компаний, способных выполнять самые сложные строительно-монтажные работы в энергетическом секторе.





ООО «СТС»

**117545, г. Москва,
ул. Дорожный 1-й проезд, д. 9
Тел./факс: (495)374-67-09
E-mail: info@sts-hydro.ru**



ООО «СТС» («Следящие Тест-Системы») – российская компания, выполняющая полный цикл работ по разработке, изготовлению и поставке систем для предварительного напряжения железобетонных конструкций, а также осуществляющая весь комплекс сопряженных строительномонтажных работ. За 25 лет истории компании был накоплен опыт работ с преднапряженными конструкциями более чем на 400 объектах в различных отраслях строительства: мосты и теплотрассы, здания и сооружения промышленного и гражданского строительства, защитные оболочки реакторных зданий энергоблоков АЭС, силосы и другие сооружения.

Совместная работа с научными, проектными и строительными организациями на протяжении двадцати пяти лет позволила создать современные отечественные технологии строительства предварительно напряженных железобетонных конструкций.

С 2008 года, сотрудничая с АО «Концерн Росэнергоатом» и АО «Атомэнергопроект», ООО «СТС» провело ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в рамках которых была разработана российская система преднапряжения защитных оболочек для реакторных зданий, построенных по проектам АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. Для реализации данной работы специалистами ООО «СТС» были спроектированы и построены испытательные стенды:

- силовой стенд, предназначенный для проведения прочностных испытаний с возможностью нагружения различных систем преднапряжения до 2500 тс. На нем проводятся испытания конструктивных решений анкерных устройств и клиновых зажимов;



- полномасштабный стенд, предназначенный для проведения технологических испытаний. Конструкция стенда выполнена с учетом особенностей внутренней защитной оболочки (далее – ВЗО) реакторного здания проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. На этом стенде проводятся испытания и отработка технологических процессов монтажа систем преднапряжения защитных оболочек (далее – СПЗО), в том числе:

- отработаны наиболее рациональные способы монтажа опорных стаканов, каналобразователей и технологии их соединения;

- отработаны различные схемы монтажа арматурных канатов;

- подобран состав инъекционного раствора и отработана технология заполнения каналобразователя раствором (стенд предусматривает возможность отработки технологии инъектирования на арматурном пучке с наиболее сложной траекторией – в обход транспортного шлюза);

- отработана технология натяжения арматурных пучков и измерения остаточного усилия с помощью домкрата ДИУ-55 (тип Lift-Off);

- подтверждена ремонтпригодность системы.

Опыт, накопленный ООО «СТС» при выполнении работ на объектах в различных отраслях

строительства, а также полученный в ходе выполнения НИОКР, позволил успешно изготовить, поставить, смонтировать и сдать заказчику СПЗО реакторного здания энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2.

Технология выполнения работ по монтажу СПЗО, предложенная специалистами ООО «СТС» при сооружении энергоблока №1 НВО АЭС-2, позволила значительно сократить сроки возведения реакторного здания.



Монтаж горизонтальных арматурных пучков осуществлялся параллельно с армированием яруса ВЗО. Таким образом на момент окончания бетонирования конструкции горизонтальные арматурные канаты были установлены в тело каналобразователя. Монтаж вертикальных арматурных пучков осуществлялся после бетонирования через кольцевой коридор, расположенный на отметке – 5,400. Технология ООО «СТС» предполагала заблаговременное формирование арматурных пучков в цехе навивки с последующим монтажом их на строительной площадке. Данная технология позволила выполнить монтаж вертикальных арматурных пучков (общая масса более 750 тонн) всего за 60 дней, а предварительно проведенные испытания на полномасштабном стенде позволили осуществить монтаж пучков с высоким качеством, не повреждая их защитную оболочку.

Следующим этапом монтажа СПЗО являлось заполнение каналобразователей с установленными арматурными канатами специальным цементным раствором – инъектирование. Инъектирование – одна из важнейших технологических операций монтажа СПЗО, от правильного выполнения которой в значительной степени зависит долговечность сооружения. В процессе исследовательских работ был подобран состав инъекционного раствора, обеспечивающий высокую степень прокачиваемости раствора, позволяющий полностью заполнять все узкие места формы каналобразователя с уложенными арматурными канатами. Использование специальной добавки позволило добиться безусловности раствора, к тому же высокая текучесть раствора была получена при довольно низком водоцементном отношении ($v/c=0,34$), благодаря чему инъекционный раствор обладает высокой плотностью, водонепроницаемостью и, соответственно, высокой прочностью. Отработанная на полномасштабном стенде технология производства работ по инъектированию, а также эффективная организация технологического процесса производства работ позволили выполнить работы по инъектированию СПЗО за 50 дней, при этом для

приготовления 570м³ инъекционного раствора было использовано более 870 тонн цемента и 53 тонны добавки.

Завершающим и наиболее ответственным этапом монтажа СПЗО является натяжение арматурных пучков. Контроль напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) ВЗО в процессе ее обжатия осуществлялся по показаниям 297 струнных измерительных преобразователей (далее – СИП), установленных в тело железобетонной конструкции на этапе ее возведения. Параллельно выполнялся визуальный контроль внешней поверхности защитной оболочки на предмет образования (раскрытия) трещин. На 8 контрольных пучках были установлены датчики силы, определяющие усилие натяжения арматурных канатов. Каждый из 128 пучков впоследствии был натянут на проектное усилие, равное 11,4 МН (порядка 1162 тс). Для визуального контроля и контроля НДС защитной оболочки натяжение всех арматурных пучков было разделено на этапы. На первых этапах натяжения специалистами ООО «СТС» были подтверждены проектные коэффициенты трения арматурных канатов по длине и углу поворота, которые составили 0,001 м⁻¹ и 0,05 рад⁻¹ соответственно. Используя восемь



гидравлических домкратов и организовав четыре поста натяжения, ООО «СТС» завершило работы по обжатию ВЗО за 35 дней.

После окончания работ по монтажу СПЗО были проведены комплексные испытания ВЗО на прочность и герметичность. В период преднапряжения измеренные с помощью СИП сжимающие напряжения в стержневой арматуре и деформации бетона оказались больше величины приращений растягивающих напряжений в стержневой арматуре, растягивающих деформаций бетона и перемещений стенок ВЗО, измеренных в период испытаний давлением 0,46 МПа. В свою очередь это подтверждает запас уровня преднапряжения ВЗО. Средние величины измеренных приращений контролируемых параметров НДС от испытательного давления 0,46 МПа, превышающих величину погрешности измерения, соответствуют расчётным с разницей до + 20%. После сброса внутреннего избыточного давления в герметичном ограждении до нуля, величина приращений вернулась к нулю, что подтверждает упругую работу СПЗО.

Таким образом, ООО «СТС» приняло непосредственное участие в реализации проекта сооружения головного блока нового поколения «3+», выполнив весь комплекс работ по конструированию, испытанию, поставке, монтажу и сдаче заказчику российской системы преднапряжения защитной оболочки энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2.

В настоящее время специалисты ООО «СТС» подошли к завершающему этапу монтажа СПЗО на энергоблоке №2 НВО АЭС-2. На начало 2017 года запланированы работы по обжатию ВЗО.

АО «ВИБРАТОР», ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

**194292, С.-Петербург,
2-й Верхний пер, 5, лит. А.
Тел.: (812) 590-95-80
E-mail: atom@vibrator.spb.ru
Сайт: vbrspb.ru**

Запуск первого энергоблока Нововоронежской АЭС-2, без сомнения, одно из самых значимых событий атомной отрасли России 2016 года. Инновационный энергоблок нового поколения «З+», обладающий улучшенными технико-экономическими показателями, соответствующими самым современным требованиям надежности, стал первым в мире реактором такого типа. Считается, что энергоблоки типа ВВЭР-1200 обеспечат максимально высокий уровень безопасности при эксплуатации и полностью соответствуют требованиям МАГАТЭ.

Новый энергоблок построен и оборудован по проекту АЭС-2006. В рамках данного проекта АО «ВИБРАТОР» осуществляет поставки контрольно-измерительных приборов и индикаторов для систем мониторинга и контроля технологических процессов. Для щитов управления нового энергоблока поставлялись приборы серий Ф1761-АД, Ф1762-АД производства АО «ВИБРАТОР», с классом безопасности ЗН. Помимо цифровых приборов и индикаторов для щитов управления завод поставил промышленные видеомониторы ВМП-1225-АД (класс безопасности 2У).

Свое сотрудничество с предприятиями атомной отрасли завод ведет с середины прошлого века, поставляя на предприятия, в том числе на АЭС, контрольно-измерительные приборы. С началом модернизации предприятий атомной отрасли в 2000-х годах завод значительно обновил свою линейку приборов, существенно улучшив показатели качества и надежности приборов. В настоящее время АО «ВИБРАТОР» поставляет на АЭС аналоговые и цифровые приборы, цифровые индикаторы ЦИ1762-АД, электронные регистраторы Ф1771-АД, синхроскопы (Э1550), серию измерительных преобразователей (ФЕ1890-92-АД).

Новым направлением для завода в последние годы стали промышленные видеомониторы ВМП1225-АД (поставленные в составе изделий наших партнеров в том числе на Нововоронежскую АЭС-2).

Логичным развитием успешных поставок видеомониторов стало обновление линейки мониторов ВМП1225-АД – разработка в рамках программы импортозамещения мониторов для замены снятых с производства мониторов Kontron (Германия). Обновленный ВМП1225-АД является полным аналогом в части габаритных размеров, интерфейсов и органов управления, но в то же время значительно превосходит импортный монитор в плане технических характеристик, соответствует жестким требованиям по ЭМС, обладает высокими показателями надежности. С использованием видеомониторов ВМП1225-АД АО «ВИБРАТОР» наладил также производство рабочих станций, опытная эксплуатация ко-

торых будет проведена на атомных станциях в самое ближайшее время.

Наука не стоит на месте, технологии развиваются, новые блоки атомных станций становятся все более совершенными и безопасными. АО «ВИБРАТОР» и в дальнейшем будет предлагать атомной отрасли надежные и качественные наукоемкие технологии и продукты, внося свой вклад в атомную энергетику России.



Приборы АО «ВИБРАТОР» в щитах управления НВАЭС-2

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 инсти-

тутов: 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.

Самый мощный в мире серийный встраиваемый компьютер класса VохРС сделан в России

В сентябре 2016 года специалисты российской инженерной компании «РТСофт» первыми в мире построили и успешно испытали самый мощный встраиваемый безвентиляторный компьютер класса VохРС SWAP-C Premium на базе новейшего мобильного embedded-процессора Intel Skylake Xeон 1515M с мобильным серверным чипсетом CM236, бортовой графикой Iris Pro Graphics P580 и памятью 32 ГБ ECC DDR4. Это первый серийный embedded-продукт подобного класса на мировом рынке с исполнением вплоть до -40...+70°C.

**3А ИМПОРТО
ЗАМЕЩЕНИЕ
ПРОГРАММА**

АО «РТСофт»

105037, г. Москва, ул. Никитинская, 3
Тел.: (495) 967-15-05
www.rtsoft.ru

Применение ультрасовременных 14-нанометровых платформ серии Intel Xeон 1515M/1505M 3,7/2,8 ГГц – это кардинальное пополнение серийных линеек компактных отечественных машин BLOK Industrial и BLOK Rugged, предназначенных для создания защищенных, критически важных и ответственных инженерных решений масштабируемой производительности с длительным жизненным циклом в системах атомной энергетики, управления воздушным движением, в системах специального назначения и безопасности.

Машины BLOK на мобильной платформе Intel Xeон 1515M шестого поколения с объявленной доступностью на мировом рынке в первом квартале 2016 года обладают рекордными характеристиками производительности, энергоэффективности, управляемости и защищенности.

По словам технического директора «РТСофт» **Алексея Рыбакова**, наиболее значимым результатом работы по наращиванию возможностей профессиональных машин серии BLOK следует считать не столько факт великолепной производительности и энергоэффективности CPU/GPGPU платформы Xeон 1515M, сколько те преимущества, что дают эти ультрасовременные технологии для достижения целей надежности, необслуживаемости и неубиваемости за очень бюджетные деньги.

Компьютеры серии BLOK на базе новейших платформ Intel Xeон 1515M/1505M и i7 6820EQ/6822EQ гарантируют простоту и удобство при создании безвентиляторных



(бесшумных) полиэкранных сетевых HMI (до 3 DisplayPort, разрешением до 4K), специальных серверов и шлюзов, бортовых машин, где предъявляются серьезные требования по оптимизации габаритов, веса, энергопотребления и цены наряду с высокими требованиями производительности, совместимости, безопасности и минимальной стоимости владения.

Благодаря открытой и стандартной архитектуре гарантируется великолепная совместимость с самым современным системным ПО класса Linux, Windows, ОС реального времени и с гипервизорами, поддерживающими технологию виртуализации. Архитектура машин позволяет использовать наиболее актуальные технологии в разработке продвинутых гетерогенных и графических приложений: OpenCL 2.1, MS C++ AMP, DirectX 12, OpenGL 5.0.

Машины BLOK на платформе Intel Skylake Xeон/i7 будут доступны для российских и зарубежных потребителей в температурном диапазоне -10...+50°C или -40...+70°C, в исполнении для III группы ТС АС-ЯРО или в исполнении для групп 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.1 УХЛ по ГОСТ РВ 20.39.304.

Компьютеры обеспечены высоким уровнем сертификационной и лицензионной поддержки для работы в различных сегментах экономики РФ и стран Таможенного союза: TÜV NORD CERT (ISO 9001:2008), ФСТЭК, Ростехнадзор, Минпромторг и др., поддержаны

гибкими возможностями кастомизации как аппаратной части, так и UEFI/BIOS в кратчайшие сроки. Изделия обеспечивают самый высокий уровень защиты от любых экспортных ограничений.

За разработку компьютеров серии BLOK компания «РТСофт» в IV квартале 2015 года была удостоена звания лауреата национальной премии в области импортозамещения «Приоритет-2015».

Машины серии BLOK доступны для заказа, гарантия на них оптимальна для «длинных» проектов: от трех до семи лет. Тест-драйв машин возможен со склада «РТСофт» бесплатно.

АО «РТСофт» благодарит своих технологических партнеров, сотрудничество с которыми позволило создать и поддерживать в России серийный продукт мирового класса: Фирму «НИТА» (Санкт-Петербург), НТЦ «Элинс» (Зеленоград), ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова (Нижний Новгород), SWD Software (Санкт-Петербург), Кварта Технологии (Москва), АО «РусБИТех» (Москва), корпорации Intel, Adlink, Kontron AG и Transcend.

Расширенную информацию можно получить на сайте <http://blok.rtsoft.ru/> или в компании «РТСофт».

ООО «НТЛ-Прибор»: 25 лет развития российского производства



ООО «НТЛ-ПРИБОР»

**107023, г. Москва, ул. Малая
Семеновская, дом 11/ 2, стр. 16
Тел.: (495) 964-30-00, (499) 748-14-56
E-mail: mail@ntl-pribor.ru
www.ntl-pribor.ru**

Научно-техническое предприятие «НТЛ-Прибор» на протяжении 25 лет занимает одно из ведущих мест в области разработки и изготовления современного оборудования для атомных электростанций и промышленных предприятий. Предприятие оснащено современной производственной базой и специализируется на поставках средств термодатирования и коммутации, а также модернизации систем внутриреакторного контроля (СВРК).

Деятельность предприятия лицензирована и сертифицирована: имеются лицензии на проектирование и изготовление оборудования, поверку и калибровку средств измерения, выполнение монтажных работ на объектах атомной энергетики; предприятие сертифицировано на соответствие национальному стандарту ГОСТ ИСО 9001-2011 и международному – ISO 9000-2008. Более 40 технических решений защищены патентами. Средства измерения выпускаются по собственным техническим условиям (ТУ) и имеют сертификаты утверждения типа.

Определяющим вектором развития предприятия является **импортозамещение**:

- обеспечение **замены импортных изделий**, применяемых при сооружении объектов атомной энергетики **на аналоги производства ООО «НТЛ-Прибор»**;

- использование в процессе производства российских материалов, полуфабрикатов и комплектующих;

- разработка новых изделий, не уступающих по техническим характеристикам зарубежным аналогам;

- повышение качества и безопасности выпускаемой продукции.

Наша новая разработка – коробки соединительные клеммные СКК (для зоны свободного доступа).

Коробки СКК в сочетании с разработанными около пяти лет назад коробками соединительными типа СКТ (для гермозоны) заменяют импортные коробки и удовлетворяют растущие потребности заказчиков. Наши коробки работоспособны в самых тяжелых условиях эксплуатации, включая режимы «Малой» и «Большой течи», а также «Запроектной аварии», и могут использоваться в системе АК ИП (аварийные контрольно-измерительные приборы). Коробки обладают высокой надежностью и серьезным преимуществом: поставляются в заводской комплектации с установленными герметичными кабельными вводами и быстрозажимными клеммами. Конструкция коробок обеспечивает удобство монтажа, возможность различных вариантов крепления. Широкая линейка типоразмеров и разнообразие кабельных вводов позволяют рационально использовать наши коробки в самых ответственных проектах как в атомной энергетике, так и в других отраслях промышленности.

Согласно прогнозу **развития мировой энергетики, подготовленному Международным энергетическим агентством, доля атомной генерации в общемировой выработке электроэнергии к 2035 году вырастет на 70%, что приведет к росту числа атомных электростанций и вызовет растущую потребность в нашей продукции.** Стремительное развитие новых технологий, высокие требования к качеству и рост количества выпускаемых изделий **требуют постоянного расширения и обновления производственной базы. За последний год численность сотрудников нашего предприятия выросла на 10%, введено в эксплуатацию современное высокопроизводительное оборудование** для проведения всех видов обработки: станки с ЧПУ, оборудование для гибки, включая трубогибочное, оборудование для рубки металла, гидроабразивной резки, волочения, электрохимического полирования, нанесения покрытий, сварочных работ, лазерной сварки, резки и маркировки, напыления металлов

и др. На предприятии постоянно совершенствуются технологические процессы, сотрудники регулярно проходят профильное обучение, повышают свою квалификацию.

Масштабы предприятия, квалификация персонала, использование уникальных технологических процессов и современная производственно-техническая база позволяют выпускать высококачественную продукцию.

С 1999 года наше предприятие производит кабель нагревостойкий с минеральной изоляцией в стальной оболочке (КНМС) и изделия на его основе.

Кабель КНМС обладает рядом уникальных свойств:

- растягивающие усилия воспринимает бесшовная металлическая оболочка, что снижает нагрузку на жилы и увеличивает усилие разрыва кабеля в разы;

- при ударах по кабелю происходит одновременное смятие оболочки и токопроводящих жил с сохранением целостности изоляции и работоспособности кабеля;



- при возникновении пробоя изоляция не нарушается, а после снятия электрического напряжения кабель восстанавливает свою работоспособность;

- наличие металлической оболочки исключает необходимость прокладки кабеля в трубах;

- гибкость кабеля (кабели выдерживают многократные циклы изгибов на цилиндр диаметром, равным десятикратному диаметру кабеля);

- огнестойкость кабелей (предел пожаростойкости) не менее 180 минут в открытом пламени.

Перечисленные выше свойства кабеля обеспечивают высокое качество и надежность изделий на его основе и оборудования, в котором он используется.

Кабель сертифицирован по пожаростойкости, сейсмостойкости, а также в системе ОИТ.

ООО «НТЛ-Прибор» серийно выпускает как кабели для передачи управляющих и информационных сигналов и кабели термопарные (ХА и ХК), так и изделия из них:

- шлейфы (свивка кабелей нагревостойких);

- кабели соединительные;

- датчики температуры на основе кабелей КНМС:

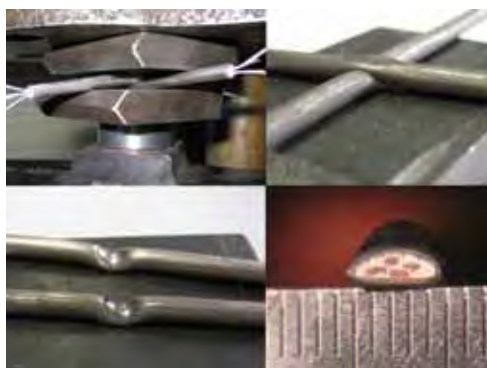
- преобразователи термоэлектрические,
- преобразователи термоэлектрические с автоматической компенсацией (ПТАК),
- термопреобразователи сопротивления,
- датчики температуры с нормирующим усилителем;

- преобразователи пульсации давления;

- преобразователи виброизмерительные.

Датчики температуры могут выпускаться как самостоятельные изделия, так и в виде сборок с монтажными элементами, не изменяющими их метрологические характеристики, при этом обеспечивающими защиту и герметизацию узлов подключения датчиков к внешним линиям связи, удобство монтажа, повышение работоспособности во всех проектных условиях эксплуатации, в том числе внутри герметичной оболочки АЭС.

Специалистами ООО «НТЛ-Прибор» разработана и внедрена в эксплуатацию головка из нержавеющей стали с установленной

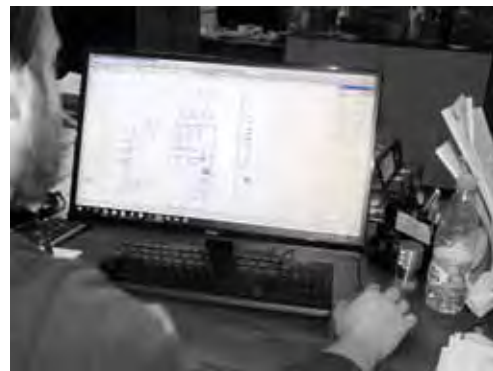


в корпусе вилкой соединителя («разъёмная головка»). Датчики с такими головками работоспособны при различных режимах эксплуатации, включая системы АКИП. При использовании данной головки время подключения датчика температуры к внешним линиям связи сокращается до одной минуты, что существенно снижает дозовые нагрузки на персонал атомных станций и уменьшает трудозатраты.

Для надёжного крепления и защиты датчиков температуры предприятие серийно выпускает такие изделия как **гильзы термометрические, бобышки, штуцеры-переходники** и др., что позволяет заказчику приобретать оборудование в комплекте.

Оборудование систем термоконтроля, производимое нашим предприятием, успешно эксплуатируется как на российских атомных электростанциях: Балаковской, Калининской, Кольской, Ленинградской, Нововоронежской, Ростовской, Смоленской, так и на зарубежных АЭС: Армянской, «Бушер» (Иран), «Куданкулам» (Индия), «Козлодуй» (Болгария). Специалистами ООО «НТЛ-Прибор» проведена комплексная модернизация систем внутриреакторного контроля энергоблоков Кольской АЭС, Нововоронежской АЭС и Армянской.

ООО «НТЛ-Прибор» располагает ресурсами для выполнения комплексных работ, начиная от участия в разработке проекта и заканчивая изготовлением, монтажом и авторским надзором за оборудованием в процессе его эксплуатации.



При проработке новых изделий и технологических процессов широко применяется 3D-моделирование, изготовление и испытание опытных образцов.

Наличие полного производственного цикла на предприятии существенно снижает зависимость от сторонних организаций, позволяет оперативно реагировать на дополнительные требования заказчика, гарантировать качество и выдерживать установленные сроки поставки наших изделий.

В настоящее время ООО «НТЛ-Прибор» активно работает над дальнейшим расширением номенклатуры изделий, а также готовится к освоению новых производственных направлений. В связи с этим мы готовы принимать заказы на разработку и изготовление оборудования по Техническим требованиям или Техническому заданию заказчика независимо от сложности и размера партии. Так, например, мы производим шкафы управления, печи отжига, венттрубы, ошиновки, оборудование для подмотки кабеля.

Приглашаем к сотрудничеству инвесторов и разработчиков новых изделий. Мы готовы использовать свои мощности, метрологическую службу, конструкторские и контрольно-испытательные подразделения, а также накопленные знания и многолетний опыт работы наших специалистов для реализации ваших проектов. Оптимальное соотношение цены и качества сделает наше сотрудничество плодотворным и взаимовыгодным.

Творческий подход к решению поставленных задач и инновации обеспечивают высокое качество нашей продукции, позволяют нашему предприятию конкурировать с отечественными и зарубежными производителями и являются залогом безупречной работы и дальнейшего развития нашего предприятия как в области атомной энергетики, так и в любых других отраслях промышленности.

**Если никто не может воплотить
ваши идеи в жизнь – обращайтесь
в ООО «НТЛ-Прибор»!**

**Генеральный директор
ООО «НТЛ-Прибор» И.Ю. ШАПОВАЛОВ**

Непрерывное повышение уровня безопасности производств и безаварийной эксплуатации продукции в атомной энергетике сегодня является одним из наиболее приоритетных направлений в отрасли. Беспрецедентно высокие требования к безопасности ядерных установок естественно обуславливают повышенные требования и к качеству измерительной информации, на основании которой принимаются инженерные и управленческие решения. Достоверность измерительной информации достигается безупречной работой применяемых средств измерений и измерительных систем. В течение последних 20 лет измерительная аппаратура АО «НИИФИ» для атомной отрасли – сейсмодатчики, сигнализаторы давления, температуры, измерители скорости спада давления, датчики

перемещений, положения, силы, датчики-реле уровня жидкости, концевые и герконовые выключатели – успешно эксплуатируется на АЭС России (Балаковская, Ростовская, Калининская, Нововоронежская, Курская, Ленинградская, Кольская, Белоярская, Билибинская, Смоленская АЭС), Белоруссии, Индии, Китая и Ирана.

В настоящее время АЭС испытывают потребность в осуществлении мониторинга и вибродиагностики как наиболее эффективных способов выявления предаварийных состояний и прогнозирования остаточного ресурса наиболее важных узлов работающего оборудования. Использование систем мониторинга и вибродиагностики позволяет оптимизировать процессы технического обслуживания, а также существенно сокращать показатели произ-

водственных затрат и рисков. В обеспечение данных потребностей в НИИФИ разработана интеллектуальная система вибродиагностики на основе миниатюрных широкополосных ИСР-акселерометров АЛС 007.00, не имеющих отечественных аналогов. Сегодня лидирующее положение на мировом рынке пьезоэлектрических акселерометров занимают американские и европейские компании. Приборы, производимые в России, проигрывают зарубежным аналогам по своим показателям. Однако, разработанный в НИИФИ акселерометр не только не уступает, но в некоторых случаях превосходит их метрологическими, массогабаритными и энергетическими характеристиками, соответствующими специальным требованиям для работы в экстремальных условиях эксплуатации.

	НАИМЕНОВАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА	ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
	МИНИАТЮРНЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ИСР-АКСЕЛЕРОМЕТР АЛС 007.00 Измерение вибрационных и ударных ускорений в широком диапазоне частот. Исполнение: <ul style="list-style-type: none"> • встроенный микроселектронный усилитель; • коаксиальный герметичный разъём собственного производства; • моноблок, включающий в себя пьезопреобразователь сдвигового типа и ИСР-усилитель; • для отделения постоянной составляющей сигнала используется разделительная RC-цепь, размещённая в кабель-вставке; • передача информативного сигнала и подключение питания датчика по двухпроводной линии. 	Диапазон измерений, м/с ² : ±100000 Частотный диапазон измерений, Гц: 10-30000 Предел допускаемого значения приведенной основной погрешности, %: ±5,0 Смещение нуля, В: 12-17 Напряжение питания, В: 24-34 Амплитуда выходного сигнала, В: ±3,5 Диапазон температуры окружающей среды, °С: от минус 65 до +120
	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВИБРОДИАГНОСТИКИ С 105 Система мониторинга стационарных и нестационарных вибрационных процессов на основе миниатюрных широкополосных пьезоакселерометров предназначена для: <ol style="list-style-type: none"> 1. измерения, регистрации, анализа и архивирования результатов измерений виброускорений, виброскоростей и виброперемещений на изделиях атомной и ракетно-космической отраслей; 2. оценки текущего технического состояния изделий; 3. сбора и обработки данных для прогнозирования; 4. прогнозирования остаточного ресурса изделий. 	Каналы измерения вибрации: 8 Каналы измерения акустического давления: 2 Устройство аналоговой и цифровой обработки сигналов: 1 Диапазоны измерений виброускорения (в диапазоне частот (10...20 000) Гц), м/с ² : от ±50 до ±100 000 Диапазоны измерений виброскорости (в диапазоне частот (10...1 000) Гц), мм/с: от 5 до 10 000 Диапазон измерений каналов акустического давления, Па: от 36 до 63240 Напряжение питания постоянного тока, В: 23...34 В Выходной интерфейс: RS-485, Ethernet
	СЕЙСМОДАТЧИК СД 4 предназначен для непрерывной регистрации сейсмических воздействий на реакторную установку АЭС и формирования сигнала превышения установленного уровня сейсмического воздействия для аппаратуры аварийной защиты. Шефмонтаж, стыковочные испытания, поверка по месту установки.	Диапазон ускорений, в пределах которого устанавливается порог выдачи аварийных сигналов, от 0,25 до 2 м/с ² . Класс безопасности 2У по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ДАТЧИК УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПУИ 066 предназначен для преобразования угловых перемещений лопаток шибера регулирующего устройства системы пассивного отвода тепла на АЭС в электрический сигнал.	Диапазон измерений от минус 10 до 100 угловых градусов. Класс безопасности 2НУ по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ШТОКОВЫЙ ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПЛЦ 002 предназначен для измерения линейных перемещений объектов. Используется в составе механических систем в реакторных отделениях блоков АЭС.	Диапазон измерений от 0 до 100 мм. Класс безопасности 2У по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДП 2 предназначен для контроля объекта, перемещающегося относительно чувствительного элемента датчика, и выдачи дискретного (бинарного) электрического сигнала. Используется на перегрузочной машине реакторного отделения АЭС.	Зона срабатывания 5 мм. Класс безопасности 2Н по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ДИСТАНЦИОННЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ДУ 3 предназначен для системы контроля, регулирования и управления технологическими процессами АС. Состоит из преобразователей перемещения ПП и вторичного преобразователя ВП.	Диапазон срабатывания в пределах от 3 до 43 мм. Класс безопасности 2У по НП-001. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	БЛОК КОНЦЕВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ БКВ-4 предназначен для контроля состояния запорных клапанов с ручным и дистанционным управлением и выдачи дискретных сигналов в системы автоматического регулирования и контроля АЭС.	Рабочий ход штока от 1,7 до 2,3 мм. Класс безопасности 2НО по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ КОНЕЧНЫЙ ПК 1 предназначен для контроля конечных положений подвижных механизмов оборудования АЭС. Используется на перегрузочной машине и для контроля положения люка транспортного коридора реакторного отделения.	Рабочий ход от 0,2 до 2 мм. Класс безопасности 2Н по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	ДАТЧИК-РЕЛЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ СУ-3 предназначен для контроля уровня жидкости в аппаратах и сосудах стационарных установок АЭС. Используется в турбинном отделении на резервной дизельной электростанции.	Дифференциал срабатывания не более 15±10 мм. Класс безопасности 2УН по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.
	СИГНАЛИЗАТОР ТЕМПЕРАТУРЫ СТ 1 предназначен для контроля температуры и сигнализации об изменении ее выше или ниже заданного значения путем включения или выключения электрической цепи. Используется в системах воздухоподачи и системах смазки и охлаждения жидкостей дизельных установок АЭС при непрерывной круглосуточной эксплуатации.	Уставка срабатывания от 0 до 100°С. Класс безопасности 2У по ПНАЭГ-01-011. Категория сейсмостойкости 1 по НП-031-01.



Alma mater будущих Архимедов

Нижегородский технический университет имеет заслуженную репутацию одного из ведущих технических вузов страны. Имена многих его выдающихся выпускников известны не только в России, но и во всем мире.

Мы обратились к ректору НГТУ профессору, доктору технических наук С.М. Дмитриеву с просьбой подвести итоги уходящего года.

– 2016 год для НГТУ замечателен двумя юбилейными датами. 21 октября мы отметили столетие со дня рождения нашего выдающегося выпускника Игоря Ивановича Африкантова, организатора работ по созданию ядерных реакторов, основателя и руководителя нижегородского Опытного конструкторского бюро машиностроения, а также основателя физико-технического факультета нашего университета. К этому юбилею в университете появилась мемориальная доска, издан великолепный альбом, посвященный деятельности И.И. Африкантова, состоялась встреча с его соратниками – ветеранами ОКБМ. Знаменательной дате посвящен и снятый при содействии НГТУ документальный фильм «Нижегородский Архимед».

В декабре 2016 года такой же юбилей у другого нашего не менее знаменитого выпускника, создателя судов на подводных крыльях, экранопланов и экранолетов, Ростислава Евгеньевича Алексеева, чье имя с гордостью носит технический университет. В 2007 году в НГТУ был установлен бюст Р.Е. Алексеева, а в честь его 100-летия в университетском сквере был открыт памятник-экрanoплан «Волга-2», ставший последней разработкой этого выдающегося ученого. В большой конференции, которая проходила в НГТУ 23-24 ноября 2016 года, приняла участие ведущий конструктор Центрального конструкторского бюро по судам на подводных крыльях, дочь знаменитого изобретателя Татьяна Ростиславовна Алексеева, а почетным гостем стал руководитель Объединенной судостроительной корпорации Алексей Львович Рахманов.

Мы достойно продолжаем традиции подготовки выдающихся инженерных кадров. В уходящем году университет в очередной раз выиграл грант на подготовку кадров для ОПК. В него входят две составляющих: образовательная и инфраструктурная. В инфраструктурной части мы получили 50 миллионов рублей для развития базовой кафедры в Научно-исследовательском институте измерительных систем (НИИИС им. Ю.Е. Седакова).

Развивается и международное сотрудничество нашего вуза. В конце ноября наши сотрудники побывали в Институте ядерной энергетики Китая и в Сычуаньском университете, где обсуждались вопросы создания Ассоциации российских и китайских университетов «Волга-Янцзы», учредительное заседание совета которой состоялось в мае этого года. Ассоциация создавалась по поручению администрации Президента Российской Федерации, Министерства образования и Госсвета КНР. Мне выпала честь стать сопредседателем Ассоциации от российской стороны. Нашим партнером с китайской стороны выступает Сычуаньский университет. В планах Ассоциации – дальнейшее развитие и укрепление связей между университетами: обмен студентами, проработка вопросов, связанных с получением двойных дипломов, совместное проведение научных работ и многое другое.

Также мы вновь выиграли грант по привлечению ведущих ученых в рамках Постановления Правительства РФ №220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования...». Средства мегагранта – 90 миллионов рублей на три года – будут направлены на создание лаборатории композиционных и керамических материалов. Эти разработки найдут применение при проектировании транспортных средств, работающих в Арктике.

В университете зарегистрирована новая научная школа профессора Куркина. Андрей Алексан-



Ректор НГТУ С.М. Дмитриев и президент ОКБ А.Л. Рахманов

дрович – доктор физико-математических наук – является одним из руководителей ведущей научной школы страны по направлению «Науки о Земле, экология и рациональное природопользование».

Традиционно университет старается приобретать самое современное оборудование, и в этом году мы закончили совместную с ОКБМ Африкантов работу по созданию высокотехнологичных производств, в рамках которой создан уникальный стенд мощностью 1,5 МВт для изучения смешения изотермических потоков в камере ядерного реактора. Фактически это единственный стенд такого рода в Российской Федерации.

Мы оснастили самыми современными приборами свою базовую кафедру в НИИИС им. Седакова, и это измерительное оборудование уже используется и в образовательных, и в научно-производственных целях.

В этом году наши студенты-атомщики в составе студенческих отрядов работали на нескольких строительных площадках: Ростовской атомной станции, Нововоронежской АЭС, Тяньваньской атомной станции в Китае и АЭС «Куданкулам» в Индии. А наши ребята из ССО «Квант» привезли в университет знания лучшего отряда из РФ на Всебелорусской молодежной стройке «БелАЭС-2016».

Не отстают наши студенты и в научной деятельности. Буквально на днях, в ноябре, пред-

ставитель НГТУ стал победителем Всероссийской инженерной олимпиады. Этому успеху, безусловно, способствовала тесная связь НГТУ с промышленными предприятиями, развитие базовых кафедр. Сейчас их создано 14 на различных предприятиях области. Не так давно при общении с молодыми специалистами завода «Автодизель» в Ярославле президент страны В.В. Путин одобрил опыт создания базовой кафедры НГТУ им. Р.Е. Алексеева в «Группе ГАЗ» и предложил его распространять.

В университете активно развивается не только инженерное направление. Совсем недавно мы общались с директором Департамента Росатома Сергеем Власовым о необходимости усиления экономической подготовки инженеров. Наши выпускники создают 3D-модели реакторов и другие сложнейшие проекты, но ведь современную экономику определяет конкурентоспособность. Очень важно, чтобы будущие инженеры обладали базовыми знаниями и в этом направлении. Поэтому мы усиливаем эту часть образовательной программы и будем внедрять ее в учебный процесс.

Все эти годы наш вуз сохраняет и развивает лучшие традиции российской и советской инженерной школы, не боится нового и дает студентам максимум практических знаний. Именно поэтому НГТУ прочно входит в число ведущих технических вузов страны. Уверен, что так будет и дальше.



Президент РФ В.В. Путин одобрил опыт создания базовых кафедр

АО «ТЯЖМАШ»: 75-летний опыт — на службу атомным технологиям

ТЯЖМАШ

ул. Гидротурбинная, д. 13, г. Сызрань,
Самарская обл., 446010, Россия
(+7 84-64) 37-24-81
(+7 84-64) 37-82-02
E-mail: atomproject@tyazhmash.com

В этом году сызранское машиностроительное предприятие «ТЯЖМАШ» отмечает три четверти века со дня основания. Юбилейный рубеж стал для коллектива не только поводом для гордости, но и переломным этапом. Благодарность от Президента РФ, успешная пусковая кампания на космодроме Восточный, подписание стратегических соглашений в области гидроэнергетики и газового строительства — под такими знаками войдет в историю завода 2016 год. Особый виток пережило и атомное направление АО «ТЯЖМАШ»: за три квартала портфель заказов для ядерной энергетики составил около четырех миллиардов рублей.

ОТ ГИДРОАМОРТИЗАТОРОВ ДО ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В контексте заводской истории атомное направление выглядит сравнительно молодым. Более того — расцвет этого сектора в АО «ТЯЖМАШ» пришелся на последнее десятилетие. Но небольшие сроки компенсировала универсальность и высокая квалификация сотрудников. Если долгое время коллектив специализировался только на изготовлении гидроамортизаторов, то активное наращивание атомных мощностей в России и за рубежом позволило заводу выйти на рынок с новыми предложениями.

В 2009 году на сызранском предприятии образовалось отдельное конструкторское подразделение и были организованы производственные площадки для освоения полярных кранов и оборудования реакторных установок. Применение PLM-решений и богатый технический арсенал помогли заводчанам быстро покорить новое направление и занять нишу в сфере ядерных технологий. Сегодня изделия АО «ТЯЖМАШ» востребованы на Ленинградской АЭС-2, Нововоронежской АЭС-2, Ростовской, Балтийской, Курской и Белорусской АЭС, и с каждым годом география поставок расширяется. На высокую конкурентоспособность завода влияет не только качество оборудования, но и комплексный подход к оснащению станций.



Генеральный директор АО «ТЯЖМАШ»
А.Ф. Трифонов

Так, в 2014 году специалисты АО «ТЯЖМАШ» получили патент на мобильное нагрузочное устройство, которое предназначено для испытаний полярного крана на АЭС, и сегодня заказчик может получить весь набор грузоподъемного оборудования у одного поставщика.

Яркий пример заботы о клиентах — появление в номенклатуре завода основного и транспортного шлюзов, которые также поставляются в комплекте со всеми сопутствующими элементами, в том числе с современной системой управления. К освоению этого вида оборудования ТЯЖМАШ приступил всего

два года назад, но шлюзы уже составляют весомую долю от общего объема заказов для атомной энергетики. Предприятие изготовило один основной шлюз и запустило в работу три транспортных.

ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ КИТАЯ

Юбилейный 2016 год стал знаковой вехой в реализации одного из крупнейших проектов АО «ТЯЖМАШ» — строительства третьего и четвертого энергоблоков на Тяньваньской АЭС в Китайской Народной Республике. Четырехлетний заказ, выполняемый в рамках международного экономического сотрудничества, вышел на финишную прямую.

На объект было отправлено многочисленное оборудование шахт реактора и шахт ревизии. Кроме того, в процессе работы на китайский экспорт сызранские машиностроители впервые опробовали силы в создании устройств локализации расплава активных зон реакторов («ловушек») и перегрузочных машин. Изготовление последних принесло коллективу ценный опыт в сфере производства высокотехнологичного оборудования, установки роботизированных систем и уникальных программно-технических комплексов.

Сегодня одна перегрузочная машина с маркой «ТЯЖМАШ» уже смонтирована на станции, а вторая находится на заключительной стадии производства. Успешная отгрузка изделия не только ознаменует завершение масштабного заказа, но и станет отправной точкой для



Монтаж полярного крана производства АО «ТЯЖМАШ» на Белорусской АЭС

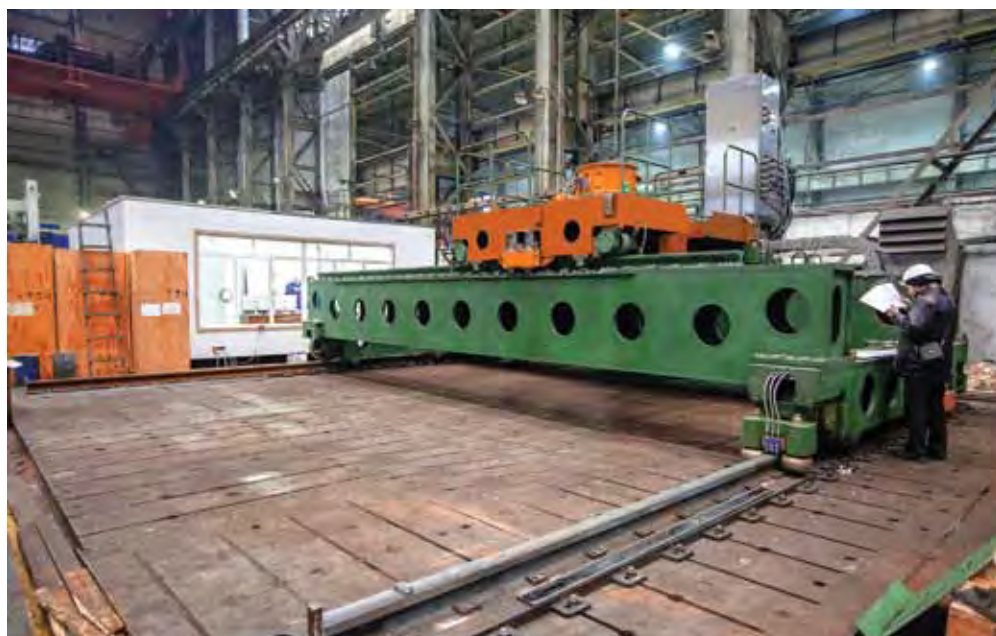
следующего этапа сотрудничества с Китаем — по седьмому и восьмому энергоблокам Тяньваньской АЭС.

ПУТЬ К СЕРИЙНОСТИ И ИННОВАЦИЯМ

Взаимодействие АО «ТЯЖМАШ» с азиатским рынком продолжают новые контракты, полученные в 2016 году на поставку оборудования для АЭС «Куданкулам» в Индии, АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш и АЭС «Бушер» в Иране. Предметы договоров — два полярных крана и шесть «ловушек», открывающих перед заводом перспективу серийного производства. Крупные проекты подтолкнули заводчан оптимизировать работу и даже задуматься о самостоятельном изготовлении жертвенных теплоизоляционных материалов-наполнителей, входящих в состав «ловушек».

Также в планах специалистов АО «ТЯЖМАШ» — углубление в область сложных инновационных изделий, дальнейшее совершенствование технологий производства гидроамортизаторов и перегрузочных машин. Не менее важно овладение новыми навыками, поэтому в будущем завод планирует освоить изготовление редукторов для атомной продукции и участвовать в модернизации атомных ледоколов.

Богатый потенциал АО «ТЯЖМАШ» в ядерной энергетике подтверждается высокими оценками. Летом 2016 года машиностроители получили признание индийской делегации, посетившей завод. А затем состоялся аудит при участии финского ядерного консорциума, когда предприятие было рекомендовано как изготовитель оборудования для АЭС «Ханхикиви-1» в Финляндии. Ценный знак доверия — привлечение завода к строительству первой турецкой АЭС «Аккую» и положительное



Цеховые испытания перегрузочной машины для Тяньваньской АЭС

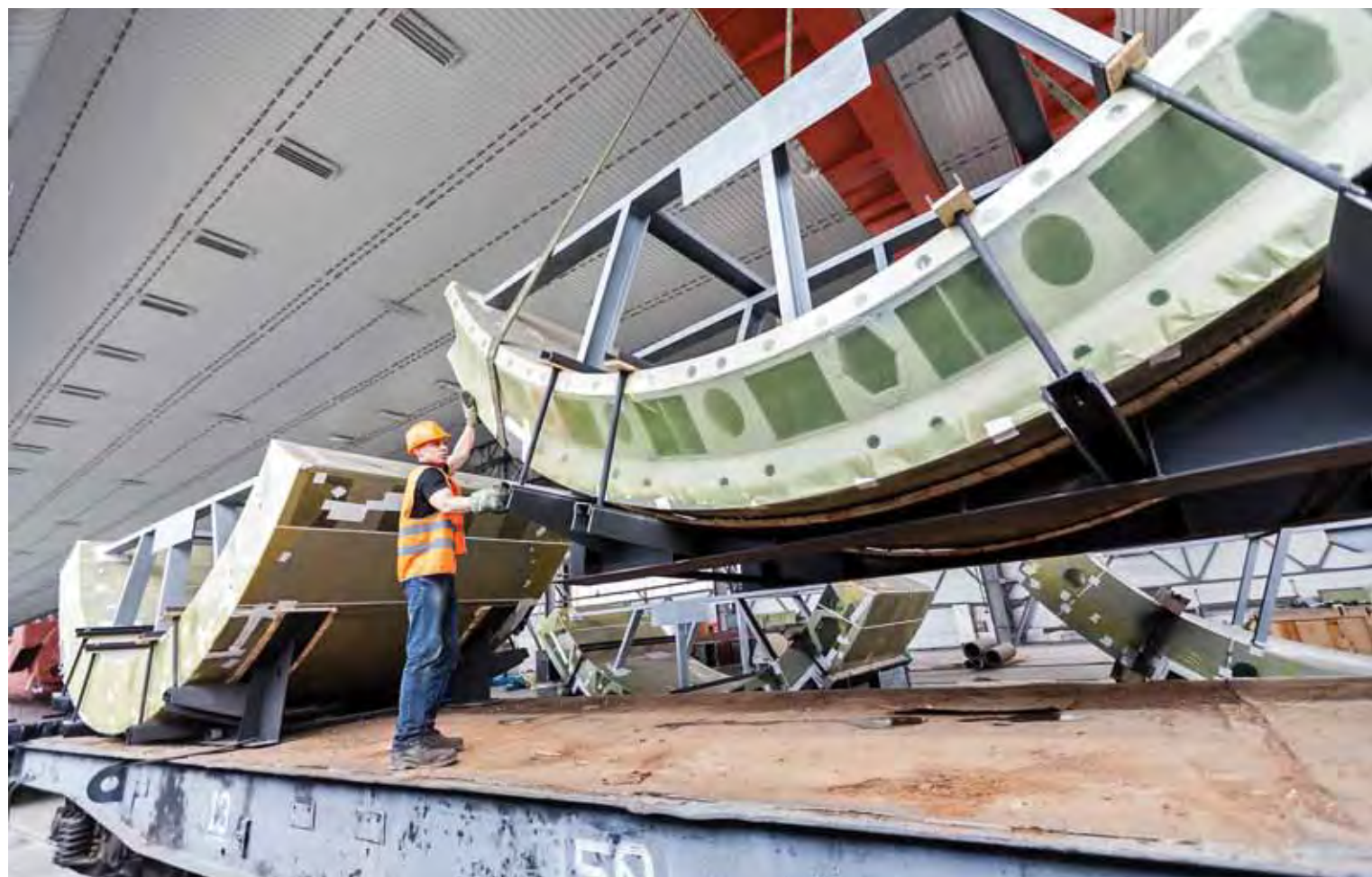
решение Агентства по атомной энергии Турции, вынесенное по результатам инспекции.

Делая уверенные шаги в одном из самых ответственных направлений — производстве

оборудования для ядерной энергетики, предприятие будет вписывать в историю новые победы, ведь в распоряжении АО «ТЯЖМАШ» 75-летний опыт создания уникальных машин.

СПРАВКА

История АО «ТЯЖМАШ» ведется с 1941 года, когда в связи с началом Великой Отечественной войны завод был эвакуирован из Калужской области в Поволжье. Стойко выдержав фронтовые темпы, машиностроители направили свои навыки в мирное русло: освоили выпуск гидротурбин, горно-металлургической продукции и оборудования для тепловых электростанций. С ростом профессионализма сфера деятельности продолжала расширяться: коллектив привлекли к созданию космодромов и научно-исследовательских объектов, а в середине 80-х годов прошлого века заводчане приступили к выпуску гидроамортизаторов для АЭС. В юбилейный год АО «ТЯЖМАШ» вошло как производитель широкого спектра изделий для ядерной энергетики и доверенный партнер Госкорпорации «Росатом».



Подготовка к отгрузке защиты сухой для Балтийской АЭС

У колыбели атомной науки

Радиевый институт имени В.Г. Хлопина – старейшая организация, входящая в Госкорпорацию «Росатом», первая в СССР специализированная организация, занявшая изучением свойств радиоактивных веществ, разработкой способов их получения и применения. В январе 2017 года институт отмечает 95-летие своего основания.

Первым русским учёным, осознавшим значение открытия радиоактивности, был В.И. Вернадский. В лаборатории, основанной Владимиром Ивановичем, велось планомерное изучение радиоактивных минералов и пород, поиск которых на территории России проводился экспедициями, также организованными по его инициативе. «...Для нас совсем не безразлично, как будут изучены радиоактивные минералы России... Теперь, когда человечество вступает в новый век лучистой – атомной – энергии, мы, а не другие, должны знать, должны выяснить, что хранит в себе в этом отношении почва нашей родной страны», – писал академик.

В 1909 году Вернадский возглавил исследования явления радиоактивности в России и под его председательством была организована Радиевая комиссия.

К 1917 году на смену исключительно научной заинтересованности в изучении радия приходит практическая потребность использования его в военных целях – военное ведомство, оборонные организации получили информацию о том, что радий применяется для производства светосоставов. Съезд по технической обороне государства в октябре 1917 года принял решение об организации специального радиевого завода, но Октябрьская революция сняла этот вопрос с повестки дня.

В январе 1918 года молодой ученый Виталий Григорьевич Хлопин опубликовал статью «Несколько слов о применении радиоактивных элементов в военной технике и о возможном будущем радиевой промышленности в России», в которой предсказал перспективы использования радия в военно-стратегических целях. В июле 1918 года при Академии наук была избрана специальная Коллегия по организации радиевого завода и создан специальный Радиевый отдел во главе с В.И. Вернадским. Уполномоченным по организации радиевого завода назначили секретаря отдела, специалиста Радиевой комиссии, ассистента кафедры общей химии Петроградского университета 28-летнего В. Г. Хлопина, чья основательная теоретическая подготовка и владение методами тонкого химического анализа, умение эффективно решать практические задачи и опыт работы в экспедициях в полной мере оправдывали привлечение его к столь ответственному делу.

Виталий Григорьевич Хлопин сыграл исключительно важную роль в решении принципиальных организационных вопросов при основании Радиевого института в 1922 году. Он стал заместителем директора и заведующим химическим отделом, а с 1939 года – директором Радиевого института



В.Г. Хлопин

В.Г. Хлопин по праву считается не только одним из основателей Радиевого института, но и одним из ведущих участников советского Атомного проекта, основателем школы советских радиохимиков.

Государственный Радиевый институт стал центром, в котором зародилась и проходила становление отечественная атомная наука и техника. Он объединил все имевшиеся к тому времени в Петрограде радиологические учреждения. Новому институту были подчинены также радиевый рудник и недавно созданный завод, на котором в декабре 1921 года были получены первые в России высокообогащенные препараты радия.

В институте в разное время работали выдающиеся ученые – члены Российской академии наук: академики А.И. Алиханов, В.И. Вернадский, С.Н. Вернов, А.П. Виноградов, А.А. Гринберг, П.Л. Капица, И.В. Курчатов, А.И. Лейпунский, П.И. Лукирский, Б.П. Никольский, А.Е. Ферсман, В.Г. Хлопин, Д.И. Щербаков и многие другие видные специалисты в области изучения и применения на практике явления радиоактивности.

Всестороннее изучение радиоактивных элементов привело к созданию всемирно известной Хлопинской радиохимической школы. В.Г. Хлопиным и его учениками в 20-30-е годы были установлены основные закономерности, позднее положенные в основу промышленных радиохимических технологий. Важнейшими



В.И. Вернадский среди сотрудников Государственного радиевого института

практическими результатами работ уже в первые годы существования института были созданы отечественная радиевая промышленность и Государственный фонд радия.

Фундаментальные исследования были проведены И.Е. Стариком и его школой по радиоколлоидам и адсорбции микроколичеств радионуклидов. Эти работы послужили основой последующих исследований по загрязнению и дезактивации.

В Радиевом институте происходило зарождение и становление отечественной физики атомного ядра. Здесь в конце 20-х годов Г.А. Гамовым была создана теория альфа-распада атомных ядер, в 1937 году Л.В. Мысовским и И.В. Курчатовым был запущен первый в Европе циклотрон. В 1940 году К.А. Петржаком и Г.Н. Флеровым было открыто явление спонтанного деления урана. В институте были заложены основы отечественной нейтронной физики, физики деления, гамма-дефектоскопии.

Опыт, накопленный при изучении процессов соосаждения, способствовал тому, что поставленная перед Радиевым институтом задача по разработке технологии извлечения плутония из облученного урана для создания первой атомной бомбы была решена за исключительно короткое время, в 1946-1949 годах.

В послевоенные годы в Радиевом институте В.Г. Хлопиным, Б.А. Никитиным и А.П. Ратнером был получен первый в стране плутоний и разработана первая отечественная технология выделения плутония из облученного урана (ацетатная осадительная технология), обеспечившая промышленное получение плутония на радиохимических производствах для создания атомной бомбы. К.К. Аглинцевым и К.А. Петржаком были созданы основы отечественной дозиметрии и метрологии излучений, Б.С. Джелеповым, Н.А. Перфиловым и другими выполнены пионерские работы в области ядерной физики. Г.М. Толмачевым был разработан радиохимический метод определения параметров испытываемых ядерных зарядов. Институт участвовал в проведении радиохимических анализов на 40 ядерных испытаниях (наземных, подводных, надводных и воздушных), осуществленных в период с 1949 по 1962 годы.

В 1950 году, после смерти В.Г. Хлопина Постановлением Президиума АН СССР Радиевому институту было присвоено его имя.

В 50-60-е годы основными направлениями научных исследований института являлись радиохимическое обеспечение советской атомной промышленности, фундаментальные и прикладные исследования в области физики атомного ядра. С 1965 по 1984 годы сотрудники Радиевого института приняли участие в проведении 55 мирных подземных ядерных взрывов на территории СССР.

По существу одновременно с промышленным освоением производства плутония начались работы по совершенствованию технологии производства, направленные на повышение выхода и качества продуктов, сни-

жению объемов выбросов, повышению общей производительности завода. Разработки М.В. Посвольского по окислению плутония позволили удвоить производительность осадительной цепочки. Этот этап работы был завершен под руководством Б.П. Никольского и привел к созданию «цельноацетатной» схемы (1957 год), реализованной впервые на химкомбинате «Маяк». Данная технологическая схема затем была воспроизведена на других радиохимических заводах при непосредственном участии Радиевого института.

Дальнейшие исследования, проводившиеся под руководством Б.П. Никольского и В.И. Парамоновой, были направлены на разработку и внедрения сорбционного аффинажа плутония на анионитах, а также на фосфатных катионитах. Следующий этап модернизации заключался в замене осадительных процессов на экстракционные, что связано с именем М.Ф. Пушленкова, при этом сорбционный аффинаж был по инициативе заводов сохранен. Именно этот комплекс работ создал научно-техническую основу для разработки технологии репроцессинга ОЯТ АЭС и обусловил мировую известность Радиевого института в области радиохимической технологии в постперестроечный период.

В 70-х годах была создана экспериментальная база Радиевого института в Гатчине. Опытные установки в горячих камерах радиохимического корпуса воспроизвели технологическую схему заводов РТ-1 и РТ-2 по регенерации ОЯТ, послужили источником



бесценной информации по обращению с отработавшим топливом и отходами. Рекомендации Радиевого института были внесены в схемы действующих предприятий.

В 70-80-е годы институт выполнял ядерно-физические исследования, разработку научных основ получения радиоизотопов, радиоэкологические исследования. Специалисты института осуществляли мониторинг за-

грязненности окружающей среды вследствие испытаний ядерного оружия с 1949 года – времени первого советского ядерного взрыва.

Радиевый институт был привлечен к работам в район Чернобыльской АЭС с первых же часов после аварии. Специалисты института принимали участие в аварийных и послеаварийных исследованиях непосредственно на 4-м блоке и в 30-километровой зоне. Существенный вклад внесли сотрудники института в обследование радиационной обстановки на местах гибели атомных подводных лодок «Курск» и «Комсомолец».

Радиевый институт за годы своей работы завоевал высокий авторитет в международном научном сообществе. Институт посещали такие выдающиеся ученые, как М. Гайсинский, Я. Гейеровский, Ф. Жолио-Кюри, И. Кюри, Ф. Панет, Г. Сиборг и другие, руководители МАГАТЭ и национальных ядерных программ многих стран мира.

Институт принимал участие более чем в 50 проектах МНТЦ и постоянно участвует в представительных международных конференциях Global, Spectrum, Waste Management, Nuclear Data for Science and Technology и других.

Сегодня в Радиевом институте работают около 750 человек, среди них – четыре заслуженных деятеля науки Российской Федерации, восемь лауреатов Государственной премии. В институте имеется оборудование для обеспечения поисковых и прикладных работ в области ядерной физики, радиохимии и аналитической химии, радиоэкологии, наработки изотопов.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Заслуженный авторитет в России и в мире

Всемирно известному РИАНу – Радиевому институту имени В.Г. Хлопина в январе 2017 года исполняется 95 лет. Эта первая в России организация, профессионально занимающаяся изучением свойств радия и других радиоактивных веществ, разработкой способов их получения и применения, была создана по инициативе академика В. И. Вернадского. Основатели института академики В.И. Вернадский и В.Г. Хлопин создали отечественную научную школу радиохимиков, имеющую много достижений и пользующуюся заслуженным авторитетом в России и в мире. В Радиевом институте, наряду с Ленинградским физтехом, проходило зарождение и становление отечественной физики атомного ядра, нейтронной физики, физики деления.

В предвоенные годы ученые РИАН совместно с другими советскими физиками стали инициаторами разработки проекта решения «Проблемы урана» в нашей стране.

НИЦ «Курчатовский институт» с первых дней своего основания плодотворно сотрудничает с Радиевым институтом имени В.Г. Хлопина – пионером в области развития технологий топливного цикла ядерной энергетики. Основатель НИЦ «Курчатовский институт» И.В. Курчатов принимал активное участие в физических исследованиях РИАН, сооружении и пуске в 1937 году первого в Европе циклотрона. Специалистами Радиевого института была разработана первая отечественная технология выделения плутония из облученного урана, обеспечившая промышленное получение плутония на радиохимических производствах для создания атомной бомбы. Специалисты Радиевого и Курчатовского институтов совместно занимались ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС. В настоящее время Радиевый институт принимает активное участие в реализации замкнутого топливного цикла в ядерной энергетике России. Он осуществляет научное руководство созданием опытно-демонстрационного центра и завода РТ-2 на ГХК, в которых будут воплощены новые малоотходные технологии переработки ОЯТ. Специалистами Радиевого института координируются работы по созданию РЕМИКС–топлива для замыкания топливного цикла реакторов ВВЭР.

Впереди нас ожидает много совместной работы по формированию целостной структуры ядерной энергетики России и развитию нуклидной экономики атомного энергопромышленного комплекса. В канун юбилея желаем коллективу Радиевого института имени В.Г. Хлопина новых творческих свершений, значимых научных и технологических достижений, стабильности, благополучия и крепкого здоровья.

Коллектив НИЦ «Курчатовский институт»



Во имя безопасности России

Приборостроительный завод отмечает 65-летие своего основания

В НАЧАЛЕ СЛАВНЫХ ДЕЛ

Федеральное государственное унитарное предприятие «Приборостроительный завод» (ФГУП «ПСЗ») – в прошлом завод №933 Главгорстроя СССР, предприятие п/я 17, предприятие п/я Г-4146 – расположено в городе Трехгорном (ранее Златоуст-20, Златоуст-36) Челябинской области, относится к Департаменту промышленности ядерных боеприпасов Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Приборостроительный завод возводился по Постановлению Совета Министров СССР от 24 января 1952 года №342-135 сс/оп. Международная обстановка в те годы была напряженной. Условия «холодной войны», постоянные угрозы США, разрабатывавших планы нанесения ядерных ударов по промышленным центрам СССР, способствовали ускоренному строительству завода. Пришлось для этого привлекать военно-строительные части и специальный контингент МВД СССР. Первые строители в необжитые южноуральские леса в районе небольшого города Юрюзань прибыли 9 апреля 1952 года. В кратчайшие сроки возводились производственные корпуса. В них размещались цехи, отделы и службы завода.

Вместе с производственными корпусами появился и рабочий поселок. Ныне он превратился в прекрасный благоустроенный город Трехгорный.

В августе 1955 года коллектив предприятия успешно выполнил первую государственную программу по изготовлению специзделий РДС-4 (авиационная атомная бомба «Татьяна»).

КОМАНДИРЫ ПРОИЗВОДСТВА

Первый директор завода – **Константин Арсеньевич Володин**, он же начальник всего объекта, прошел школу руководителей военных лет и послевоенного восстановления народного хозяйства, проявил себя как крупный талантливый организатор производства. К.А. Володин сумел в сжатые сроки создать современное производство и сплотить коллектив завода для выполнения государственных планов по выпуску важнейшей военной продукции.

К началу 1960-х годов предприятие располагало полным комплексом производств машиностроительного завода и имело развитую инфраструктуру вспомогательных служб, устойчивое дублированное электроснабжение, автономное тепло- и водоснабжение и надежные транспортные коммуникации.

С самого начала работы на заводе сложилась строгая исполнительская и производственно-технологическая дисциплины, стремление к использованию прогрессивного оборудования и новых технологических процессов. По своим производственным показателям коллектив всегда находился в числе передовых в отрасли, много раз побеждал в социалистическом соревновании, награждался Красными знаменами, дипломами и почетными грамотами. Работники завода выступали с починами, активно участвовали в рационализации и изобретательстве, в движении за высокое качество продукции и культуру производства. С 1959 года развернулось соревнование за звание коллективов и ударников коммунистического труда.

Первый «Ударник коммунистического труда» – токарь штамповочно-прессового цеха В.А. Шамшури, первая «Бригада коммунистического труда» – бригада Ф. С. Алексейкова из инструментального цеха, первый «Коллектив коммунистического труда» – коллектив цеха 201 (начальник цеха И.П. Гузиков).

В январе 1963 года К.А. Володин ушел на заслуженный отдых, а директором завода был назначен **Леонид Андреевич Петухов** – представитель нового поколения высокообразованных и широко эрудированных руководителей. Много энергии потратил он на реорганизацию сложившегося комплексуемого и металлообрабатывающего производства. Л.А. Петухов заложил основы превращения предприятия в многопрофильный комплекс, способный производить прецизионные приборы электроавтоматики и микроэлектронной техники.

С мая 1964 года по февраль 1987 года завод возглавлял **Александр Георгиевич Потапов**. До этого 10 лет он проработал в должности главного инженера. Становление предприятия закончилось. Началось наращивание мощностей, насыщение производства новейшим оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ), импортной и отечественной аппаратурой, установками и приборами, внедрением уникальных технологических процессов с широким привлечением отраслевых и союзных научно-исследовательских институтов.

В 70-е годы стартовал серийный выпуск товаров народного потребления и продукции производственно-технического назначения. С 1978 года предприятие активно включилось в освоение и производство приборов и аппаратуры для АЭС. В настоящее время это направление является основным среди перечня гражданской продукции.

С февраля 1987 года по ноябрь 2003 года заводом руководил **Александр Васильевич Долинин**. Коллектив тяжело переживал годы перестройки в политической и экономической жизни страны. Уменьшался объем Гособоронзаказа, задерживалась оплата из государственного бюджета за изготовленную продукцию, отсутствовали оборотные средства. Задержки выплаты заработной платы доходили до трех месяцев. Банки выдавали кредиты под высокие проценты. Квалифицированные работники уходили в коммерческие предприятия. Все это невероятно осложнило работу завода.

В результате принятых мер все же удалось сохранить предприятие и его коллектив. Помогли сплоченность, опыт прежних лет, понимание рабочими, специалистами и руководителями сложившейся обстановки.

В конце 1990-х годов улучшилось финансирование Гособоронзаказа, появились возможности реконструкции производства и модернизации оборудования. Нарастив инженерно-технический потенциал завода. Техническое перевооружение предприятия позволило успешно развивать не только основное производство, но и выпуск приборов и аппаратуры для АЭС, создать ряд новых мирных производств.



Производственные площади ПСЗ. Так все начиналось



К.А. Володин



Л.А. Петухов



А.Г. Потапов



А.В. Долинин



А.Д. Попов



А.А. Егоров



М.И. Похлебаев



Г.В. Комаров

С декабря 2003 года по декабрь 2008 года ФГУП «ПСЗ» возглавлял генеральный директор **Александр Дмитриевич Попов**. Он обеспечил надежное выполнение Гособоронзаказа, расширение номенклатуры гражданской продукции.

Совершенствовалась система менеджмента качества (СМК). Приборостроительным заводом получены сертификаты соответствия системы менеджмента качества требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001, СМК система «Военный Регистр», свидетельство соответствия предприятия Российскому Морскому Регистру судоходства.

По результатам ежегодного Всероссийского конкурса «Российская организация высокой социальной эффективности» предприятие неоднократно награждалось Дипломами и Почетными грамотами. По итогам работы за 2003 год Приборостроительному заводу присвоено звание «Предприятие высокой культуры производства и организации труда».

С 30 января 2009 года по 12 мая 2009 года генеральным директором предприятия работал **Андрей Анатольевич Егоров**, до этого в течение пяти лет занимавший должность директора по экономике – первого заместителя генерального директора. Атомная отрасль начала реформироваться. На повестке дня появился вопрос акционирования предприятий ядерно-оружейного комплекса. Коллектив Приборостроительного завода под руководством А.А. Егорова приступил к реализации задач, поставленных руководством Госкорпорации «Росатом».

13 мая 2009 года А.А. Егоров назначается директором Департамента промышленности ядерных боеприпасов госкорпорации, а гене-

ральным директором Приборостроительного завода становится **Михаил Иванович Похлебаев**. Он принимал меры по оптимизации численности персонала и омоложению коллектива. Большое внимание уделялось поиску новых видов инновационной и наукоемкой продукции в области атомной энергетики, топливно-энергетического комплекса, неядерных вооружений.

1 мая 2013 г. впервые в истории современной России прошло награждение первых пяти кавалеров ордена Героя Труда. Торжественная церемония состоялась в Санкт-Петербурге, в Константиновском дворце. Указом Президента РФ № 427 от 1 мая 2013 г. «За особые трудовые заслуги перед государством и народом» звание Герой Труда Российской Федерации с вручением знака особого отличия – золотой медали «Герой Труда Российской Федерации» №5 удостоен работник ФГУП «ПСЗ», токарь-фрезеровщик 6 разряда Константин Геннадиевич Чуманов.

С 2015 года по настоящее время генеральным директором ФГУП «ПСЗ» является **Геннадий Владимирович Комаров**.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФГУП «ПСЗ»

В настоящее время ФГУП «ПСЗ» является одним из основных предприятий ГК «Росатом» по серийному производству и демонтажу ядерных боеприпасов и представляет собой многопрофильный научно-производственный комплекс по выпуску широкой номенклатуры продукции: от специальной микроспециальной аппаратуры и приборов электроавтоматики до сложнейших изделий специальной техники.

Предприятие располагает практически всеми видами общепромышленных производств, в том числе: заготовительным комплексом; холодноштамповочным, механообработывающим, электросборочным, сварочным и инструментальным производствами; производством гальванических, лакокрасочных и порошковых покрытий; производством по подготовке и переработке пластмасс; лабораторно-испытательным, исследовательским и метрологическим комплексами.

В составе предприятия функционируют основные технические службы: серийное конструкторское бюро, служба главного технолога, метрологическая служба, службы главного энергетика и механика.

Производственные площади оснащены всеми видами современного оборудования и прогрессивными технологиями для высокопроизводительного изготовления, контроля качества, всесторонних испытаний и лабораторных исследований с применением вычислительной техники и автоматизированных систем управления производством.

На предприятии установлено листообработывающее оборудование фирмы TRUMPF, в состав которого входит комплекс лазерной резки для раскроя листового материала и листогибочный стан для точной гибки листового материала и изготовления сложнопрофильных изделий без сварочного шва.

Лазерный луч регулируемой мощности представляет собой идеальный инструмент для резки черных, цветных металлов и их сплавов, при этом обеспечивает качественную гладкую поверхность среза. Применение точных координат

натных столов снимает любые ограничения по геометрической сложности вырезаемых деталей.

Специальные программы создают планы резки с максимальным использованием материала. Компьютерная подготовка рабочих программ в сочетании с коротким технологическим сроком производства позволяют с высокой точностью и в сжатые сроки изготавливать партии деталей. Комплекс оснащен штамповкой, предназначенной для пробивки, высечки и других формообразующих операций с металлическим листом.

Механообрабатывающее производство укомплектовано станками последних поколений с числовым программным управлением (ЧПУ) ведущих зарубежных фирм: пятикоординатными обрабатывающими центрами, прецизионными автоматами продольного точения, токарными с ЧПУ автоматами, фрезерными и токарными обрабатывающими центрами; лазерным листообрабатывающим комплексом.

В механосборочном производстве используются разнообразные методы сварки: лазерная, электронно-лучевая, электродуговая (в том числе вакуумная); чистые вакуумные технологии пайки, сушки, очистки и заполнения газами с контролем герметичности и испытаниями высоким давлением на базе криогенных технологий.

На предприятии широко применяются защитные, декоративные, упрочняющие и барьерные покрытия различных материалов методами ионно-плазменного осаждения. Электросборочное производство осуществляет выпуск продукции, начиная от двухсторонних, многослойных и рельефных плат печатного монтажа 5-го класса точности до изготовления каркасов, конструктивов, приборных стоек со сборкой готовых изделий.

ФГУП «ПСЗ» располагает всеми технологическими и производственными возможностями



А так цеха ПСЗ выглядят сегодня

ми для изготовления продукции для топливно-энергетического комплекса. Специалистами завода разработан обратный клапан ДУ-400 для установки на участках газопроводов в качестве устройства, предотвращающего обратный поток природного, нефтяного и искусственного углеводородного газов в районах добычи, производства и хранения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Имея уникальное оборудование, специализированные производственные помещения, широкий спектр освоенных прогрессивных наукоемких технологических процессов, отсутствующих на других предприятиях отрасли, активно перевооружаясь, наращивая интеллектуальный потенциал, внедряя новые технологии, предприятие продолжает производство

спецтехники и увеличивает выпуск диверсификационной продукции.

Поддерживая имидж предприятия, выпускающего продукцию высокого качества, ФГУП «ПСЗ» со своими изделиями участвует в Президентской национальной программе «Всероссийская Марка (III тысячелетие). Знак качества XXI века» и в конкурсной программе «100 лучших товаров России».

Используя накопленный научный и кадровый потенциал, разрабатывая новые типы оборудования, внедряя революционные технологии, Приборостроительный завод вносит значительный вклад в процесс модернизации мощностей атомной отрасли, закладывает основу будущей конкурентоспособности и прогресса российской промышленности в целом, обеспечивая устойчивость развития экономики страны.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Традиции качества и современные технологии

ФГУП «Приборостроительный завод», одному из ведущих предприятий Госкорпорации «Росатом», в январе 2017 года исполняется 65 лет.

С начала создания основная деятельность предприятия определялась государственным оборонным заказом, для чего на заводе был создан ряд производств, оснащенных современным автоматизированным технологическим, контрольно-измерительным и испытательным оборудованием, что позволило организовать полный цикл изготовления широкой номенклатуры высокотехнологичной специальной продукции.

С 1985 года Приборостроительный завод приступил к реализации конверсионной программы, в процессе выполнения наметились приоритетные направления производства: аппаратура контроля и управления для атомных станций, выпуск товаров народного потребления, медицинской техники и т. д.

Сегодня градообразующее предприятие города Трёхгорный ФГУП «Приборостроительный завод» представляет собой многопрофильный научно-производственный комплекс по выпуску широкой номенклатуры продукции: от специальной микроселекционной аппаратуры и приборов электроавтоматики до сложнейших изделий специальной техники.

В рамках реализации СКУД на вновь сооружаемых АЭС проекта АЭС-2006 НИЦ «Курчатовский институт» совместно с Приборостроительным заводом успешно выполняет работы по изготовлению и поставке аппаратуры контроля реактивности, используемой при проведении физических экспериментов по определению нейтронно-физических характеристик активной зоны на этапах пусконаладочных работ по вводу энергоблоков нового поколения в промышленную эксплуатацию.

Высокие технологии и традиции предприятия оборонной отрасли являются гарантом

надежности и высокого качества продукции. Именно поэтому без преувеличения можно сказать, что уровень научных разработок и технологий производства на предприятии позволяет считать ФГУП «Приборостроительный завод» г. Трёхгорного одним из современных предприятий XXI века.

Коллектив завода награжден орденом Ленина. Заводу вручены и оставлены на вечное хранение два памятных Красных Знамени. В 2005 году по результатам VI Международного конкурса «Золотая медаль «Европейское качество», проведенного международной Академией качества и маркетинга и Ассоциацией производителей качественной продукции (Санкт-Петербург), Приборостроительный завод признан лауреатом с вручением Диплома и Золотой медали. За заслуги в развитии атомной промышленности коллективу ФГУП «ПСЗ» в 2005 году объявлена благодарность Президента Российской Федерации

В канун юбилея желаем всему коллективу ФГУП «Приборостроительный завод» новых творческих свершений, значимых научных и технологических достижений, стабильности, благополучия и крепкого здоровья.

Коллектив НИЦ «Курчатовский институт»

Сложнейшая задача успешно выполнена



**Уважаемые коллеги, дорогие друзья!
Примите самые искренние поздравления
со славным юбилеем Приборостроительного завода!**

Мы гордимся многолетними трудовыми и товарищескими отношениями, сложившимися между ФГУП «ПСЗ» и ФГУП «ГХК». При непосредственном участии специалистов Приборостроительного завода на высоком научно-техническом уровне решен ряд важных задач в подразделениях нашего предприятия.

Особо хочется отметить работу специалистов Приборостроительного завода по автоматизации производства МОКС-топлива, при этом требуется обеспечить с высокой точностью заданные характеристики промежуточных и конечных продуктов производства, а также обеспечить автоматическую синхронизацию работы различных установок. Благодаря напряженному труду ваших конструкторов, электронщиков, программистов, специалистов-руководителей это сложнейшее производство является полностью автоматизированным.

Мы надеемся, что наше эффективное сотрудничество будет продолжаться и развиваться на благо отечественной атомной отрасли. От всей души желаем всему коллективу ФГУП «Приборостроительный завод» новых побед и профессиональных достижений!

Генеральный директор, д.т.н.

П.М. Гаврилов

Сотрудничество во имя государства



Приборостроительный завод ведет отсчет своей славной истории с 1952 года. За прошедшие годы на предприятии создано уникальное производство с постоянно обновляющимися технологиями, освоены и выпущены десятки наименований специзделий, сотни наименований их составных частей и эксплуатационного оборудования. Полный комплекс технологических мощностей, обеспечивающих выполнение заказов оборонного и гражданского назначения, позволяет Приборостроительному заводу сохранять статус одного из ведущих предприятий ядерного оружейного комплекса в течение многих лет.

Слав хороших традиций и устойчивая привычка идти в ногу с современными требованиями, накопленные знания, опыт и высокий профессионализм – основа уверенности в том, что Приборостроительный завод будет и далее развивать новые направления своего производства, наращивать выпуск конкурентоспособной, пользующейся спросом продукции.

Производственное объединение «Маяк» и Приборостроительный завод имеют давние производственные связи. В течение многих десятилетий наши предприятия рука об руку успешно создают компоненты ядерного оружия для укрепления обороноспособности страны. Мы вместе вносим вклад в развитие атомной отрасли. Наше сотрудничество предопределено на многие годы интересами Российского государства.



**Уважаемый Геннадий Владимирович, уважаемые ветераны и работники
Приборостроительного завода!**

В канун 65-летия со дня основания Приборостроительного завода примите самые теплые и искренние поздравления от коллектива Производственного объединения «Маяк». Желаю вам личных успехов, здоровья и отличного настроения, стабильности и финансового благополучия. Пусть для вашего предприятия всегда будут открыты новые горизонты, исполняются задуманные планы и проекты.

**Генеральный директор ФГУП «ПО «Маяк»
М.И. Похлебаев**

АО «Корпорация «ВНИИЭМ»: 75 лет в сфере наукоемких технологий



АО «Корпорация «ВНИИЭМ» – одно из ведущих многопрофильных предприятий промышленного комплекса в России, на котором производится продукция для предприятий Роскосмоса, Росатома, МЧС, РАН, Министерства природных ресурсов, Газпрома и других ведомств.

В 2016 году ВНИИЭМ отмечает свое 75-летие. Многолетний опыт в сфере наукоемких технологий к настоящему времени позволил Корпорации занять лидирующие позиции по основным направлениям деятельности, к которым, безусловно, относится и атомная энергетика.

Корпорация «ВНИИЭМ» является ведущим предприятием в атомной отрасли по разработке и изготовлению электрооборудования для систем управления и защиты для АЭС с реакторами типа ВВЭР. Путь, проделанный коллективом разработчиков и конструкторов и сделавший институт лидером в этой отрасли, был длинным и порой очень непростым, наполненным напряженными буднями, бессонными ночами испытаний и радостями пусков.

А началось все так...

В 1958 году специальное конструкторское бюро под руководством Г.А. Попова и В.Л. Бершадского получило задание от Минэлектротехпрома принять участие в создании первого корпусного водо-водяного реактора ВВЭР-1 электрической мощностью 210 МВт.

СКБ было поручено разработать, изготовить и поставить электрооборудование системы управления и защиты и систему перегрузки ядерного топлива энергетического реактора.

Постановка задачи этой интереснейшей и уникальной работы была сформулирована в виде технических требований специалистами ОКБ «Гидропресс» и сотрудниками Института атомной энергии им. Курчатова.

Опыта разработок для таких ядерных установок у коллектива СКБ не было, хотя параллельно велись работы над системой управления двигателями первого атомного ледокола «Ленин». Именно за успешную работу коллектива СКБ по созданию системы управления для атомного ледокола «Ленин» многие сотрудники СКБ были награждены государственными наградами, а Г.А. Попов стал лауреатом Ленинской премии.



**Л. А. Макриденко, д.т.н.
генеральный директор
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»**

Электротехника и электроника конца пятидесятых – начала шестидесятых была громоздкой, малофункциональной и, по современным меркам, примитивной. Главным компонентом электроники были электронные лампы, заменявшие диоды, триоды и усилители. Срок их службы исчислялся только сотнями часов, в то время как заданный срок непрерывной работы энергоблока составлял 1 год – период рабочей кампании, равный времени между перегрузками топлива в реакторе.

Одной из трудностей, с которой столкнулся коллектив ОКБ «Гидропресс» при создании реакторной установки, было создание приводов для органов регулирования СУЗ, которые, находясь под крышкой реактора, внутри первого контура, должны были выдерживать высокое давление до 120 атм и температуру более +100°C.

Создание этого уникального электродвигателя было поручено коллективу отдела 4 ВНИИЭМ под руководством начальника отдела И.Н. Чарахчяна.

Результатом трехлетней напряженной работы стал синхронно-реактивный двигатель РД, созданный в 1961 году и до настоящего времени работающий на всех действующих АЭС с реакторами ВВЭР-440 в России и за её рубежами.

В конце 1960 г. приказом Минэлектротехпрома СКБ в полном составе во главе с Г.А. Поповым был переведен во ВНИИЭМ, к А.Г. Иосифьяну, и стал отделом 26 ВНИИЭМ.

Стройка первого энергоблока Нововоронежской АЭС шла ударными темпами, и в таком же ударном темпе работал и коллектив ВНИИЭМ.

В 1961–1962 гг. начались первые испытания в составе привода СУЗ электродвигателей РД, сельсинных указателей положения и преобразователей частоты на горячем стенде ОКБ «Гидропресс» в Подольске. Ведущие спе-

циалисты отдела и молодые, только начавшие работу инженеры день и ночь участвовали в круглосуточных стендовых испытаниях.

Не всё шло гладко, многое приходилось менять и дорабатывать по результатам испытаний, но конечный результат оказался положительным.

В 1962 году состоялись государственные межведомственные испытания приводов СУЗ, которых было три типа, для трех типов органов регулирования, предназначенных для автоматического регулирования, аварийной защиты и компенсации реактивности. Все приводы были приняты межведомственной комиссией и переданы в производство для изготовления штатных образцов. В 1962 году опытным заводом ВНИИЭМ был изготовлен в полном объеме комплекс электрооборудования СУЗ, который в начале 1963 года отправили на Нововоронежскую АЭС.

27 декабря 1964 года первый энергоблок первой советской атомной электростанции был пущен, и его мощность была доведена до проектной (210 МВт).

Это был настоящий праздник, настоящая победа всех организаций, вложивших свой интеллект, свои знания и труд в создание этого энергоблока. Только спустя много лет академик **А.П. Александров** сказал: «Мы пуска первого блока очень боялись – теоретически все рассчитали, а практически, как он поведет себя, нам было неизвестно, опыта у нас в этом не было».

Судьба первого блока НВАЭС была успешной, он отработал свои 30 лет в основном на повышенной мощности в 240 – 250 МВт, прежде чем был выведен из эксплуатации.

Полученный при создании ВВЭР-1 опыт стал основой для дальнейшего развития АЭС с реакторами типа ВВЭР.

В это же время по проекту и при содействии Советского Союза началось сооружение АЭС «Грайфсвальд» в ГДР. Это был энергоблок электрической мощностью 70 МВт, который в 1965 году был успешно введен в эксплуатацию. Энергоблок АЭС «Грайфсвальд» проработал достаточно долгое время и был остановлен в первый год объединения Германии.

В шестидесятые годы электроники и электротехника в СССР сделали большой скачок. Вместо электронных ламп появились диоды и транзисторы, значительно обновился ряд электротехнических реле, контакторов, автоматических выключателей и, наконец, появилась первая логика «Т» для схем автоматики.

Вся молодежь ВНИИЭМ активно включилась в изучение этих новых средств. Днями и ночами просиживали в лабораториях, собирая и испытывая устройства, которые должны были быть использованы в новом электрооборудовании СУЗ.

Наладка электрооборудования второго блока НВАЭС далась нелегко. Практически трижды пришлось перемонтировать шкафы СГИУ, когда впервые на блоке столкнулись с помехоустойчивостью. Это теперь есть нормативные документы, обязательные испытания на помехоустойчивость, меры борьбы с ней. А в те годы боролись со злосчастными помехами на ощупь и поняли, каким важным фактором является электромагнитная совместимость внутри блока, шкафа, в полной мере оценили значение заземления и его качества.

27 декабря 1969 года состоялся энергопуск 2-го блока НВАЭС.

В 1965–1968 годах отдел участвовал в работе над уникальным блоком КС-150, который был построен в Чехословакии. Реакторная установка этого блока, приводы и система СУЗ были близки к знакомому реактору ВВЭР-1, а второй контур был новым и уникальным, с газовыми турбинами, разработанными и изготовленными чешской фирмой «Шкода». Работа над проектом велась в тесном сотрудничестве с чешскими специалистами. Отдел успешно завершил все стадии разработки, испытаний, изготовления и сдал оборудование заказчику.

Советская атомная энергетика в 1968 году приступила к созданию серии новых блоков, которые потом стали называться ВВЭР-440. Планировали ввести в эксплуатацию блоки №3 и 4 Нововоронежской АЭС, отработать на них все проектные решения, а затем сделать эти реакторные установки серийными.

Работа над созданием этих двух блоков продолжалась три года, с 1969 по 1971 год. В системе управления блоками было много новых, новаторских решений: в качестве привода впервые использовался новый синхронно-реактивный электродвигатель, оборудование СГИУ полностью было выполнено на логике «Т», впервые был разработан групповой тиристорный преобразователь для приводов ОР.

28 декабря 1971 года Государственная приемочная комиссия подписала акт о сдаче 3-го блока НВАЭС в эксплуатацию, а уже в июне 1972 года блок вышел на проектную мощность. Затем в декабре 1972 года был произведен энергетический пуск 4-го блока НВАЭС, и всего за 83 дня он был выведен на проектную мощность.

Параллельно с созданием оборудования для 3-го и 4-го блоков НВАЭС велись работы над оборудованием системы управления и защиты для другого серийного реактора – ВВЭР-440 (В-230).

В 1971 году работы над проектом были закончены, а в 1972-м оборудование было поставлено на 1-й блок Кольской АЭС. В июне 1973 года был осуществлен физический пуск блока, и в том же году он вышел на номинальную электрическую мощность в 440 МВт. Этот блок запомнился не только рабочими моментами: на Кольском полуострове многие впервые увидели белые ночи и северное сияние.

За период с 1973 по 1978 год было построено и введено в эксплуатацию 14 энергоблоков с реакторами ВВЭР-440 (В-230) – по два блока на Кольской и Армянской АЭС, четыре блока АЭС «Козлодуй» в Болгарии, четыре блока АЭС «Грайфсвальд» в ГДР и два блока АЭС «Богунце» в Чехословакии.

Работа по созданию и пуску АЭС с реакторами В-230 была высоко оценена правительством СССР: многие сотрудники отдела были награждены орденами и медалями.

В 1973 году коллектив отдела 26 приступил к созданию нового проекта ВВЭР-440 (В-213) повышенной безопасности, который имел контеймент, закрывающий реактор и весь первый



контур, и должен был отвечать американским и европейским требованиям и правилам по безопасности, действовавшим в то время.

Этот проект должен был быть претворен в жизнь на двух энергоблоках АЭС «Ловииза» в Финляндии. В это же время СССР и Финляндия подписали контракт с очень жесткими требованиями по приемке оборудования. С финской стороны приемку оборудования производила независимая инспекция (специалисты их называли «властями»), а с советской – военная приемка.

Проект, в котором было немало новизны, дал очень хороший опыт работы: разработка документации, соответствующей международным требованиям, перевод на английский язык, впервые проведенные испытания на помехоустойчивость, проведение и правильное оформление протоколов испытаний не только на каждый шкаф, но и на каждый блок и модуль.

Два с половиной года весь коллектив отдела не покидал рук работ над этим проектом и наконец получил от финского надзорного органа разрешение на изготовление оборудования СУЗ, которое началось на опытном заводе.

Площадка АЭС располагалась на острове, соединенном с материком 100-метровой насыпной дамбой, залитой асфальтом. Для советских специалистов (а их на площадке было 1000–1200 человек) финны в трех километрах от площадки АЭС построили отдельный поселок со всеми удобствами.

Пуск, как всегда, начался ночью. Благополучно вышли на МКУ, начались физические эксперименты: «взвешивание» кассет с целью определения их реактивности, движение группами, как вдруг по непонятным причинам начались сбои в работе преобразователей. Попытки замены преобразователей, изменения схемы не давали результата, и сбои стали достоянием гласности у самого высокого начальства. Ответственному от ВНИИЭМ приходилось держать ответ и перед заместителями министров энергетики и электротехпрома, и перед послом СССР в Финляндии, и перед всем руководством советских специалистов, и перед финской дирекцией и, наконец, перед директором ВНИИЭМ Н.Н. Шереметьевским. По решению финского и советского руководства пуск станции отложили на две недели.

Для специалистов ВНИИЭМ начались самые тяжелые дни, спали по 4–5 часов в сутки,



все время проводили на щите СУЗ, проверяли даже самые бредовые идеи, но в конце концов решение по доработке было найдено.

В 1977 году первый блок АЭС «Ловииза» был торжественно пущен в присутствии президента Финляндии г. Кекконена и советского премьера А.Н. Косыгина. А в 1979 году был пущен и второй блок финской АЭС.

Увеличение объема и темпа разработок отдела привело к необходимости разработки серийной документации на электрооборудование СУЗ реакторов ВВЭР-440 (В-213) и передачи ее по решению Минэлектротехпрома заводу ЛЭЗ «Электросила». Начиная с 1979 года два завода (опытный завод ВНИИЭМ и ЛЭЗ «Электросила») начали изготавливать и поставлять оборудование КЭ СУЗ на АЭС Советского Союза, ГДР, Венгрии и Чехословакии. В период с 1980 по 1987 год было изготовлено 20 комплектов оборудования, из них введено в эксплуатацию 19 (энергоблок АЭС на Кубе так и не был пущен).

С 1977 года ВНИИЭМ начал работы по созданию первого «миллионника», представителя третьего поколения атомных энергоблоков – 5-го энергоблока НВАЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-187). Реактор этого блока имел защитную оболочку (контеймент) толщиной 800 миллиметров, способную выдержать прямое падение самолета. Эта оболочка была важнейшей и надежной защитой от всех непредвиденных выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду практически при любой аварии первого контура.

Все системы управления СУЗ были построены на новой элементной базе – микросхемах малой интеграции серии К-155, которые по сравнению с транзисторной логикой «Т» были гораздо меньшего габарита и имели большие функциональные возможности.

В середине 1978 года рабочий проект был завершен, а в начале 1979 года оборудование было отгружено на площадку АЭС.

С 1978 года страна начала готовиться к созданию малой серии ВВЭР-1000 (проект В-338), и первым был пущен в 1981 году энергоблок Южноукраинской АЭС. В дальнейшем по проекту В-338 построено было еще три энергоблока: два блока Южноукраинской АЭС и первый и второй блоки Калининской АЭС. В настоящее время все эти блоки продолжают успешно работать.

А советская атомная энергетика не стояла на месте – был создан проект серийного реактора ВВЭР-1000 (В-320), который широко используется и до настоящего времени.

Многолетний опыт отдела 26 в создании электрооборудования СУЗ позволил выполнить и этот проект качественно и в кратчайшие сроки.

В период с 1984 по 1994 год в эксплуатацию было введено 16 блоков с серийным реактором В-320 в России, на Украине и в Болгарии.

В середине восьмидесятых годов ВНИИЭМ начал работы по новому направлению – созданию электрооборудования для атомных станций теплоснабжения АСТ–500. Станции АСТ предполагалось размещать вблизи городов, и они должны были иметь вместо двух контуров три, последний контур, абсолютно чистый, предназначался для подачи горячей воды в города. Планировалось построить две АСТ: под Горьким и около Воронежа.

Были завершены все строительные работы, изготовлено и поставлено основное оборудование, включая реактор и оборудование СУЗ, но планам не суждено было сбыться: катастрофа на Чернобыльской АЭС и ее по-

следствия заморозили все стройки новых АЭС, включая и АСТ.

А дальше – распался Советский Союз, финансирование многих отраслей промышленности, включая и атомную, практически прекратилось. Годы эти были самыми трудными и для атомной энергетики, и для института, и для отдела.

В конце 1996 года ВНИИЭМ вместе со СНИИП-СИСТЕМАТОМ, своими давними «смежниками», заключил контракт на восстановление, модернизацию и пуск первого блока АЭС «Моховце» в Словакии. В 1986 году туда уже было поставлено оборудование, пуск блока был отложен из-за политической обстановки в стране. Чехословакия разделилась на две страны и, хотя АЭС «Моховце» находилась на территории Словакии, формально оборудование принадлежало чешской фирме «Шкода».

В 1996 году специалисты ВНИИЭМ и СНИИП провели обследование ранее поставленного оборудования, пролежавшего более 10 лет, и пришли к выводу, что осуществить пуск блока на старом оборудовании невозможно. Кроме того, ставилась задача обеспечить соответствие системы современным требованиям по безопасности. Было принято смелое решение о разработке новых индивидуальных преобразователей частоты ПНЧИ для управления органами регулирования на средствах микропроцессорной техники.

Времени на разработку и поставку нового оборудования было мало, но работали очень слаженно, не жалея сил, вечеров и выходных. В 1998 году первый блок АЭС «Моховце» был

успешно введен в эксплуатацию, а за ним в 1999 году – и второй блок.

В середине 90-х годов началось активное продвижение на международный рынок энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 повышенной безопасности. Без применения средств процессорной техники новых задач было не решить.

Для создания новой системы на базе средств процессорной техники с широкими диагностическими возможностями потребовалось привлечение к этой работе новых сил. Так родился научно-производственный комплекс, в который вошел, кроме отделов-разработчиков, и цех 701, которому предстояло изготовление новой системы.

Первой совместной работой стал проект КЭ СУЗ для АЭС «Бушер» в Иране. Затем – интенсивная работа над проектами двух блоков АЭС «Тяньвань» в Китае, АЭС «Куданкулам» в Индии. С участием специалистов НПК были введены в эксплуатацию 3-й энергоблок Калининской АЭС, 2-й энергоблок Ростовской АЭС, поставлено оборудование на 4-й блок Калининской АЭС и 3-й блок Ростовской АЭС.

Во ВНИИЭМ было разработано новое поколение электрооборудования системы управления и защиты реакторной установки типа ВВЭР-1000, основанное на полностью цифровом трехканальном управлении мощностью реакторной установки и полем энерговыделения.

Продолжаются работы и для АЭС с реактором типа РБМК. Для данного типа АЭС в конце 90-х годов специалистами ВНИИЭМ был

разработан технический проект на информационно-измерительную систему «Скала-микро» взамен устаревшей ИИС «СКАЛА», разработки ВНИИЭМ 70-х годов. Новая система обеспечила выполнение предъявляемых требований к безопасности реакторов РБМК-1000, причем при проектировании была заложена независимость системы к отказу любого узла. И на тот момент, впервые в российской и мировой практике, система, важная для безопасности, была построена в виде локальной вычислительной сети с применением широко распространенного протокола Ethernet. ИИС «Скала-микро» входит в число систем, обеспечивающих новый облик АЭС с реакторами РБМК-1000. С 2004 по 2013 года она была введена в эксплуатацию на 10 из 11 подобных энергоблоков в России. А комплект оборудования, предназначенный для 11-го энергоблока, в июне 2014 года был передан на Смоленскую АЭС.

Сегодня оборудование ВНИИЭМ работает на всех российских энергетических реакторах, а также на АЭС Чехии, Словакии, Болгарии, Венгрии, Финляндии, Украины, Армении, Китая, Индии и Ирана (более 60 энергоблоков типов ВВЭР и РБМК мощностью 440 и 1000 МВт). Только за последние 10 лет специалисты ВНИИЭМ принимали участие в модернизации или строительстве более чем 30 энергоблоков в России и за рубежом.

Изготавливаемое ВНИИЭМ оборудование является уникальным для каждой атомной электростанции с учетом ее технологических и эксплуатационных особенностей.



Коллектив ЗАО «ЭРАСИВ» сердечно поздравляет руководство и сотрудников АО «Корпорация ВНИИЭМ» со знаменательной датой – 75-летием со дня основания и искренне желает стабильности, финансового благополучия, укрепления взаимовыгодных связей между нашими организациями и дальнейших свершений на нелегком пути создания новейших образцов техники гражданского и специального назначений!

ЗАО «ЭРАСИВ», ведущее свою историю с 1981 года (до 1993 г. – СКТБ автоматизации тяжелого металлорежущего оборудования), имеет богатый практический опыт в области разработки и производства высокоинтеллектуальных устройств силовой электроники, адаптированных под конкретные условия эксплуатации и требования заказчика. Бездатчиковые электроприводы постоянного и переменного тока, автономные системы генерирования электрической энергии, многофазные преобразовательные устройства бесперебойного питания – примеры типов изделий, разработанных и внедренных коллективом специалистов ЗАО «ЭРАСИВ» в различных отраслях промышленности. В тесном сотрудничестве АО «Корпорация ВНИИЭМ» и ЗАО «ЭРАСИВ» осуществляют выпуск преобразователей частоты для питания приводных электрических машин главных циркуляционных насосов ЭЦН 5700, изготавливаемых для нужд Военно-Морского Флота, а также комплекты сборочных единиц для электроприводов герметичных электронасосов.

Дорогие друзья, коллеги, с юбилеем!

Генеральный директор ЗАО «ЭРАСИВ» В.А. Клан



Вектор развития – объединение усилий

Инновационные прорывные решения, молодые кадры атомной отрасли, научный потенциал и новейшие разработки – обсуждение этих тем стало главным на XI научно-технической конференции молодых специалистов Росатома «Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе».

Организаторы – Совет молодежи и администрация НИИИС им. Ю.Е. Седакова при поддержке Госкорпорации «Росатом». Конференция традиционно входит в программу Международного бизнес-саммита «Россия: в будущее вместе».

Участники – представители предприятий атомной отрасли со всей страны, специалисты научных центров, студенты базовых вузов. География конференции самая широкая: Москва, Екатеринбург, Воронеж, Снежинск, Тихомировый, Санкт-Петербург, Заречный, Ростов, Нижний Новгород и другие российские города.

По словам директора Департамента кадровой политики Госкорпорации «Росатом» Дмитрия Гастена, принявшего участие в пленарном заседании и работе круглого стола, конференцию можно рассматривать как своеобразный мост в будущее, поскольку на этой площадке представлены перспективные проекты и исследования. Научный руководитель НИИИС профессор **Станислав Катин** отметил важность мероприятия прежде всего как коммуникативной площадки, где молодые специалисты учатся выступать перед широкой аудиторией.

Тренер Корпоративной академии Росатома **Сергей Карташов**, проводя круглый стол, предложил всем участникам порассуждать на тему бизнес-приоритетов Госкорпорации: выход на международный рынок, сокращение расходов и создание новых продуктов. На последнем пункте остановились особо, ведь именно от молодежи Росатом ждет сегодня наибольшего успеха в этом направлении. В свою очередь, Госкорпорация считает своим приоритетом поддержку молодых сотрудников. Для тех, кто готов брать на себя ответственность, проявлять инициативу, быть эффективным в команде, открывается множество возможностей.

Научная работа в рамках конференции проходила по шести секциям следующих направлений: разработка радиоэлектронных приборов и систем, информационные технологии, системы и средства контроля и управления сложными технологическими процессами, микроэлектроника, разработка и автоматизация производственных технологических процессов, безопасность атомной отрасли. Всего было представлено 55 докладов. Эксперт секции «Разработка и проектирование радиоэлектронных приборов и систем», ведущий инженер-исследователь НИИИС **Анатолий Кунилов** считает, что молодые коллеги проводят очень интересные исследования. Докладчикам при выступлении необходимо обосновать актуальность своей темы, ее научную и практическую значимость – в идеале все эти три параметра совпадут.



Одни проекты существуют пока исключительно как теория, другие уже реализованы, как, например, тренажер для эффективного обучения операторов АЭС, о котором рассказал сотрудник НИИИС инженер-исследователь **Максим Безруков**. «Новизна проекта заключается в использовании виртуальных машин для имитации реального оборудования и построении схемы обмена данными, аналогичной реальной. Надеюсь, наша работа показалась коллегам интересной. И я, в свою очередь, с удовольствием послушал другие доклады. Очень важно, когда есть возможность обсуждать научные и практические вопросы с теми, кто увлечен схожими темами», – говорит Максим. Представитель организаторов конференции, инженер-конструктор НИИИС **Александр Вахрамеев** отметил: «В условиях жесткой конкуренции, экономических барьеров мы должны консолидировать наши усилия. Конференция дает нам возможность узнать новые векторы развития, объединиться для реализации проектов. А в общении разработчиков и эксплуатационщиков мы можем

выявить потребности и требования друг друга, что крайне важно в нашей работе».

Для **Юлии Волковой**, сотрудницы Уральского электромеханического завода, конференция стала дебютом: «Я выступала в секции «Информационные технологии» с докладом, посвященным повышению безопасности информации. Было интересно послушать коллег, рассказать о собственном опыте и о том, чем занимается наше предприятие. Спасибо организаторам за такую возможность». Дебют Юлии оказался вполне успешным – в своей секции она заняла третье место.

Умение сегодняшнего поколения мыслить нешаблонно и находить неожиданные точки зрения – вот что отличает молодых ученых-атомщиков сегодня. Так, особо на конференции был отмечен Евгений Рыбкин из РФЯЦ-ВНИИЭФ с докладом «Магнитно-абразивное полирование режущего инструмента»: ему был вручен диплом с формулировкой «За нестандартное решение проблемы». В своей работе Евгений предложил принципиально новую схему магнитно-абразивного полирования, которая позволила увеличить стойкость резцов в 1,5 раза по сравнению с резцами, заточка которых производилась алмазным кругом. Применение магнитно-абразивного полирования при изготовлении продукции позволяет сокращать затраты при производстве, предварительный расчет экономии денежных средств – 10%. Потенциальный рынок применения данной технологии – все предприятия, обладающие собственным инструментальным производством.

В целом, эксперты сошлись во мнении, что уровень работ очень высок, молодые ученые представляют на защиту комплексные и тщательно проработанные решения. В свою очередь, такая форма, как доклад, дает возможность оценивать вклад каждого участника в работу, его умение вести научную дискуссию, отстаивать свою точку зрения.

Конференция является традиционной, и в 2017 году НИИИС ждет новых участников и новые научные проекты!

Ирина ВИНТЕРЛЕ



Разработка, исследование аппаратно-программных вариантов реализации алгоритма управления активным магнитным подвесом ротора турбокомпрессора-генератора газотурбинной системы преобразования энергии

Д.Е. Борисов
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Цель работы заключается в исследованиях в области оптимизации алгоритмов цифровой обработки сигнала системы управления активным магнитным подвесом, удерживающего ротор газотурбинной системы преобразования энергии, являющейся частью атомного энергоблока, который будет располагаться на орбитальном транспортно-энергетическом модуле. Работа проводится в рамках СЧ ОКР, выполняемой по прямому договору с ГК «Роскосмос».

Работа энергоблока происходит в открытом космосе. Скорость вращения ротора должна составлять десятки тысяч оборотов в минуту. Кроме традиционного космического излучения, воздействующего на аппаратуру, добавляется воздействие от силовой установки, что накладывает серьёзные ограничения на ЭКБ и, как следствие, на программную часть системы. Срок службы изделия составляет 10 лет работы в открытом космосе, что предъявляет высокие требования к надёжности системы. Кроме того, блок управления активным магнитным подвесом должен быть выполнен на отечественной элементной базе.

Транспортно-энергетический модуль разрабатывается госкорпорацией «Роскосмос», поскольку разработанные к настоящему времени системы управления активными магнитными подшипниками не являются стойкими к специальным факторам и потому неприменимы в данных условиях.

Новизна работы заключается в разработке стойкой к специальным факторам системы управления активным магнитным подвесом для применения в межорбитальном транспортно-энергетическом модуле.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Активный магнитный подшипник – автоматическое управляемое электромагнитное устройство, которое удерживает вращающуюся часть (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части (статора). Магнитные силы притяжения, действующие на ротор со стороны электромагнитов подшипников, регулируются электронной системой управления по сигналам датчиков положения ротора. Конструктивно АМП состоит из двух основных частей: электромеханической части, или собственно подшипника, и электронной системы управления.

Подшипник включает в себя ротор, подвешенный в магнитном поле, закреплённые в

статоре электромагниты и датчики положения ротора. Механический контакт между ротором и неподвижным статором отсутствует. Смещения ротора из заданного положения равновесия измеряются датчиками положения. Сигнал с датчиков обрабатывается электронной системой управления таким образом, что магнитные силы возвращают ротор в исходное положение.

Электронная система управления включает в себя регулятор и усилители мощности. Используя информацию, поступающую с датчиков положения, эта система управляет положением ротора путём изменения токов в электромагнитах.

Ротор как твёрдое тело имеет шесть степеней свободы. Его перемещения относительно статора могут происходить в четырёх радиальных направлениях, одном осевом направлении и во вращательном движении вокруг продольной оси. Вращение ротора является его рабочим движением. Поэтому полный магнитный подвес ротора должен ограничивать его перемещения и воспринимать нагрузки в пяти направлениях.

На первом этапе разработки было принято решение использовать в качестве регулятора системы управления АМП микропроцессор 1867ВЦ5Т, поскольку на данный момент разработан стойкий к специальным факторам аналог этого микропроцессора 1867ВЦ9Т. Проведённый анализ рынка показал, что на данный момент этот микроконтроллер является наиболее подходящим по своим характеристикам для использования в системе управления активным магнитным подвесом среди других отечественных стойких микроконтроллеров. На начальном этапе разработка и отладка велась не на пятиканальном магнитном подвесе, а на макете магнитного подвеса. Макет должен ограничивать перемещения ротора и воспринимать нагрузки в двух направлениях X1, Y1. Идея такого подхода заключалась в отладке работы алгоритма в каждом направлении в отдельности, а затем переноса работающего алгоритма на полноценный магнитный подвес для отладки его в комплексе.

При разработке и отладке системы управления на основе микропроцессора 1867ВЦ5Т в результате проведённых автором исследований выяснилось, что для работы системы недостаточно имеющейся частоты тактирования ШИМ 10МГц, разрядности АЦП 10 бит и частоты процессора 20МГц. Поэтому было принято решение вести разработку системы управления АМП другим путём.

Новая стратегия: разработка системы управления АМП на основе базового матрич-

ного кристалла БМК 5511БЦ3Т, разрабатываемого в НИИИС, с количеством эквивалентных вентилях 500000. Для отладки используется программируемая логическая интегральная схема ПЛИС XILINX SPARTAN XC 3S500E, которая аналогична БМК, но имеет возможность перепрограммирования. Таким образом, возникает задача: организовать работу системы управления АМП на программируемой логической интегральной схеме – ПЛИС. Для удобства исследований возможных реализаций систем управления АМП было принято решение использовать 32-разрядный микроконтроллер TMS320F28335 фирмы Texas Instruments. Для отладки был выбран именно этот микроконтроллер, поскольку на основе него уже имеется действующая система управления АМП в нестойком к специальным факторам варианте исполнения. Ввиду перспектив использования БМК с ограничением в 500000 эквивалентных вентилях, необходимо разработать и отладить программу, в которой все вычисления проводятся исключительно в целых 16-битных числах. По завершении исследований, проведённых на микроконтроллере, и выбора наилучшего метода цифровой обработки, требуется поэтапно передавать функции, выполняемые микроконтроллером, на ПЛИС, чтобы в итоге микроконтроллер только получал значения с АЦП, а ПЛИС выполнял все вычисления. При завершении отладки программы на ПЛИС программа прошивается на стойкую к специальным факторам БМК без возможности перепрограммирования.

Для выполнения этого плана необходимо было решить следующие задачи:

1. провести математический расчёт параметров алгоритмов для цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой и с бесконечной импульсной характеристикой на основе передаточной функции цифрового регулятора;

2. исследовать различные возможности реализации алгоритма управления на микроконтроллере с использованием целочисленной 16-битной арифметики и выбрать систему обработки цифрового сигнала, наилучшим образом подходящую для управления активным магнитным подвесом;

3. реализовать систему управления на основе совместной работы микроконтроллера и ПЛИС таким образом, что вычисления производятся на микроконтроллере, на ПЛИС передаются полученные числовые значения по каждому каналу и величины токов натяга, а в ПЛИС на основе этих значений вычисляются значения выходных ШИМ по всем каналам и выдаются на блок управления АМП;

4. произвести отладку этой системы управления на макетах магнитного подвеса с двумя степенями свободы и шестью степенями свободы;

5. исследовать особенности работы системы и поведения ротора при взаимодействии микроконтроллера и ПЛИС; перенести всю цифровую обработку сигналов на ПЛИС.

На основе передаточной функции строятся алгоритмы цифровой обработки сигнала. Далее приводится вывод формул расчёта управляющего сигнала ШИМ из формулы для различных цифровых фильтров.

На микроконтроллере проводится исследование и выбор алгоритма цифровой фильтрации, наилучшим образом подходящего для управления активным магнитным подвесом. Исследуются оба метода цифровой обработки сигналов: фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) и с конечной импульсной характеристикой (КИХ). Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Построены АЧХ и импульсные характеристики КИХ и БИХ режекторных фильтров в программе MathCad.

Проведено моделирование режекторного БИХ-фильтра с дробными коэффициентами в программе MathCad путём задания синуса с изменяющейся частотой и различных частот среза. На рисунке 1 показан вариант с частотой среза 2800 Гц. Фильтр вырезает заданную частоту точно.

Проведён анализ устойчивости БИХ-фильтра с целыми коэффициентами при частотах среза 150-1000 Гц путём задания единичного импульса и наблюдения его затухания под воздействием фильтрации в программе MathCad. Фильтр абсолютно устойчив на данных частотах (Рис. 2).

Реализован КИХ-фильтр на шести точках в программе для МК с дробными коэффициентами. Ротор висит устойчиво, раскручивается, хорошо реагирует на внешние воздействия (Рис. 3).

Реализован КИХ-фильтр на шести точках в программе для МК с целыми коэффициентами. Результат не отличается от работы алгоритма с дробными коэффициентами (Рис. 4).

Реализован БИХ-фильтр с коэффициентами с плавающей точкой. Полученный результат значительно превосходит результат КИХ-фильтра (Рис. 5).

Реализован БИХ-фильтр с целыми коэффициентами. Результат практически не отличается от аналога с плавающей точкой (Рис. 6).

Отлажена работа магнитного подвеса и ПЛИС. Алгоритм в КИХ-форме, шесть целых коэффициентов, следящая фаза.

Реализован на микроконтроллере алгоритм в виде КИХ-фильтра с БИХ-фильтром ФНЧ и режекторным БИХ-фильтром в целых числах. Разрядность выходных значений БИХ-фильтров 16 бит. Ротор при такой комбинации фильтров висит значительно хуже, чем в случае применения фильтров по отдельности (Рис. 7).

ВЫВОДЫ

По приведённым в данной работе результатам исследований был выбран и реализован на микроконтроллере TMS320F28335 оптимальный способ цифровой обработки сигнала в условиях дальнейшего применения на ПЛИС с целочисленной 16-битной арифметикой – БИХ-структура алгоритма с БИХ-фильтром низких частот и режекторным БИХ-фильтром. Отлажена система взаимодействия микроконтроллер-ПЛИС, в которой этот способ

Таблица 1. Сравнительная таблица КИХ- и БИХ-фильтров

БИХ-фильтры	КИХ-фильтры
Более эффективны	Менее эффективны
Есть аналоговый эквивалент	Нет аналогового эквивалента
Могут быть нестабильными	Всегда стабильные
Нелинейная фазовая характеристика	Линейная фазовая характеристика
Больше «звон» при наличии ложных сигналов	Меньше «звон» при наличии ложных сигналов

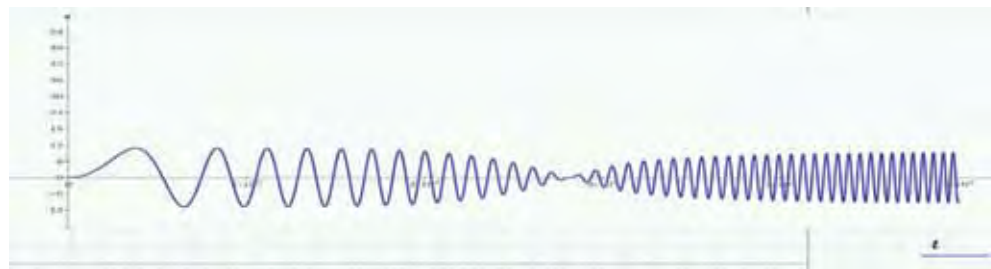


Рис. 1. Моделирование режекторного БИХ-фильтра

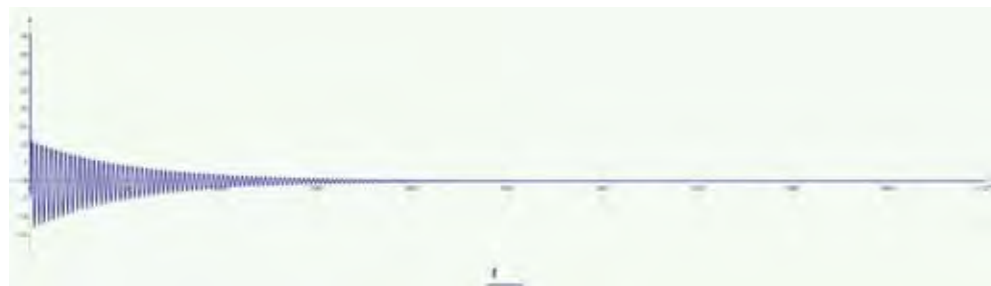


Рис. 2. Анализ устойчивости БИХ-фильтра

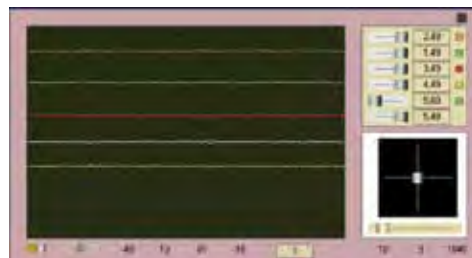


Рис. 3. Показания датчиков положения в процессе работы системы по КИХ-алгоритму с коэффициентами с плавающей точкой

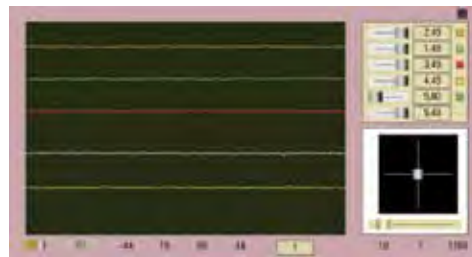


Рис. 4. Показания датчиков положения в процессе работы системы по КИХ-алгоритму с целочисленной арифметикой

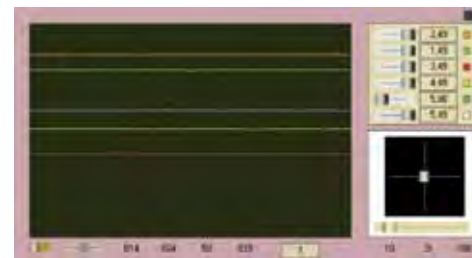


Рис. 5. Показания датчиков положения в процессе работы системы по БИХ-алгоритму с коэффициентами с плавающей точкой

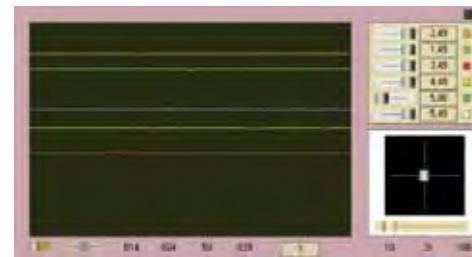


Рис. 6. Показания датчиков положения в процессе работы системы по БИХ-алгоритму с целочисленной арифметикой

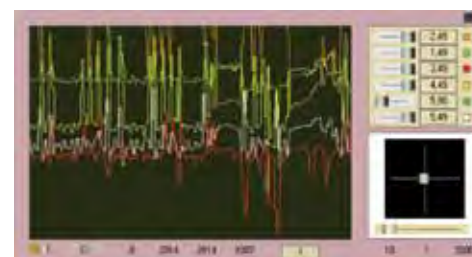


Рис. 7. Показания датчиков положения в процессе работы системы по КИХ-алгоритму с БИХ-фильтром ФНЧ и режекторным БИХ-фильтром

цифровой обработки сигнала был успешно реализован. В настоящее время имеется рабочий экземпляр конического магнитного подвеса, ротор которого удалось раскрутить до скорости 9000 об/мин имеющимися средствами. Ведётся работа по программированию данного алгоритма на ПЛИС с целью создания и отладки окончательной версии программы, которая будет прошиваться в БМК. Работоспособность программного обеспечения проверена на стенде с коническим магнитным подшипником, полученные результаты удовлетворяют требованиям ТЗ, что демонстрирует возможность реализации системы на стойкой отечественной элементной базе.

Оптимизация параметров работы контроллера PCI Express адаптерного блока системы межпроцессорных обменов СМПО-10GA-AD

**М.П. Авдеев, С.В. Дыдыкин,
Ю.А. Малых, В.С. Попов
ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»**

На протяжении нескольких лет во ВНИИ-ЭФ разрабатывается отечественная система межпроцессорного обмена (СМПО), предназначенная для построения вычислительных кластеров петафлопсного класса. Прототип СМПО-10G разработан на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). На основе отработанной в ПЛИС RTL модели разработан кристалл сверхбольшой интегральной схемы (СБИС).

Одним из ключевых элементов СМПО является адаптерный блок СМПО-10GA-AD, представляющий собой многослойную печатную плату, выполненную в конструктиве платы расширения для вычислительного узла. Интерфейсом взаимодействия между адаптерным блоком и вычислительным узлом является PCI Express 2.0x8. Для связи со смежными вычислительными узлами адаптерный блок СМПО-10GA-AD имеет четыре высокопроизводительных последовательных канала.

На рисунке 1 представлена упрощенная структурная схема адаптерного блока СМПО. Адаптерный блок имеет в своем составе:

- 4 высокоскоростных канала производительностью 40 Гбит/с каждый;
- блок коммуникационного управления, в котором реализованы сетевой и транспортный уровни;
- контроллер PCI Express, обеспечивающий взаимосвязь блока коммуникационного управления и ядра PCI Express.

Эффективность работы контроллера PCI Express во многом определяет характеристики производительности системы.

На рисунке 2 представлены значения пиковой и теоретической производительности различных интерфейсов адаптерного блока.

Под пиковой производительностью будем понимать производительность интерфейса без учета применяемой кодировки (символьная производительность).

Под теоретической производительностью будем понимать максимальную производительность, которую может достичь интерфейс с учетом используемой кодировки.

Для применяемого высокопроизводительного канала пиковая производительность составляет 40 Гбит/с, а теоретическая 39 Гбит/с, соответственно, четыре таких канала позволяют агрегировать пропускную способность 157 Гбит/с.

PCI Express 2.0 x8 имеет пиковую производительность 40 Гбит/с, а теоретическую 32 Гбит/с. Стандарт PCI Express 2.0 несет большие накладные расходы, равные 20%, применение нового стандарта PCI Express 3.0 позволит повысить эффективность передачи данных.

Сравним теоретическую производительность четырех высокоскоростных каналов, равную 160 Гбит/с, с теоретической производительностью PCI Express 2.0x8, равную 32 Гбит/с. PCI Express имеет в пять раз меньшую

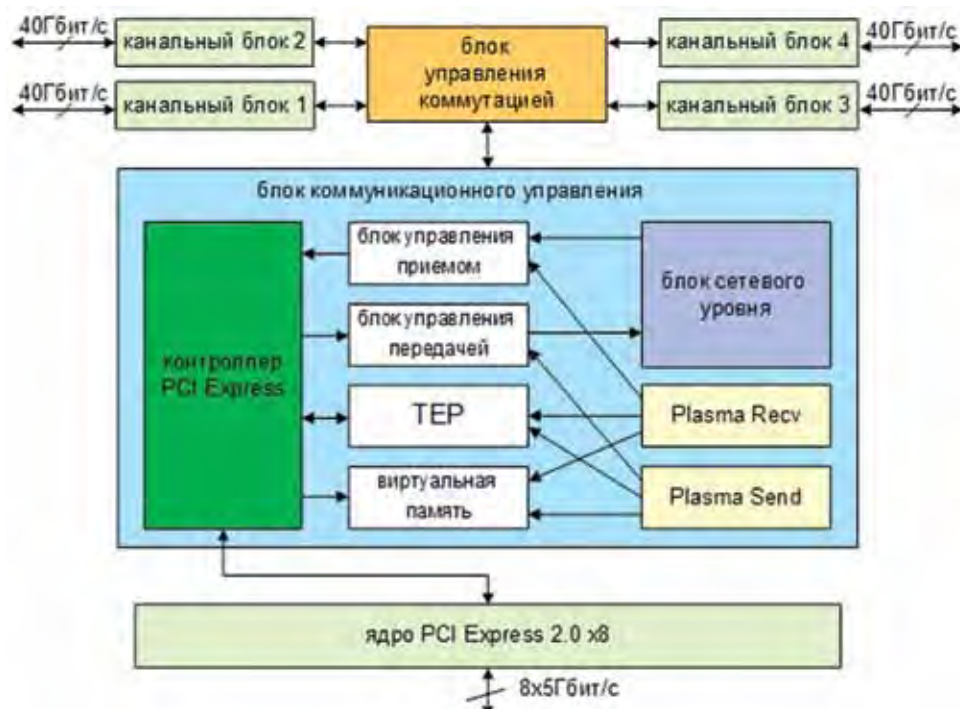


Рис. 1. Структурная схема адаптерного блока

пропускную способность, из чего можно сделать вывод, что дальнейшее увеличение скорости канала не приведет к существенному росту производительности СМПО. Для увеличения производительности СМПО необходимо либо применение стандарта PCI Express 3.0, либо оптимизация существующего контроллера PCI Express 2.0.

Недостатки реализации контроллера PCI Express:

- фиксированные значения размера кадра для запросов записи и чтения. Max_Payload_Size=256, Max_Read_Request;

- поддержка прерываний типа INTA;
- поддержка 32/64 разрядных транзакций с регистрами BAR.
- Предлагаемые пути оптимизации контроллера PCI Express:
 - снижение накладных расходов при работе с DMA или регистрами BAR;
 - поддержка многовекторных прерываний.

Проведем оценку накладных расходов контроллера PCI Express. Накладные расходы представляют собой отношение количества полезных переданных данных к общему ко-

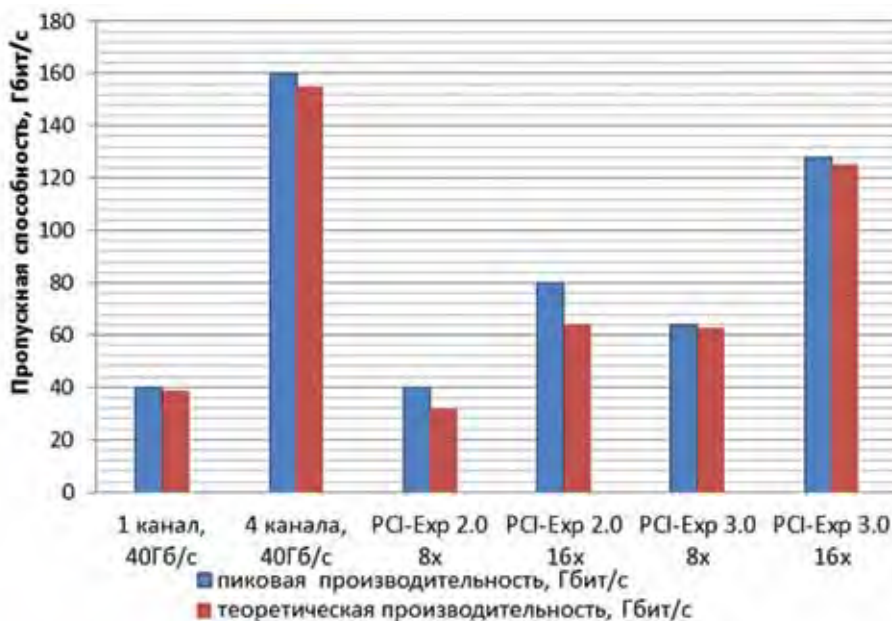


Рис. 2. Прописная способность различных интерфейсов

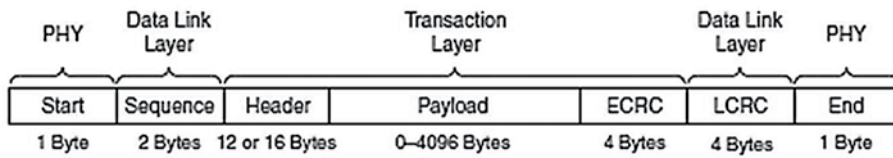


Рис. 3. Формат кадра блока работы с DMA

личеству переданных данных в одном кадре сообщения.

На рисунке 3 представлен формат кадра PCI Express. Кадр состоит из следующих полей:

- поле Start, размер 1 байт;
- поле Sequence, размер 2 байта;
- поле Header, размер 12 или 16 байт в зависимости от типа кадра;
- поле Payload, размер 0-4096 байт;
- поле ECRC, размер 4 байта;
- поле LCRC, размер 4 байта;
- поле End, размер 1 байт.

Размер служебных полей кадра составляет 20-28 байт, а возможный размер передаваемых полезных данных составляет 0-4096 байт. На рисунке 4 приведен график накладных расходов в зависимости от размера передаваемых полезных данных.

При передаче «коротких сообщений» накладные расходы составляют 15-40%. Таким образом, уменьшение накладных расходов возможно за счет увеличения полезной нагрузки кадра PCI Express.

При работе с DMA или регистрами BAR формируются запросы на чтение/запись. Стандарт PCI Express ограничивает количество запрашиваемых/передаваемых данных параметрами Max_Read_Request, Max_Payload_Size соответственно. В свою очередь, значения указанных параметров зависят от конечного устройства и вычислительного сервера, с которым работает устройство. Максимальное значение параметров может достигать 4096 байт. Значения, с которыми может работать устройство и сервер, считываются из конфигурационного пространства на этапе инициализации драйвера устройства.

Использование фиксированных значений Max_Read_Request, Max_Payload_Size не является оптимальным с точки зрения достижения максимальной пропускной способности. При Max_Read_Request=512 накладные расходы составляют 4%, а Max_Payload_Size=256 составляют 7%.

Снижение накладных расходов позволит эффективней использовать пропускную способность PCI Express, так как появится возможность формировать запросы на большее количество данных.

Стандарт PCI Express ограничивает количество прерываний типа INTA. Так, согласно стандарта такое прерывание может быть толь-

ко одно, что влечет за собой дополнительные расходы на установление источника прерываний путем считывания регистра статуса, в котором хранится информация об источнике прерывания.

Использование двух и более векторов прерываний позволит ускорить обработку прерываний, так как не будет необходимости считывать регистр статуса, и обработчики прерываний смогут работать одновременно. Использование двух и более векторов прерываний возможно при использовании прерываний типа MSI/MSIX.

Одним из основных достоинств MSI/MSIX прерываний является тот факт, что в многопроцессорных и многоядерных системах обработчики прерываний MSI/MSIX могут выполняться на разных ядрах одновременно и независимо.

Прерывания MSIX поддерживают до 2048 векторов. Предлагается использовать два вектора прерываний типа MSIX, один для передаваемого потока данных, другой для принимаемого потока данных. За счет разделения обработчиков прерываний можно ускорить их обработку и, как следствие, улучшить производительность контроллера PCI Express при работе в дуплексном режиме.

Используемое ядро PCI Express не предусматривает готового контроллера MSI-X прерываний, поэтому данный блок реализован самостоятельно. Разработанный блок является универсальным и способен работать с ядрами PCI Express других производителей. Структурная схема модуля представлена на рисунке 5.

Блок генерации MSI-X прерываний состоит из блока начальной инициализации, блока масок и блока генерации прерываний. Блок начальной инициализации работает при инициализации драйвера. Блок масок позволяет производить маскирование прерываний, блок генерации формирует запрос типа сообщение, при получении которого сервер формирует соответствующее прерывание.

Таблица 1. Аппаратные затраты на оптимизацию

	исходный вариант, шт. / %	оптимизированный вариант, шт.	Δ, шт. / %
Slice LUT	38305 / 24	39345 / 26	1040 / 2
Slice Register	40544 / 13	45047 / 14	4053 / 1
Block RAM	170 / 14	194 / 16	24 / 2

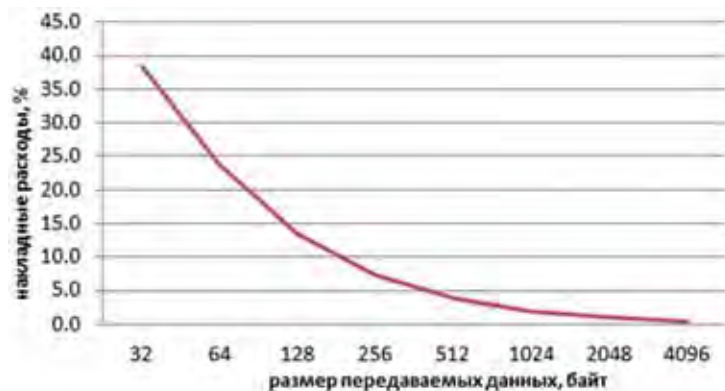


Рис. 4. График зависимости накладных расходов от количества передаваемых данных



Рис. 5. Структурная схема модуля генерации MSI-X прерываний

Аппаратные затраты на оптимизацию составили единицы процентов от общего количества блоков ПЛИС, из чего можно сделать вывод, что проведенная оптимизация является не «дорогой» и может быть реализована в дальнейших проектах.

В процессе оптимизации контроллера PCI Express создан блок генерации MSIX прерываний, позволяющий драйверу отслеживать и обрабатывать одновременно до восьми независимых прерываний, что позволило увеличить пропускную способность в дуплексном режиме.

Добавлена возможность считывать и изменять параметры Max_Read_Request_Size, Max_Payload_Size из конфигурационного пространства, обеспечивающая гибкость настройки контроллера PCI Express.

Добавлена поддержка работы с 128-рядными транзакциями на операциях с регистрами BAR, результатом чего стало увеличение производительности системы за счет снижения числа затратных транзакций на операциях с BAR.

По итогам проведенной работы с использованием оптимизированного контроллера PCI Express получены следующие результаты.

На тесте PingPong:

1. задержка передачи в одном направлении:

- до оптимизации - 5.92 мкс;
 - после оптимизации - 5.77 мкс.
2. максимальная пропускная способность в одном направлении:

- до оптимизации - 1707 Мбайт/с;
- после оптимизации - 1807 Мбайт/с.

На тесте SendRecv:

1. задержка передачи в двух направлениях:

- до оптимизации - 6.2 мкс;
 - после оптимизации - 5.93 мкс.
2. максимальная пропускная способность в двух направлениях:

- до оптимизации - 2242 Мбайт/с;
- после оптимизации - 2894 Мбайт/с.

При аппаратных затратах не более 2% оптимизация контроллера PCI Express позволила увеличить производительность системы:

- 6% при передаче сообщений в одном направлении;
- 22% при работе в дуплексном режиме.

Разработка конструкции виброгасящего цоколя для современных ПТС АСУ ТП АЭС

С.В. Кожевников, С.А. Пименов
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

В связи с развитием и усложнением конструкций программно-технических средств (ПТС) актуальной задачей является повышение надежности и уменьшение вероятности отказов оборудования путем снижения перегрузок на электрорадиоизделиях (ЭРИ). Достигнуть таких результатов возможно при использовании виброгасящих элементов (виброизолирующие материалы и виброгасители).

Разработка виброгасящего цоколя собственного производства является актуальной задачей. Конструкция виброгасящего цоколя позволит:

- заменить покупной цоколь на цоколь собственного производства;
- уменьшить уровень перегрузок на ЭРИ;
- уменьшить вероятность отказа конструкций ПТС при внешних воздействующих факторах;
- использовать оборудование в условиях сейсмоопасности;
- использовать модификации виброгасящего цоколя для всей линейки изготавливаемых ПТС с уменьшением количества натурных испытаний.

В конструкции виброгасящего цоколя предлагается использовать виброизолирующие материалы, которые имеют следующие преимущества в отличие от современных виброгасителей:

- более низкая стоимость;
- легкость обработки (возможность изготавливать формы заданной конфигурации на месте);
- наличие характеристик, соответствующих высоким требованиям по надежности и уровню демпфирования.

Целью выполнения работы является разработка конструкции виброгасящего цоколя для оборудования ПТС автоматизированных систем управления технологическими процессами атомных электростанций (АСУ ТП АЭС). Проектирование конструкции виброгасящего цоколя проводилось итерационно. На каждой итерации выполнялись оптимизация конструкции цоколя и проектировочный расчет в САПР Siemens NX NASTRAN цоколя и конструкции ПТС в целом для определения перегрузок на ЭРИ.

О КОНСТРУКЦИИ ЦОКОЛЯ

В настоящий момент ПТС устанавливаются на сейсмостойкие металлические цоколи (рисунок 1). Цоколь представляет собой сварную конструкцию из листовой стали коробчатой формы высотой 100 мм. В цоколе имеются отверстия для крепления к закладным болтам М12 конструкции пола. Сейсмостойкий металлический цоколь допускается крепить к закладным элементам конструкции пола при помощи сварки.

Для уменьшения вероятности отказа конструкций ПТС при внешних механических воздействующих факторах разработана конструкция виброгасящего цоколя на основе виброизолирующих материалов (рисунок 2).

Виброгасящий цоколь состоит из нижнего основания (рисунок 3) и верхнего основания



Рис. 1. Сейсмостойкий металлический цоколь



Рис. 3. Нижнее основание

(рисунок 4). Каждое основание представляет собой сварную конструкцию, выполненную из листовой стали толщиной 10 мм.

В основаниях имеются отверстия для крепления к закладным болтам М12 конструкции пола и к конструкции ПТС. Виброгасящий цоколь допускается крепить к закладным элементам конструкций пола при помощи сварки только при использовании дополнительных крепежных пластин (эскиз приведен на рисунке 8), так как используемый виброизолирующий материал при температуре сваривания теряет свои характеристики. В конструкции виброгасящего цоколя в качестве виброизоляторов используется виброизолирующий материал Силомер Г (рисунок 5) и пружинные демпферы (рисунок 6).

В конструкции виброгасящего цоколя используется восемь пружинных демпферов, расположенных по контуру оснований для уменьшения колебаний в направлении, перпендикулярном к посадочной плоскости. Также пружинные демпферы служат креплением нижнего и верхнего основания между собой. Крепеж проводится винтами М12. Разрез в местах крепления пружинного демпфера показан на рисунке 7.

Силомер – виброизолирующий материал, изготавливаемый на основе вспененного полиуретана. Легкость в обработке резанием даёт возможность изготавливать формы заданной конфигурации на месте.

Отличительные особенности материала Силомер:

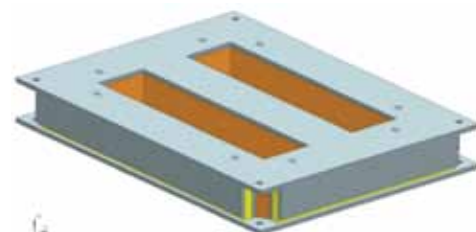


Рис. 2. Виброгасящий цоколь



Рис. 4. Верхнее основание

- устойчивость к воздействию внешних сред, воды, масел и большинства химически активных веществ;
- способность выдерживать 2 млн циклов нагружения;
- высокая устойчивость к перегрузкам;
- сохранение свойств на протяжении не менее 30 лет под постоянной нагрузкой.

Данный материал подходит под требования технического задания (ТЗ) и может использоваться для разработанной конструкции виброгасящего цоколя.

ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходные данные:

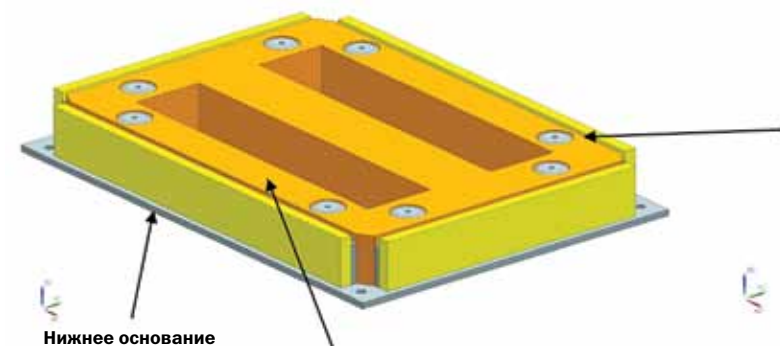
• Объект должен быть прочным при сейсмическом воздействии проектного землетрясения силой в 8 баллов включительно по шкале MSK 64 (высотная отметка – +7.8 м). Интенсивность сейсмических нагрузок должна соответствовать одновременному действию синусоидальной вибрации по трем взаимно перпендикулярным осям объекта в диапазоне частот от 0,5 до 100 Гц.

• Срок службы объекта принимался согласно ТЗ равным 30 лет.

Порядок проведения расчетов:

Расчет прочности объекта при воздействии экстремальных условий нагружения ВВФ проводили в последовательности:

- построение геометрической модели конструкции (ГМК);
- разработка конечно-элементной модели (КЭМ) объекта;



Нижнее основание

Рис. 5. Виброизолирующие пластины



Рис. 6. Пружинный демпфер



Рис. 7. Крепление верхнего и нижнего оснований

в) определение учитываемых резонансных частот объекта, разработка расчетной модели (РМ);

г) расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) РМ объекта для экстремальных условий воздействия нагрузок.

Построение ГМК

Построение ГМК объекта выполнялось с учетом следующих положений:

- модель объекта разрабатывалась в соответствии с его конструкторской документацией;

- при разработке модели учитывались особенности компоновки объекта и его несущей конструкции.

Разработка КЭМ объекта

Разработка КЭМ объекта проводилась с учетом следующих положений:

- КЭМ объекта разрабатывается в соответствии с его ГМК;

- при разработке КЭМ объекта использовались конечные элементы (КЭ) из библиотеки конечных элементов программного обеспечения NX;

- при выборе КЭ учитывались особенности работы несущей конструкции объекта в процессе действия внешних воздействующих факторов (ВВФ).

Построения КЭМ

Для построения КЭМ виброгасящего цоколя также использовался смешанный способ построения:

- верхнее и нижнее основания построены на базе КЭ CQUAD4. Материал Силомер Г моделируется с применением объемных КЭ первого порядка. Пружинные демпферы моделируются КЭ класса Beam. КЭМ виброгасящего цоколя представлена на рисунке 9.

В работе будем рассматривать четыре случая закрепления секции панели безопасности (ПБ):

- Сейсмостойкий металлический цоколь КЭМ-1 – секция ПБ, установленная на сейсмостойкий металлический цоколь без дополнительных закреплений – имитирует одиночный вариант установки шкафа;

- Сейсмостойкий металлический цоколь КЭМ-2 – секция ПБ, установленная на сейсмостойкий металлический цоколь с дополнительным закреплением в верхней части шкафа – имитирует вариант установки шкафов в линейку (установка секций в ряд с закреплением между собой);

- Виброгасящий цоколь КЭМ-3 – секция ПБ, установленная на виброгасящий цоколь без дополнительных закреплений – имитирует одиночный вариант установки шкафа;

- Виброгасящий цоколь КЭМ-4 – секция ПБ, установленная на виброгасящий цоколь с дополнительным закреплением в верхней части шкафа – имитирует вариант установки шкафов в линейку (установка секций в ряд с закреплением между собой).

Определение учитываемых резонансных частот объекта

1) Определение учитываемых резонансных частот проводилось с учетом динамических параметров КЭМ.



Рис. 8. Эскиз крепежной пластины

2) Алгоритм задания динамических параметров КЭМ объекта включал в себя расчет спектра резонансных частот КЭМ как модели с распределенными параметрами.

3) Разработка РМ объекта включала в себя:

- анализ условий воздействия ВВФ на несущую конструкцию и электронные блоки объекта;

- анализ форм колебаний несущей конструкции и электронных блоков объекта при экстремальных условиях воздействия ВВФ;

- выбор контрольных узлов.

4) По результатам проведенного анализа в состав РМ для оценки напряженно-деформированного состояния конструкции при действии внешних воздействующих факторов были включены формы колебаний объекта.

5) Расчет НДС КЭМ объекта для экстремальных условий воздействия нагрузок.

6) Экстремальный режим воздействия определялся по результатам анализа собственных частот и форм колебаний конструкции.

7) Расчет уровней перегрузок в конструктивных элементах объекта при экстремальных воздействиях проводился средствами программного обеспечения NX с применением решателя 103 Response Simulation (расчетный функционал САПР I-DEAS, модуль Response Analysis).

8) При воздействии ВВФ в конструктивных элементах объекта возникают максимальные перегрузки A (g), представленные данными таблицы 1.

Из результатов проведенных исследований сейсмостойкости объекта в виде конструкций секции ПБ следует:

- конструкция является прочной при установке как на сейсмостойкий металлический цоколь, так и при установке на виброгасящий цоколь;

- уровень напряжений и перемещений виброгасящего цоколя и сейсмостойкого металлического цоколя при обоих вариантах установки шкафов соответствует нормативным требованиям прочности конструктивных материалов;

- При применении виброгасящего цоколя средний уровень максимальных перегрузок

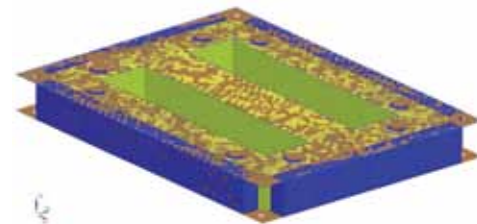


Рис. 9. КЭМ виброгасящего цоколя

на ЭРИ, установленных в секции ПБ (одиночный вариант установки), на 46,9% ниже по сравнению с применением сейсмостойкого металлического цоколя:

$$\left(\frac{\sum A_{\text{КЭМ 1}}}{\sum A_{\text{КЭМ 2}}} \right) \times 100\% = \left(\frac{2,58 + 5,27 + 5,58}{4,92 + 8,28 + 5,08} \right) \times 100\% = 46,9\%$$

- При применении виброгасящего цоколя средний уровень максимальных перегрузок на ЭРИ, установленных в секции ПБ (вариант установки в линейку), на 48,6% ниже по сравнению с применением сейсмостойкого металлического цоколя:

$$\left(\frac{\sum A_{\text{КЭМ 4}}}{\sum A_{\text{КЭМ 2}}} \right) \times 100\% = \left(\frac{0,96 + 1,28 + 2,52}{1,98 + 3,29 + 4,76} \right) \times 100\% = 48,6\%$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из результатов проведенных исследований сейсмостойкости объекта в виде конструкций секций ПБ следует, что конструкция является прочной при установке как на сейсмостойкий металлический цоколь, так и при установке на виброгасящий цоколь. Уровень напряжений и перемещений виброгасящего цоколя и сейсмостойкого металлического цоколя при двух вариантах установки шкафов (одиночная установка и установка в линейку) соответствуют нормативным требованиям прочности конструктивных материалов.

Разработанная конструкция виброгасящего цоколя с применением виброизолирующих материалов соответствует заявленным характеристикам для использования в ПТС АСУ ТП АЭС. По результатам расчетных исследований наблюдается снижение уровня перегрузок на ЭРИ при установке секции ПБ на разработанный виброгасящий цоколь. В случае использования виброгасящего цоколя уровень перегрузок на ЭРИ ниже на 46-48% по сравнению со случаем установки секции ПБ на сейсмостойкий металлический цоколь. В разработанной конструкции применяются материалы производства РФ, что в сложившейся экономической обстановке повышает конкурентоспособность изделия на отечественном рынке.

(Моделирование и механический анализ выполнены с помощью программного пакета Siemens NX NASTRAN 8.5)

Таблица 1

Название цоколя	Значение резонансной частоты f' , Гц	Максимальный уровень приведенных перегрузок A , м/с ²
1. Сейсмостойкий металлический цоколь, КЭМ 1	11,6	6,52
	31,7	8,28
	32,8	5,08
2. Сейсмостойкий металлический цоколь, КЭМ 2	88,8	1,93
	60,9	3,29
	46,4	4,76
3. Виброгасящий цоколь, КЭМ 3	8,9	2,58
	1,8	3,37
	2,3	3,38
4. Виброгасящий цоколь, КЭМ 4	17,7	0,96
	13,5	1,28
	9,15	2,52

Испытания ТВС и привода СУЗ ШЭМ-3 на сейсмостойкость

**Ю.В. Егоров, В.В. Макаров,
А.В. Афанасьев, И.В. Матвиенко,
Е.А. Лисенков, А.В. Селезнев,
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»
А.А. Малинин, Б.В. Чесноков,
ФГУП «ЦНИИМАШ»**

Одним из ключевых условий при сооружении и эксплуатации АЭС в сейсмически активных зонах является обеспечение ее сейсмической безопасности. Это означает, прежде всего, выполнение требований о недопущении неконтролируемой цепной реакции и поддержании реактора в подкритическом состоянии при землетрясениях любой интенсивности, которые можно ожидать на площадке расположения станции. Согласно [1] элементы АС I категории сейсмостойкости, к которым относятся ТВС и привод СУЗ ШЭМ-3, должны:

- сохранять способность выполнять функции, связанные с обеспечением безопасности АС, во время и после прохождения землетрясения интенсивностью до МРЗ включительно;
- сохранять работоспособность при землетрясении интенсивностью до ПЗ включительно и после его прохождения.

Применительно к приводу СУЗ ШЭМ-3 с ТВС эти требования означают необходимость введения ОР СУЗ в активную зону за проектное время в условиях ПЗ и МРЗ. В данной работе представлена методика сейсмических испытаний привода СУЗ ШЭМ-3 и ТВС, выполнен анализ основных факторов, влияющих на время падения ОР СУЗ, и приведена их количественная оценка.

Описание конструкции

В реакторе ВВЭР одним из органов регулирования реактивности, обеспечивающим останов реактора в аварийной ситуации, являются пучки тонких поглощающих стержней – ОР СУЗ (рисунок 1). В режиме срабатывания АЗ происходит обесточивание привода СУЗ, удерживающие магниты отключаются, и ОР СУЗ под действием силы тяжести вводятся в активную зону. Перемещение ОР СУЗ в реакторе ВВЭР осуществляется по каналу, образуемому приводом СУЗ ШЭМ-3, БЗТ, ТВС (рисунок 2). Несосности канала регулирования реактивности, а также деформация ТВС в процессе эксплуатации реактора могут приводить к увеличению механической силы трения, действующей на ОР СУЗ. Также на ОР СУЗ в процессе падения действуют силы сопротивления со стороны теплоносителя и сила сейсмической нагрузки, движущей силой является сила тяжести. Силы, действующие на ПЭЛ в процессе падения (схема представлена на рисунке 3):

$$m\ddot{a} = mg - F_{\text{тр}} - F_{\text{арх}} - F_{\text{гидр}} \quad (1)$$

где: mg – сила тяжести;

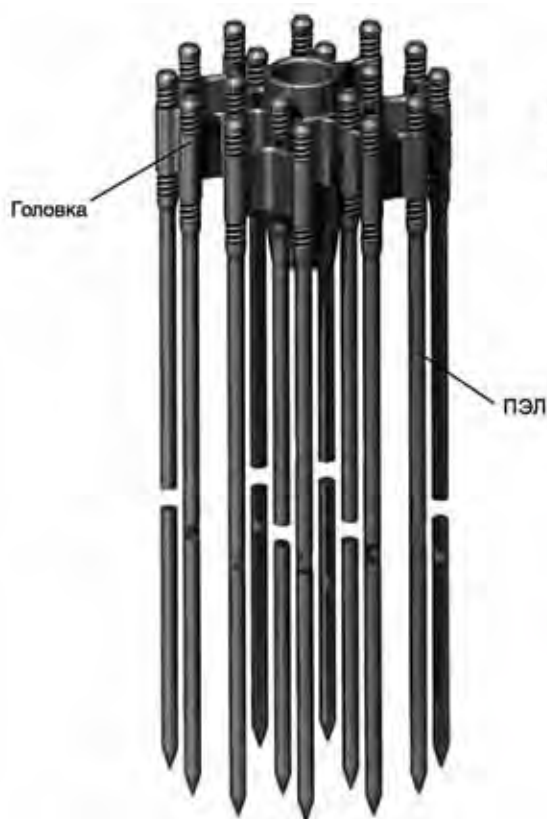


Рис. 1. ОР СУЗ (штанга не показана)

$F_{\text{тр}}$ – сила трения (механическая сила трения и сейсмическое трение);

$F_{\text{арх}}$ – выталкивающая сила (Архимеда);

$F_{\text{гидр}}$ – сила гидравлического сопротивления, которая состоит из лобового сопротивления и вязкого трения теплоносителя по боковым стенкам ПЭЛов.

Сейсмические воздействия могут оказывать влияние на силу механического трения за счет искривления канала перемещения ОР СУЗ и соударений ПЭЛ с направляющим каналом. Также возможно влияние сейсмической нагрузки на силу гидравлического сопротивления за счет увеличения КГС вследствие колебаний ПЭЛ, из-за которых появляется поперечная компонента скорости теплоносителя, обтекающего ПЭЛ. Увеличение сил сопротивления может приводить к увеличению времени падения и даже к застреванию ОР СУЗ. Характер зависимости времени падения от суммарной силы сопротивления представлен на рисунке 4.

Обзор методик испытаний на сейсмостойкость

В общемировой практике проектирования РУ (в том числе и РУ с ВВЭР) для обоснования введения ОР СУЗ в активную зону за установленное в проекте время наиболее часто применяется подход, основывающийся на результатах экспериментов по сбрасыванию ОР СУЗ в одиночном канале, образованном ТВС,

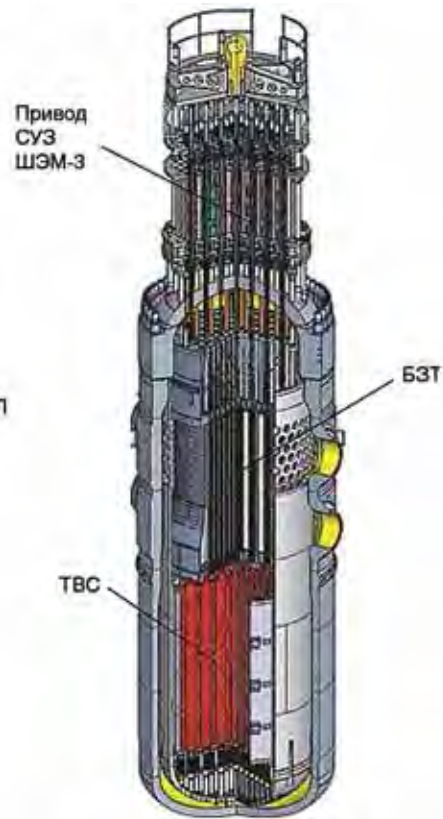


Рис. 2. Реактор ВВЭР

имитатором БЗТ и приводом СУЗ, при приложении к каналу распределенных сейсмических нагрузок [2]-[10]. Основным достоинством такого подхода является существенное упрощение и облегчение как самой испытываемой конструкции по сравнению с испытаниями моделей реактора, содержащими несколько каналов [11]-[15], так и необходимого испытательного оборудования. При этом большая часть факторов, влияющих на время падения ОР СУЗ, такие как силы механического трения, гидравлического сопротивления, интенсивность землетрясения, спектральный состав сейсмических нагрузок, архимедова сила, не зависит от поперечного масштаба модели. В то же время, в упомянутых испытаниях на моделях, содержащих несколько каналов перемещения ОР СУЗ, имелся ряд немоделируемых факторов, влияющих на время падения. Так, в испытаниях [11]-[13] не моделировался вертикальный размер канала перемещения ОР СУЗ (масштаб 1:3,7) и поток теплоносителя, препятствующий введению ОР СУЗ. Испытания [14], [15] выполнены в потоке теплоносителя на сборке из выстроенных в направлении возбуждения колебаний трех ТВС. Вторая поперечная компонента колебаний сборки не моделировалась.

Фактором, который в отличие от крупномасштабных моделей не может быть смоделирован в одиночном канале, является взаи-

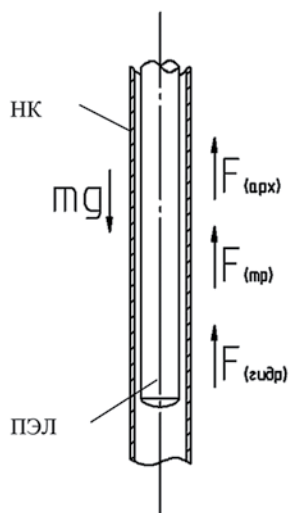


Рис. 3. Схема сил

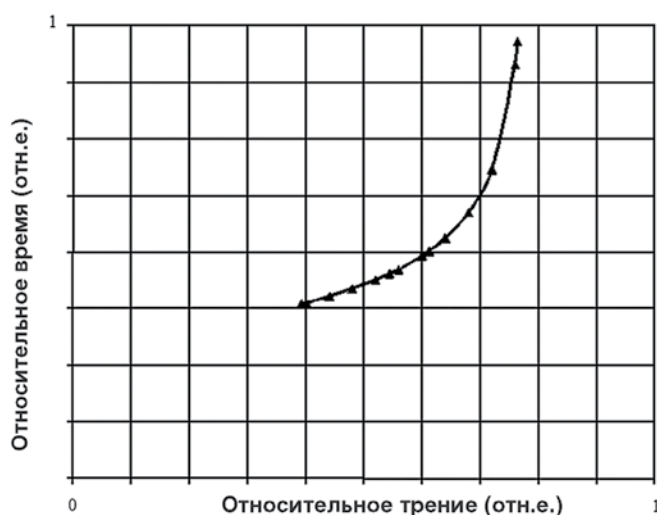


Рис. 4. Характер зависимости времени падения ОРСУЗ от силы механического трения в канале

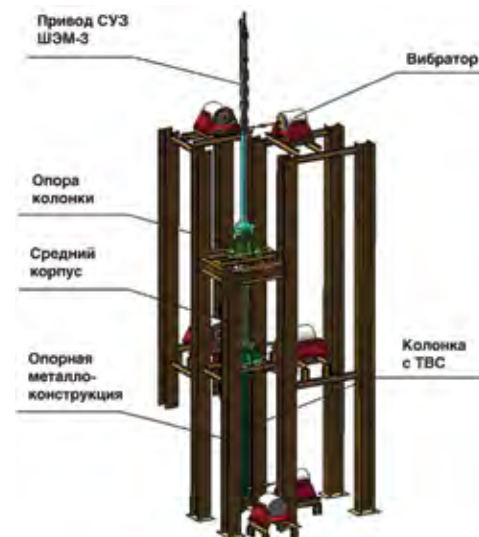


Рис. 5. Схема стенда сейсмических и вибрационных испытаний ТВС (первый этап испытаний)

модействие ТВС в активной зоне между собой и с ВКУ. С одной стороны, взаимодействие ТВС с ВКУ и между собой ограничивает их поперечные перемещения, что должно приводить к облегчению ввода ОР СУЗ в активную зону. С другой стороны, возможен механизм локального деформирования активной зоны, при котором ТВС «вкладываются» друг в друга, образуя плотную упаковку. Повышенные прогибы ТВС, возникающие вследствие их коллективного движения и «вкладывания» друг в друга при сейсмических воздействиях, могут быть реализованы в эксперименте при наличии необходимого зазора между ТВС и колонкой.

Кроме того, влияющим на время падения ОР СУЗ фактором, моделирование которого при проведении экспериментов затруднительно из соображений безопасности, является температура теплоносителя. Все известные авторам эксперименты по исследованию падения ОР СУЗ проводились в «холодной» воде. Вследствие более высокой плотности теплоносителя архимедова сила, действующая на ОР СУЗ в «холодной» воде, выше, чем в условиях работы РУ на мощности, а вязкость воды при 300°C ниже, чем при 20°C на порядок, что приводит к завышению получаемых оценок времен падения ОР СУЗ. В результате этого данные, полученные в «холодной» воде, являются более консервативными по отношению к реакторным условиям.

Описание стендов и методики испытаний

Стенд ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (рисунок 5) предназначен для экспериментальных исследований динамики и прочности ТВС с приводом СУЗ в режимах нормальной эксплуатации и при сейсмических воздействиях.

Основными системами стенда являются:

- гидравлическая система;
- КРП с приводом СУЗ ШЭМ-3 с органами регулирования (ОР СУЗ) и системой управления;
- система вибрационного нагружения ТВС и привода;
- система измерений и управления виброиспытаниями;
- технологический КИП;
- система строительных сооружений.

Основные гидравлические параметры стенда:

- теплоноситель – вода;
- температура теплоносителя – до 80°C;
- расход теплоносителя через колонку – до 1200 м³/ч;
- давление в гидравлическом контуре – до 1 МПа

Стенд с помощью шести электродинамических вибраторов в двух перпендикулярных направлениях создает распределенные горизонтальные сейсмические нагрузки на КРП на трех высотных отметках – на уровне нижней и верхней опоры ТВС и на уровне опоры при-

вода. В отличие от рассмотренных методик, важным отличием при сейсмических испытаниях привода СУЗ ШЭМ-3 с ТВС на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» является одновременное моделирование двух горизонтальных компонент сейсмической нагрузки и потока теплоносителя. Во время испытаний ТВС находится внутри шестигранной колонки в потоке воды с температурой до 80°C. Зазор между колонкой и ТВС составляет 13 мм. Испытания проводились на ТВС, имитирующей «выгоревшее» состояние – с пониженной жесткостью за счет увеличения зазоров в узле твэл-ДР.

В испытаниях варьировались следующие факторы:

- ускорение ТВС и привода (интенсивность землетрясения), количество горизонтальных компонент;
- сила трения при перемещении ОР СУЗ;
- перепад давления на активной зоне;
- задержка подачи сигнала АЗ;
- спектральный состав акселерограмм.

В ходе испытаний на трех уровнях по высоте канала, соответствующих штатным местам раскрепления, прикладывалась сейсмическая нагрузка, соответствующая расчетным акселерограммам. Моделирование сейсмической нагрузки выполнялось при помощи программы TWR (Time Waveform Replication), предназначенной для воспроизведения заданных акселерограмм в произвольных точках испытываемой конструкции с учетом передаточ-

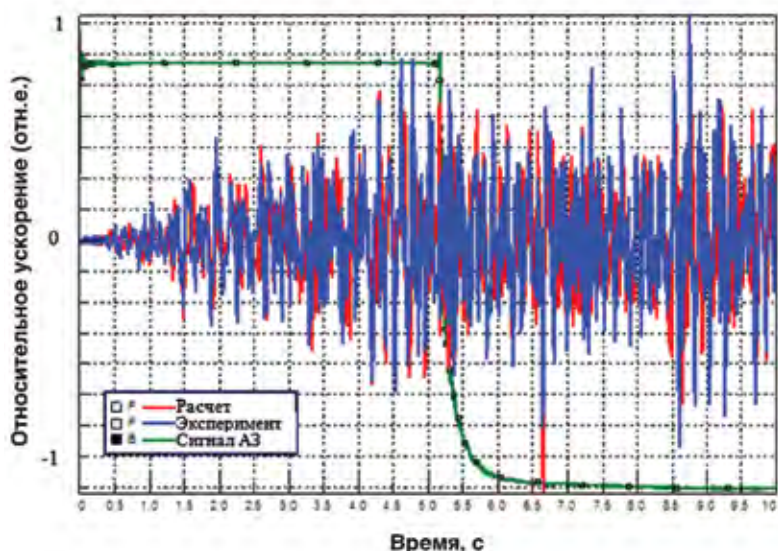


Рис. 6. Пример расчетной и экспериментальной акселерограмм колебаний нижней опоры ТВС

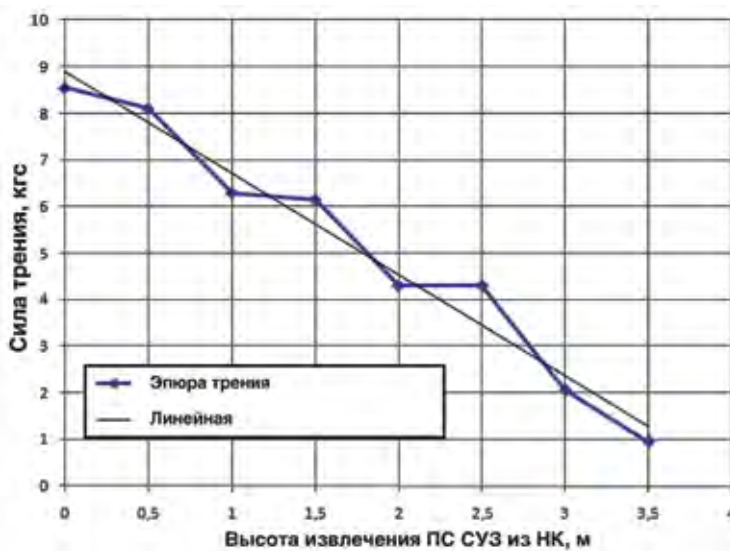


Рис. 7. Пример эпюры силы трения ПС СУЗ в НК ТВС

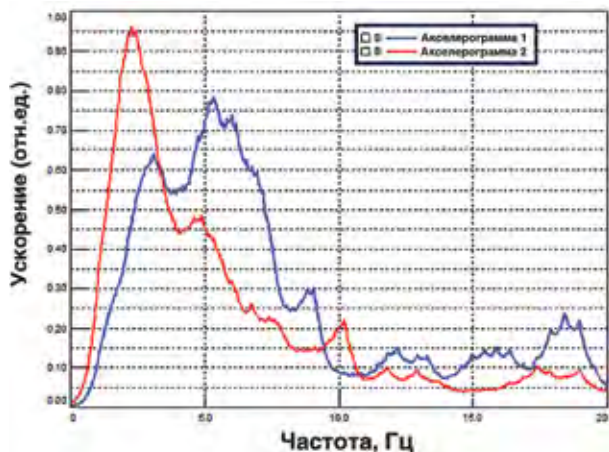


Рис. 8. Пример спектров ускорения головки ТВС для различных акселерограмм

ных характеристик стенда. Подбор сигналов управления вибростендами осуществлялся путем ряда итераций. Таким образом, в ходе испытаний на трех высотных уровнях (нижней, верхней опорах колонки, опоре привода СУЗ) в двух перпендикулярных направлениях были одновременно смоделированы сейсмические нагрузки, полученные расчетными методами. На рисунке 6 представлен пример расчетной и воспроизведенной в эксперименте акселерограммы. Наблюдается хорошее совпадение акселерограмм.

В проекте реакторной установки регламентируется максимально допустимая сила трения ОР СУЗ в канале 98 Н. Требуемая сила трения при перемещении ОР СУЗ и характер ее распределения по высоте создавалась путем искривления пэлов в 1-3 поперечных сечениях (на расстоянии ~ 1, 2, 3 м от наконечника ПЭЛа). После искривления проводилась протяжка (с определением силы трения) ОР СУЗ через канал перемещения ОР СУЗ (ТВС, БЗТ, привод). На рисунке 7 приведен пример зависимости силы трения от положения ПС СУЗ.

Расход теплоносителя в стенде устанавливался таким образом, чтобы обеспечить проектный перепад давления на ТВС от 0,175 до 0,185 МПа.

Для определения влияния времени подачи сигнала АЗ от начала землетрясения были выполнены ряд сбросов с задержкой (1-10) секунд от начала воспроизведения сейсмической нагрузки.

Исследование влияния спектрального состава было проведено для двух акселерограмм, отличающихся преобладающими частотами колебаний (около 5 Гц для акселерограммы 1 и около 2 Гц для акселерограммы 2, рисунок 8).

Для исследования влияния вертикальной составляющей был проведен второй этап ис-

пытаний на стенде организации-подрядчика. Этап испытаний на стенде организации-подрядчика был выполнен в стоячей воде при воспроизведении одной компоненты сейсмической нагрузки в одной точке, что было обусловлено возможностями стенда. Стенд представляет собой силовую металлоконструкцию, на которой вывешивается испытываемое изделие с помощью силовых тяг при испытаниях в горизонтальном направлении и с помощью амортизационной подвески при испытаниях в вертикальном направлении. Вибрационная нагрузка на изделие создается с помощью гидроцилиндра с толкающим усилием до 200 кН, установленного на виброизолированном силовом полу. Гидроцилиндр может быть сориентирован либо в горизонтальном, либо в вертикальном направлении. Создаваемая гидроцилиндром динамическая нагрузка передается на ТВС и привод СУЗ ШЭМ-3 через оснастку, представляющую собой сварную ферму. Оснастка соединяется с ТВС и приводом на четырех уровнях: на уровне хвостовика, головки ТВС, нижнего разъема привода и в верхней части привода, тем самым создается сейсмическая нагрузка, распределенная по высоте канала перемещения ОР СУЗ.

Результаты испытаний

При возрастании интенсивности сейсмической нагрузки и малых силах трения в канале перемещения ОР СУЗ время падения ОР СУЗ возрастает по закону, близкому к линейному. При высоких силах трения зависимость времени падения ОР СУЗ от ускорения опор носит существенно нелинейный характер, что не позволяет проводить экстраполяцию результатов на большие ускорения опор. На рисунке 9 представлены зависимости времени падения ОР СУЗ от интенсивности сейсмической нагрузки при различной силе трения в канале.

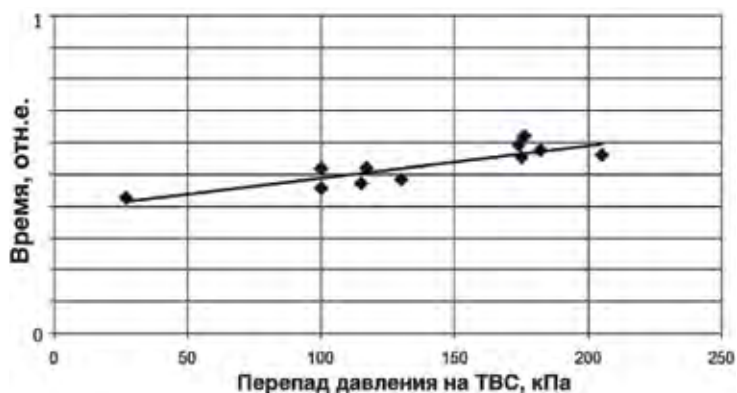


Рис. 10. Зависимость времени падения ОР СУЗ от перепада давления на ТВС

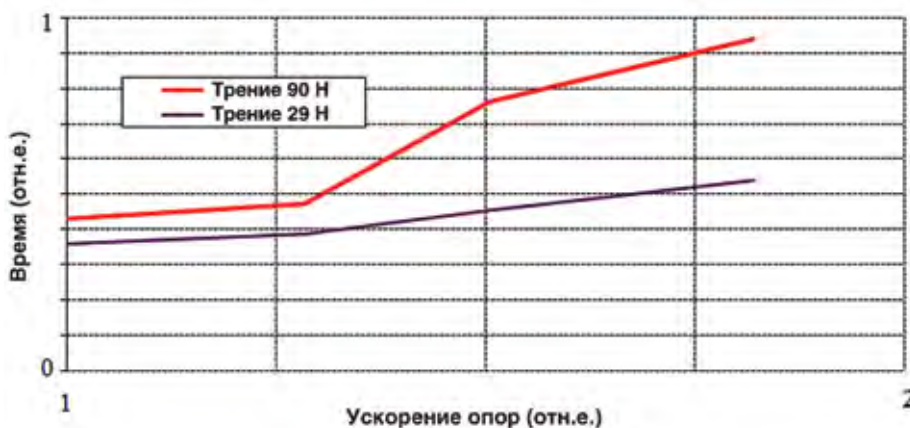


Рис. 9. Зависимости времени падения ОР СУЗ от ускорения опор

С увеличением перепада давления на ТВС увеличивается сила гидравлического сопротивления. Время падения ОР СУЗ возрастает по закону, близкому к линейному (рисунок 10).

Испытания показали (рисунок 11), что для корректного моделирования падения ОР СУЗ в условиях сейсмике необходимо воспроизводить обе горизонтальные компоненты сейсмической нагрузки в потоке теплоносителя. При высокой силе трения и моделировании двух горизонтальных компонент сейсмической нагрузки в потоке время падения ОР СУЗ значительно выше, чем при воспроизведении только одной компоненты или при воспроизведении двух горизонтальных компонент в стоячей воде.

Как показали результаты испытаний с моделированием вертикальной компоненты сейсмической нагрузки, (выполненные для двух типов акселерограмм), вертикальная компонента не оказывает влияния на время падения ОР СУЗ (рисунок 12).

Зависимости времени падения ОР СУЗ от силы трения (рисунок 13) показывают, что увеличение силы трения до некоторой пороговой величины слабо влияет на время падения. При превышении пороговой величины силы трения наблюдается быстрый рост времени падения ОР СУЗ. При этом на время падения ОР СУЗ оказывают влияние и максимальная величина силы трения, и характер распределения силы трения по высоте канала от положения ОР СУЗ.

Сейсмическое воздействие может оказывать влияние на замедление ОР СУЗ двумя механизмами – взаимодействием ОР СУЗ с КРР путем инерционных нагрузок (определяемых ускорением) и динамическим искривлением канала регулирования (определяемого перемещением). Было проведено нагружение КРР двумя типами акселерограмм – с преобладающими частотами колебаний на 2 Гц и 5 Гц.

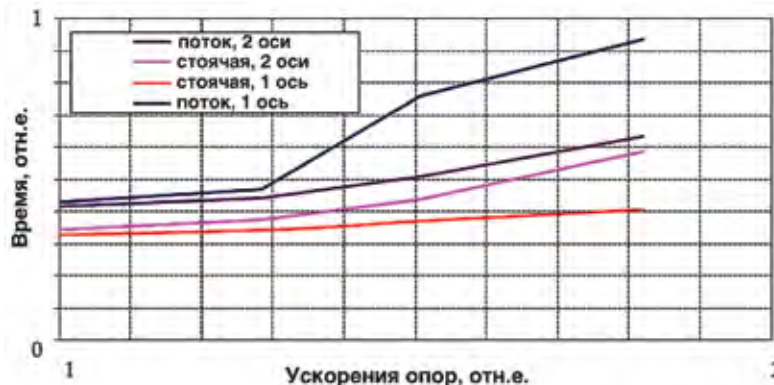


Рис. 11. Зависимости времени падения ОР СУЗ от ускорения опор при различном количестве осей нагружения

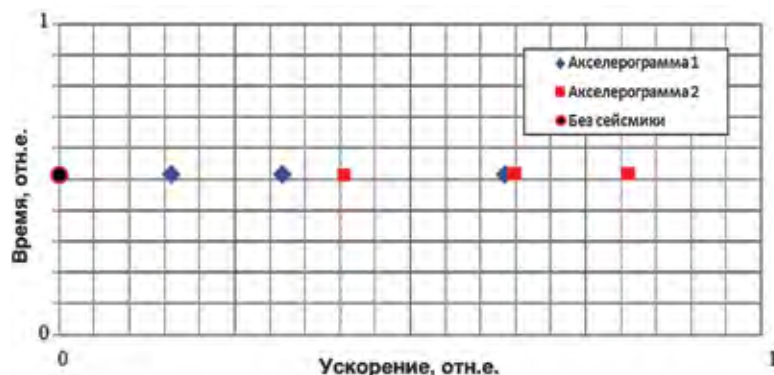


Рис. 12. Время падения ОР СУЗ в зависимости от вертикального ускорения

При равной амплитуде ускорений амплитуда перемещений на акселерограмме с пиком на 2 Гц более чем в два раза выше. При этом время падения ОР СУЗ при близких амплитудах ускорений для двух акселерограмм сопоставимо (рисунок 14). Отсюда можно сделать вывод, что основной вклад сейсмического воздействия в замедление ОР СУЗ вносит динамическое взаимодействие ОР СУЗ с элементами канала регулирования.

Исследования задержки сигнала АЗ относительно начала землетрясения показали, что в диапазоне от 3 до 10 с задержка сигнала АЗ не оказывает статистически значимого влияния на время падения ОР СУЗ (рисунок 15). В диапазоне задержек до 3 с время падения ОР СУЗ возрастает с увеличением времени задержки, что обусловлено наличием разгонного участка (участка нарастания ускорения от состояния покоя до максимального) на воспроизведенной акселерограмме.

Заключение

В рамках работ по обоснованию сейсмостойкости привода СУЗ ШЭМ-3 и ТВС была разработана методика и проведены испытания по определению влияния различных факторов на время падения ОР СУЗ. Было установлено, что комплексное сочетание двухосной сейсмической нагрузки и потока теплоносителя является наиболее значимым фактором, влияющим на время падения ОР СУЗ. Данный эффект наблюдается при приложении сейсмической нагрузки в двух осях, замена нагрузки на одноосную с увеличенной интенсивностью не приводит к такому эффекту. Также к числу факторов, влияющих на время падения ОР СУЗ, относятся:

- интенсивность (ускорение) горизонтальных компонент сейсмической нагрузки;
- перепад давления на ТВС;
- сила механического трения в канале перемещения ОР СУЗ;

– задержка подачи сигнала АЗ от начала землетрясения;

Одновременное воспроизведение влияющих факторов значительно превосходит сумму влияний на время падения этих факторов по отдельности.

Статистически значимого влияния интенсивности (ускорения) вертикальной компоненты сейсмической нагрузки на время падения ОР СУЗ не выявлено.

Список сокращений

- АЗ – аварийная защита
- БЗТ – блок защитный труб
- ВКУ – внутрикорпусные устройства
- ДР – дистанционирующая решетка
- КГС – коэффициент гидравлического сопротивления
- КИП – контрольно-измерительные приборы
- КРР – канал регулирования реактивности
- МРЗ – максимальное расчетное землетрясение
- НК – направляющий канал
- ОР СУЗ – орган регулирования системы управления и защиты
- ПЗ – проектное землетрясение
- ПС СУЗ – поглощающие стрежни системы управления и защиты
- ПЭЛ – поглощающий элемент
- СУЗ – система управления и защиты
- ТВС – теплоделяющая сборка
- ШЭМ – шаговый электромагнитный

Список литературы

1. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций, НП-031-01, Москва, Энергоатомиздат, 2001.
2. В.У. Хайретдинов, А.С. Рыжов, А.Б. Родионов. Универсальный стенд вибродинамических испытаний элементов канала регулирования реактивности ВВЭР 5-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». ФГУП ОКБ «Гидропресс», г. Подольск, Россия, 2007.
3. Maurizio Zola. TEST PLANNING AND PERFORMANCE, NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA (NPIC), CHENGDU, CHINA, 10-14 September, 2001.
4. A. Martelli, G. Maresca, A. Castoldi, F. Muzzi, RESEARCH AND DEVELOPMENT STUDIES CARRIED OUT FOR THE SEISMIC VERIFICATION OF THE ITALIAN PEC FAST REACTOR.
5. P. Sollogoub, J.C. Quéval, Th. Chaudat. SEISMIC TESTING CAPABILITIES OF CEA SACLAY LABORATORY –

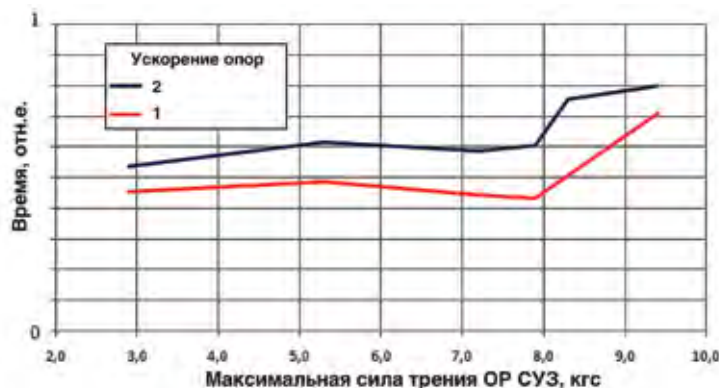


Рис. 13. Зависимость времени падения ОР СУЗ от максимальной силы трения

DESCRIPTION-EVOLUTION DEVELOPMENT INTERNATIONAL COLLABORATION, Joint NCEE/JRC Workshop on «INTERNATIONAL COLLABORATION ON EARTHQUAKE DISASTER MITIGATION RESEARCH (Methodologies, Facilities, Projects and Networking)» November 17th to 20th, 2003, Taipei, Taiwan.

6. Th. Chaudat, SIMULATION OF THE CONTROL ROD DROP UNDER SEISMIC EXCITATIONS: EXPERIMENTAL PROGRAM.
7. COLLARD Bruno, ROD CLUSTER CONTROL ASSEMBLY DROP KINETICS WITH SEISMIC EXCITATION, International Conference on Nuclear Engineering, Book of abstracts: ICONS 2003, 73, 2003.
8. Guilbaud Daniel and other, AN OVERVIEW OF STUDIES IN STRUCTURAL MECHANICS, DIRECTIONS DES SYSTEMES D'INFORMATION, CEA / SACLAY, FRANCE, 2006.
9. Pengzhou Li, Tianyong Li, Danping Yu, Lei Sun, TWO IMPORTANT SAFETY-RELATED VERIFICATION TESTS IN THE DESIGN OF QINSHAN NPP 600MWE REACTOR, 18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Beijing, China, August 7-12, 2005.
10. GIJO Jianhu, SEISMIC QUALIFICATION TEST ON CRDL OF QINSHAN II NPP, CHENGDU, CHINA, 10-14 September, 2001.
11. S. Kawakami, H. Akiyama, H. Shibata, M. Watabe, T. Ichikawa and K. Fujita CONTROL ROD BEHAVIOUR IN EARTHQUAKES Nuclear Engineering International; v. 35(429) p. 26-28; Apr., 1990.
12. H. Akiyama, T. Fujita, M. Kato, E. Yoshikawa, T. Ohno, and S. Kawakami SEISMIC TEST AND ANALYSIS FOR PWR REACTOR CORE INTERNALS, Volume 182 of the 1989 Pressure Vessels and Piping Conference, Honolulu, Hawaii, July 23-27, 1989.
13. Y. Shimazaki, H. Akiyama, M. Kato, S. Kusumoto, K. Fujita, E. Youshikawa and K. Koyama Seismic proving tests for nuclear power plant, no.2 Earthquake Engineering, Tenth World Conference, 1992, Balkema, Rotterdam.
14. R. Kennedy, J. Nie and C. Hofmayer Evaluation of JNES Equipment Fragility Tests for Use in Seismic Probabilistic Risk Assessments for U.S. Nuclear Power Plants, Office of Nuclear Regulatory Research, April, 2011.
15. Hiroshi Abe, Equipment Fragility Evaluation by Vibration Test, Joint ICTP/IAEA Advanced Workshop on Earthquake Engineering for Nuclear Facilities, 30 November – 4 December, 2009.

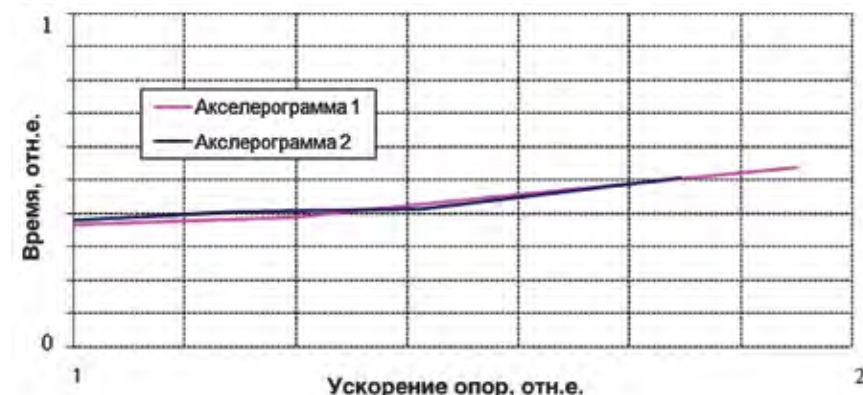


Рис. 14. Зависимость времени падения ОР СУЗ от ускорения опор для акселерограмм, отличающихся преобладающими частотами

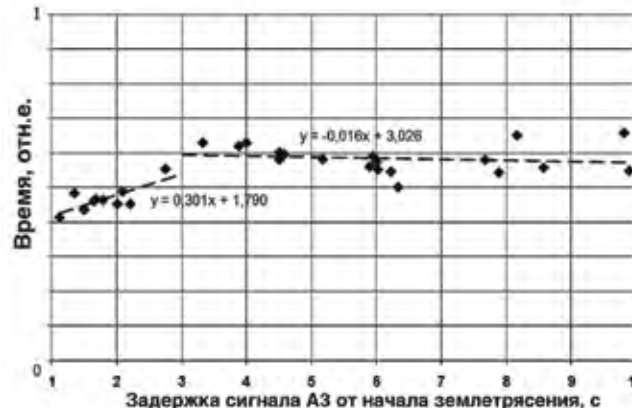


Рис. 15. Зависимость времени падения ОР СУЗ от момента подачи сигнала АЗ

Методика исследования поведения газообразных продуктов деления в топливных композициях как один из ключевых инструментов по обоснованию безопасности ядерно-энергетических установок

Е.В. Шабельников, К.Н. Кощев, И.Л. Бельтюков
АО «Институт реакторных материалов»

Основной задачей обеспечения безопасности атомной станции является защита населения, эксплуатационного персонала и окружающей среды от неприемлемого уровня радиационного воздействия, а также защита от потенциально возможных аварийных ситуаций.

Допустимые пределы воздействия ионизирующего излучения на человека устанавливаются «Нормами радиационной безопасности (НРБ)». Для АЭС установлены допустимые нормы газоаэрозольных выбросов в окружающую среду. В частности, определены значения годовых допустимых выбросов (ДВ) для биологически значимых радионуклидов для АЭС с реакторными установками различных типов (табл. 1) [1-3].

Основной вклад (свыше 98%) в дозу облучения населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС вносят инертные радиоактивные газы (ИРГ – аргон, криптон, ксенон) и радионуклиды ^{131}I , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , а для реакторов типа БН – ^{24}Na . Доля инертных радиоактивных газов в выбросах составляет 86,0% (на 2010 г.) Таким образом, при нормальной эксплуатации и в случае проектной аварии на ядерно-энергетической установке (ЯЭУ) необходимо знать долю выхода газообразных продуктов деления (ГПД) из топливной матрицы под оболочку твэла и контролировать активность выброса ГПД от АЭС в атмосферу.

Проектируемые ЯЭУ нового поколения

Основным ядерным топливом атомных станций на сегодняшний день является диоксид урана. Этот вид топлива достаточно хорошо исследован ещё во второй половине XX века. Его отработанное десятилетиями производство, большой опыт эксплуатации и приемлемые для безаварийного использования характеристики хорошо зарекомендовали данный вид ядерного топлива во многих странах на реакторах I, II и III поколения.

Но прогресс не стоит на месте. Ужесточённые требования безопасности и растущий спрос на ядерную энергетику заставили ведущих учёных и инженеров из разных стран разработать проекты ЯЭУ IV поколения. Системы IV поколения обеспечат оптимальное использование природных ресурсов и надёжность энергоснабжения.

Тепловые реакторы I и II поколений используют изотоп урана, который составляет менее 1% общего количества урана, встречающегося в природе. Легководные реакторы II и III поколений характеризуются сравнительно низкой температурой теплоносителя на выходе из активной зоны – около 300°C, что ограничивает их тепловую КПД (около 30% для традиционных легководных реакторов). Ожидается, что системы IV поколения будут обладать гораздо более высоким тепловым КПД, низким уровнем отходов (замкнутый топливный цикл), высоким уровнем безопасности, значительным использованием вторичного ядерного топлива (быстрые реакторы) и многоцелевой эксплуатацией некоторых ЯЭУ (высокотемпературные газовые реакторы). При применении теплоносителей на инновационных реакторах возможно достижение значительно более высоких температур: 400–600°C для CO_2 , 500–700°C для жидких металлов (натрий, свинец) и 700–900°C для гелия. Кроме того, идёт ускоренная разработка усовершенствованных транспортных ЯЭУ для под- и надводного кораблестроения, а также космических аппаратов.

Такие реакторные установки будут иметь более широкий спектр различных видов топлива, которые на сегодняшний день являются перспективными (карбиды, нитриды, карбонитриды урана, шаровые твэлы и др.). Ужесточение требований к безопасности ядерных реакторов накладывает дополнительные требования к ядерному топливу. Повышение ресурса работы и выгорание топливных элементов, увеличение теплопроводности и пластичности топлива, уменьшение выхода продуктов деления становятся на один уровень с требованиями технологичности и экономичности топлива.

Особенности исследования газовыделения из топливной матрицы

Одним из ключевых требований безопасности реакторной установки является удержание газовых продуктов деления в топливной матрице в эксплуатационных режимах и переходных процессах. Потому что в случае разгерметизации твэлов попадание накопленных и выделившихся из топлива газовых осколков приведет к повышению активности теплоносителя с одной стороны, а с другой, выделение из топливной матрицы газовых осколков приводит к возрастанию давления внутренней оболочки твэла, ее деформации и возможному разрушению [4]. Таким образом, данные процессы должны быть оптимально сбалансированы.

Однако объем данных по поведению продуктов деления в образцах перспективного ядерного топлива в процессе облучения недостаточен и противоречив и не может быть использован для разработки и верификации расчетных кодов в обоснование безопасности и проектирования твэлов и ТВС реакторов нового поколения. С целью получения достоверных экспериментальных данных в обоснование моделей улучшенной оценки кодов нового поколения необходимо проведение ампульных реакторных испытаний модельных топливных образцов в хорошо контролируемых условиях (по температуре и плотности энерговыделения) с одновременным измерением активности ГПД.

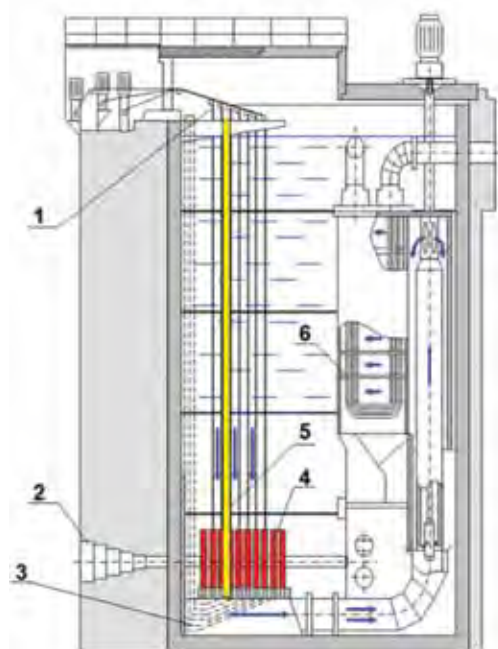
На сегодняшний день из литературы известны только результаты твэльных экспериментов, в которых количество вышедшего под оболочку газа измерялось проколом оболочки и определением количества накопившегося там газа (в основном, данные 70-80-х годов прошлого века). В результате были построены температурные корреляции, несущие, по аналогии с UO_2 топливом, «атермический» (т. е. не зависящий от температуры) характер при относительно низких температурах (< 1000–1200°C) и Аррениусовский характер при высоких. Однако из-за большой неоднородности температурного поля в топливном

Таблица 1. Годовые допустимые выбросы газообразных радиоактивных отходов в атмосферу, Бк (Ки)*

Радионуклид	АЭС с РБМК	АЭС с ВВЭР и БН	АЭС с ЭГП-6
ИРГ**	$3,7 \cdot 10^{15}$ ($100 \cdot 10^3$)	$6,9 \cdot 10^{15}$ ($186 \cdot 10^3$)	$2 \cdot 10^{15}$ ($54 \cdot 10^3$)
I (газовая + аэрозольная формы)	$93 \cdot 10^9$ (0,25)	$18 \cdot 10^9$ (0,49)	$18 \cdot 10^9$ (0,49)
^{60}Co	$2,5 \cdot 10^9$ (0,067)	$7,4 \cdot 10^9$ (0,2)	$7,4 \cdot 10^9$ (0,2)
^{134}Cs	$1,4 \cdot 10^9$ (0,037)	$0,9 \cdot 10^9$ (0,024)	$0,9 \cdot 10^9$ (0,024)
^{137}Cs	$4 \cdot 10^9$ (0,11)	$2 \cdot 10^9$ (0,05)	$2 \cdot 10^9$ (0,05)

* $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк = 1 Ки

** ИРГ – инертные радиоактивные газы



Мощность 15 МВт
Макс. плотность потока нейтронов, нейтр./(см²·с):
3,0E+14 (E<0,625 эВ)
2,0E+14 (E>0,1 МэВ)
Высота активной зоны 500 мм

1 – система управления и защиты
 2 – горизонтальный экспериментальный канал
 3 – система контроля герметичности оболочек
 4 – активная зона
 5 – экспериментальные каналы
 6 – теплообменник

Рис. 1. Конструкция исследовательской ядерной установки ИВВ-2М

сердечнике твэла эти корреляции могут быть использованы лишь на качественном уровне. Кроме того, из них очень сложно извлечь значения коэффициентов диффузии ГПД (в зависимости от температуры), поскольку в таких экспериментах измеряется выход только стабильных изотопов, а их транспорт по топливной таблетке, как известно, сильно усложнен взаимодействием (стеканием) диффундирующих атомов газа с внутризерненными пузырьками, что позволяет вычислить лишь некоторый эффективный коэффициент диффузии, зависящий от многих параметров.

Для разработки усовершенствованных топливных кодов особую важность представляют эксперименты по измерению зависимости выхода ГПД и распухания образцов перспективного топлива от температуры и выгорания (времени) в контролируемых, стационарных и нестационарных, условиях облучения. Такие измерения могут быть проведены в ампульных тестах [8] в исследовательском реакторе АО «ИРМ».

Исследовательская ядерная установка ИВВ-2М в АО «ИРМ»

Многоцелевой исследовательский ядерный реактор ИВВ-2М – водо-водяной ядерный реактор бассейнового типа с номинальной мощностью 15 МВт, активной зоной высотой

500 мм, максимальной невозмущенной плотностью потока нейтронов (см⁻²•с⁻¹): 3×10¹⁴ (E < 0.625 эВ) и 2×10¹⁴ (E > 0.1 МэВ).

В активной зоне реактора ИВВ-2М сформированы три типа водных ловушек, позволяющие устанавливать экспериментальные устройства (ЭУ) диаметром 28, 60 и 120 мм. Конструкция одного из типовых ЭУ приведена на рисунке 2.

Данная конструкция экспериментального устройства позволяет проводить испытания таблеточных топливных образцов (нитрид, карбид, карбонитрид урана, СНУП-топливо, топливные образцы с нанолитированием). ЭУ во время испытаний располагается в одной из экспериментальных ячеек активной зоны реактора ИВВ-2М, где обеспечивается необходимое энерговыделение в топливных образцах и соответствующий нейтронный поток. Капсула с объектами испытаний представляет собой стальную оболочку, в которой размещается алюминиевый радиатор с тремя отверстиями для трех ампул (с топливными образцами), а также соответствующими отверстиями для прохода термодпар. Топливный образец размещается в ампуле, инструментованной одной вольфрам-рениевой термодпарой, установленной в центральном отверстии топливных таблеток в середине сердечника, и одной хромель-алюмелевой термодпарой, установленной внутри ам-

пулы в зоне с температурой не более 1200°С. В случае выхода из строя вольфрам-рениевой термодпары, размещенной непосредственно в топливе, температура топлива определяется по показаниям хромель-алюмелевой термодпары с использованием экспериментальной градуировочной кривой, полученной в начале испытаний и связывающей показания обеих термодпар.

Топливный образец размещается в негерметичной оболочке, выполненной из тонкостенного монокристаллического молибдена или вольфрама с плунжерной посадкой. Тонкостенная монокристаллическая оболочка не оказывает заметного сопротивления при деформировании распухающими таблетками. Монокристаллическая структура оболочки, в дополнение к ее малой толщине, обеспечивает повышенную (примерно на порядок) скорость ползучести и высокую (до 100%) пластичность. Эти свойства обеспечивают возможность определения свободного распухания и минимизируют риск разрушения оболочки при испытаниях.

Облучательное устройство (капсула) размещается в ЭУ.

Основными элементами конструкции ЭУ являются:

- канал, предназначенный для организации потока реакторного теплоносителя (химобессоленная вода 1-го контура реактора ИВВ-2М) и представляющий собой шестигранную трубу;

- механизм перемещения капсулы по высоте активной зоны (скорость перемещения капсулы 7 мм/мин);

На рисунке 3 показаны капсулы с шаровыми твэлами для исследования выхода ГПД. Каждая капсула состоит из внешнего и внутреннего стальных корпусов, графитового вкладыша. Графитовый вкладыш дистанционируется от внутреннего корпуса графитовыми ребрами. В отверстия верхней половины графитового вкладыша установлены нихро-сил-нисовые термодпары. На внутреннюю поверхность внутреннего корпуса капсулы установлена одна хромель-алюмелевая термодпара.

Стенд «РИСК»

Стенд «РИСК» предназначен для обеспечения реакторных испытаний топливных образцов и макетов твэлов ЯЭУ различного назначения в инертной газовой среде (гелий, неон, гелий-неоновая смесь) при температуре топлива до 2200°С с контролем выхода ГПД из топлива в ходе облучения.

Газовая система стенда «РИСК» предназначена для:

- подачи и поддержания заданных составов и давлений газовой среды в полостях капсул экспериментальных устройств (ЭУ);

- поддержания заданного объемного расхода газа-носителя (гелий, неон, гелий-неоновая смесь) через рабочий участок с топливным образцом при выполнении отбора проб газообразных продуктов деления (ГПД) в пробоотборные емкости или для измерений активности ГПД «на протоке» с целью определения скорости выхода ГПД из топливных образцов в процессе облучения;

- локализации и безопасного удаления газа-носителя с ГПД в спецвентиляцию.

Автоматизированная система пробоотбора позволяет проводить отбор проб газовой среды из капсул для последующего измерения активности ГПД, выделяемых из топливных образцов, в зависимости от показаний дозиметра.

Конструкция типового экспериментального устройства



Рис. 2. Конструкция типового экспериментального устройства

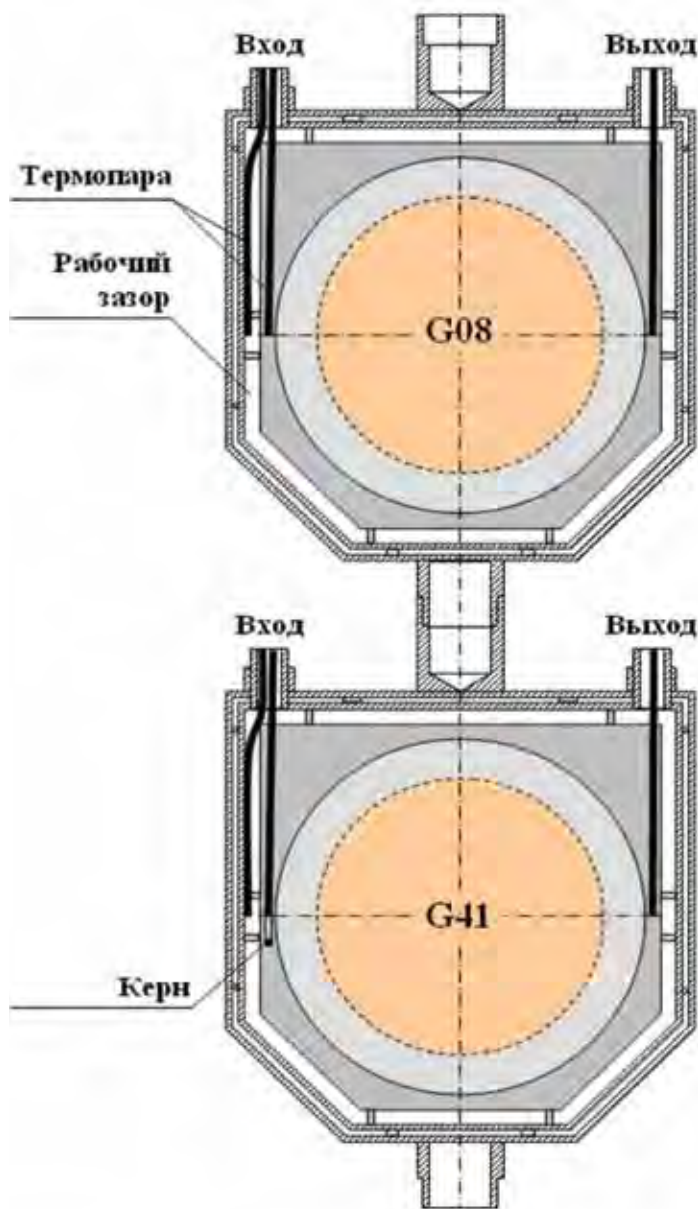


Рис. 3. Конструкция капсул с шаровыми твэлами

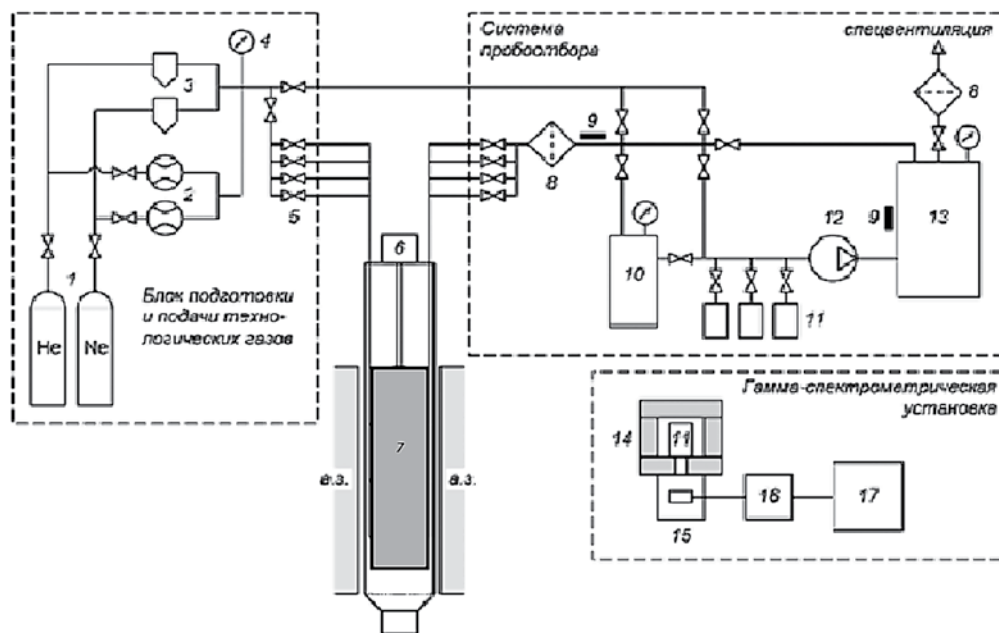


Рис. 4. Стенд «РИСК»

1 – баллоны (гелий, неон, криптон, ксенон); 2 – расходомеры; 3 – дозаторы подачи газа; 4 – датчик давления; 5 – газовая гребёнка; 6 – механизм перемещения капсул по высоте активной зоны; 7 – капсула с исследуемыми топливными образцами; 8 – йодный фильтр; 9 – дозиметр; 10 – накопительная ёмкость (20 л); 11 – пробоотборники (0,27 л); 12 – форвакуумный насос; 13 – ёмкость выдержки (200 л); 14 – свинцовая защита (при необходимости, с коллиматором); 15 – гамма-детектор GC2018 фирмы Canberra (США); 16 – цифровой анализатор спектра DSA-1000; 17 – компьютер с программным обеспечением Genie-2000

Гамма-спектрометрическая система предназначена для контроля активности ГПД, выделяющихся из топливных образцов в процессе их облучения.

Для достижения поставленной задачи из ампул с топливными образцами на мощности реактора производится отбор проб ГПД и измерение их активности на гамма-спектрометрической установке с определением относительной скорости выхода основных газообразных продуктов деления: Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-135, Xe-137, Xe-138. Относительная скорость выхода определяется в виде $(R/V)_i$, где R – скорость выхода i-го нуклида из топливной матрицы (атом/с), V – скорость образования данного нуклида (атом/с).

Реакторные испытания топлива дополняются предреакторными и послереакторными исследованиями закрытой и открытой пористости, размера зерна с целью определения параметров переноса ГПД в топливной матрице (коэффициент диффузии).

Заключение

Представленные методика исследования газовой выделения, технология и конструкции экспериментальных облучательных устройств помогают обосновать работоспособность различных видов топливных материалов для разрабатываемых реакторных установок. Значимость данных экспериментов заключается в полностью контролируемых, стационарных и нестационарных, условиях облучения. Полученные результаты экспериментов в дальнейшем будут использованы для разработки и верификации расчетных кодов в обоснование безопасности и проектирования твэлов и ТВС реакторов нового поколения.

Список литературы

1. Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И., Меньшикова Т.С. Високотемпературное ядерное топливо / М.: Атомиздат, 1978 – 432 с.
2. Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Прошкин А.А. Мононитридное топливо для быстрых реакторов // Атомная энергия, т.95, № 3 (2003), с. 208–220.
3. Бать Г.А., Коченов А.С., Кабанов Л.П. Исследовательские ядерные реакторы / М.: Атомиздат, 1972 – 272 с.
4. Фрост Б. Твэлы ядерных реакторов / М.: Энергоатомиздат, 1986 – 248 с.
5. Балдин С.А. и др. Прикладная спектрометрия с полупроводниковыми детекторами / М.: Атомиздат, 1974 – 320 с.
6. Сиявский В.В. Методы и средства экспериментальных исследований и реакторных испытаний термоэмиссионных электрогенерирующих сборок / М.: Энергоатомиздат, 2000 – 375 с.
7. Исследования конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов – [Сб. научн. трудов] // Екатеринбург: УрО РАН, 1994 – 200 с.
8. Самсонов Б.В., Шулимов В.Н., Середкин С.В. Ампульные устройства для облучения тепловыделяющих элементов ядерных реакторов при высоких температурах // Димитровград, 1979 – 15 с.
9. Головченко Ю.М. Изучение работоспособности твэлов с карбидным и карбонитридным топливом // М.: ЦНИИАтоминформ, 1985 – 17 с.
10. Шкоков Е.И., Чечёткин Ю.В., Яшкин Е.К. Экспериментальные исследования и методика расчёта выхода радиоактивных продуктов деления из негерметичных твэлов с оксидным топливом в органический теплоноситель // М.: ЦНИИАтоминформ, 1985.: ЦНИИАтоминформ, 25 с.
11. Эксплуатация АЭС. Ч. I. Работа АЭС в энергосистемах. Ч. II. Обращение с радиоактивными отходами: Учебное пособие / М.: НИЯУ МИФИ, 2011 – 304 с.

Экспериментальные исследования для обоснования вибропрочности трубного пучка парогенератора натриевого реактора большой мощности

**А.П. Носенко, В.В. Макаров,
А.В. Афанасьев, Л.П. Поварова,
ОКБ «ГИДРОПРЕСС»**

Развитие атомной энергетики поставило задачу создания парогенератора (ПГ) для реактора на быстрых нейтронах (РБН) с натриевым теплоносителем, отличающимся от существующих конструкций габаритами, мощностью, расходами теплоносителей, применяемыми конструкционными материалами, увеличенным ресурсом работы.

Одни из главных отличий ПГ РБН большой мощности (БНМ) от преемственных состоят в увеличенной более чем в 2,5 раза скорости в отверстиях перфорации кожуха трубного пучка, масштабном факторе (количестве труб в пучке) и материале теплообменных труб (ТОТ) и дистанционирующих решеток (ДР). Эти и другие отличия приводят к необходимости проведения исследований, направленных на обоснование работоспособности и надежности выбранной конструкции ПГ в течение заданного срока службы, в частности, вибропрочности трубного пучка ПГ БНМ. Повышенные вибрации ТОТ могут привести к серьезным авариям, остановам АЭС и даже к их закрытию [1]. Можно выделить следующие критерии допускаемой вибрации ТОТ в течение заданного ресурса работы теплообменника:

- динамические напряжения, вызванные колебаниями, не приводят к появлению трещин или нарушению герметичности в зоне заделки труб в трубные доски;
- амплитуды колебаний труб не вызывают соударений соседних труб друг с другом;
- величина вибрационного износа труб в дистанционирующих решетках не ведет к разрушению труб или решеток;

Опыт эксплуатации ПГ РБН с жидкоталлическими теплоносителями показал [2], что одним из основных механизмов отказа ТОТ является виброизнос в местах контакта с ДР. Причиной износа являлась повышенная вибрация ТОТ, вызванная воздействием поперечного потока теплоносителя на ТОТ. Наибольшая вибрация ТОТ была отмечена на входном участке, где поперечная компонента скорости теплоносителя максимальна. По результатам исследований, выполненных на стендовых установках, были определены предельно допустимые величины амплитуды вибраций, при превышении которых наблюдался износ труб. Если уровень вибрации труб ПГ превышал предельно допустимое значение, производилось их глушение. Как показали результаты разборки и исследований отработавшего пароперегревателя петли №10 РУ БН-350, значительное количество труб с уровнем вибрации выше предельно допустимого имело следы виброизноса, что подтвердило обоснованность выбранных предельных уровней вибрации.

Для обоснования вибропрочности ПГ БНМ по условию отсутствия износа в настоящее время была принята следующая концепция. На стадии технического проекта проводились экспериментальные исследования вибрации трубного пучка 61-трубной модели в воде, а также ресурсные вибрационные испытания однотрубных моделей ПГ (3 этапа по 1000 часов каждый). По результатам вибрационных испытаний были сделаны инженерные оценки колебаний труб ПГ БНМ. Результатом ресурсных испытаний стало определение предельно допустимого уровня вибрации ТОТ, не приводящего к возникновению износа. В ходе пусконаладочных измерений на штатных ПГ должен проводиться контроль вибрации ТОТ с целью выявления труб с недопустимым уровнем вибрации и их последующим глушением. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных для обоснования вибропрочности трубного пучка ПГ БНМ, предложены меры по повышению вибропрочности ПГ и корректировке методики обоснования.

Исследования собственных и вынужденных колебаний теплообменных труб **Описание конструкции модели и стенда**

Исследования проводились на 61-трубной модели ПГ БНМ. В качестве модельной жидкости использовалась холодная вода. Общий вид модели представлен на рисунке 1.

Модель ПГ БНМ для вибрационных испытаний состоит из трубного пучка (61 труба), заключенного в цилиндрический корпус. Трубы дистанционируются девятью ДР штатной геометрии, каждая ДР дистанционирует приблизительно третью часть пучка. На входном участке моделировались три длины пролета: 283 мм (тип А), 550 мм (тип Б), 817 мм (тип В), которые соответствуют геометрии ПГ БНМ. Диаметр труб и шаг трубного пучка в модели и ПГ составляют 16 мм и 32 мм соответственно.

На рисунке 2 показан разрез входной камеры 61-трубной модели ПГ БНМ.

Первые пролеты труб находятся в поперечном потоке воды, поэтому колебания этих пролетов максимальны и могут возбуждаться тремя механизмами:

- турбулентными пульсациями давления потока;
- гидродинамическими силами, обусловленными отрывом вихрей;
- гидроупругим взаимодействием с потоком.

При скоростях, характерных для входной камеры 61-трубной модели и ПГ БНМ доминирует турбулентный механизм возбуждения колебаний ТОТ.

Вибрационные испытания включали в себя:

- исследования собственных колебаний теплообменных труб на воздухе;

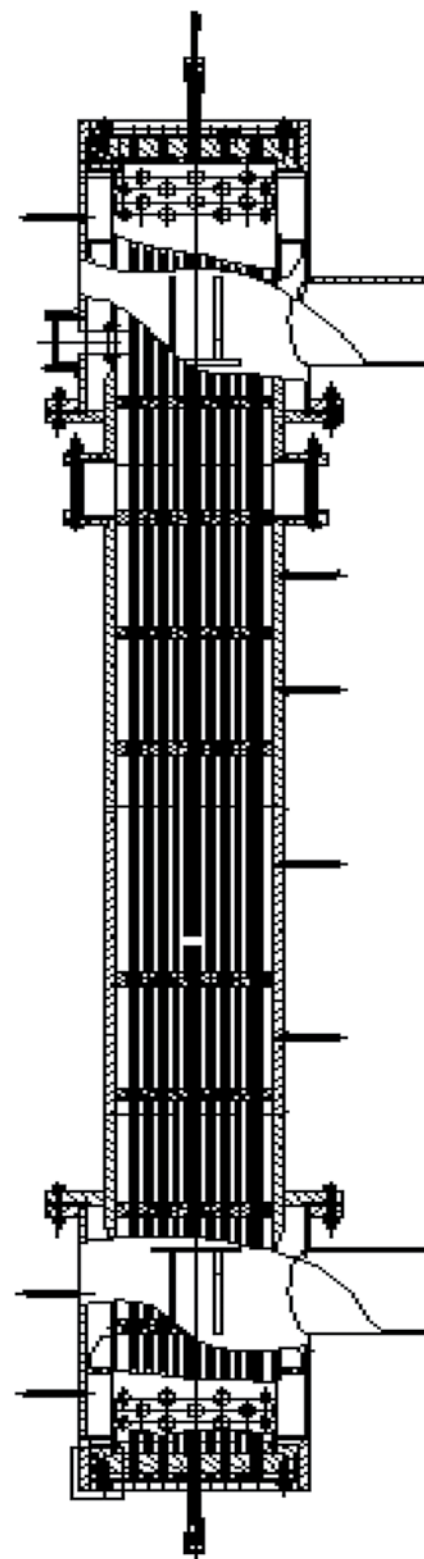


Рис. 1. Общий вид модели

1 – входная камера модели ПГ; 2 – корпус; 3 – трубный пучок; 4 – выходная камера; 5 – перемещаемые зонды; 6 – отборы давления на корпусе модели; 7 – перфорированный лист, 8 отверстия перфорации

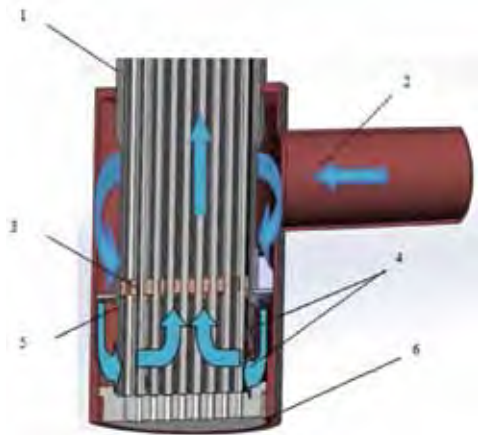


Рис. 2. Разрез входной камеры 61-трубной модели ПГ БНМ

1 – корпус модели, 2 – патрубок подвод, 3 – ДР, 4 – отверстия перфорированного кожуха, 5 – перфорированный лист, 6 – трубная доска

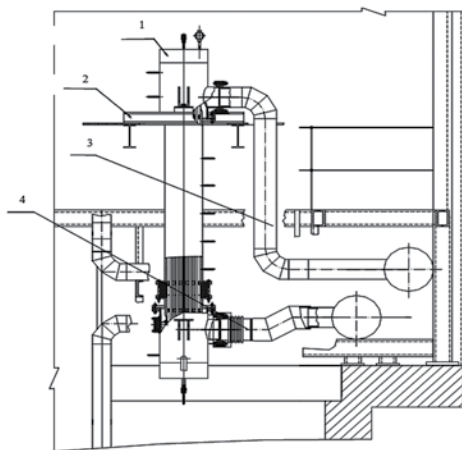


Рис. 3. Схема установки модели

1 – 61-трубная модель, 2 – опорная металлоконструкция, 3 – гибкий рукав, 4 – сиффон, 5 – входной и выходной коллектор

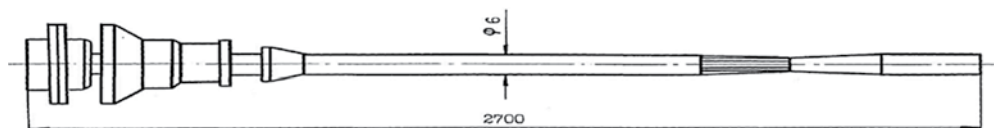


Рис. 4. Устройство для измерения виброускорений т/о труб (виброшуп)

1 – цанговый механизм, 2 – управляющий механизм

– исследования вынужденных колебаний теплообменных труб в потоке воды.

Испытания проводились на стенде сейсмических и вибрационных испытаний, схема установки модели приведена на рисунке 3. Виброизоляция модели от трубопроводов осуществлялась через сиффон в нижней части и гибкий рукав в верхней части, а от металлоконструкции стенда при помощи слоя резины, размещенного под опорами модели. Для исследования собственных колебаний труб модель соединялась в верхней части с электродинамическим вибратором, создававшим возмущения корпуса модели («белый шум» или гармонический сигнал с разверткой по частоте).

Отклик труб в исследованиях собственных и вынужденных колебаний определялся при помощи виброизмерительного щупа. Общий вид виброизмерительного щупа приведен на рисунке 4. Цанговый механизм 1 соединен с управляющим механизмом 2 системой коаксиальных труб. Первичный преобразователь ускорения закрепляется в цанговом механизме, который при помощи разжимного конуса фиксируется в исследуемой трубе. Первичным датчиком служит миниатюрный пьезоакселерометр. Виброускорения определялись с погрешностью 9% от показаний канала.

Результаты вибрационных испытаний

Собственные колебания ТОТ близки к колебаниям двухопорных (трехопорных) балок, с частотами исследуемого и соседних пролетов, определенными по аналитическим формулам для многоопорных балок.

Вынужденные колебания труб происходят на собственных частотах пролетов, определенных в стоячей воде. Также в спектрах помимо широкополосного шума в ряде случаев наблюдаются колебания на лопаточной и оборотной частотах циркуляционного насоса 24,8 и 149 Гц. При сопоставлении спектров собственных колебаний в стоячей воде и вынужденных колебаний в потоке было обнаружено, что демпфирование колебаний в потоке значительно выше, чем у собственных колебаний ТОТ в стоячей воде и на воздухе.

баней соседних пролетов (третий пролет 1068 мм имеет пик как для собственной частоты 66 Гц и частоты соседнего пролета длиной 801 мм 110 Гц). У труб с типами дистанционирования Б и В уровень ускорений на входном участке в зоне поперечного обтекания значительно выше, чем во втором и следующих по ходу теплоносителя пролетах, находящихся в зоне продольного обтекания. Однако по уровню виброперемещений (рисунок 5б) пролеты на участке входа теплоносителя сопоставимы с удлиненными пролетами, находящимися в зоне продольного обтекания.

Максимальное СКЗ виброускорений имеют трубы с дистанционированием типа Б. У труб с дистанционированием типа В ускорения труб во входном пролете ниже примерно в два раза, у труб типа А – в 11 раз. При этом наблюдается существенный разброс ускорений для одинакового типа дистанционирования, но находящихся в разных зонах трубного пучка модели. Распределение СКЗ ускорений труб в поперечном сечении для радиального направления колебаний приведено на рисунке 6.

Зависимости СКЗ виброускорений нижних пролетов теплообменных труб от средней скорости воды в отверстиях входной камеры имеют форму степенных законов (от линейных до квадратичных). При скорости теплоносителя в отверстиях перфорации, близкой к скорости в отверстиях перфорации ПГ, максимальное значение амплитуды виброускорения составило 3,4 g (для трубы 1.2 в пролете НР-Б1 длиной 550 мм).

В проведенных экспериментах амплитуда виброускорений у ряда труб (преимущественно с типом дистанционирования Б) превысила

На рисунке 5 показаны спектры вынужденных колебаний средин пролетов трубы во втором ряду (тип Б). Верхний пролет имеет максимальный уровень ускорений. В спектрах колебаний помимо собственной частоты исследуемого пролета присутствуют частоты коле-

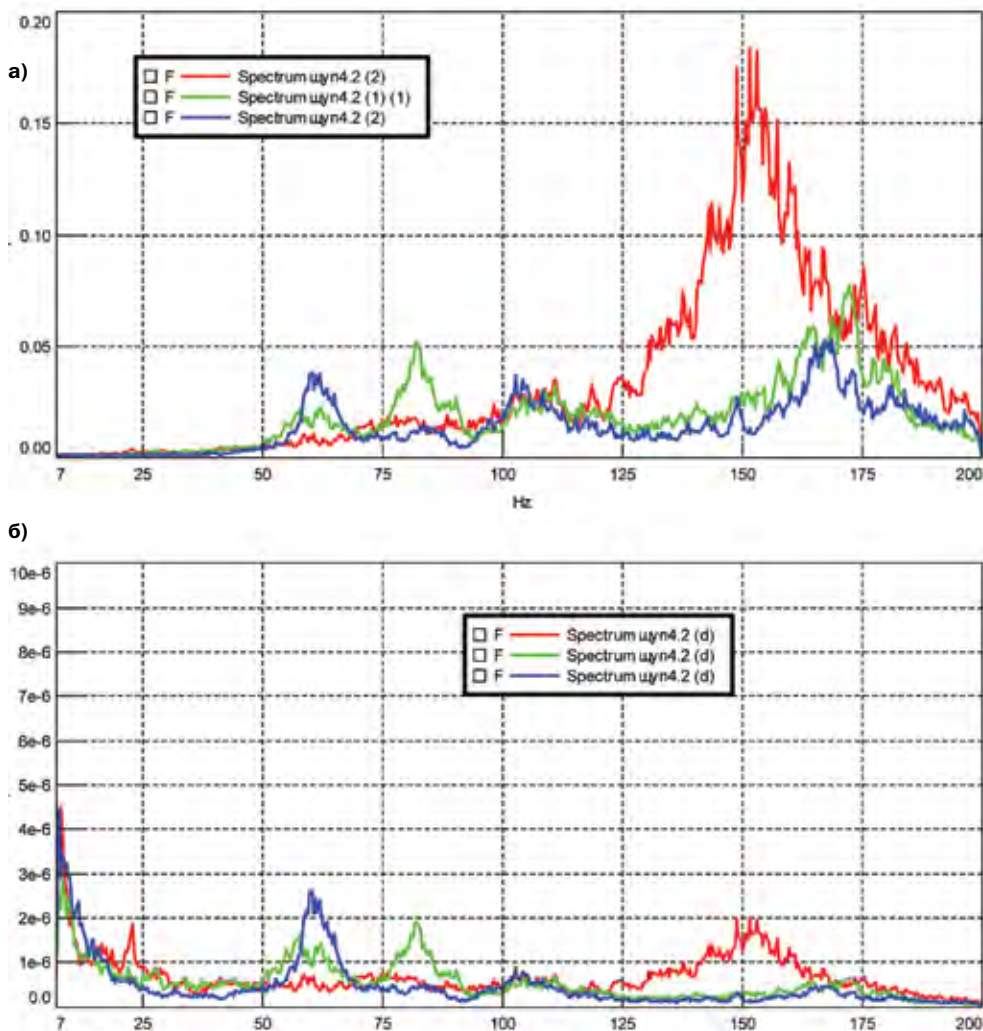


Рис. 5. Спектры ускорений и перемещений вынужденных колебаний средин пролетов трубы во втором ряду а) ускорения, б) перемещения

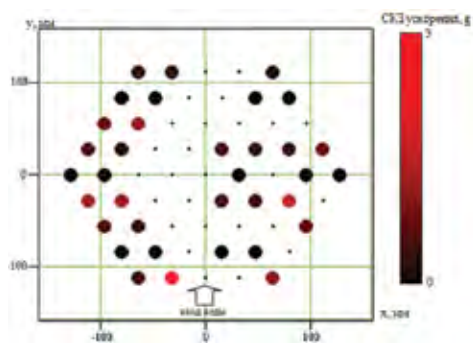


Рис. 6. Распределение СКЗ ускорений труб в поперечном сечении для радиального направления колебаний

ла предельно допустимые уровни вибрации 3g, определенные по результатам прошлых стендовых исследований виброизноса, и измеренные вибрации в ПГ БН-600. Основной причиной более высоких уровней колебаний труб 61-трубной модели, по-видимому, является более высокая (в 2,6 раза) средняя скорость теплоносителя в отверстиях перфорации модели и ПГ БНМ по сравнению с ПГ БН-600.

Исследования на виброизнос однотрубных моделей ПГ БНМ

Исследования на виброизнос производились на восьми однотрубных моделях, аналогичных использованым для обоснования износостойкости ТОТ ПГ БН-800 [3] в три этапа продолжительностью 1000 ч каждый. Испытания проходили на стенде ГНЦ РФ-ФЗИ. Принципиальная схема модели представлена на рисунке 7.

Модели состояли из корпуса, внутри которого содержались исследуемые образцы ТОТ – трехпролетные однотрубные фрагменты, трубы закреплялись в модели с помощью трех имитаторов ДР и одного имитатора трубной доски. Нумерация ДР шла сверху вниз. Моделировались зазоры между трубой и ДР, входящие в диапазон возможных зазоров в ПГ БНМ. Температура натрия на входе в каждую модель поддерживалась равной температуре входа натрия в ПГ 527 ± 5 °С. Длины пролетов в моделях соответствовали длинам трех верхних пролетов в ПГ.

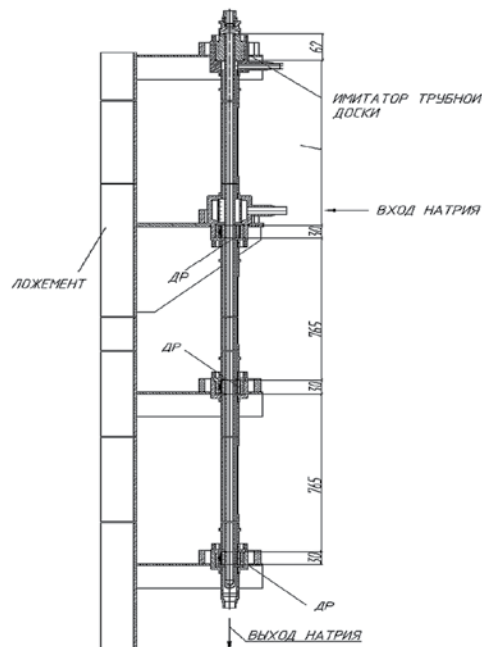


Рис. 7. Принципиальная схема модели на виброизнос

Колебания возбуждались в верхнем пролете при помощи электромагнитных вибраторов. Вибрационный отклик труб моделей определялся с помощью виброизмерительных щупов, содержащих высокотемпературный пьезоакселерометр. Щупы устанавливались в середины верхних пролетов имитаторов ТОТ. Во время пуска и по окончании каждого этапа испытаний производился отбор проб теплоносителя для исследования химического состава натрия. Каждый этап заканчивался разборкой моделей и металлографическими исследованиями образцов труб.

В испытаниях на виброизнос варьируемыми параметрами являлись длина верхнего пролета (L), амплитуда виброускорений (перемещений) (A, X) и частота гармонических колебаний середины верхнего пролета (f). На первых двух этапах испытаний длины верхних пролетов у четырех моделей составляли 456 мм, у четырех – 721 мм.

В качестве нового параметра (взамен виброускорения), отвечающего за виброизнос, была взята за основу наиболее часто используемая для подобных задач теория Арчарда, согласно которой скорость объемного износа пропорциональна нормальной силе и тангенциальной скорости скольжения трубки относительно образца ДР:

$$W = K \cdot \frac{F_N \cdot v_{тр}}{H_V} \quad (1)$$

где: W – скорость объемного износа; K – коэффициент износа; F_N – нормальная сила; v_{тр} – скорость в узле трения; H_V – твердость по Бриннелю или Виккерсу более мягкого материала пары.

Нормальная сила в ДР пропорциональна амплитуде перемещения середины пролета X и обратнопропорциональна кубу длины пролета L, а скорость в узле трения примем пропорциональной скорости в середине пролета v. В этом случае скорость износа пропорциональна комплексу:

$$W \sim \frac{X \cdot v}{L^3} \quad (2)$$

Нижние уровни виброускорений выбирались исходя из равенства максимального значения комплекса (2) для объемного износа в настоящих испытаниях на виброизнос и пусконаладочных измерениях ПГ БН-600 на третьем блоке Белоярской АЭС. Верхние уровни виброускорений соответствовали удво-

енному значению амплитуды виброускорения. Для третьего этапа испытаний было принято решение об изменении длины верхнего пролета ТОТ для четырех моделей. Верхний пролет для этих моделей составил 280 мм. В пролетах длиной 456 мм на втором этапе испытаний был достигнут уровень ускорений, близкий к предельному уровню, вызывающему износ. Поэтому на третьем этапе для пролета длиной 456 мм производится более детальное исследование двух моделей на уровнях v2 и от предельного уровня 5,1 g. Для пролета длиной 721 мм предельный уровень ускорений на собственной частоте по результатам первых двух этапов достигнут не был. В связи с этим на третьем этапе испытывались две модели при амплитудах ускорения в v2 и в два раза выше, чем на втором этапе (2,1 g).

По результатам профилометрических исследований, проведенных после второго этапа испытаний, были отмечены процессы адгезии и формоизменения контактирующих поверхностей в зоне «ТОТ-ДР» для трех моделей, которые можно трактовать как начальную стадию изнашивания. Для изношенных ТОТ имеет максимальное значение комплекс:

$$W \sim \frac{X \cdot \Delta \cdot f}{L^3} = \frac{A}{L^3 \cdot f} = \frac{V}{L^3} \quad (3)$$

На рисунке 8 приведены спектры перемещений середин верхних пролетов моделей 5 и 7 (приведены амплитуды перемещений) во время второго этапа испытаний. В процессе испытаний непрерывно отслеживались и поддерживались постоянными уровни ускорений (перемещений) в середине верхнего пролета каждой модели, а также температура и расход натрия на входе в каждую модель.

Для определения глубины износа проводились профилометрические исследования образцов труб на участке вне контакта с ДР и на участках с потертостями. При профилометрировании сканировались изношенные и неизношенные участки вдоль образующих, после чего определялась средняя высота профиля неизношенного участка в окрестности зоны износа по каждой образующей. Затем вычислялось отклонение высоты профиля изношенного участка от средней высоты профиля неизношенного участка. Для каждой зоны контакта «ДР-труба» вычислялось отклонение профиля изношенного участка как среднее значение отклонений, определенное по каждой образующей.

В результате первого этапа испытаний износ не был обнаружен. На некоторых тру-

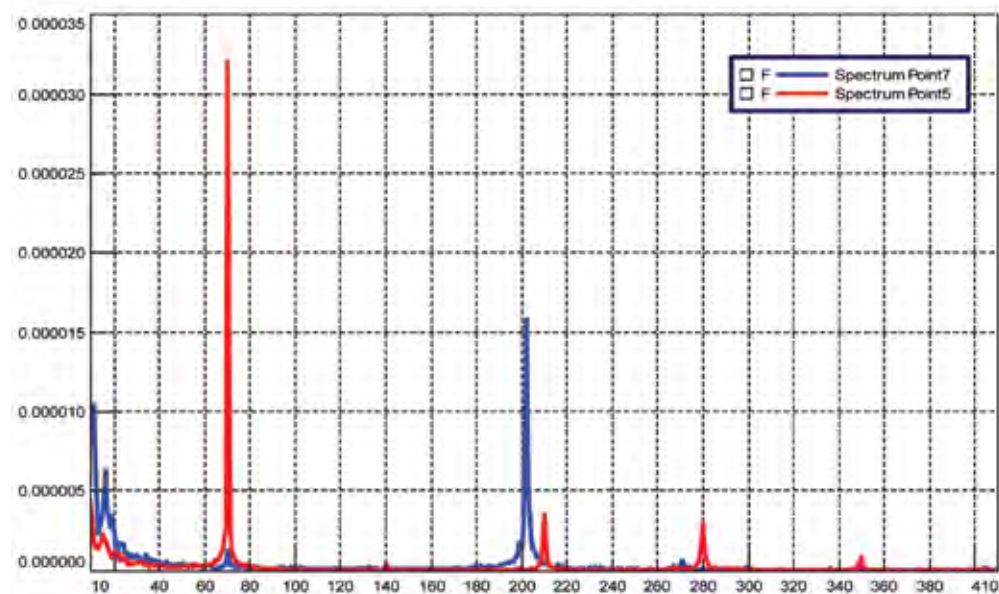
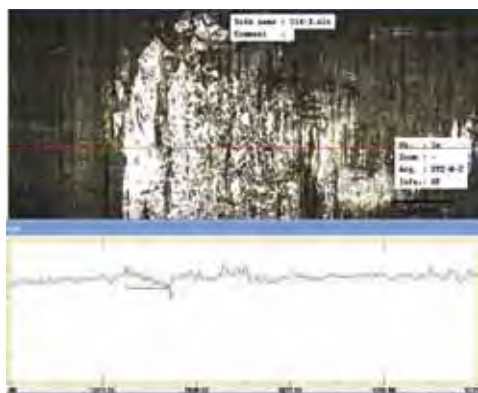


Рис. 8. Спектры перемещений середин верхних пролетов



а)



б)

Рис. 9. Участки контакта ТОТ с ДР 2 в модели 1 а) зона контакта трубы с ДР; б) зона исходной поверхности



Рис. 10. Потертость модели №8 на уровне первой ДР

бах в районе кромок ДР имелись участки с блеском, характерным для чистых металлических поверхностей, лишенных защитных пленок. В зоне, лишенной защитной пленки, наблюдалась повышенная шероховатость по сравнению с исходной поверхностью, максимальный перепад высот составляет 20 мкм, но при этом на участке с исходной структурой имеются риски от механической обработки с сопоставимой глубиной. Профилограмма одного из таких участков (под ДР 2 модели 1) приведена на рисунке 9а; на рисунке 9б приведена исходная поверхность.

В результате разборки моделей после второго этапа испытаний было обнаружено, что для трех моделей с удвоенным комплексом (3) в зоне контакта «ДР – труба» развилась начальная стадия износа. Потертость на модели №8 на уровне первой ДР (L = 456 мм, a = 5,1g, f = 200 Гц) показана на рисунке 10.

Вынос материала был определен на двух образцах, но глубина износа не превышает погрешности ее определения.

После третьего этапа испытаний виброизнос моделей с оптимизированным расположением ДР (верхний пролет 280 мм) отмечен не был при – как минимум – двукратном превышении оценочного уровня вибрации в ПГ. Для моделей с длиной пролета 721 мм была установлена граница начала износа для частоты 70 Гц, близкой к собственной частоте

те пролета. Предельный уровень амплитуды ускорений составил 2,1 g. Для пролета ТОТ 456 мм была уточнена граница начала износа, предельный уровень виброускорений составил 3,6 g.

Анализ экспериментальных результатов

Вибрационная модель ПГ (рис. 1) существенно отличается от предполагаемой конструкции ПГ БНМ как геометрическими размерами (размер трубного пучка и входной камеры, длина поперечного обтекания), так и средой, возбуждающей колебания. Поэтому необходимо оценить, какова вносимая этими отличиями погрешность в определении виброускорений ТОТ для ПГ относительно 61-трубной модели.

В поперечном потоке жидкости при доминировании турбулентного механизма возбуждения колебаний для оценки уровней СКЗ $A_{RMS}(z)$ перемещений ТОТ можно использовать формулу, приведенную в [4] и [5]:

$$\frac{A_{RMS}(z)}{d_s} = \sum_i \Phi_i(z) J_i \cdot \frac{\sqrt{2}}{16 \cdot \pi} \left(\frac{1}{Sr_i} \right)^{1.5} \frac{\rho \cdot d_s^2}{m} \left(\frac{S_F}{\Lambda_i} \right)^{0.5} \quad (4)$$

где, $\Phi_i(z)$ – форма i-й моды колебаний; Λ – логарифмический декремент колебаний i-й моды колебаний;

S_F – спектральная плотность мощности гидродинамической силы;

Sr_i – число Струхаля, посчитанное по частоте i-й моды колебаний;

ρ – плотность жидкости;

d – диаметр обтекаемой трубы;

m – погонная масса трубы;

J_i – коэффициент, учитывающий корреляцию поперечной гидродинамической силы и i-й моды колебаний, определяется по формуле:

$$J_i = \frac{\int_0^L F'(z) \cdot \Phi_i(z) dz}{\int_0^L \Phi_i^2(z) dz} \quad (5)$$

где, $F'(z)$ – распределение нормированной силы по длине пролета.

Основные отличия формулы (3) для модели и ПГ могут быть связаны с S_F , J_i , ρ .

Данные по спектральной мощности гидродинамической силы и в ПГ, и в модели отсутствуют, хотя в литературе [5] в безразмерном виде они совпадают для одинаковой геометрии пучка (одинаковой компоновки и равных шагов пучка). Пример зависимости S_F от безразмерной частоты отрыва вихрей приведен на рисунке 11.

Плотность воды при 20°C больше плотности натрия на входе в ПГ БНМ примерно на 18%, что снижает амплитуду колебаний ТОТ в ПГ БНМ.

Оценим различия коэффициента J_i . Рассмотрим только первую (преобладающую) форму колебаний и примем ее как $\sin(z)$. Интеграл в знаменателе берется по всей длине трубы и является константой, одинаковой и для модели, и для ПГ. Положим, что гидродинамическая сила действует только на участке перфорации, и профиль ее равномерный, поэтому интеграл в числителе возьмем по длине обтекаемого участка. Считаем, что скорость теплоносителя максимальна напротив отверстий перфорации и равна нулю в зоне между отверстиями (для модели – 2 отверстия, для ПГ – 4 отверстия). При одинаковой плотности распределения гидродинамической силы из-за различий в высоте обтекаемых участков интеграл в числителе (и, соответственно, коэффициент (4)) для конструкции штатного парогенератора будет оценочно в 4.5 (пролет 550 мм) и в 7 раз (пролет 817 мм) больше, чем для 61-трубной модели. То есть, СКЗ перемещений середины ТОТ может также увеличиться в 7 раз. Если пересчитать на ускорения в середине пролета, получим уровни 15-20 g. Расчетная схема для пролета 550 мм приведена на рисунке 12.

По результатам трех этапов на виброизнос наибольшие повреждения поверхности ТОТ в районе ДР имели три модели после второго этапа и три модели после третьего этапа. Следует отметить, что для моделей с длиной пролета 280 мм уровни вибрации, при которых наступает износ, не были достигнуты.

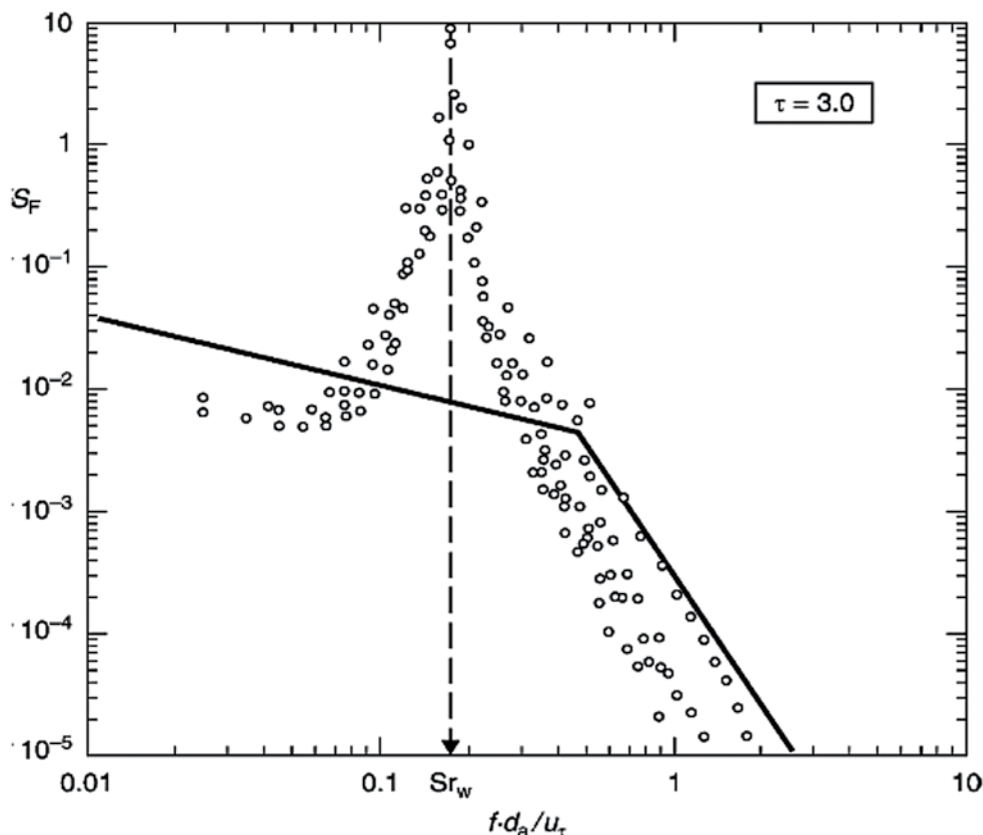


Рис. 11. Нормированная спектральная плотность мощности гидродинамической силы как функция безразмерной частоты для треугольного пучка с s/d=3 ($R_E = 10^4 - 5 \times 10^5$)

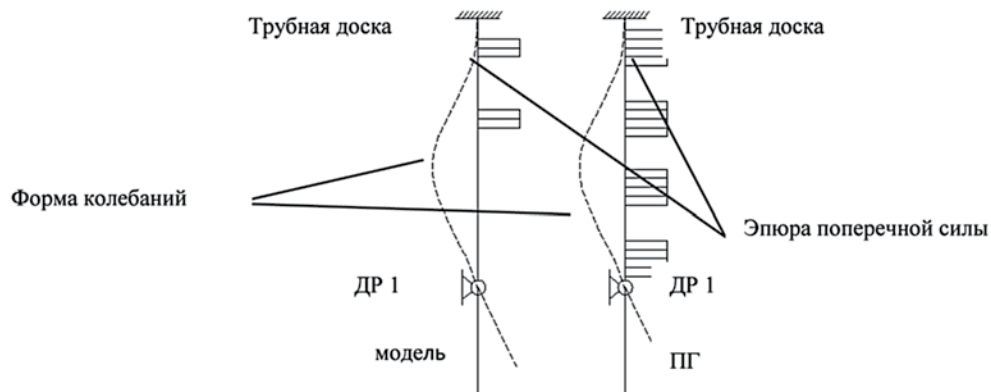


Рис. 12. Расчетная схема для коэффициента корреляции J для пролета 550 мм

Для нахождения параметра или сочетания параметров вибрации середины пролета ТОТ, контролирующего виброизнос в паре трения «ТОТ-ДР» в натрии, были построены графики зависимостей ускорения, скорости и перемещения для трех длин пролетов моделей ТОТ в испытаниях на виброизнос. На рисунках нанесены линиями уровни вибрации в 61-трубной модели (синий цвет), а также оценочный уровень колебаний в ПГ БН-1200 (пунктирная линия). Красным цветом показаны параметры вибраций моделей, имеющих износ.

По этим графикам видно, что ни для одного параметра вибраций (ускорение, скорость, перемещение) нельзя провести предельный уровень, разграничивающий область отсутствия и наличия износа. Для скорости можно провести наклонную линию разграничения между этими областями. Для перемещения и ускорения изношенные и неизношенные модели расположены вперемешку. В качестве параметров, определяющих износ, также можно взять комплексы, полученные из уравнения (1). Из рисунка 14 видно, что для длин пролетов 456 мм и 721 мм одинаковому значению комплекса (2) соответствуют как изношенные, так и неизношенные модели. Для короткого пролета ТОТ (280 мм) значение комплекса в испытаниях на виброизнос было больше, чем ожидается в ПГ БН-1200.

Аналогичный график можно получить для комплекса (3). Зависимость комплекса для трех длин пролетов ТОТ приведена на рисунке 15. Для пролетов 456 мм и 721 мм существуют зоны наличия (красный цвет) и отсутствия износа (зеленый цвет), также для этих моделей можно выделить границу начала износа. На ТОТ с пролетом 280 мм эту границу распространить нельзя, так как для короткого пролета

не были определены предельные значения комплекса скорости, при которых начинает развиваться износ. Это может быть вызвано малыми перемещениями в середине исследуемого пролета (рисунок 13а) и еще меньшими перемещениями в узлах «ТОТ-ДР», которые могут быть ниже пороговых перемещений, вызывающих износ. Для длинного и среднего пролета уровень начала износа близок к уровням вибрации в 61-трубной модели и значительно меньше ожидаемого уровня в ПГ БН-1200. При этом для пролета 280 мм ожидаемый уровень вибрации в ПГ БНМ ниже верхнего значения комплекса (3) в испытаниях на виброизнос.

Вывод

Созданный на первых двух этапах исследований на виброизнос уровень вибрации образцов был значительно ниже оценочного уровня вибрации ТОТ в штатном ПГ (виброускорения уровней 15-20 g) и близок к виброускорениям, определенным в 61-трубной модели. При этом на трех образцах была определена начальная стадия виброизноса, что можно трактовать как неудовлетворительный результат даже на уровнях виброускорений, значительно ниже возможных в ПГ БНМ. Поэтому на третьем этапе испытаний на виброизнос было принято решение проводить испытания укороченного пролета 280 мм, который может быть реализован в ПГ БНМ (вместо испытанных на первых двух этапах пролетов 721 мм и 456 мм) на участке с поперечным течением теплоносителя. Также рекомендуется снизить скорость теплоносителя в отверстиях перфорации кожуха.

Список литературы

1. В.Д. Бергункер, Новые проблемы вертикальных парогенераторов, 8-я МНТК «Обеспечение безопас-

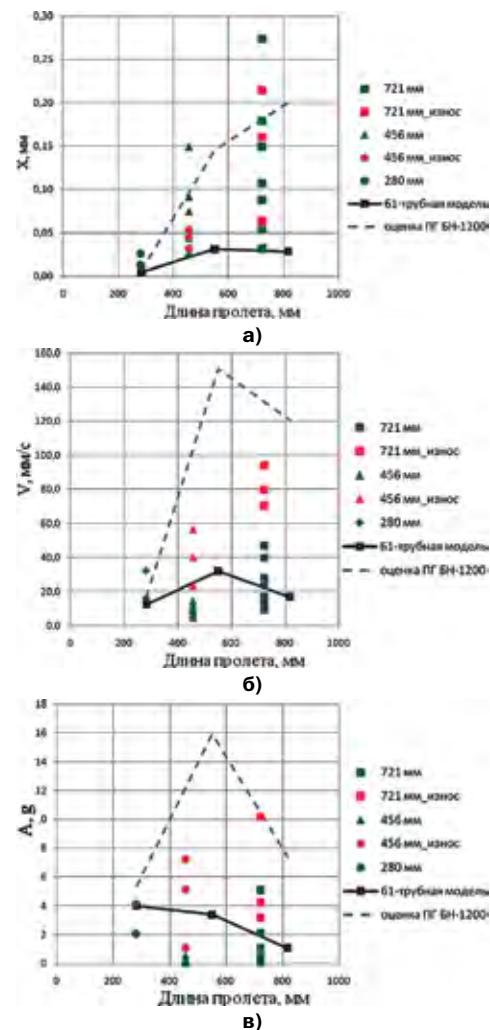


Рис. 13. Зависимости перемещения, скорости и ускорения для трех длин пролетов а) перемещение; б) скорость; в) ускорение

ности АЭС с ВВЭР», ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия, 28-31 мая 2013 г.
 2. Федоров В.Г., Додонов В.А., Соколов А.С. «Исследование вибрационного износа труб теплообменников». Доклад на советско-канадском семинаре «Исследование вибрации ВКУ (реактор-парогенератор)», Москва, 9-12 сентября 1975.
 3. Федоров В.Г., Додонов В.А., Макаров В.В. и др. «Исследование виброизноса труб парогенератора». Вопросы судостроения, 1983, вып. 33, с. 83-88.
 4. Blevins RD (1990) Flow-induced vibration, 2nd edn. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990, 410 p
 5. VDI Heat Atlas, 2st edition published, Dusseldorf, Germany, 2010, 1585 p.

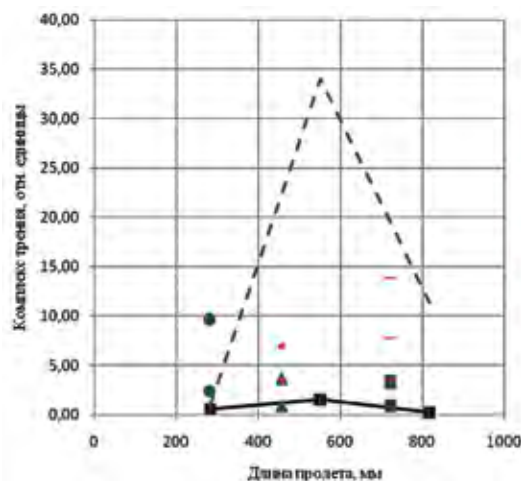


Рис. 14. Зависимость комплекса для трех длин пролетов ТОТ

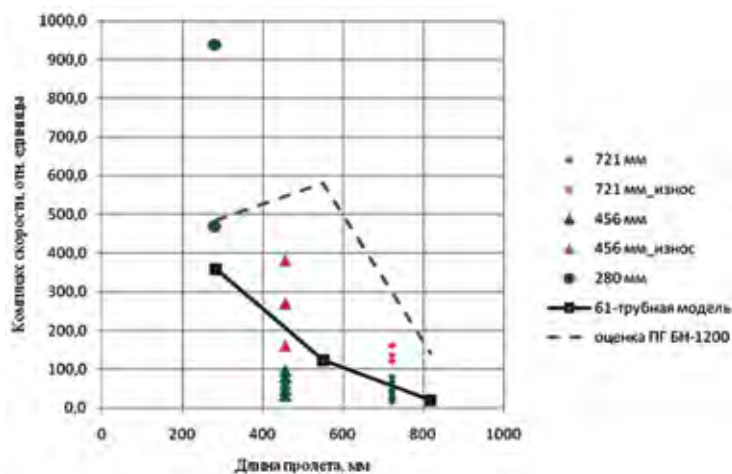


Рис. 15. Зависимость комплекса для трех длин пролетов ТОТ

Архитектура и сопровождение высокопроизводительных вычислительных комплексов

**М.А. Карпов, Л.А. Копылов, Д.Е. Мохин,
АО «ОКБМ Африкантов»**

АО «ОКБМ Африкантов» – крупный научно-производственный центр Государственной корпорации «Росатом» с полным циклом разработки, изготовления, поставки надежных, безопасных и экономичных реакторных установок стационарного и транспортного типа, оборудования и систем РУ и АЭС и их сервисного обслуживания. Одним из этапов жизненного цикла разрабатываемого на предприятии изделия является расчетно-техническое обоснование (РТО) проекта. В рамках расчетно-технического обоснования необходимо решать различные инженерные задачи, связанные с расчетом, анализом и симуляцией физических процессов.

Специфическими особенностями работ в процессе РТО проекта являются:

- большой объем генерируемых, обрабатываемых и хранимых данных (размер файлов результатов в рамках одной задачи может достигать десятков и сотен гигабайт);
- длительное время расчетов с использованием значительных вычислительных ресурсов (могут быть задействованы десятки вычислительных ядер процессоров и сотни гигабайт оперативной памяти);
- для визуализации графической информации (исходных данных для расчета, результатов расчета) могут потребоваться мощные графические ускорители;
- зачастую рабочие станции пользователей не обладают требуемыми ресурсами.

Для успешного решения больших задач в условиях многопользовательского режима работы используются высокопроизводительные вычислительные кластеры (HPC cluster). Это группа серверов (Рис. 1), функционирующая в круглосуточном режиме, на которой производится запуск ресурсоемких расчетных задач пользователей, обеспечивается хранение больших объемов данных, предоставляются ресурсы мощных графических ускорителей для визуализации графической информации.

При проектировании архитектуры вычислительного кластера необходимо учитывать специфику решаемых прикладных задач, особенности используемого прикладного программного обеспечения и уделить особое внимание характеристикам следующих функциональных подсистем:

- подсистема хранения данных – например, дисковые массивы, обеспечивающие отказоустойчивость и быстрый доступ к данным, обоснованность применения твердотельных дисков (SSD), организация многоуровневого хранения, архивного хранения и т. п.;



Рис. 1. Внешний вид вычислительного кластера

- вычислительное поле (или несколько полей), состоящее из узлов, предназначенных для запуска расчетных задач в пакетном режиме. Узлы поля могут различаться по характеристикам в зависимости от специфики решаемых задач. Одни задачи могут требовать много параллельных потоков исполнения и запускаются на множестве узлов, а другие плохо приспособлены к высокой параллельности и требуют большого объема памяти на одном узле. Например, для CAE-системы Ansys пакеты вычислительных гидродинамики (CFX) выигрывают от параллельного запуска на множестве потоков, а пакеты механики сплошных сред (Mechanical) не получают от многопоточного запуска преимуществ и, как правило, требуют много оперативной памяти и выполняются в пределах одного вычислительного узла;

- сетевая инфраструктура с высокой пропускной способностью и низкой задержкой. Наиболее широкое применение в настоящее время нашла технология InfiniBand [1] с пропускной способностью десятки гигабит в секунду. В феврале 2016 года анонсировано решение Oracle Enhanced Data Rate (EDR) InfiniBand Fabric, позволяющее создавать конвергентную сетевую инфраструктуру с пропускной способностью 100 Гбит/с;

- инструментальные (фронт-энд) серверы, предназначенные для работы с исходными данными и результатами расчетов, преимущественно в режиме наглядной графической визуализации. Эти серверы оснащаются производительными многоядерными центральными процессорами, большим объемом памяти и мощной графической подсистемой. Они обеспечивают одновременную работу нескольких пользователей с графическими интерфейсами CAE-систем;

- управляющие инфраструктурные серверы, обеспечивающие управление работой кластера;

- каналы связи для организации работы территориально распределенных пользователей;

- системы разграничения доступа и защиты информации.

При эксплуатации вычислительных кластеров сотрудникам ИТ-служб необходимо решать ряд сложных задач, связанных с поддержкой инфраструктуры.

Для управления большим количеством серверов важно предусмотреть соответствующие средства для автоматизации развертывания и обновления системного и прикладного программного обеспечения. Существуют комплексные инструменты для решения задач развертывания и поддержки серверной инфраструктуры. Одним из таких инструментов является система XCAT (Extreme Cloud Administration Toolkit) [2], обеспечивающая развертывание, массовое конфигурирование и обновление программного обеспечения серверов.

Функционирование вычислительных кластеров изначально предполагает многопользовательский режим работы на доступных пользователю серверах. Для крупных систем необходимость становится использование средств централизованного управления учетными записями пользователей. К таким средствам относятся разнообразные службы каталогов, такие как LDAP [3] и Active Directory (в составе семейства операционных систем MS Windows Server). С помощью этих инструментов можно добавлять, изменять, блокировать и удалять учетные записи пользователей в единой для всех серверов базе данных.

Для работающей в круглосуточном режиме инфраструктуры необходимо развернуть средства мониторинга состояния аппаратного и программного обеспечения. Система мониторинга должна решать следующие задачи:

- своевременное оповещение специалистов ИТ-служб (инженеров и администраторов) с целью опережающей реакции на возникающие проблемы;

- накопление статистической информации для анализа работы серверной инфраструктуры в динамике и принятия решений на основе исторических данных;

- наличие единой панели обзора всей инфраструктуры для быстрого принятия решения и поиска корневой причины возникающих проблем;

Есть множество инструментов для создания служб мониторинга, как коммерческих (проприетарных), так и с открытым исходным кодом. Задачи по оповещению и обзору всей текущей ситуации решаются, например, такими системами как Nagios [4] и Zabbix [5]. Сбор



Рис. 2. Интерфейс системы Nagios

статистики может осуществляться средствами массового сбора и накопления метрик, например, Ganglia [6], Monit [7], Cacti [8].

Система с открытым исходным кодом Nagios (Рис. 2) позволяет гибко конфигурировать параметры проверок, настраивать различные средства оповещения (электронная почта, мгновенные сообщения, SMS и др.), развертывать распределенный и отказоустойчивый мониторинг.

Система с открытым исходным кодом Ganglia (Рис. 3) позволяет в непрерывном режиме собирать множество метрик работы серверов и расширяема модулями для сбора дополнительных метрик. Статистика сохраняется в единой базе данных и веб-интерфейс позволяет отображать статистические данные в виде графиков в разных масштабах времени.

Важной проблемой в условиях многопользовательского режима на кластерах является устранение конкуренции пользователей за вычислительные ресурсы. На современных вычислительных кластерах эта проблема решается с помощью специальных систем – менеджеров распределенных ресурсов.

Основная функция таких систем – распределение вычислительных задач среди доступных вычислительных ресурсов. Примерами таких систем являются система с открытым исходным кодом Torque [9], система с открытым исходным кодом SLURM [10], HPC Job Manager [11] (входит в состав Microsoft HPC Pack). В подобных системах пользователи не напрямую запускают вычислительные программы, а ставят запуск программ в очередь менеджера вычислительных ресурсов. Планировщик менеджера вычислительных ресурсов определяет доступные для запуска ресурсы на кластере и производит отложенный запуск задач. Пользователь может отслеживать статус своих задач на кластере и видеть распределение вычислительных ресурсов.

Работа пользователя с вычислительным кластером требует от него специфических навыков взаимодействия с удаленной системой, таких как:

- работа в режиме командной строки при постановке и мониторинге состояния задач в случае отсутствия интерфейса графической оболочки у менеджера ресурсов кластера;

- использование инструментов препроцессинга и постпроцессинга САЕ-систем на удаленном рабочем столе инструментального сервера;

- работа с файлами (файлы исходных данных, результатов расчета) на хранилищах данных вычислительных кластеров.

Одной из задач сотрудников ИТ-служб, занимающихся сопровождением вычислительных кластеров, является обучение пользователей вышеперечисленным навыкам, которое обеспечивает не просто возможность работы с принципиально отличным от привычного им способа взаимодействия с прикладными системами на персональных компьютерах, но и дает им понимание особенностей такой работы, что позволяет максимально эффективно использовать все технические возможности и особенности конкретного оборудования используемых вычислительных кластеров.

В качестве вывода необходимо отметить, что на сегодняшний день планирование и сопровождение HPC-кластеров является комплексом задач, требующим от сотрудников ИТ-служб как глубоких знаний выбранной в качестве платформы операционной системы, так и квалификации в области проектирования и сопровождения сложной серверной инфраструктуры [12] и понимания специфики работы прикладных систем.

Список литературы

1. Википедия. Статья по InfiniBand: <https://ru.wikipedia.org/wiki/InfiniBand>
2. Сайт системы XCAT: <https://xcata.org/>
3. Сайт системы OpenLdap: <http://www.openldap.org/>
4. Сайт системы Nagios: <https://www.nagios.org/>
5. Сайт системы Zabbix: <http://www.zabbix.com>
6. Сайт системы Ganglia: <http://ganglia.info/>
7. Сайт системы Monit: <https://mmonit.com/monit/>
8. Сайт системы Cacti: <http://www.cacti.net/>
9. Система Torque: <http://www.adaptivecomputing.com/products/open-source/torque/>
10. Система SLURM: <http://slurm.schedmd.com/>
11. Система HPC Job Manager: <https://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ff919691.aspx>
12. Немет Эви, Снайдер Гарт, Хейн Трент, Уэйли Бэн. Unix и Linux: руководство системного администратора. «И.Д. Вильямс», 2012

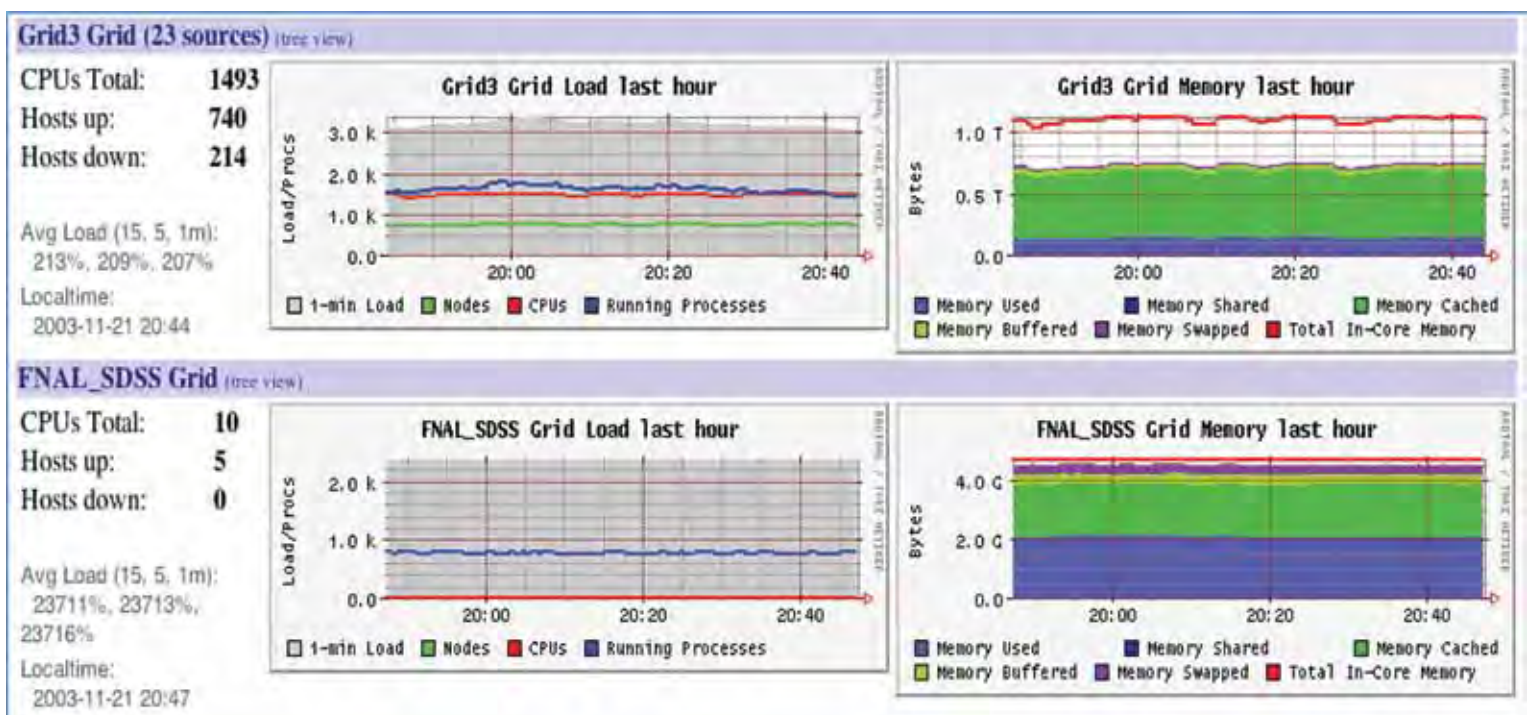


Рис. 3. Интерфейс системы Ganglia

Разработка монолитной интегральной схемы спецстойкого переключателя СВЧ диапазона

М.Ю. Кошельчук
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Данная работа посвящена разработке монолитной интегральной схемы спецстойкого переключателя СВЧ диапазона (МИС переключателя СВЧ диапазона), предназначенной для коммутации СВЧ каналов приборов автоматки и навигационных приемников ГЛОНАСС. МИС переключателя СВЧ диапазона представляет собой однополюсный переключатель на два направления.

МИС переключателя СВЧ диапазона предназначена для замены импортной микросхемы, используемой для коммутации сигналов бортовых навигационных приемников ГЛОНАСС, работающих с использованием нескольких антенн (для компенсации пространственных маневров изделий), а также для переключения СВЧ-каналов бортовых приборов автоматки. В настоящий момент отечественные аналоги данной микросхемы отсутствуют.

Для разработки МИС переключателя СВЧ диапазона необходимо решить следующие задачи:

- разработка схмотехнического представления МИС переключателя СВЧ диапазона;
- разработка топологического представления МИС переключателя СВЧ диапазона;
- проведение исследований МИС переключателя СВЧ диапазона в нормальных климатических условиях и в диапазоне температур.

Функциональная схема МИС переключателя СВЧ диапазона представлена на рисунке 1.

МИС переключателя имеет два коммутируемых выходных плеча. Каждое выходное плечо состоит из двух последовательно включенных транзисторов, работающих в ключевом режиме. Каждое выходное плечо МИС переключателя является поглощающим, т. е. отражения сигнала от выхода, не подключенного к общему входу (Common), не происходит. Управление переключением осуществляется с помощью подачи сигналов КМОП уровня на входы (Ctrl1 и Ctrl2).

При проектировании электрической схемы и топологии МИС переключателя СВЧ диапазона вместо идеальных пассивных элементов МИС использовались стандартные физикотопологические модели элементов, встроенных в библиотеку моделей САПР. Разработка топологического представления МИС велась одновременно с разработкой его электрической схемы. Такой подход является специфичным для схем данного диапазона частот. САПР обеспечивает расчет номинальных значений пассивных элементов по заданным физикотопологическим параметрам моделей. Далее топологические размеры элементов цепей согласования этой схемы оптимизировались

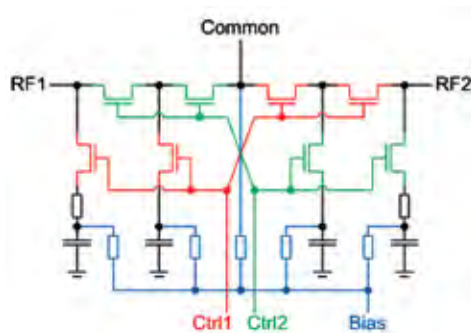


Рис. 1. Функциональная схема МИС переключателя СВЧ диапазона

для получения параметров МИС переключателя СВЧ диапазона, заданных в исходных требованиях. При моделировании в схему были добавлены элементы, характеризующие топологию. При разработке топологического представления МИС переключателя СВЧ диапазона были применены следующие решения для достижения требуемых характеристик МИС переключателя СВЧ диапазона:

- добавлены катушки индуктивности на входе и выходах для согласования на верхней границе рабочего диапазона и уменьшения прямых потерь за счет отражения. При этом влияние на другие параметры и на нижней границе рабочего диапазона незначительно;
- минимизирована длина радиочастотных шин, что минимизировало прямые потери при прохождении сигнала;
- минимизировано количество пересечений между радиочастотными шинами и другими

линиями разводки, что уменьшило емкостную связь между ними и улучшило развязку между каналами;

- были использованы сквозные отверстия, что позволило уменьшить индуктивность по земле и, следовательно, повысить развязку между каналами.

Топологическое представление МИС переключателя СВЧ диапазона приведено на рисунке 2.

По результатам моделирования все параметры МИС переключателя СВЧ диапазона удовлетворяют требованиям ТЗ. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Изготовление МИС переключателя СВЧ диапазона проводилось ОАО «НПП Салют». После изготовления были проведены измерения МИС переключателя СВЧ диапазона на кристалле и в корпусе 5119.16-А, результаты измерений приведены в таблице 2.

По результатам исследований кристаллов МИС переключателя СВЧ диапазона было выяснено, что они удовлетворяют требованиям ТЗ, при этом исследования в корпусе

5119.16-А МИС переключателя СВЧ диапазона показали, что параметр «Развязка между каналами» во всем диапазоне рабочих частот и параметр «Прямые потери» на частотах выше 3 ГГц не удовлетворяют требованиям ТЗ. Для подтверждения влияния корпуса на данные параметры был проведен электромагнитный анализ корпуса, в котором расположение портов соответствует физическому соединению корпуса с кристаллом и корпуса с печатной платой. Моделирование

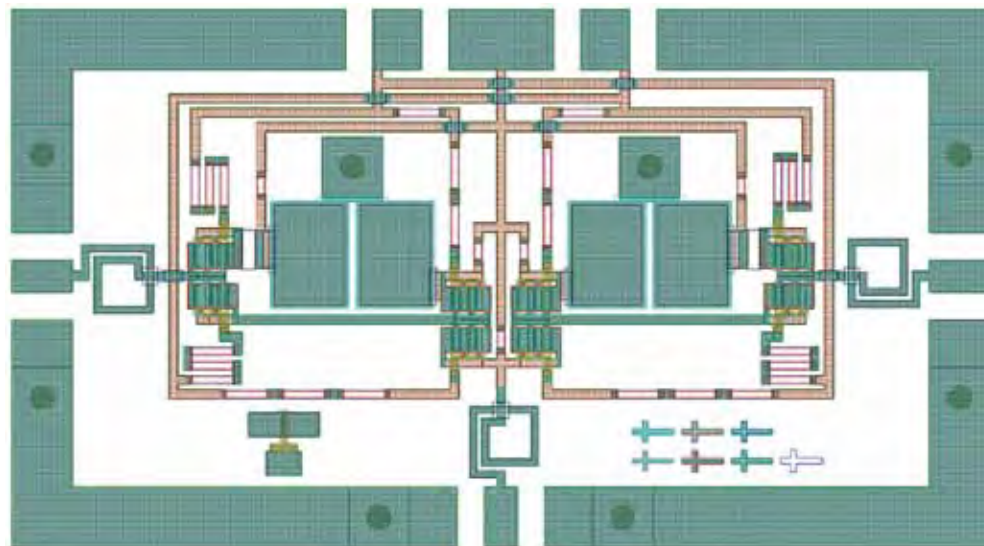


Рис. 2. Топологическое представление МИС переключателя СВЧ диапазона

Таблица 1. Результаты моделирования МИС переключателя СВЧ диапазона

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Обозначение параметра	Результаты моделирования
КСВН на входе/выходах	$K_{стU}$	1,7
Прямые потери, дБ	$\alpha_{пр}$	1,3
Развязка между каналами, дБ	$\alpha_{кан}$	47,3
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики, мВт	$P_{лин}$	473
Время переключения, нс	$t_{прк}$	1,7

Таблица 2. Результаты измерений МИС переключателя СВЧ диапазона в корпусе 5119.16-А и на пластине

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Обозначение параметра	Результаты измерений в корпусе 5119.16-А	Результаты измерений на пластине
КСВН на входе/выходах	$K_{стU}$	1,9	1,8
Прямые потери, дБ	$\alpha_{пр}$	3,2	1,8
Развязка между каналами, дБ	$\alpha_{кан}$	20	50
Время переключения, нс	$t_{прк}$		9
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики, мВт	$P_{лин}$		398

проводилось методом конечных элементов в диапазоне частот от 0,1 до 10 ГГц.

После этого было проведено моделирование влияния корпуса на параметры МИС переключателя СВЧ диапазона. Для этого проводилось моделирование схемы, состоящей из результатов измерений МИС переключателя СВЧ диапазона на кристалле в виде файла S-параметров, разварочной проволоки и результатов электромагнитного анализа корпуса 5119.16-А в виде файла S-параметров. По результатам моделирования было выяснено, что несоответствие требованиям ТЗ параметров «Прямые потери» и «Развязка между каналами» объясняется влиянием корпуса 5119.16-А.

Для улучшения характеристик МИС переключателя СВЧ диапазона и обеспечения требований ТЗ во всей рабочей полосе частот необходима разработка новой конструкции корпуса, т. к. другие отечественные корпуса, позволяющие обеспечить выполнение требований ТЗ, отсутствуют.

После проведенных исследований была разработана новая конструкция корпуса и проведен ее электромагнитный анализ. По результатам моделирования были получены следующие результаты:

- прямые потери выводов корпуса в рабочей полосе частот не превышают 0,015 дБ;
- КСВН в рабочей полосе частот не превышает значения 1,05;
- развязка между сигнальными выводами корпуса в рабочей полосе частот составляет более 65 дБ.

Таким образом, разработанная конструкция корпуса позволяет обеспечить требуемые характеристики МИС переключателя СВЧ диапазона во всей рабочей полосе частот.

Размещение контактных площадок, монтажной площадки и ее соединение с металлизированным основанием показаны на рисунке 3.

После разработки конструкции нового корпуса было проведено моделирование влияния корпуса на параметры МИС переключателя СВЧ диапазона по схеме, описанной выше. Сравнение результатов моделирования измерений кристалла МИС переключателя СВЧ диапазона с новым корпусом и результатов измерений кристалла приведены на рисунках 4–7.

Из результатов моделирования влияния разработанного корпуса на параметры МИС переключателя СВЧ диапазона можно сделать следующие выводы:

- прямые потери в рабочей полосе частот составляют не более 1,7 дБ;
- развязка между каналами в рабочей полосе частот составляет не менее 50 дБ;
- КСВН в рабочей полосе частот составляет не более 1,8.

Параметры «Время переключения» и «Верхняя граница линейности амплитудной характеристики» не зависят от типа корпуса и составляют 9 нс и 398 мВт соответственно. Таким образом, разработанная конструкция корпуса позволяет обеспечить параметры МИС переключателя СВЧ диапазона, установленные в ТЗ.

ВЫВОДЫ

В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты.

Разработаны схемотехническое и топологическое представления МИС переключателя СВЧ диапазона.

Проведены исследования МИС переключателя СВЧ диапазона в нормальных климатических условиях и в диапазоне температур.

По результатам исследований установлено, что все параметры, не удовлетворяющие требованиям ТЗ в корпусном исполнении, могут быть улучшены путем изменения конструкции корпуса. На основе данных исследований были разработаны требования к электрофизическим параметрам корпуса. На основе данных требований была разработана конструкция корпуса и проведен ее электромагнитный анализ, что позволило результатами моделирования подтвердить параметры МИС переключателя СВЧ диапазона в новом корпусе.

В результате МИС переключателя СВЧ диапазона признаны полностью соответствующими требованиям ТЗ при использовании в бескорпусном исполнении и при использовании новой конструкции корпуса.

Список литературы

1. Razavi, B. – Design of analog CMOS integrated circuit / B. Razavi – McGRAW-HILL international edition, 2001. – 684 с.



Рис. 3. Размещение контактных площадок, монтажной площадки (слева) и соединение металлизированного основания и монтажной площадки корпуса (справа)

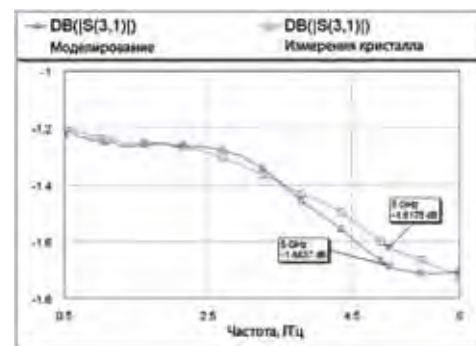


Рис. 4. Передаточная характеристика открытого канала

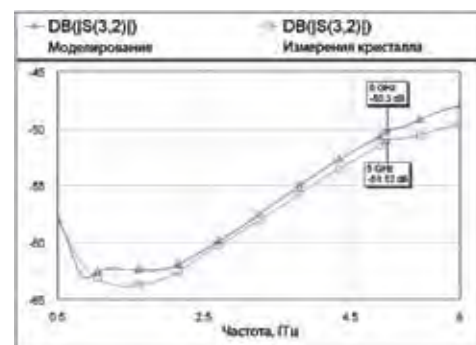


Рис. 5. Передаточная характеристика между открытым и закрытым каналами

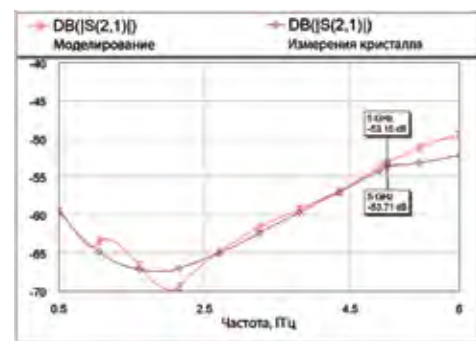


Рис. 6. Передаточная характеристика закрытого канала

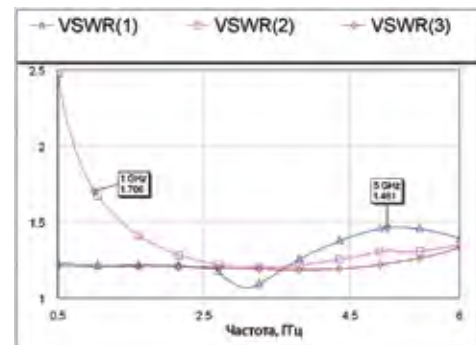


Рис. 7. КСВН открытого и закрытого каналов МИС переключателя СВЧ диапазона

Модель интегрального варактора А-типа

А.С. Данилов,
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

В настоящее время существует потребность в отечественной элементной базе, в частности, в интегральных микросхемах. Например, генератор, управляемый напряжением, используется в разрабатываемых на нашем предприятии приёмниках ГЛОНАСС, а при проектировании интегрального ГУН нужны интегральные перестраиваемые конденсаторы (варакторы). Варакторы могут быть реализованы на основе диодов, транзисторов или МОП – структур. В работе [1] показано, что варакторы на основе диодов проигрывают по всем характеристикам транзисторным варакторам. В работе [2] показано, что при использовании в ГУН варакторов на основе МОП-структур снижается фазовый шум и ток потребления по сравнению с использованием варакторов на основе транзисторов (I-типа).

Ввиду различных сложных физических эффектов, возникающих при субмикронных проектных нормах, проектирование электрической схемы должно выполняться на компьютере с использованием моделей элементов. В используемых на нашем предприятии симуляторах есть только одна модель варакторов, которая называется «mosvar». У неё есть существенные недостатки (например, нельзя задавать плотность поверхностных состояний на границе раздела диэлектрик-полупроводник), что не позволяет в некоторых случаях добиться соответствия модели измеренным данным.

Чтобы предсказывать характеристики устройства ещё до проведения измерений, необходимо иметь модель, основанную на физике полупроводников, которая при указании профиля легирования и геометрических размеров выдавала бы правдоподобный результат. А при измерениях уже реальных структур имела бы возможность корректировки, чтобы подстроиться под любой техпроцесс и дать разработчику свободу самостоятельного выбора формы и размеров МОП структуры при компьютерном проектировании.

Итак, задача исследований сформулирована следующим образом: разработать эквивалентную схему и алгоритм модели варактора А-типа и реализовать разработанный алгоритм на языке verilogAMS, интегрировать полученную модель в САПР для проектирования ИС. Оптимизировать быстродействие, определить границы применимости модели и обеспечить её стабильность в этих границах, провести эксперимент.

МОП-структура показана на рисунке 1 слева, это и есть варактор А-типа. А-тип означает, что структура никогда не входит в режим инверсии на высоких частотах.

МОП-структура представляет собой две последовательно включенных ёмкости C_{ox} и C_d . Параллельно с C_d следует подключить ёмкость C_{sfe} , отвечающую за эффективную плотность поверхностных состояний на границе диэлектрик/полупроводник. Последовательно с этими ёмкостями будет включено сопротивление затвора R_g и переменное сопротивление толщи полупроводника R_b . Параллельно к получившейся цепочке следует

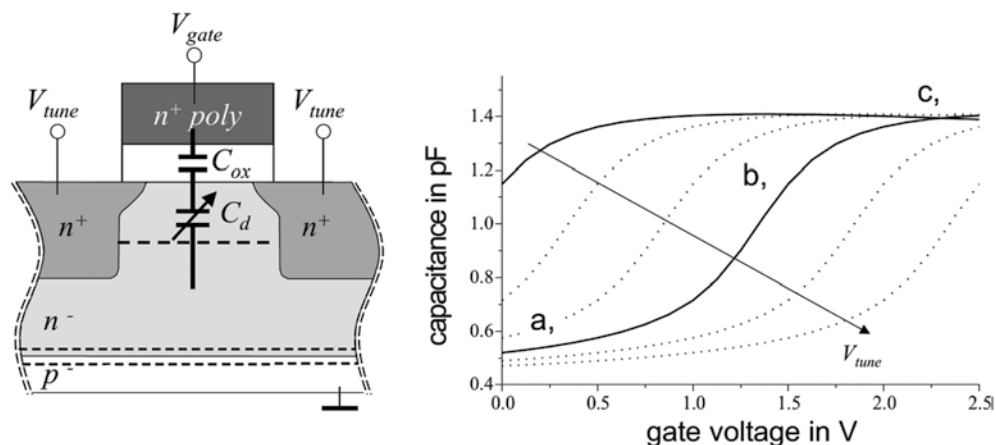


Рис. 1. Профиль МОП структуры с n-типом легирования (слева) и вольт-фарадная характеристика такой структуры (справа)

подключить ёмкость C_{met} , представляющую собой паразитную ёмкость с металла, в котором выполнено подключение к электроду затвора G, на металл, в котором выполнено подключение к электроду полупроводника B. Схема показана на рисунке 2.

Для МОП структуры с одним типом легирования полупроводника в разных статьях существуют формулы, связывающие ёмкость C_d и поверхностный потенциал полупроводника Ψ_s . Для компьютерного моделирования нужна зависимость заряда от напряжения, а не ёмкости от Ψ_s . Заряд, в свою очередь, является первообразной от ёмкости C_d по Ψ_s , а также заряд при $\Psi_s = 0$ равен нулю [3, стр. 383] (это определяет константу интегрирования). То есть, можно построить зависимость C_d от Ψ_s , проинтегрировать результат по Ψ_s и, зная связь заряда, напряжения и Ψ_s [5, стр. 808], построить зависимость объёмного заряда полупроводника от приложенного напряжения. Затем, имея массив рассчитанных значений заряда и соответствующего напряжения, находить ближайшее рассчитанное напряжение к подаваемому на устройство и путём интерполяции получать заряд.

Введём следующие обозначения:

$$vt = \frac{1}{k \cdot T}, Y = \frac{\Psi_s}{vt}, \Psi_b = vt \cdot \ln\left(\frac{nn_0}{ni}\right) \quad (1)$$

- k – постоянная Больцмана;
- q – заряд электрона;
- T – температура;
- ni – собственная концентрация носителей в кремнии;
- nn_0 – концентрация легирующей примеси.

В соответствии с [6] ёмкость для $\Psi_s < 0$ запишем как:

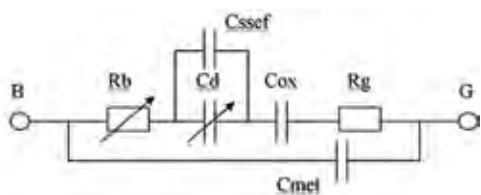


Рис. 2. Эквивалентная схема интегральной МОП структуры

$$C(Y) = \frac{CFB}{F(Y)} \cdot \left(1 - e^{-Y} + KD \cdot e^{-\frac{(-2 \cdot \Psi_b + KEG)}{vt}} \cdot \left(\frac{1}{1 + \Delta(Y)} \right) \cdot (HAC \cdot (e^{-Y} - 1) \cdot \Delta(Y) - 10^{LAC \cdot Y}) \right) + C_{sfe} \quad (2)$$

CFB – ёмкость в состоянии плоских зон ($\Psi_s=0$);

$F(Y)$ – формула [6, формула 3];

$\Delta(Y)$ – формула [6, формула 8].

Подгоночные параметры:

KD – влияет как HAC и LAC вместе взяты, удобен в оптимизации вместо них;

KEG – коррекция уровня Ферми;

HAC – коррекция реакции инверсионного слоя на переменный сигнал;

LAC – учёт вертикальной неоднородности легирования вблизи окисла.

Для $\Psi_s > 0$ ф. 2 можно упростить (экспериментальный результат):

$$C(Y) = \frac{CFB}{F(Y)} \cdot (e^{-Y} - 1) + C_{sfe} \quad (3)$$

Используя формулы из [5, стр. 808] можно записать, что

$$V(\Psi_s(i)) = -EG/2.0 - \chi + \Psi_b + \Psi_m + \frac{QQ(\Psi_s(i))}{COX} + \Psi_s(i) \quad (4)$$

χ – электронное сродство;

Ψ_m – работа выхода из металла;

Eg – ширина запрещённой зоны в кремнии;

$\Psi_s(i)$ – i -ое значение поверхностного потенциала Ψ_s ;

$QQ(\Psi_s(i))$ – i -ое значение первообразной по Ψ_s от ф.2 и ф.3, получается численным интегрированием по формуле Ньютона-Симпсона.

В итоге имеем зависимость заряда ($QQ(\Psi_s(i))$) от напряжения ($V(\Psi_s(i))$) на ёмкости C_d . Расчёт COX , nn_0 и CFB здесь опущен, так как он соответствует [3]. C_{sfe} – это производная от соответствующего заряда по Ψ_s , заряд рассчитывается так, как изложено в [4]. C_{met} определяется экспериментально. R_g рассчитывается так же, как в [7]. R_b рассчитывается как сопротивление квадрата толщи проводника с толщиной, зависящей от ширины ОПЗ, которая определяется по [5, ф.22, ф.24] в зависимости от приложенного напряжения.

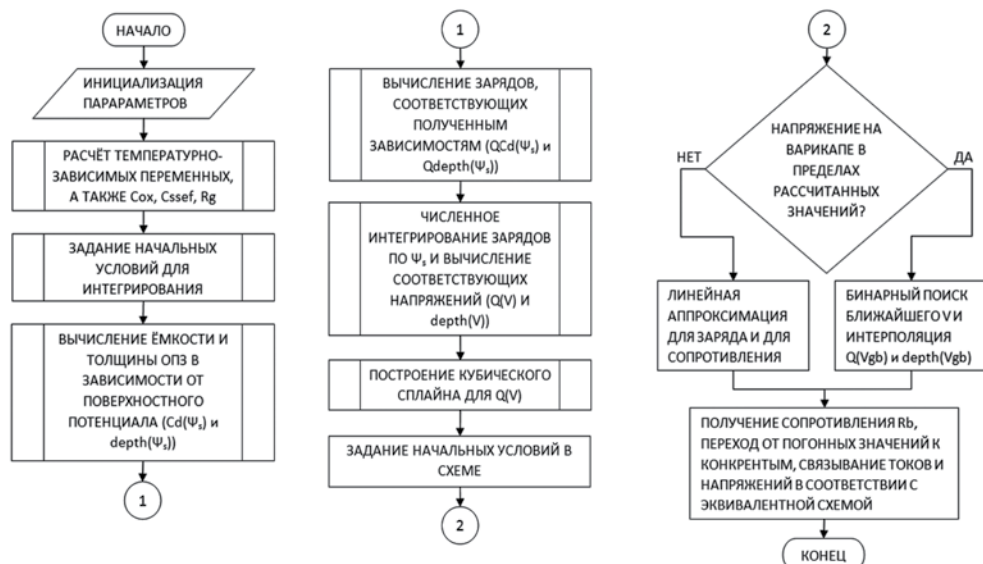


Рис. 3. Блок-схема разработанного алгоритма

Результат умножается на коэффициент формы реальной структуры, определяемый экспериментально. Блок-схема алгоритма показана на рисунке 3.

В verilogAMS есть возможность проводить вычисления до запуска симуляции. То есть в модели что-то вычисляется, а потом, например, запускается временной анализ, который использует вычисленные на предыдущем этапе значения как данность. Таким образом, сплайн $Q(V)$ формируется до запуска симуляции. В процессе симуляции выполняется лишь двоичный поиск ближайшего к текущему значения напряжения из рассчитанных массивов и вычисляется один полином третьего порядка (для заряда) и один полином первого порядка (для сопротивления). Также применено нормированное на количество точек Pts логарифмическое свипирование Ψ_s , так как при $\Psi_s=0$ график $C(\Psi_s)$ имеет максимальную крутизну. При вычислении NI использованы некоторые данные для кремния, которые были рассчитаны в математическом пакете. Алгоритм Гаусса для построения сплайна был адаптирован к текущей задаче, что позволило уменьшить сложность каждой итерации во много раз. Всё это позволило достигнуть производительности, которая при $Pts=100$ в одинаковых условиях равна производительности модели «mosvar». При $Pts=600$ (обеспечивает точную вторую производную по заряду) производительность хуже на 60%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На языке verilogAMS был написан код представленного алгоритма и интегрирован в САПР Cadence. Были созданы тестовые структуры варактора A-типа, изготовлены и измерены измерителем ёмкости. Зная параметры техпроцесса и геометрические размеры, при небольшой оптимизации специально введённых подгоночных параметров было достигнуто совпадение вольт-фарадной характеристики с относительной погрешностью менее 1%. Результат показан на рисунке 4.

Так как в зависимости от температуры рассчитываются такие параметры как n_i и E_g , получена теоретическая температурная зависимость. Обеспечена стабильная работа модели в диапазоне температур от минус 60 до плюс 125°C, и при концентрациях $[1.0E14*1.0E6:1.0E19*1.0E6]1/m^3$. Температуры обусловлены военным диапазоном, а концентрации – от весьма слаболегированных полупроводников до почти вырожденных.

ВЫВОДЫ

Целью данной работы было создание модели интегрального варактора A-типа. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- разработана эквивалентная схема и алгоритм модели варактора A-типа;
 - разработанный алгоритм реализован на языке verilogAMS, модель интегрирована в САПР для проектирования ИС;
 - оптимизировано быстродействие, определены границы применимости модели и обеспечена стабильность модели в границах её применимости;
 - проведён эксперимент, в модель добавлены подгоночные параметры для возможности моделирования нестандартных устройств
- Так как модель точна, стабильна, оттестирована и работает в диапазоне температур от минус 60 до плюс 125°C, она уже используется при разработке интегральных схем.

Благодаря нескольким решениям удалось добиться весьма высокого быстродействия. Более того, пользователь модели имеет сво-

боду сам решать, что ему нужно на данный момент: производительность или точность.

Как перспективные направление для модификации модели можно указать:

- добавление в модель возможности для пользователя указывать произвольный профиль легирования;
- уточнение модели варактора для моделирования в диапазоне температур по результатам исследований тестовых структур;
- уточнение модели варактора для моделирования воздействия спецфакторов.

Работа выполнена в соответствии с поставленной задачей. Полученный результат не только может конкурировать с моделью «mosvar», но и превосходит её по возможностям в достижении высокой точности моделирования.

Список литературы

1. Marc Tiebout – Low Power VCO Design in CMOS / Marc Tiebout – Springer Series in advanced microelectronics, 20 Low Power VCO Design in CMOS, 2006 – 128 с.
2. Pietro Andreani and Sven Mattisson, On the Use of MOS Varactors in RF VCO's. / Pietro Andreani and Sven Mattissonsw – IEEE journal of solid-state circuits, vol. 35, no. 6, June 2000, с. 905-910.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. / Зи С. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
4. Старосельский, В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие / В.И. Старосельский – М.: Высшее образование; Юрайт – Издат, 2009. – 463 с. – (Основы наук).
5. R. Lindner, Semiconductor surface varactor / R. Lindner – The Bell system technical journal, vol. 41, no. 3, May 1962, с. 803 – 831.
6. J.R. Brews, An improved high – frequency MOS capacitance formula / J.R. Brews – Journal of applied physics, vol. 45, no. 3, March 1974, с.1276-1279.
7. BSIM group, BSIM0lv4.4 MOSFET model user's manual / BSIM group – Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California, Berkeley, CA 94720, December 2010, 121 с.

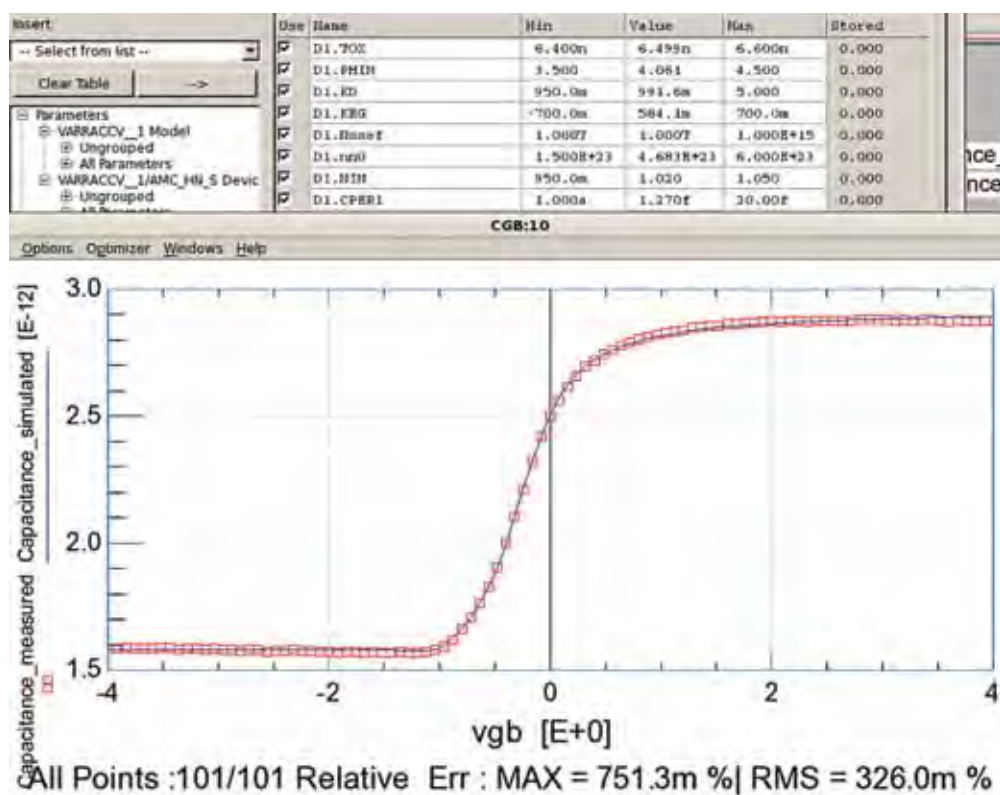


Рис. 4. Результат эксперимента. Маркером показаны измерения, линией – моделирование

Разработка и внедрение процесса осаждения тонких пленок нитрида кремния для изготовления МИМ-конденсаторов

**Н.С. Шишкина, А.О. Шишкин
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»**

Одним из факторов, обеспечивающих надежность аналоговых и радиочастотных схем в целом, является надежность входящих в состав схемы пассивных и активных элементов. К наиболее важным пассивным элементам аналоговых и радиочастотных схем относятся 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.).

Конденсаторы, используемые в аналоговых и радиочастотных схемах, можно разделить на два типа: встречно-штыревые и плоскопараллельные (МИМ¹-конденсаторы). По сравнению со встречно-штыревыми МИМ-конденсаторы характеризуются большей удельной емкостью и высокой воспроизводимостью параметров как по пластине, так и от пластины к пластине, что является определяющим фактором при производстве СБИС, содержащих аналоговые и радиочастотные блоки.

Таким образом, исследование и разработка процесса изготовления МИМ-конденсаторов с большой удельной емкостью, которые способствуют увеличению степени интеграции и повышению надежности изготавливаемых спецстойких аналоговых и радиочастотных схем с проектными нормами 0,35 мкм, является актуальной задачей.

Известно, что емкость МИМ-конденсатора с фиксированной площадью прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости материала между его обкладками и обратно пропорциональна толщине диэлектрика между обкладками. Поэтому с точки зрения увеличения удельной емкости МИМ-конденсаторов необходимо применять материалы с высокой относительной диэлектрической проницаемостью и уменьшать толщину диэлектрика между обкладками.

В данной работе в качестве диэлектрика МИМ-конденсаторов был выбран нитрид кремния (SiN_x) в связи с его высокой относительной диэлектрической проницаемостью и полной совместимостью с технологией производства КМОП СБИС. Традиционно пленки нитрида кремния получают высокотемпературным осаждением (≈700°C), однако использование их при формировании МИМ-конденсаторов невозможно. Это связано с тем, что МИМ-конденсаторы формируются в топологических слоях, содержащих шины алюминиевой металлизации, температура плавления которых (≈660°C) является ограничением температурных режимов тех-

нологических операций на металлизационной части маршрута изготовления СБИС [1].

Целью настоящей работы является разработка процесса низкотемпературного осаждения тонких пленок SiN_x, характеризующихся высокой равномерностью осаждения по толщине, хорошей адгезией к металлическим слоям, коэффициентом преломления в диапазоне ≈(1,92±0,05), низким содержанием водородных связей, которые будут использоваться для изготовления плоскопараллельных МИМ-конденсаторов.

В пленках SiN_x наряду с основными связями Si-N присутствуют связи N-H, N-H₂, а также связи Si-H, которые, отдавая водород, могут приводить к деградации изделий [2]. Учитывая информацию зарубежных источников, разработать процесс осаждения пленок SiN_x с полным отсутствием связей N-H, N-H₂ и Si-H не представляется возможным [3-7]. Однако эксперименты, проведенные в настоящей работе, показали, что возможно осаждение тонких пленок SiN_x с пониженным содержанием связей N-H, N-H₂ и Si-H.

Таким образом, новизна работы заключается в разработке процесса осаждения SiN_x для изготовления МИМ-конденсаторов, который позволит минимизировать наличие в пленках как связей N-H, N-H₂, так и связей Si-H, которые, отдавая водород, могут приводить к деградации изделий [1].

Научная значимость работы заключается в представлении вероятных механизмов колебаний связей Si-N, которые объясняют стабильность коэффициента преломления пленок SiN_x при изменении содержания в них связей N-H и Si-H.

Методика эксперимента

В ходе проведения исследований применялись следующее оборудование и материалы:

1) установка кластерная вакуумная осаждения диэлектриков;

2) установка контроля толщины диэлектрических и поликремниевых слоев;

3) ИК-спектрометр с преобразованием Фурье для качественного и количественного анализа состава осажденных слоев;

4) прецизионный анализатор параметров полупроводников, зондовая станция для определения емкости конденсатора и пробоя тонких пленок SiN_x;

5) аргон (Ar) с содержанием основного вещества не менее 99,9997%;

6) моносилан (SiH₄) с содержанием основного вещества не менее 99,999%;

7) азот (N₂) с содержанием основного вещества не менее 99,9999%;

8) аммиак (NH₃) с содержанием основного вещества не менее 99,999%;

9) углерода тетрафторид (CF₄) с содержанием основного вещества не менее 99,997%;

10) азота закись (N₂O) с содержанием основного вещества не менее 99,9994%.

Осаждение слоев SiN_x проводилось в реакторе для химического осаждения из газовой фазы с холодной стенкой и плоскопараллельными электродами, на пластинах объемного кремния р-типа ориентации <100>, диаметром 150 мм, с одним базовым срезом длиной (57,5±2,5) мм.

В дальнейшем на полученных образцах проводились эллипсометрические и спектроскопические измерения. Толщина и показатель преломления SiN_x измерялись

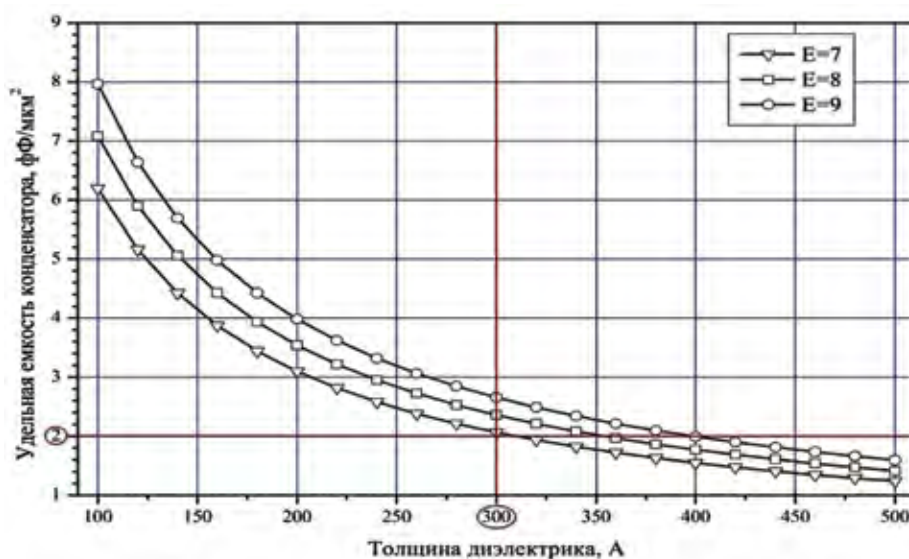


Рис. 1. Зависимость удельной емкости конденсатора от толщины диэлектрика при разных значениях относительной диэлектрической проницаемости

¹ МИМ – структура «металл-изолятор-металл»

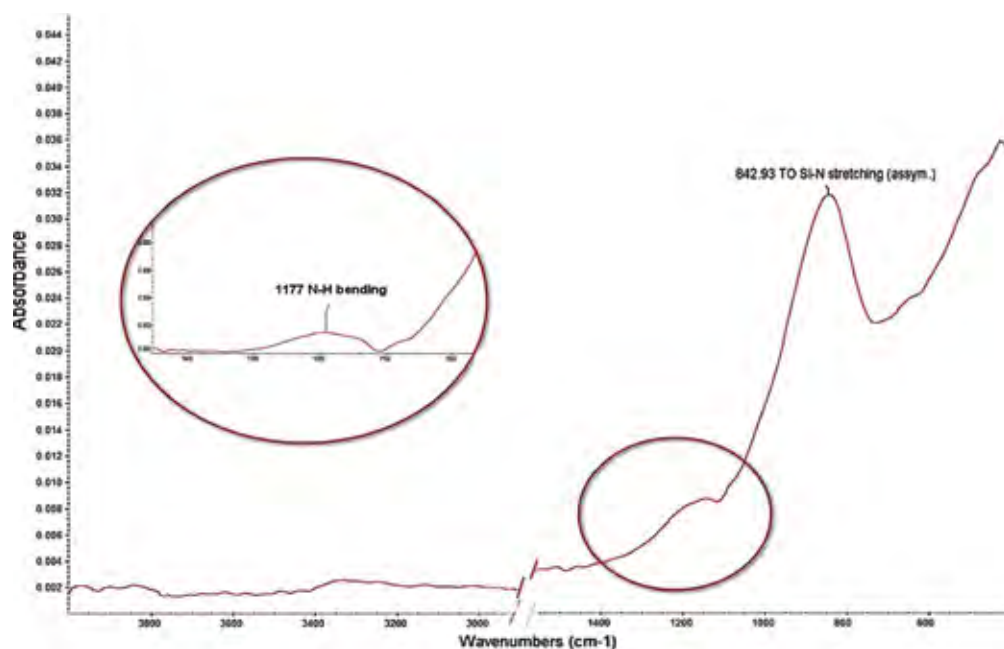


Рис. 2. ИК-спектр пленки SiN_x толщиной ≈150 Å

методом эллипсометрии. Качественный состав пленок определялся методом ИК-Фурье спектрального анализа в диапазоне (400 – 4000) см⁻¹.

На основе пленок SiN_x изготавливались тестовые образцы МИМ-конденсаторов, которые тестировались с использованием прецизионного анализатора параметров полупроводников и зондовой станции для определения емкости и напряжения пробоя.

Полученные в результате измерений данные обрабатывались согласно методам математической статистики.

Результаты

Удельная емкость МИМ-конденсаторов согласно требованиям к проектированию аналоговых и радиочастотных схем должна составлять не менее ≈2 фФ/мкм², а напряжение, которое диэлектрик конденсатора выдерживает до пробоя, должно составлять не менее ≈7 В.

На рисунке 1 представлена зависимость удельной емкости конденсатора от толщины диэлектрика при разных значениях относительной диэлектрической проницаемости. Согласно рисунку 1 для обеспечения удельной емкости конденсатора не менее ≈2 фФ/мкм² необходимо, чтобы толщина диэлектрика между обкладками МИМ-конденсатора составляла не более ≈300 Å.

Кроме того, для обеспечения напряжения пробоя не менее ≈7 В необходимо, чтобы толщина диэлектрика между обкладками МИМ-конденсатора составляла не менее ≈140 Å.

Таким образом, необходимо разработать процесс осаждения нитрида кремния, толщина которого находится в диапазоне ≈(140-300) Å, причем приоритетной задачей является уменьшение толщины SiN_x.

Стандартные пленки SiN_x толщиной ≈5000 Å, которые используются в маршруте изготовления схем в качестве защитных слоев, характеризуются достаточно высокой скоростью осаждения (до ≈140 Å/с), поэтому основной задачей при разработке процесса осаждения тонких пленок SiN_x является замедление скорости химической реакции.

В связи с этим для выявления факторов, способных замедлить скорость осаждения SiN_x, было исследовано влияние варьируемых в определенных диапазонах параметров на характеристики пленок [8].

Установлено, что на уменьшение скорости осаждения влияют: увеличение расхода азота, межэлектродного расстояния, мощности и давления, а также уменьшение расхода моносилана и аммиака. Кроме того, скорость осаждения уменьшается при разбавлении реакционной смеси аргоном, однако при этом увеличивается неравномерность пленок по толщине и коэффициент преломления. Также проведенные эксперименты показали, что одновременное изменение мощности и давления приводит к резкому увеличению неравномерности.

Учитывая тенденции изменения параметров и данные проведенных экспериментов, получен режим формирования тонких пленок SiN_x с низкой скоростью осаждения.

Параметры разработанного режима осаждения SiN_x следующие:

- 1) давление 667 Па;
- 2) температура подложкодержателя 400°C;
- 3) межэлектродное расстояние 18,8 мм;
- 4) плотность плазмы 6,35 Вт/см²;
- 5) расход азота – 4000 мл/мин, моносилана – 95 мл/мин, аммиака – 60 мл/мин, аргона – 1000 мл/мин.

Оптимизированный режим осаждения позволяет получить пленки толщиной ≈150 Å, которые характеризуются:

- 1) скоростью осаждения ≈22 Å/с;
- 2) неравномерностью осаждения по толщине ≈2,2 %;
- 3) коэффициентом преломления ≈1,94;
- 4) неравномерностью распределения коэффициента преломления ≈1%.

ИК-спектр пленки SiN_x толщиной ≈150 Å представлен на рисунке 2. ИК-спектральный анализ показал, что в пленке SiN_x толщиной ≈150 Å наблюдаются только деформационные колебания связей N-H на 1177 см⁻¹, однако указанные связи являются достаточно прочными и не представляют собой угрозу надежности изделия. В пленках не зафиксированы колебания Si-H в диапазоне (2000-2260) см⁻¹, кроме того отсутствуют валентные колебания связей N-H на 3483 см⁻¹ и связей N-H на 3337 см⁻¹ [9].

Кроме того, в рамках настоящей работы проведен ряд исследований пленок SiN_x с разным количеством водородных связей. Установлено, что при минимизации количества водородных связей не происходит ожидаемого уменьшения коэффициента преломления SiN_x

(≈1,94) [10]. Возможно, стабильность коэффициента преломления пленок SiN_x связана с разным типом колебаний связей Si-N на 840 см⁻¹.

Авторы настоящей работы предлагают возможные механизмы колебаний связей Si-N, которые объясняют стабильность коэффициента преломления пленок SiN_x при изменении содержания связей Si-H и N-H. Если колебания связей Si-N, которые могут наблюдаться на 840 см⁻¹, происходят в соответствие с механизмом Si-N-Si-Nm, при уменьшении количества водородных связей в пленках происходит уменьшение коэффициента преломления. Если колебания связей Si-N происходят в соответствие с механизмом N-Si-Si-Nm, при уменьшении количества водородных связей в пленках коэффициент преломления не изменяется, что связано с вкладом связей –Si-Si– в оптические характеристики преломляющего слоя [11].

Рассчитанная удельная емкость плоскопараллельного конденсатора с толщиной SiN_x ≈150 Å составляет ≈(4,13-5,31) фФ/мкм² при относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне от 7 до 9.

Рассчитанное максимальное напряжение, которое плоскопараллельный конденсатор выдерживает до пробоя SiN_x толщиной ≈150 Å и диэлектрической силе равной (5-10) мВ/см, составляет (7,5-15) В.

На основе полученных пленок толщиной ≈150 Å были сформированы тестовые образцы МИМ-конденсаторов, которые исследовались с целью определения удельной емкости конденсатора и напряжения пробоя тонких пленок SiN_x.

Измеренные значения удельной емкости пленок составили до ≈4 фФ/мкм². Измеренные напряжения пробоя составили до ≈6 В. Заниженные значения напряжений пробоя по сравнению с расчетными связаны с наличием сильного краевого эффекта.

Заключение

В настоящей работе разработан технологический процесс низкотемпературного осаждения тонких пленок нитрида кремния толщиной ≈150 Å для изготовления плоскопараллельных МИМ-конденсаторов, используемых в аналоговых и радиочастотных схемах. Пленки, осажденные при оптимизированных параметрах, характеризуются низкой скоростью осаждения ≈22 Å/с, неравномерностью по толщине ≈2,2 %, коэффициентом преломления ≈1,94.

Кроме того, в пленках SiN_x, осажденных в разработанном процессе, минимизировано содержание водородных связей, миграция водорода из которых может вызвать деградацию СБИС. Учитывая информацию зарубежных источников, процесс с полным отсутствием водородных связей в пленках SiN_x в настоящее время разработать не удалось. Однако в настоящей работе разработан процесс осаждения тонких пленок SiN_x, в которых максимально минимизированы водородные связи.

Разработанный процесс внедрен в производство и позволяет формировать МИМ-конденсаторы на основе низкотемпературного SiN_x с удельной емкостью до ≈4 фФ/мкм². Изготовление МИМ-конденсаторов с использованием разработанного процесса обеспечивает широкие функциональные возможности аналоговых и радиочастотных схем.

Кроме того, в дальнейшем проведенные в работе исследования будут использованы при изучении структуры и свойств нестехиометрических тонких пленок SiN_x с минимальным содержанием связей Si-H и N-H.

Магнитно-абразивное полирование режущего инструмента

**Е.А. Рыбкин,
ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»**

Одной из важных задач при изготовлении режущего инструмента является повышение его срока службы, то есть, износостойкости. Режущий инструмент работает в коррозионной среде и с высокой нагрузкой, что приводит к его быстрому износу.

Понятие «магнитно-абразивная обработка» объединяет большую совокупность способов абразивного резания, использующих магнитное поле непосредственно в зоне обработки. С помощью магнитно-абразивной обработки можно механизировать такие операции, как удаление заусенцев и скругление острых кромок, удаление окалины и тонких оксидных плёнок, получение на поверхностях рельефных изображений, измельчение материалов, упрочнение металлорежущих инструментов, полирование разных по форме поверхностей на деталях из материалов любой вязкости.

На заводе ВНИИЭФ доводка режущего инструмента в основном производится с использованием алмазных шлифовальных кругов.

Состояние поверхностей инструментов и любых других деталей в большей степени характеризуется окончательной (финишной) обработкой, к которой относится и магнитно-абразивное полирование (МАП). МАП является относительно новым и перспективным методом обработки режущего инструмента. Изменения, вносимые МАП, положительно отражаются на эксплуатационных свойствах обработанных инструментов.

Целью настоящей работы является достижение максимального повышения стойкости режущего инструмента с использованием разработанной принципиально новой схемы магнитно-абразивного полирования.

Основы магнитно-абразивного полирования

Общий принцип МАП состоит в том, что заготовку помещают между полюсами магнитного индуктора. Зазоры между полюсами и обрабатываемой поверхностью заполняют магнитно-абразивным порошком. При этом образуется своеобразный абразивный инструмент, копирующий форму обрабатываемой поверхности. Жёсткостью этого инструмента можно управлять, изменяя напряжённость магнитного поля в рабочих зазорах. При включении магнитного поля в рабочей зоне индуктора зёрна порошка ударяются об обрабатываемую поверхность заготовки с определённой силой и при движении производят массовое микрорезание и упруго-пластическое деформирование (выглаживание) поверхностного слоя заготовки.

На каждое зерно, находящееся в контакте с обрабатываемой поверхностью, действуют

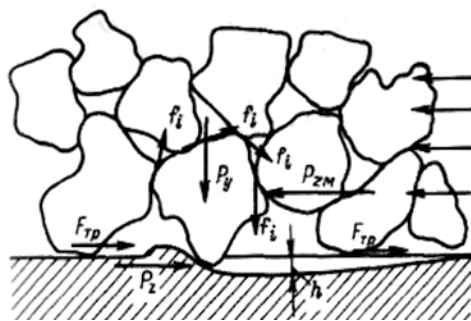


Рис. 1. Схема абразивного резания зерном магнитно-абразивного порошка в реальных условиях

силы резания P_z (если зерно внедрилось в поверхность и осуществляет микрорезание), либо силы трения F_{TP} (рис.1) [1]. Эти силы стремятся увлечь контактирующее зерно вместе с двигающейся поверхностью и повернуть его относительно собственного центра инерции.

Если при постепенном углублении режущего зерна в обрабатываемую поверхность сила резания превысит сопротивление повороту зерна со стороны окружающей среды или если на пути режущего зерна появляется преграда в виде увеличенной микронеровности, твердого инородного включения, то такое зерно поворачивается и в контакт с заготовкой вступают его новые участки и новые режущие кромки. Снижение с помощью МАП шероховатости контактных поверхностей клина способствует уменьшению сил трения на этих поверхностях и, как следствие, уменьшению числа их сколов, усадки стружки, работы на пластическую деформацию стружки.

Соответственно, уменьшаются силы резания и тепловыделение, создаются благоприятные условия для работы инструмента.

Производительность процесса полирования зависит от многих условий. Основными из них являются: выбранная схема полирования; набор участвующих рабочих движений и их скоростей; напряжённость магнитного поля; характеристики обрабатываемого материала и материала ферромагнитного абразивного порошка.

Выбор инструмента для МАП

Большое значение для процесса резания имеет состояние режущих кромок инструментов: их шероховатость и радиусы скругления. Ввиду повышенной хрупкости твёрдых сплавов дефекты режущих кромок являются причиной появления сколов, и это определяет наиболее распространённый характер разрушения таких инструментов. Если окончательной обработкой рабочих поверхностей лезвия инструмента является заточка абразивным или алмазным (эльборовым) кругом, то шероховатость режущих кромок получается как результат пересечения шероховатых передней и задней поверхностей лезвия, имеет по сравнению с ними большую высоту, а впадины глубоких неровностей являются местом зарождения будущих трещин и сколов. В этом случае создание скругления одновременно сопровождается снижением шероховатости лезвия, удалением микроконцентраторов напряжений и зародышей будущих трещин и сколов. Это ведет к действительному упрочнению режущего клина. Для эксперимента было взято 10 подрезных резцов с напайными пластинами из твёрдого

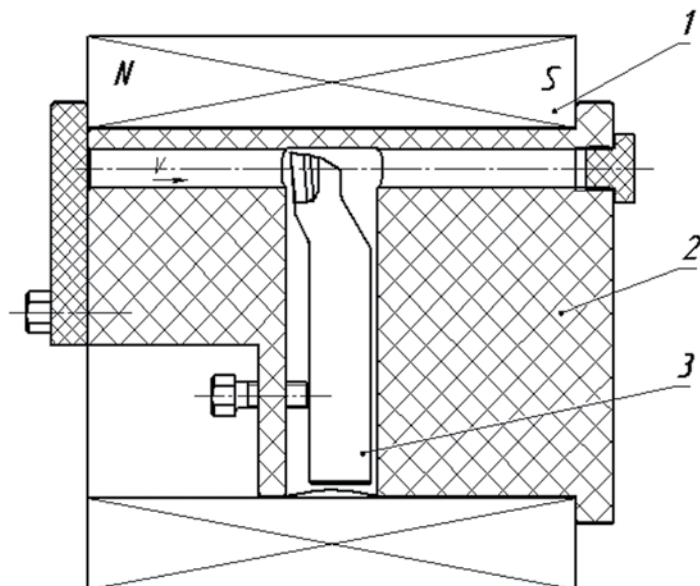


Рис. 2. Схема МАП режущей кромки резца (сечение, вид сверху): 1 – магнитно-импульсная катушка (индуктор); 2 – оправка; 3 – резец.

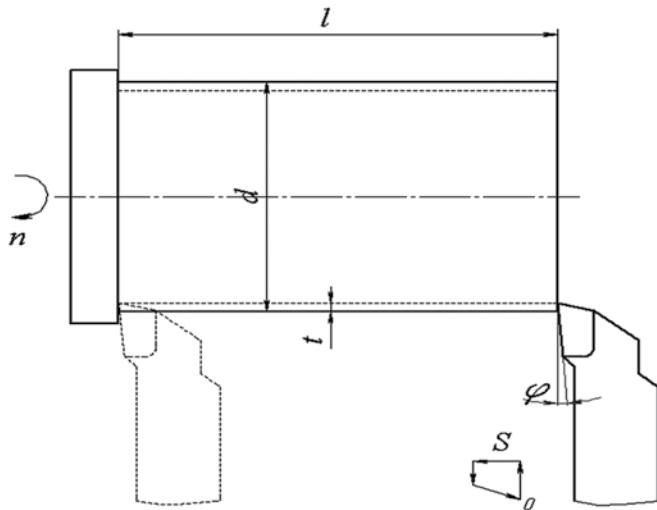


Рис. 3. Схема обработки детали

сплава ВК10-ХОМ, 5 резцов из них подвергались МАП режущей кромки.

Выбор схемы, режимов обработки и абразива для МАП

МАП резцов производилось на магнитной установке «Бизон». Схема магнитно-абразивного полирования была специально разработана для данной конструкции и размеров магнитного индуктора установки, что обеспечило максимально эффективное воздействие зерен абразива на обрабатываемые поверхности резцов (рис. 2).

По данной схеме производилось полирование главной режущей кромки резца. Порция порошка засыпалась в специальное отверстие спроектированной оправки и под воздействием импульсного магнитного поля превращалась в равномерно распределяющееся абразивное облако, которое устремлялось с определенной скоростью V в направлении, перпендикулярном главной режущей кромки резца (с северного полюса индуктора в сторону южного полюса по направлению магнитного потока). Выбрана напряженность магнитного поля индуктора: $U_{маг.} = 1500 \text{ Ка/м}$. Длительность магнитного импульса составляла 0,5 с.

В качестве материала абразива для МАП был выбран мелкодисперсный абразивный порошок серого чугуна СЧ 18-36 с двумя размерами зёрен 80 мкм и 180 мкм. Масса порции абразивного порошка составляет 2 г.

Размеры абразивных частиц были выбраны исходя из имеющегося в наличии порошка 80 и 180 мкм. При проведении опытов порошок с зерном 80 мкм после первого импульса полностью разрушался. Порошок с зерном 180 мкм достигал состояния разрушения только после 4-го импульса.

Измерение износостойкости резцов

Обработка деталей производилась на токарно-винторезном станке с ЧПУ, модель 16А20ФЗС39. Перед обработкой полирован-

ные и неполированные резцы устанавливались в резцедержатель. Производилось получистовое точение (с $\phi 80$ до $\phi 74$) по наружной поверхности за два прохода (рис. 3).

Резец №1-5 (с МАП главной режущей кромки) использовался для получистовой обработки. Резец №5-10 (без МАП главной режущей кромки – чистовая заточка с использованием алмазного шлифовального круга: АС4 160/125 4В2О1) использовался для получистовой обработки. Материал детали – сталь 14Х17Н2 (сталь коррозионно-стойкая жаропрочная; сортамент и форма – горячекатаная круглая). Обработка велась с применением СОЖ марки МР-1у (масляное смазочно-охлаждающее технологическое средство). Обработка велась полированными и неполированными резцами.

При МАП главной режущей кромки резца ее скругление одновременно сопровождается снижением шероховатости лезвия, удалением микроконцентратов напряжений и зародышей будущих трещин и сколов. Это ведет к действительному упрочнению режущего клина инструмента. Известные рекомендации по величине скругления режущих кромок r для твердосплавных инструментов варьируются в очень широких пределах (0,025–0,7 мм), что объясняется широким различием свойств обрабатываемых материалов и условий резания.

Резцы после МАП и механической обработки

Измерения проводились на микроскопе УИМ-21(5x увеличение; цена деления 0,001 мм). Главная режущая кромка, вершина и главная задняя поверхность резцов (по которым определялся характер износа) были сфотографированы с помощью цифрового фотоаппарата с использованием микроскопа МБС-2 с увеличением 8x (цена деления шкалы 0,1 мм) после обработки деталей каждым по 25 шт.

В начале и начиная с середины главной режущей кромки до МАП имеются области

с небольшими завалами и сколами в пределах 0,15 мм (рис. 4), а после МАП наблюдается равномерный характер ее притупления до 0,15 мм (рис. 5).

После механической обработки износ резцов измерялся по образованной площадке износа на кромке со стороны главной задней поверхности. У резцов без МАП режущей кромки у большинства образцов произошло выкрашивание вершины в пределах 0,5 x 0,7 мм, на передней и главной задней поверхностях имеются ярко выраженные прижоги; у резцов с МАП наблюдается коробление главной режущей кромки в пределах 0,15-0,25 мм на участке длиной до 2 мм.

При анализировании всех данных можно сделать вывод, что после магнитно-абразивного полирования режущей кромки резцов, при получистовом и чистовом виде токарной обработки наружной поверхности (с учетом одинаково отработанного машинного времени) стойкость у полированных резцов увеличивается примерно в 1,5 раза.

Заключение

На основании проделанной работы при наружной токарной обработке поверхностей деталей (материал-сталь 14Х17Н2) было выявлено влияние финишного процесса обработки главной режущей кромки резца на его износостойкость.

У резцов, главная режущая кромка которых получалась на сопряжении после шлифования передней и главной задней поверхностей алмазным кругом, износ режущей кромки, а также главной задней поверхности происходит неравномерно, наблюдаются сколы, износ выкрашивания частиц и большая площадь затирания при вершине. В отличие от них, у резцов с МАП главной режущей кромки износ является незначительным и менее деструктивным, о чем свидетельствуют полученные зависимости их износостойкости от отработанного ими времени.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что использование разработанной принципиально новой схемы магнитно-абразивного полирования позволило увеличить стойкость резцов в 1,5 раза, чем у резцов, заточка которых производилась алмазным кругом. Применение магнитно-абразивного полирования при изготовлении продукции позволило значительно сократить время на установку и снятие инструмента, его переточку, а также настройку станка. По предварительным расчетам экономия денежных средств, с учетом всех затрат, составила 10%.

Список литературы

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

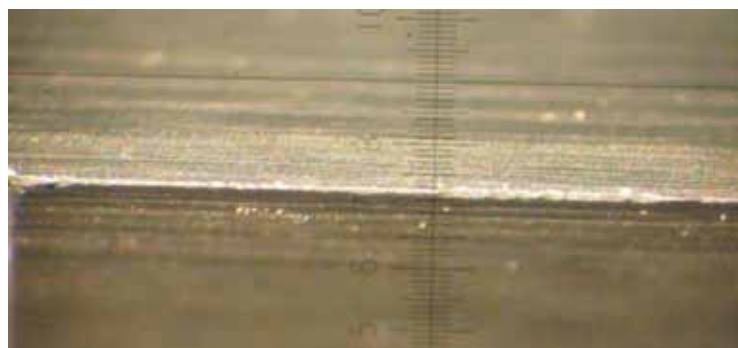


Рис. 4. Главная режущая кромка резца №1 до МАП

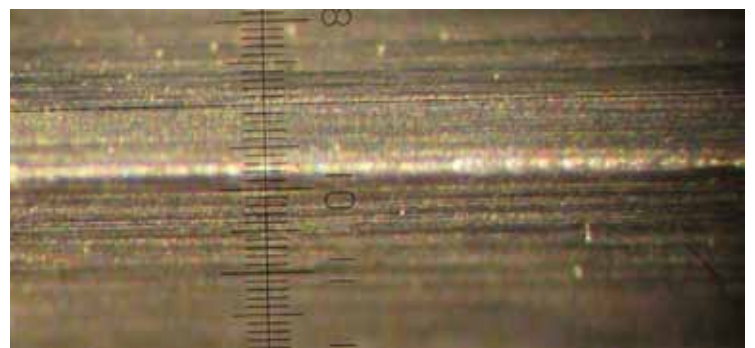


Рис. 5. Главная режущая кромка резца №1 после МАП

Предприятие	Город	Страница
Вибратор, АО	Санкт-Петербург	14
ВНИИЭМ, Корпорация, АО	Москва	28
Горнохимический комбинат, ФГУП	Железногорск, Красноярский край	27
Ижорские заводы, ПАО	Санкт-Петербург	11
Курчатовский институт, НИЦ	Москва	10
Маяк, ПО, ФГУП	Озерск, Челябинская область	27
НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ФГБОУ ВО	Нижний Новгород	19
НИИ физических измерений, АО	Пенза	18
Нововоронежская атомная станция	Нововоронеж, Воронежская область	8
НТЛ-Прибор, ООО	Москва	16
Объединенная энергетическая корпорация, АО	Москва	12
Оргстройпроект, ЗАО	Москва	14
Приборостроительный завод, ФГУП	Трехгорный, Челябинская область	24
Радиовый институт им. В.Г. Хлопина, АО	Санкт-Петербург	22
РТСофт, АО	Москва	15
Следящие тест-системы, ООО	Москва	13
Технаб, Холдинг	Обнинск, Калужская область	Обл. 2
Тяжмаш, АО	Сызрань, Самарская область	20
ЭраСиб, ЗАО	Новосибирск	30
Экра, НПП, ООО	Чебоксары	1



ADVERTISING-PUBLISHING CENTRE

**courier
media**

www.kuriermedia.ru