

**Multi-D**  
engineering

# РОССИЯ

RUSSIA  
Atomic Project

# АТОМНЫЙ ПРОЕКТ



Kelvion



#22  
2015

свежие выпуски по **Вторникам, Четвергам и Пятницам**

Какой новый рынок покоряет РОСАТОМ?

Кто хозяин в Арктике?

Что помогает Курской АЭС поднять необъятное?

Почему в борьбе с коррупцией РОСАТОМ не терпит формализма?

Откуда на Луне ядерное топливо?

Зачем нужны корпорации внутри госкорпораций?

**Эти и другие темы  
в радиопрограмме  
«Страна Росатом»**

[facebook.com/radioatom](https://facebook.com/radioatom)

[vk.com/atomradio](https://vk.com/atomradio)

[atomradio.podfm.ru](https://atomradio.podfm.ru)

# Атомный проект

ВЫПУСК ДВАДЦАТЬ ВТОРОЙ

Опубликованные материалы будут представлены руководителям и специалистам более 300 предприятий атомной промышленности, постоянно получающим журнал «Атомный проект» direct-mail рассылкой. Список предприятий опубликован на сайте [www.kuriermedia.ru](http://www.kuriermedia.ru)

# Atomic Project

ISSUE TWENTY SECOND

**АТОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Информационно-аналитический журнал для специалистов в области атомного машиностроения

№ 22, декабрь, 2015 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**

Л. И. Волкова  
8-951-901-77-94

**Трафик-менеджер**

Ю.В. Кривошеева  
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**

2000 экз.

на бумажном и CD-носителе

**Дата выхода в свет**

25.12.2015 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.

**ДАТА В ИСТОРИИ**

Обогнавшие время. **Пётр Чурухов** **4**

**К 70-ЛЕТИЮ ОКБМ АФРИКАНТОВ** **8**

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ** **29**

**РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

Перспективы автоматизации работ на отработочных позициях.  
**А.В. Шарипов, И.В. Шашмури** **32**

Печатные платы со встроенными компонентами.  
**А.С. Степанова, Т.А. Жукова, Б.И. Иванов** **34**

Оптико-электронный модуль для регистрации процесса движения и разделения ОИ от средств разгона. **С.И. Герасимов, В.Е. Лысенков, Е.А. Гончаров, В.С. Роженцов** **36**

Опыт применения микроконтроллеров с ядром cortex-m для разработки коммутационно-преобразовательной аппаратуры.  
**А.Ю. Подоплелов, С.М. Першин, А.В. Петров** **37**

**СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Разработка перспективных технических средств оперативно-диспетчерского управления энергоблока АЭС для проекта ВВЭР-ТОИ. **М.И. Потапова** **38**

Обеспечение непрерывного мониторинга условий эксплуатации ответственного оборудования АСУ ТП. **Д.В. Антропов** **40**

Обучающая справочно-информационная система для машин перегрузочных с реакторами типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440. **М.И. Миляев** **42**

**МИКРОЭЛЕКТРОНИКА**

Принципы повышения наработки до отказа схем управления на основе клеточно-автоматных и нейроподобных структур.  
**Г.С. Теплов, И.В. Матюшкин, Е.С. Горнев** **45**

Разработка процесса плазменной активации для низкотемпературного сращивания пластин кремния и сапфира. **А.Г. Гаранин, М.Н. Минеев** **48**

Моделирование работы МОП-транзисторов на структурах КНИ при высоких температурах. **П.В. Игнатов, А.С. Бенедиктов** **50**

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Разработка ПО для миграции данных из исторических систем завода ВНИИЭФ в модули ТИС. **А.И. Сорокин** **52**

Разработка комплексной вычислительной системы автоматизации изготовления БИС с субмикронными проектными нормами (АСУ «Сапфир»). **Д.С. Шкарин** **54**

Разработка и интеграция программных модулей системы формирования опорного излучения физической лазерной установки. **И.В. Мякишев** **56**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Исследование и совершенствование процесса конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) изделий, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ в производстве АО «ОКБМ Африкантов». **К.В. Комиссаров, А.А. Большаков** **58**

Исследование технологии изготовления многослойных керамических плат из отечественных материалов по LTCC-технологии. **Д.Е. Орехов, М.П. Гладышева** **61**

Измеритель концентрации урана гамма-абсорбциометрический СГА. **И.Р. Мухамеджанов, Д.С. Солонин** **64**

Применение 3D сканеров для неразрушающего контроля изделий. **А.В. Ермаков** **66**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

Расчетно-экспериментальное обоснование безопасности парогенератора реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 при разгерметизации теплообменных труб. **А.В. Абрамов, Р.Р. Мухаметов, М.Ю. Науменко, В.А. Силаев** **68**

Обеспечение безопасности ЯРУ при транспортировании АПЛ III поколения на самопогружном судне-транспортировщике. **А.В. Агеев, В.Л. Доронков, И.Н. Онищук** **72**

Деформирование термопластичных материалов в условиях нагрева и механического нагружения. **С.М. Михайлов, В.А. Лупша, Р.М. Тагиров, М.П. Кужель, А.В. Комиссаров, Н.В. Гарьянова** **74**

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ** **76**

## **Редакционный совет журнала «Атомный проект»**

### **РУКОВОДИТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

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

### **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

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

**Зверев Д. Л.** – директор-генеральный конструктор ОАО «ОКБМ Африкантов», 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 АО «НИАЭП»

**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

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

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

# Обогнавшие время

**10 декабря 2015 года на Белоярской АЭС, пятидесятилетие которой отмечали в прошлом году, энергоблок №4 выдал первую электроэнергию в энергосистему Урала. Это было бы вполне штатное событие для нашей атомной отрасли, если бы не знать, что очередной атомный источник электрогенерации, вступивший в строй, имеет уникальный реактор: на БАЭС состоялся пуск реакторной установки на быстрых нейтронах БН-800.**

## БЫСТРЫЙ РЕАКТОР ЕСТЬ ТОЛЬКО У НАС

«Пуск БН-800 демонстрирует успехи России в практическом освоении технологии реакторов на быстрых нейтронах – реакторов, которые дают наиболее эффективную возможность использования природного урана как сырья для ядерного топлива. Это событие закрепляет лидерство России в развитии технологии реакторов на быстрых нейтронах», – так обозначил значимость произошедшего главный конструктор реакторных установок на быстрых нейтронах АО «ОКБМ Африкантов» Борис Александрович Васильев.

К этому можно добавить, что российские атомщики, на протяжении 35 лет успешно эксплуатирующие реактор на быстрых нейтронах БН-600 и теперь запустившие более совершенный и более мощный опытно-промышленный БН-800, на данный момент – единственные на планете, имеющие в своем активе действующие «быстрые» реакторы. На сегодняшний день надежная конструкция быстрого реактора есть только у нас, и разработана она в ОКБМ Африкантов. Технологии топливного цикла, применяемые в быстрых реакторах, позволяют в сто раз увеличить выработку электроэнергии с каждой тонны природного урана, а это означает, что существующих запасов при использовании таких реакторов хватит планете по меньшей мере на пару тысячелетий. При этом у атомщиков появляется возможность создания замкнутого топливного цикла, что выводит атомную энергетику на новый, совершенно иной, глобальный уровень.

Вот почему пуск БН-800 – событие знаковое, это еще одна, и весьма существенная, победа отечественной атомной энергетики.

Уже на начальном этапе развития атомной энергетики советским специалистам была понятна необходимость создания замкнутого топливного цикла, а тема быстрых реакторов возникла еще в конце сороковых годов прошлого столетия. Физико-энергетический институт в Обнинске первым в СССР начал разработку концепции ядерных реакторов на быстрых нейтронах; идею создания быстрых реакторов в начале пятидесятих годов разрабатывал именно Александр Ильич Лейпунский, имя которого носит ФЭИ. И сегодня Физико-энергетический институт имени Лейпунского является научным руководителем проектов создания реакторов на быстрых нейтронах.

История сохранила для нас информацию о непростой судьбе создания реакторов на



Строительство БН-800 на БАЭС

быстрых нейтронах. Когда к осени 1973 года на первой советской АЭС на быстрых нейтронах на действовавшей с середины июля установке БН-350 в г. Шевченко возникли нештатные ситуации и начались аварийные остановки, в ЦК КПСС министру среднего машиностроения СССР Е.П. Славскому сказали просто: «Ну что ж, довольно, наигрались с быстрыми реакторами».

Но Ефим Павлович не был пугливым человеком. К тому времени он без малого два десятилетия руководил Средмашем, был трижды Героем Социалистического труда и имел восемь Орденов Ленина (а всего Орденов Ленина у Славского, как известно, было десять, и на пенсию Ефим Павлович ушел с должности руководителя Средмаша в возрасте 88 лет). Быстрые реакторы Славский спас: он привлек к исследованию неполадок и анализу проблемы лучшие умы и вскоре обнаружил, что основной причиной неисправной работы установки было грубейшее нарушение технологического процесса при



БН-800

изготовлении деталей и сварке труб Фильда на Подольском машиностроительном заводе. И только после того, как по всем правилам и со строжайшим соблюдением технологии были изготовлены и испытаны новые трубы, после того, как установка была запущена в работу и показала высокий коэффициент используемой мощности, Славский снял с работы директора Подольского завода.

Так что, празднуя свою декабрьскую победу с БН-800, разработчики, создатели и эксплуатанты быстрого реактора должны поднять тост и за Ефима Павловича Славского.

## РОЖДЕННЫЕ В ДЕКАБРЕ

Декабрь для российских атомщиков вообще месяц знаковый. Семьдесят лет назад, 27 декабря 1945 года, Совет Народных Комиссаров СССР принял целый ряд совершенно секретных постановлений, запустивших новые производства, создававших новые лаборатории и уникальные конструкторские бюро будущей атомной отрасли. Страна, почувствовав всю мощь американского ядерного давления, понимала, что победа над фашистской Германией на самом деле не окончание, а лишь начало еще более жесткой борьбы за существование страны, и потому бросила все силы на создание атомного оружия.

27 декабря 2015 года отмечают семидесятилетие своей деятельности:

– Всесоюзный научно-исследовательский институт неорганических материалов, ныне **ОАО «ВНИИМ» имени А.А. Бочвара**, преобразованный из созданного в конце 1944 года Института специальных металлов НКВД, известного также как Урановый институт, на который возлагались задачи по «изучению сырьевых ресурсов урана и разработке методов добычи и переработки урановых руд на урановые соединения и металлический уран»;

– Центральное конструкторское бюро машиностроения, **ЦКБМ**, созданное как Особое конструкторское бюро Ленинградского Кировского завода, которое должно было заниматься «разработкой технического проекта и рабочих чертежей опытных «турбокомпрессоров РЗГ» и разработкой технологии их серийного выпуска»;

– Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры, **НИИЭФА**, созданный как Особое конструкторское бюро по проектированию электромагнитных преобразователей при заводе «Электросила», которому ставилась задача разработки «комплектных специальных электромагнитных установок и циклотронов»;

– Опытное конструкторское бюро машиностроения имени И.И. Африкантова, **ОКБМ Африкантов**, созданное как Особое конструкторское бюро по проектированию специальных машин при артиллерийском заводе им. Сталина – так тогда назывался Горьковский машиностроительный завод, известный также как «Завод № 92». ОКБМ ставилась задача «по разработке рабочих чертежей и технологиче-



Выступает академик И.К. Кикоин

ских процессов для изготовления специальных «турбокомпрессоров РЗВ».

Все эти наименования «особых» КБ – не от лексической скудости чиновников, составлявших тексты постановлений СНК для Особой папки (вот и совершенно секретные постановления СНК, выходявшие с шифром «СС», именовались не иначе как «Совершено секретно. Особая папка»). Просто время было практически военное, требовавшее особых уникальных людей, особых прорывных решений и создания особых коллективов, решавших задачи, о которых должны были знать немногие. И слово «особый» было тогда весьма популярно.

Декабрь 1945 года – это всего два месяца, как закончилась Вторая мировая война на Дальнем Востоке, куда были переброшены наши отборные части с западных фронтов. Страна все еще жила в режиме военного времени: продовольственные карточки, разруха, тотальная нехватка всего – продовольствия, материалов, специалистов и времени. Именно время – главный ресурс, всей стране надо крутиться так, чтобы опережать его бег.

27 декабря в тот год пришлось на четверг. Наши оборонщики и сегодня привычны к тому, что в последние предновогодние дни всегда возникает какая-нибудь срочность: что-то надо доделать, дослать в Москву какие-то бумаги, чтобы закрыть год и выполнить план. А тогда страна вообще праздников не знала. В четверг 27 декабря 1945 года СНК выпускает Постановление за номером 3174 – 962сс:

2. Обязать Лабораторию №2 АН СССР (т. Кикоина и Вознесенского) к 1 января 1946 года выдать артиллерийскому заводу им. Сталина полный комплект чертежей на изготовление опытных «турбокомпрессоров РЗВ».

3. Обязать Наркомвооружения (т. Устинова) и директора завода им. Сталина (т. Еяна) организовать в декабре 1945 г. Особое конструкторское и технологическое бюро по разработке рабочих чертежей и технологических процессов для изготовления специальных «турбокомпрессоров РЗВ».

Вот так и было создано нынешнее ОКБМ Африкантов. И в несколько оставшихся до начала 1946 года дней декабря все было сделано. В Лаборатории №2, известной ныне как Курчатовский институт, сотрудники потели за кульманами от круглосуточной работы по подготовке рабочих чертежей. «Товарищ Елян», еще не успевший с военных времен убрать свою кровать, размещенную в цехе на порталном кране, так и продолжал жить на родном заводе. Всё тот же Ефим Славский, вспоминая об этом периоде своей жизни, писал, что люди работали, забывая про все, а спали по два-три часа в сутки.

«Товарищу Кикоину» в декабре 1945 года – всего-то 37 лет, но он уже два года член-

корреспондент Академии наук СССР и один из организаторов Лаборатории №2, научный руководитель по проблеме получения высокообогащенного урана-235. Став также научным руководителем созданного в декабре 1945 года Особого конструкторского бюро Ленинградского Кировского завода, Исаак Кикоин принял на себя ответственность за создание оборудования для разделения изотопов урана газодиффузионным методом. Проблема производства обогащенного урана по технологии, основанной на диффузии газа, на Уральском комбинате №813 (сегодня это Уральский электрохимический комбинат) была решена коллективом под руководством Исаака Кикоина за пять лет (американцы в своих прогнозах отводили на разработку этой технологии в СССР не менее 20 лет). Все эти годы, да и последующие, Кикоин работал без выходных по 15-16 часов в сутки, при этом принимая новаторские, нетрадиционные решения и реализуя уникальные и глубоко продуманные идеи.

Сформированное на базе Горьковского завода им. Сталина ОКБМ, начальником которого был назначен А.С. Елян, а главным конструктором стал А.И. Савин, бывший в ту пору главным конструктором завода им. Сталина, занималось как раз разработкой и созданием оборудования для газодиффузионных заводов, проводя эту работу параллельно с ОКБ, созданным на Кировском заводе. Разработка ОКБМ оказалась более совершенной, и Кировский завод стал делать для атомной промышленности диффузионные машины среднего обогащения по рабочим чертежам горьковчан.

### ДУХ ЭПОХИ

К этому периоду относится интересная история, которую приводит один из создателей отечественной системы противоракетной обороны Г.В. Кисунько в своей книге «Секретная зона»:

«После войны завод Еяна был ведущим предприятием по разработке и производству оборудования для завода по разделению изотопов урана и по созданию первых атомных реакторов. В связи с этим завод столкнулся с проблемой защиты металлических деталей покрытиями, устойчивыми к агрессивным средам. В эту пору Елян, обычно покупавший себе на рынке свежую баранину для шашлыка, начал приглядываться к работе цыгана-лудильщика, несколько раз отдавал цыгану для лужения какие-то сосуды, привозил их на завод и отправлял в лабораторию. Потом привез на



А.А. Бочвар



И.И. Африкантов на ледоколе «Ленин»

завод и самого цыгана с его инструментами, отвел ему закуток в цехе, приставил к нему технологов и предложил за хорошее вознаграждение поделиться секретами цыганской лудильной кухни.

Режимщики были возмущены тем, что Елян без допуска от органов привез на секретный завод какого-то цыгана. А цыган темнил, боясь, что этот ловкий армянин составит ему конкуренцию через «левую» лудильню, которую, видимо, решил создать со своими друзьями прямо на заводе. Пришлось Амо Сергеевичу показаться перед цыганом в форме, и тот был польщен вниманием генерала с геройской звездой на груди, по-кавказски обаятельного. А главное – цыгана убедила простая логика генерала:

«На базаре мы тебе подножку устраивать не будем. Так что, пожалуйста, друг любезный, поделись своими секретами с государством. Заодно хорошо заработаешь».

Сильно ли помог цыган тогда ОКБМ, сегодня узнать вряд ли удастся. Но нам известна еще одна история, связанная с этим периодом работы ОКБМ на Горьковском машиностроительном заводе, где к концу 1946 года было создано уже около двух десятков диффузионных машин марки ОК-7, которые были приняты комиссией и начали поставаться в Сибирь на первый диффузионный завод. Известно, что в 1948 году горьковчане изготовили и поставили более 3000 машин ОК-7. Но наша история о том, как простые и привычные в быту житейские навыки помогли решить сложнейшие научно-технические задачи.

Академик и президент Академии наук СССР А.П. Александров, бывший во второй половине сороковых годов заместителем И.В. Курчатова в Лаборатории № 2, в своих воспоминаниях приводит такой случай. На диффузионном заводе у Кикоина, куда горьковчане поставляли свои установки, и который уже давал продукцию, не удавалось добиться обогащенного урана требуемой кондиции, получалось лишь три четверти необходимого уровня. Ученые понимали, что в вакуумной системе были небольшие подсосы воздуха и сами детали установок немного «газили», это приводило к тому, что шестифтористый уран понемногу разлагался и превращался в четырехфтористый, оседая на стенках. Такой постоянный вывод все более и более обогащенного продукта на всех ступенях разделительного каскада, которых на первом диффузионном заводе насчи-

тывалось 56, и на которых было установлено 6260 последовательно соединенных машин, приводил к тому, что требуемого обогащения достичь было просто невозможно. Но технического решения этой проблемы, увы, найти не удавалось.

Лаврентий Берия насаждал на руководителя Первого главного управления при Совете Министров СССР Б.Л. Ванникова, отвечавшего за весь Атомный проект: мол, государство дало вам всё, что вы просили, так будьте добры сделать то, что нужно стране. И, как тогда было принято, дал три месяца на решение задачи: «Не справитесь – сушите сухари». В конце сороковых годов все понимали, что это не была фигура речи.

«Мы с Ванниковым и Харитоновым, – вспоминал А.П. Александров в 1978 году, – приехали на этот завод и стали знакомиться с тем, что же там делается.

...Я посмотрел список того, что они перепробовали, посмотрел конструкцию рубашек, и сказал, что может оказаться хорошим очень простой выход. Нужно взять керамические рубашки и покрыть их олифой, натуральной только обязательно. Что она создаст такую пленку, которая как раз меньше всего будет реагировать с гексафторидом. Они начали страшно хохотать оттого, что я предложил такой простой выход. Я говорю: «Берусь вам это дело сработать». С завода моментально дали людей, мы с ними поехали на разные производства в этом городе, в конце концов, добыли натуральную олифу. Привезли это дело на завод. Первые керамические рубашки покрыли этой самой олифой, обожгли их. ...Получились великолепные блестящие рубашки без всяких дефектов. Их поставили на испытания, и уже на другой день оказалось, что никакого разложения газа при этих рубашках нет. И никакой потери вакуума нет.

Вот мы провели такой эксперимент. Мы его сделали в два дня и три ночи. На заводе был организован участок по изготовлению этих пропитанных рубашек, он был организован в течение трех-четырёх дней. И пошло производство. С отделом технического контроля, со всем, как полагается. Но чтобы это сделать, мы действительно работали день и ночь».

Вот и опять, работали день и ночь, причем все, кто был задействован в этом деле, а не только те, кому пришлось бы «сушить сухари». Справедливости ради надо сказать, что и сегодня на наших оборонных предприятиях такой же подход к делу. И думается, что такое отношение к делу – один из родовых признаков наших инженеров и конструкторов, занятых в оборонке. На том мы и стоим.

## ШЕСТЬ ТЫСЯЧ ТОНН МАГНИТОВ

После историй с лудильщиком и олифой, которые следует отнести к разряду забавных, надо сказать о том, что решение задач в рамках реализации Атомного проекта – это, безусловно, колоссальная, просто гигантская работа всех и вся. Огромная работа, связанная с разработкой новых технологий, с получением новых сверхчистых материалов, с разработкой и изготовлением массы сложнейшего оборудования, которого до сих пор нигде не производилось. Понятно, что самая сложная задача – получение в необходимых количествах ядерного горючего, при этом также понятно, что разделение изотопов можно реализовать различными методами. Но идти долгим путем последовательных проб и ошибок не было времени. Надо было из этих нескольких методов, известных на тот момент науке, выбрать именно то направление, которое можно было



**Д.В. Ефремов**

реально и, самое главное, в кратчайший срок осуществить, исходя из технических и производственных возможностей страны.

А каковы были наши возможности в те первые послевоенные годы? К примеру, установка для разделения изотопов с помощью электромагнитных сепараторов предъявляла очень высокие требования к стабильности ускоряющего напряжения и напряженности магнитного поля. На порядок выше, чем на всех известных и действующих в то время установках; понятно, что систем, даже близких по параметрам, в Советском Союзе тогда не существовало. Их разработка была поручена вновь созданному ОКБ при заводе «Электросила», известному ныне как НИИЭФА. Первым руководителем ОКБ был главный инженер завода «Электросила» Д.В. Ефремов, которому к тому времени исполнилось 46 лет, и он уже побывал под следствием у НКВД, перед самой войной три года поработал в «шарашке», откуда в 1941 году был освобожден и назначен главным инженером завода «Электросила». Дмитрий Васильевич Ефремов возглавлял ОКБ на протяжении десяти лет с момента основания, одновременно (вот еще одна характеристика того времени!) работая заместителем министра и затем, с 1951 года, министром электропромышленности СССР. НИИЭФА сегодня носит его имя.

Так вот, в ОКБ под руководством Д.В. Ефремова было спроектировано, сконструировано и изготовлено все необходимое оборудование для строительства в Свердловске-45 крупнейшей установки – завода для электромагнитного разделения изотопов урана. Масса только электромагнитов в этой установке составляла шесть тысяч тонн. Для размещения магнитов в вертикальном положении было построено многоэтажное здание. На пяти его этажах было размещено 20 специально разработанных камер, в которых были смонтированы все необходимые системы для осуществления процесса разделения изотопов урана. И это, заметьте, не просто массу железа наставить высотой в несколько этажей, а собрать установку по разделению урана. И все это надо было придумать, спроектировать и создать ВПЕРВЫЕ, причем, в короткие сроки, в режиме опытно-конструкторских работ, по сути – без права на ошибку, которое априори есть у разработчиков новой техники.

А взять те же газодиффузионные машины, в которых академик Александров, в свое

время глубоко занимавшийся полимерами, просто покрыл олифой керамические половинки устройств, что позволило добиться нужных кондиций обогащения урана. Для газодиффузионного метода разделения урана надо, чтобы этот тяжелый металл находился в газообразном состоянии. И наиболее подходящим химическим соединением урана для применения газодиффузионного метода разделения изотопов оказался гексафторид урана, тот самый шестифтористый уран, о котором рассказывал академик. Но гексафторид урана – весьма агрессивный газ, который реагирует практически со всеми химическими элементами. Кроме того, метод газовой диффузии основан на очень незначительных различиях в скорости движения тяжелых изотопов урана 238 и легких изотопов урана 235, при этом используются законы молекулярного течения: гексафторид пропускается через тончайшие отверстия – поры в специальных фильтрах, так называемых «диффузионных барьерах», каскад таких прогонов и позволяет получить достаточное количество изотопов урана 235. Словом, этот метод требовал решения массы сложнейших технических задач.

Николай Михайлович Синев, которого назначили главным конструктором ОКБ ЛКЗ (ныне – ЦКБМ) в июне 1947 года для усиления работы ленинградского Бюро, в своей книге «Обогащенный уран для атомного оружия и энергетики», изданной в 1991 году, подробно рассказывает о проблемах создания диффузионных машин. Вот только один штрих: на каждом квадратном метре фильтра должно размещаться несколько миллионов пор, при этом расчеты показывали, что для нормальной работы устройства при атмосферном давлении диаметр каждого отверстия должен составлять тысячные доли микрометра, что было выполнить практически невозможно. При этом поры не должны ни забиваться, ни расширяться под воздействием агрессивного газа, обеспечивая долговременную работу устройства.

Очень высокие, необычные для машиностроения требования предъявлялись к чистоте и обезжириванию собираемых машин. Это была очень трудоемкая, монотонная работа, антикоррозийная технология требовала после промывки и тщательного обезжиривания в специальных ваннах проведения омеднения, затем осуществлялось очень плотное и равномерное гальваническое никелирование; после этого все никелированные поверхности подвергались скрупулезной ручной шлифовке для достижения чистоты поверхностей не менее 11-го класса. Сборочные цехи были похожи на стерильные хирургические помещения.

И вот еще одна деталь: к началу 1946 года огромное количество задач, стоящих перед учеными и производственниками, задействованными в Атомном проекте, не были решены. Но, как мы знаем, уже через три года «в семь часов утра 29 августа 1949 года Семипалатинский полигон озарился ослепительной вспышкой. В момент взрыва на месте башни появилось светящееся полушарие, размеры которого в 4-5 раз превышали размеры солнечного диска, а яркость была в несколько раз больше солнечной».

Это взорвалась плутониевая РДС-1.

## «...РЕЗИНКИ СТИРАЛЬНЫЕ – 800 ШТУК»

Перелистывая информационные страницы истории создания российского атома, можно найти просто удивительные для наших дней сюжеты. Вот совершенно секретное постановление СНК СССР №3175 – 963сс от 27 декабря 1945 года о создании Особого

конструкторского бюро Ленинградского Кировского завода. Да, там все так же ощутима гонка со временем, в частности, Лабораторию №2 обяыывают в течение суток (!), то есть, до 28 декабря 1945 года «выдать Ленинградскому Кировскому заводу согласованные с последним технические задания и технические условия на проектирование и изготовление опытных турбокомпрессоров, а также все расчеты по ним».

Да, мы вполне можем допустить, что какая-то работа в рамках этих планов была проведена заранее. Но вот СНК поручает Наркомтрансмашу и Кировскому заводу организовать до 1 февраля специальный турбокомпрессорный цех для изготовления опытных образцов – и цех пустили в строй в начале февраля! Или вот, из Постановления №3176–964сс об организации ОКБ на заводе «Электросила» от 27 декабря 1945 г:

а) восстановить до 25 января 1946 г. существующие помещения лаборатории завода «Электросила» и произвести необходимое их оборудование...

б) построить к 1 сентября 1946 г. новое здание лаборатории завода «Электросила»

И все восстановили и построили.

Нам в данном случае было интересно, как послевоенная власть решала организационные вопросы, связанные с реализацией своих поручений. Сегодня-то мы только и слышим, что президентские поручения не выполнены правительством, и вроде так и надо, сложности же объективные, санкции ввели против нас, курс доллара растет и всё такое...

Решения СНК, который с марта 1946 года стал называться Советом министров, выполнялись еще и потому, что вся пошаговая работа по реализации принимаемых решений прописывалась детально и досконально прорабатывалась. Вот, к примеру, такие частности решались постановлением правительства: «Поставить заводу «Электросила» в январе 1946 года 500 комплектов постельных принадлежностей с одеялами за счет рыночного фонда» или «Поставить в январе 1946 г. ОКБ завода «Электросила» за счет фондов Наркомэлектрпрома на спецработы легковых автомашин – 5 шт, грузовых автомашин – 6 шт.».



Первые руководители ЦКБМ Н.М. Синева и Л.З. Аркин

При создании ВНИИНМ к постановлению прилагался огромный список, в котором указаны сотни наименований материалов и оборудования для создаваемых урановых предприятий. Среди них были и такие: «... чуни резиновые – 5000 пар, ... карандаши простые – 10000 шт., ...карандаши цветные – 2000 шт., ...резинки стиральные – 800 шт...»

А вот так решался вопрос с человеческим капиталом (Постановление СНК СССР №3174 – 962сс):

«... 10. Обязать Наркомторг СССР (г. Люблимова) выделить с января 1946 г. артиллерийскому заводу им. Сталина Наркомвооружения лимиты (дополнительно к имеющимся):

а) продовольственные (в месяц):

по 500 руб. на 2 чел.

по 300 руб. на 5 чел.

по 200 руб. на 5 чел.

карточек лит(ер) «А»

с абонементом на 40 чел.

«Б» с сухим пайком на 60 чел.

СП-1 на 250 чел.  
вторых горячих блюд со 100 г. хлеба (ежедневно) на 2000 чел.  
б) промтоварные (на квартал):  
по 1000 руб. на 10 чел.  
по 750 руб. на 15 чел.  
по 500 руб. на 30 чел.

11. Поручить тт. Устинову Д.Ф., Ванникову Б.Л., Малышеву В.А., Первуюхину М.Г., Борисову Н.А., Елян А.С. в недельный срок подготовить и предоставить в Совнарком СССР мероприятия по материально-техническому обеспечению данного мероприятия».

А для того, чтобы эти мероприятия могли стать реальными, тем же постановлением СНК обязал Наркомфин СССР выделить артиллерийскому заводу 13 миллионов рублей на подготовку производства и изготовление опытных турбокомпрессоров. И, что немаловажно, еще 2 миллиона рублей правительство страны выделяло «на премирование конструкторов, технологов и производственников», принимавших участие в изготовлении оборудования. Кстати, два премиальных миллиона также выделялось Советом народных комиссаров и для поощрения работников ОКБ Ленинградского Кировского завода.

Уже к середине 1949 года основной интерес Атомного проекта переместился на Урал, где запущен первый диффузионный завод, именованный Д-1. При этом на период запуска и освоения технологии начальниками основных цехов завода были назначены ведущие специалисты созданных в декабре 1945 года Особых конструкторских бюро. Так, начальником цеха больших машин (ОК-9), разработанных на Горьковском машиностроительном заводе, был назначен Игорь Иванович Африкантов, работавший в то время начальником опытного производства на ГМЗ.

В 1948 году на заводе Д-1 работало 600 человек, через год завод насчитывалось уже 3500 сотрудников. Это была гонка со временем, и чувствовалось, что мы в ней могли победить. Но проблем с освоением диффузионной технологии было очень много, потому как это действительно сложный процесс, который в мире до сих пор смогли освоить лишь США (1945), СССР (1949), Великобритания (1956) и Франция уже в 1967 году. Несмотря на то, что в 1955 году завод Д-1 был демонтирован «как экономически неэффективное предприятие», к тому времени в стране работало несколько новых и более совершенных заводов.

Среди награжденных за решение проблемы обогащения урана Сталинскими премиями в 1951 году значились директор завода и начальник ОКБМ А.С. Елян, главный конструктор ОКБМ А.И. Савин, главный инженер В.Д. Максименко, возглавивший ГМЗ в 1951 году. Орден Ленина получил И.И. Африкантов, в 1951 году назначенный главным конструктором Особого конструкторского бюро по проектированию специальных машин ГМЗ, а с января 1964 года приобрело самостоятельный статус, выделившись из состава ГМЗ. Через три года предприятие получило, как здесь говорят, открытое название, и с тех пор известно как Опытное конструкторское бюро машиностроения. Имя И.И. Африкантова было присвоено ОКБМ в 1998 году.

А урановая РДС-2 была испытана в конце сентября 1951 года, и уже 18 октября с бомбардировщика Ту-4 в Семипалатинске была сброшена РДС-3. К тому времени в Арзамасе-16 активно работало КБ-11, в структуре которого были созданы завод №1 и завод №2 по промышленному производству атомных бомб. Так мы догнали, а затем и обогнали время.



Каскад газодиффузионных машин первого поколения

# ОКБМ им. Африкантова: сохраняя традиции, создаем будущее



Акционерное общество «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова» – крупный научно-производственный центр атомного машиностроения, располагающий многопрофильным конструкторским коллективом, собственной исследовательской, экспериментальной и производственной базой.

Предприятие ведет свою историю с 27 декабря 1945 года, когда на базе Государственного ордена Ленина завода № 92 им. И.В. Сталина было образовано ОКБ по проектированию специальных машин для решения задач советского Атомного проекта.

В эти дни АО «ОКБМ Африкантов» отмечает свой 70-летний юбилей.

## НАЧАЛО ПУТИ

С конца 1940-х годов ОКБ активно участвует в создании газодиффузионных машин для обогащения урана и первых промышленных ядерных реакторов.

Постановление правительства об образовании ОКБМ пришлось на самый напряженный период работ по советскому Атомному проекту, целью которого было создание в стране ядерного оружия. Молодое ОКБ, созданное на базе прославленного Горьковского артиллерийского завода № 92 (позднее – ГМЗ, директор – А.С. Елян, главный конструктор – А.И. Савин), в короткий срок смогло разработать и запустить в производство первые серийные диффузионные машины и оборудование для ядерного реактора наработки оружейного плутония. Следующие промышленные ядерные реакторы уже целиком разрабатывались в ОКБ, а их производство осваивалось на ГМЗ при тесном взаимодействии конструкторов с технологическими службами завода.

С начала 1950-х годов тематика работ ОКБ стала быстро расширяться, включая новые типы промышленных ядерных реакторов, корабельные и судовые энергетические реакторы и паропроизводящие установки, а с 1960 года – ядерные реакторы на быстрых нейтронах. В это время бюро становится головной конструкторской организацией по этим направлениям атомной энергетики.

В период 1945-1960 гг. было разработано, изготовлено и испытано 25 типов компрессоров для газодиффузионных машин. За изготовление и поставку на монтаж 17000 газодиффузионных машин конструкторское бюро получило три Государственные и Правительственные премии. Этот этап важен тем, что именно тогда были созданы инновационные конструкции и технологии, которые в дальнейшем оказались востребованными при разработке реакторных установок различного назначения.

Успех первых шагов ОКБ в абсолютно новой для него области техники был в значительной степени предопределен тем, что в своей работе оно опиралось, с одной стороны, на технологическую базу и опыт мощного



**Д.Л. Зверев, генеральный директор-главный конструктор ОКБМ Африкантов**

машиностроительного предприятия – ГМЗ, а с другой – работало в тесном контакте с ведущими учеными-атомщиками – И.В. Курчатовым, А.П. Александровым, И.К. Кикоиным, А.И. Алихановым и др. – и научными центрами нашей страны.

## ПОКОРЯЕМ АРКТИКУ

Россия – единственная страна в мире, обладающая атомным ледокольным флотом.

20 ноября 1953 года Совет министров СССР принял постановление о строительстве атомного ледокола «Ленин» – первого

в мире судна гражданского назначения с ядерной силовой установкой. Игорь Иванович Африкантов, бывший в то время главным конструктором ОКБ завода, добился, чтобы все проектирование реакторной установки и входящего в нее оборудования выполнялись силами ОКБ, у которого уже был опыт проектирования подобных установок для атомной подводной лодки. Специалисты ОКБ в течение всего срока службы проводили авторский надзор за работой установки.

Первый советский ледокол «Ленин» проектировался и строился для обслуживания Северного морского пути. Мощная энергоустановка и высокая автономность позволяли значительно увеличить срок северной навигации. Имея практически неограниченный район плавания, ледокол мог побывать за один рейс в самых отдаленных районах Арктики.

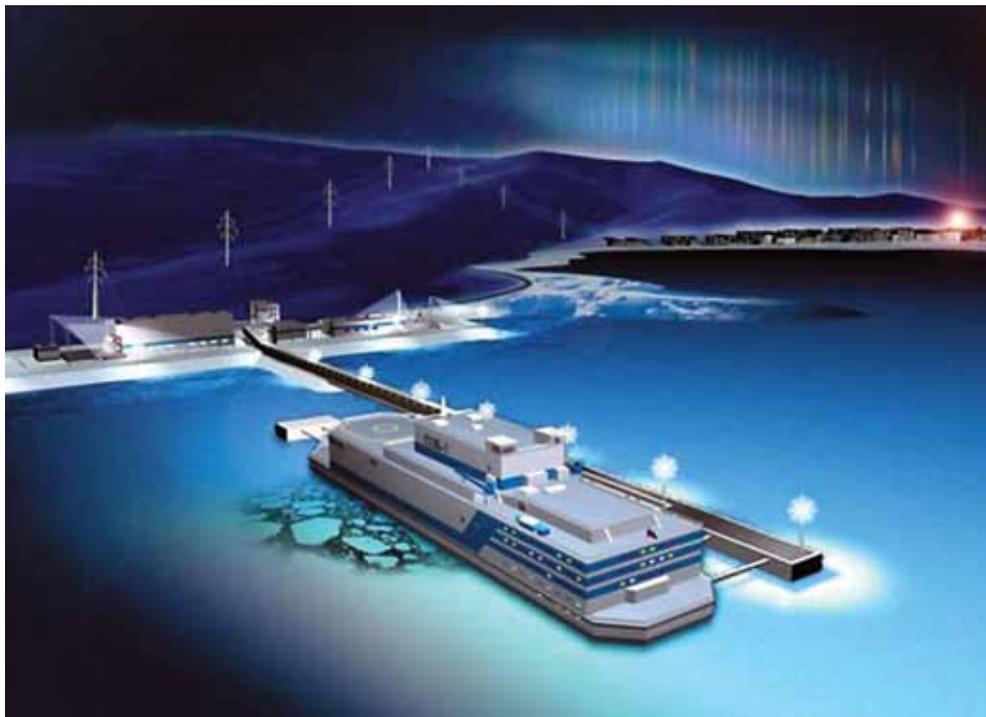
5 декабря 1957 года был осуществлен спуск ледокола на воду, в сентябре 1959 года начались ходовые испытания в Финском заливе, а 3 декабря того же года состоялось успешное завершение испытаний, и на ледоколе «Ленин» был поднят государственный флаг СССР. Эта дата считается днем рождения советского атомного ледокольного флота.

Арктическая навигация этого ледокола продолжалась вплоть до 1989 г., он прошел 654,4 тысячи морских миль, из них 563,6 тысячи – 30 земных экваторов – во льдах, то есть, в среднем за один год ледокол прокладывал по северным морям маршрут протяженностью в одно кругосветное путешествие. За время службы ледокол «Ленин» провел через льды Арктики 3741 транспортное судно.

В 1960 г. за участие в создании ядерной энергетической установки первого в мире гражданского атомного судна – ледокола «Ленин» – ОКБ награждается высшей государственной наградой – Орденом Ленина.



**Первый в мире атомный ледокол «Ленин»**



Макет ПАТЭС «Академик Ломоносов»

Успешная эксплуатация первого атомного ледокола положила начало развитию целой отрасли – атомного судостроения. В период 1975-2006 гг. в стране было построено еще 8 атомных ледоколов («Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский союз», «Таймыр», «Вайгач», «Ямал», «50 лет Победы») и океанский лихтеровоз-контейнеровоз усиленного ледового класса «Севморпуть». Для них в АО «ОКБМ Африкантов» были разработаны 3 модификации реакторной установки (РУ) (ОК-900А, КЛТ-40, КЛТ-40М). Атомный ледокол «50 лет Победы» с реакторной установкой ОКБМ представляет собой модернизированный проект второй серии атомных ледоколов типа «Арктика». Это самый крупный атомный ледокол в мире: длина судна – 159 м, ширина – 30 м, полное водоизмещение – 25 тысяч тонн. Две атомные энергетические установки обеспечивают мощность на винтах 75 тысяч л. с., что позволяет ледоколу двигаться со скоростью хода 18 узлов и преодолевать льды толщиной до 2,8 м.

Таким образом, 9 атомных ледоколов и океанское грузовое судно-лихтеровоз «Севморпуть» оснащены реакторными установками разработки АО «ОКБМ Африкантов», 20 РУ изготовлено и эксплуатировалось, суммарная наработка – 365 реакторо-лет.

Сегодня с участием ОКБМ начато строительство ледоколов нового поколения с усовершенствованной интегрированной РУ «РИТМ-200». Тепловая мощность одного реактора – 175 МВт. Реакторная установка выполнена с интегральным парогенерирующим блоком, что позволило конструкторам добиться меньших размеров и массы РУ. Длина установки – шесть метров, ширина тоже шесть метров, вес в защитной оболочке – до 1000 тонн. Расчетное время работы реактора на одной загрузке топлива (с обогащением по урану-235 до 20%) – до 10-12 лет. «РИТМ-200» является сегодня самым современным, высокотехнологичным и безопасным ядерным реактором с минимальными массогабаритными характеристиками.

Идет выполнение договорных обязательств по комплектной поставке двух РУ для первого универсального атомного ледокола (2016 г.), четырех РУ для УАЛ-2 (2017 г.) и УАЛ-3 (2018 г.).

#### СЕВЕР БУДЕТ ОБОГРЕТ

На основе опыта создания и совершенствования судовых и корабельных реакторов предприятием разработан ряд проектов реакторных установок малой и средней мощности АБВ-6М, КЛТ-40С и ВБЭР-300, которые рассчитаны на использование в удаленных районах с децентрализованным электроснабжением и дорогим топливом. Разработки ведутся с 1972 года. Наиболее готовые к реализации проекты энергоисточников малой мощности АБВ-6М и КЛТ-40С предполагают размещение атомной энергетической установки на суше и на несамостоятельных плавучих средствах.

Плавучие энергоблоки наилучшим образом приспособлены для работы в труднодоступных районах по берегам морей или крупных рек, удаленных от систем централизованного энергоснабжения. В России это прежде всего районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, которые не охвачены единой энергетической

системой и нуждаются в надежных и экономически приемлемых источниках энергии. Здесь уже в настоящее время существует острая потребность в нескольких десятках теплоэлектростанций малой мощности для стимулирования развития экономической активности и обеспечения современных условий жизни местного населения. Типичные поселки Севера имеют от сотен до нескольких тысяч человек. Потребности такого поселка в электроэнергии составляют соответственно от нескольких единиц до нескольких десятков МВт. Аналогичны промышленные потребности большинства рудников и горно-обогатительных комбинатов.

В 2019 г. плавучий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов» с реакторной установкой КЛТ-40С заменит Билибинскую АЭС на Чукотке. Плавучий энергоблок с реакторными установками КЛТ-40С способен вырабатывать 70 МВт электрической мощности и 50 ГВт в час тепловой, это позволит поддержать жизнеобеспечение на протяжении 10 лет достаточно крупного населенного пункта с числом проживающих до 100 тысяч человек.

Сегодня плавучая атомная электростанция «Академик Ломоносов» достраивается на Балтийском заводе. В петербургском филиале Центрального института повышения квалификации (ЦИПК) Росатома с 1 сентября уже начата подготовка членов экипажа первого плавучего энергоблока. На сегодняшний день в мире нет аналогов этому проекту.

ПАТЭС заинтересовались зарубежные страны, например, Китай, и китайские партнеры уже вели переговоры с представителями Росатома.

Для экспорта в прибрежные районы стран и регионов с засушливым климатом разработан вариант атомного энергопреснительного комплекса (ПАЭОК), который производит не только электроэнергию, но и качественную питьевую воду из морской воды. В составе такого комплекса – ПЭБ и плавучий водопреснительный комплекс, в котором может использоваться либо технология обратного осмоса (RO), либо многоступенчатые испарительные установки (MED). Интерес к таким комплексам проявляют страны, испытывающие острый дефицит пресной воды.





Плавающая атомная станция – впрочем как и любая другая – согласно современным нормам безопасности изначально проектируется с запасом прочности, превышающим предельно возможные нагрузки, такие как удар волны цунами по станции, столкновение с другим судном или с береговым сооружением в результате такого удара.

#### БЫСТРЫЙ АТОМ

Россия – мировой лидер в развитии технологии быстрых реакторов. Работы по созданию ядерных реакторов на быстрых нейтронах начались в 60-х годах прошлого века. АО «ОКБМ Африкантов» было привлечено к работе в качестве головного предприятия. Первый в мире опытно-промышленный энергетический реактор БН-350 был введен в эксплуатацию в 1973 г. в Казахстане и эксплуатировался до 1998 г. Длительная успешная эксплуатация этих реакторов объективно выдвинула нашу страну в число мировых лидеров в освоении этой перспективной реакторной технологии.

В 1980 г. на Белоярской АЭС был введен в строй следующий, более мощный, единственный в мире действующий энергетический реактор БН-600, который уже более 35 лет стабильно работает на Белоярской атомной электростанции им. И.В. Курчатова в городе Заречный Свердловской области. В 70-х-80-х годах прошлого столетия были построены четыре энергоблока на быстрых нейтронах, три из которых были остановлены. В этом году на Белоярской АЭС будет запущен более мощный энергетический реактор БН-800. Не менее важное значение имеет то, что ОКБМ ведет работы по перспективному проекту БН-1200, предназначенному для промышленной реализации замыкания ядерного топливного цикла; планируемый ввод в эксплуатацию – до 2025 г.

Использование быстрых реакторов многократно повышает эффективность атомной энергетики в отношении природных запасов ядерного топлива и в разы сокращает объемы радиоактивных отходов атомной энергетики. Всё это делает реакторы на быстрых нейтронах самой передовой и экологически чистой технологией атомной энергетики.

АО «ОКБМ Африкантов» активно участвует в международном сотрудничестве по быстрым

реакторам. Наше бюро являлось разработчиком проекта китайского экспериментального реактора на быстрых нейтронах CEFR и главным подрядчиком по изготовлению основного оборудования реактора, участвовало в осуществлении физического и энергетического пусков реактора в 2011 г. и оказывает помощь в освоении его мощности. В настоящее время идет подготовка межправительственного соглашения о сооружении в КНР демонстрационного быстрого реактора с натриевым теплоносителем (CDBFR) на базе проекта БН-800 с участием ОКБМ и других предприятий Госкорпорации «Росатом».

#### ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО

АО «ОКБМ Африкантов» – главный конструктор высокотемпературных газоохлаждаемых РУ для энерготехнологических комплексов и водородной энергетики. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) являются принципиально новым экологически чистым универсальным атомным энергоисточником. Его уникальные свойства – способность вырабатывать тепло с температурой до 1000°C и высокий уровень безопасности – определяют широкие возможности по использованию этого типа реактора для снабжения теплом технологических производств в различных энергоемких отраслях промышленности (химической, нефтеперерабатывающей, металлургической), для производства электроэнергии с высоким КПД и для экономичного производства водородного топлива. ОКБМ им. Африкантова совместно с РНЦ «Курчатовский институт» начал разработку ВТГР еще в 70-е годы.

В 1970-1990 гг. разработан ряд проектов ВТГР различного направления и уровня мощности: пилотная атомная станция для комбинированной выработки технологического тепла и электроэнергии в паротурбинном цикле ВГ-400, реакторная установка с прямым газотурбинным циклом преобразования энергии ВГ-400 ГТ, модульный реактор для производства технологического тепла с температурой около 900°C и электроэнергии ВГМ, атомная станция для энергоснабжения типового нефтеперерабатывающего комбината ВГМ-П. Потенциал технологического применения ВТГР превосходит возможности атомной электрогенерации в два раза. Первым референтным блоком отечественного ВТГР может стать реактор на экспериментальной атомной станции в Индонезии.



ОКБМ в составе кооперации с «Русатом – Международная сеть», ФГУП НИИ НПО «Луч», дочерним предприятием Росатома NUKEM Technologies GmbH и индонезийских компаний Reayasa Engineering и Kogas Dryar Consultant выиграл тендер на разработку проекта реакторной установки. Срок окончания работ по первому этапу наступит уже в этом году.

С 1995 г. АО «ОКБМ Африкантов» участвует в международном инновационном проекте ГТ-МГР. На предприятии создана крупная научно-исследовательская и экспериментальная база для комплексных испытаний и проводится экспериментальная отработка топлива, реактора и системы преобразования энергии, оборудования и конструкционных материалов. К середине 1990-х годов достижения в технологии газовых турбин, электромагнитных подшипников, высокоэффективного теплообменного оборудования сделали реальной разработку инновационного проекта гелиевого ВТГР с газовой турбомашинной для прямого преобразования энергии с КПД около 50% (цикл Брайтона). Эта концепция легла в основу Международного проекта ГТ-МГР (Gas Turbine – Modular Helium Cooled Reactor (GT-MHR)). В 2002 г. завершена разработка эскизного проекта модуля ГТ-МГР. Ведётся комплекс ОКР по блоку преобразования энергии и ядерному топливу.

На базе проекта ГТ-МГР выполнены проработки по проекту РУ МГР-Т для комбинированной выработки высокопотенциального тепла для нужд водородного производства и электроэнергии в прямом газотурбинном цикле.

Установки ГТ-МГР и МГР-Т по своим техническим характеристикам, уровню безопасности и экономичности соответствуют требованиям, предъявляемым к перспективным реакторным технологиям XXI века, сформулированным президентом России на Саммите тысячелетия в ООН в сентябре 2000 г. Работы в этом направлении продолжаются.

### АКТИВНЫЕ ЗОНЫ И ТОПЛИВО

Одним из важных самостоятельных направлений деятельности АО «ОКБМ Африкантов» в рамках проектирования и создания установок для флота, а также атомных станций малой мощности является разработка и комплексное научно-техническое обоснование активных зон ядерных реакторов. Данное

направление включает разработку конструкции, обоснование механической прочности, физических и теплотехнических характеристик активных зон, ядерной безопасности и ресурсной надежности, проведение необходимых расчетов и экспериментальных исследований на стендах.

С момента ввода в эксплуатацию первой ледокольной РУ типа КЛТ-40 (1970г.) для гражданского атомного флота в АО «ОКБМ Африкантов» было разработано более двух десятков проектов активных зон, доведенных до стадии изготовления и эксплуатации, что обеспечило непрерывное повышение их ресурсных и технико-экономических характеристик. В настоящее время серийные активные зоны для атомных ледоколов обеспечивают их интенсивную эксплуатацию в течение 5-7 лет. Завершается разработка инновационного проекта активных зон для универсального атомного ледокола (перегрузка через 10-12 лет).

Положительные результаты эксплуатации и потенциал дальнейшего совершенствования сборки позволяют рассматривать ТВСА как предпочтительное и конкурентоспособное ядерное топливо на внутреннем рынке и на традиционных для России внешних рынках. В активных зонах АЭС «Темелин» (Чехия), откуда мы вытеснили фирму Westinghouse, пятый год успешно работает наша активная зона. Для активных зон АЭС «Темелин» ведутся разработки более совершенных модификаций теплоделяющих сборок по показателям топливоспользования, безопасности, надежности. Аналогичный пакет задач решается и для АЭС «Козлодуй» (Болгария) и Калининской АЭС.

Другой предмет наших забот и устремлений – теплоделяющие сборки западного дизайна для реакторов PWR ТВС-КВАДРАТ.

По документации ОКБМ изготовлено более 8000 ТВСА для 18 блоков ВВЭР.

### ИНВЕСТИЦИИ В БУДУЩЕЕ

Инвестиционная деятельность АО «ОКБМ Африкантов» направлена на обеспечение развития и реализацию стратегических целей предприятия, включая при этом оптимизацию инвестиционных затрат и повышение эффективности инвестиционных проектов. Основные направления: развитие и модернизация производственно-экспериментальной базы, техническое перевооружение и развитие инфраструктуры, развитие вычислитель-

ной базы, инвестиции в интеллектуальный капитал.

Миссией предприятия является создание новых, всё более совершенных конструкций и технологий, продукции и услуг мирового уровня, в первую очередь, в интересах инновационного развития атомной энергетики России. На эти цели направлены новые проекты и «Стратегия развития предприятия...», рассчитанная на перспективу до 2020 года. Стратегия предусматривает поэтапную модернизацию производственной и экспериментальной базы ОКБМ, увеличение номенклатуры и объема поставок оборудования для действующих и строящихся объектов атомной энергетики, активную внешнеэкономическую деятельность.

АО «ОКБМ Африкантов» проводит совместные работы с иностранными фирмами, сотрудничает с МАГАТЭ, активно участвует в международных конференциях и симпозиумах.

В АО «ОКБМ Африкантов» работает Совет молодежи, который более 10 лет содействует администрации и профсоюзному комитету в решении вопросов, связанных с деятельностью молодых работников на предприятии. Имея большой опыт взаимодействия, Совет молодежи разработал целевую программу «Молодежь ОКБМ на 2013-2015 и на перспективу до 2020 года», которая позволяет выстраивать в АО «ОКБМ Африкантов» успешную систему работы с молодежью. ОКБМ сотрудничает с учреждениями высшего и среднего профессионального образования (университеты, институты, техникумы и др.), обеспечивает достойное развитие и на предприятии: имеет аспирантуру и диссертационный совет.

На сегодняшний день предприятие имеет далеко идущие амбициозные планы. По статусу и роду своей деятельности АО «ОКБМ Африкантов» принимает участие в решении задач ключевых ЦФО 1 уровня Госкорпорации «Росатом», включая Дирекции ЯОК, ЯЭК, ЯРБ, блок по управлению инновациями, ФГУП «Атомфлот» и др. Предприятие входит в контур управления (является курируемым обществом) АО «Атомэнергомаш» – энергомашиностроительного холдинга Госкорпорации «Росатом». Доля АО «ОКБМ Африкантов» в выручке АО «Атомэнергомаш» – 25%. Пакет заказов сформирован до 2017 года и составляет более 60 миллиардов рублей.

**Смотрим в будущее с оптимизмом!**



## «Быстрая энергетика»: от прогнозов к реальности



### НАСЛЕДИЕ СРЕДМАША

Связи, сформировавшиеся в годы становления советского атомного проекта, и сегодня объединяют ведущие предприятия Государственной корпорации «Росатом»

За семь минувших десятилетий поколениями российских атомщиков проделан огромный объем работы по созданию и сохранению ядерной мощи российского государства. Советский атомный проект стал своеобразным золотым веком для технологий и ученых, чье призвание – создание новых безопасных проектов в сфере реакторостроения. Время требовало новых исследований нейтронных, радиационных, теплофизических и теплодинамических процессов, происходящих в реакторе, неординарных конструкторских решений и научно-производственного потенциала.

Такими качествами обладало особое конструкторское бюро машиностроения (ОКБМ) им. Африкантова, под руководством которого – как Главного конструктора – в рекордные сроки были спроектированы, размещены в горных выработках и введены в эксплуатацию промышленные уранграфитовые реакторы, образовавшие технологический комплекс подземной АТЭЦ, состоящей из трех реакторов: АД, АДЭ-1 и АДЭ-2. Реактор АД заработал всего через восемь лет после начала строительства подземных сооружений – срок, который сегодня кажется чем-то из области фантастики.

### ВЕЛИКОЕ ПРОШЛОЕ

За долгие годы эксплуатации реакторов неоднократно подтверждалась на практике правильность принятых основных проектных, конструкторских и технологических решений. Постоянно шла кропотливая работа по оптимизации водно-химических и теплогидравлических режимов работы технологических каналов и твэлов и повышению безопасности реакторов, а также исследованию стойкости металлоконструкций и графитовой кладки.

Благодаря удачным конструкторским решениям и реализации специальных программ модернизации, на третьем реакторе



**П.М. Гаврилов,**  
генеральный директор  
ФГУП «ГХК», доктор  
технических наук

Горно-химического комбината, АДЭ-2, был достигнут беспрецедентный срок эксплуатации – более 46 лет. Для реакторов подобного типа это является мировым рекордом по срокам службы. На основе опыта эксплуатации реакторов типа АД был разработан комплекс технологических мер по обоснованию и продлению ресурса атомных энергоисточников, что дало значительный экономический эффект в масштабах страны и заметно повысило уровень их безопасности. И этот труд получил оценку на самом высоком уровне: авторскому коллективу, состоящему из конструкторов реактора, проектировщиков, ученых, специалистов службы эксплуатации, за повышение безопасности работы реактора и продление его срока службы, присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2009 год.

Новый век – новые вызовы. Наши предприятия продолжают тесное сотрудничество. За счет передовых компетенций в науке об атомном ядре создаются уникальные проекты, по своей смелости и значимости сопоставимые с созданием ядерного щита страны в прошлом столетии. Одной из таких компетенций является замыкание ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). Это одна из стра-

тегических задач, поставленных Государственной корпорацией «Росатом», и решать ее можно только аккумулируя усилия ведущих предприятий отрасли.



Необходимо отметить особый вклад, который внес коллектив ОКБМ в обеспечение безопасности предприятия при разработке и выполнении «Вероятностного анализа безопасности «мокрого» хранилища ОЯТ» (ВАБ). Работы по ВАБ «мокрого» хранилища ОЯТ были инициированы по поручению С. В. Кириенко после фукусимских событий. Это первый ВАБ, выполненный для хранилищ ОЯТ, ранее ВАБ проводился только для АЭС. ОКБМ вместе с проектировщиками из ВНИПИЭТ создали модели «мокрого» хранилища ОЯТ, просчитали самые невероятные аварийные ситуации.

Работы по ВАБ «мокрого» хранилища ОЯТ были инициированы по поручению С. В. Кириенко после фукусимских событий. Это первый ВАБ, выполненный для хранилищ ОЯТ, ранее ВАБ проводился только для АЭС. ОКБМ вместе с проектировщиками из ВНИПИЭТ создали модели «мокрого» хранилища ОЯТ, просчитали самые невероятные аварийные ситуации.



Результаты ВАБ свидетельствуют о соответствии уровня безопасности нормативному критерию обеспечения безопасности для объектов использования атомной энергетики. Положительным эффектом явилось то, что были разработаны рекомендации и приняты дополнительные меры по управлению за-проектными авариями и повышению безопасности «мокрого» хранилища ОЯТ от уже достигнутого уровня. Благодаря проекции сложных методик был сформирован новый «абсолютный» стиль выполнения ВАБ систем безопасности для хранилищ ОЯТ.

### ЗА НАМИ – БУДУЩЕЕ

В структуре крупномасштабной атомной энергетики доминирующая роль отводится реакторам на быстрых нейтронах (БН) с замкнутым топливным циклом. В 2014 году на Горно-химическом комбинате впервые в мировой практике реализован в промышленном масштабе стратегический инвестиционный проект Государственной корпорации «Росатом» по созданию промышленного производства МОКС-топлива. Основной задачей созданного производства является топливо-обеспечение реактора БН-800 на Белоярской АЭС, разработанного ОКБМ Африкантов. Это производство первым начнёт промышленное вовлечение потенциала плутония в ядерный топливный цикл России путём замыкания ядерного топливного цикла на основе эксплуатации реактора на быстрых нейтронах БН-800 с МОКС-топливом. Особенность создаваемого производства в том, что всё технологическое оборудование, используемое в технологическом процессе, – нестандартизированное и не имеет аналогов в мире. Основная сложность заключалась в создании прецизионного оборудования, которое, в силу использования в технологии высокофонового энергетического плутония, должно быть размещено в цепочке защитных



Первая ТВС с урановым топливом, выпущенная на ФГУП «ГХК»

камер и работать в автоматическом режиме, без применения ручного труда.

Основной продукцией нового производства являются тепловыделяющие сборки с МОКС-топливом, разработчиком которых также является ОКБМ Африкантов. Концепция и конструктивное исполнение ТВС, пред-

ложенные специалистами ОКБМ Африкантов, удовлетворяют высоким требованиям ядерной и радиационной безопасности при размещении топлива, а также обеспечивают возможность осуществлять сборку ТВС в максимально автоматизированном режиме.

В рамках подготовки к промышленному производству МОКС ТВС и отработки технологического процесса 04 августа 2015 года на ФГУП «ГХК» была выпущена первая ТВС с урановым топливом. А 28 сентября, в день 70-летия атомной отрасли России, высокую оценку совместному труду всех создателей производства МОКС-топлива дал генеральный директор Государственной корпорации «Росатом» Сергей Кириенко. МОКС и «быстрая» энергетика – это уже не только прогнозы и планы таких отраслевых лидеров, как ОКБМ и ГХК. Это реальность сегодняшнего дня. И значит, впереди – новые вершины, сложные задачи, поставленные Росатомом, которые коллективы наших предприятий непременно должны решить.





## Металлургический комплекс «Красный Октябрь» – надежный партнер в реализации атомных проектов

1945 год – особая дата в истории России. Он знаменателен величайшей Победой в смертельной схватке с фашизмом.

Стране предстояло еще только подняться из руин, но уже в конце года было положено начало становления отечественной атомной отрасли, получившей в короткий срок многостороннее развитие как в мирных, так и в оборонных целях. В это время были созданы многие крупнейшие предприятия атомной отрасли. Среди них и ОКБМ Африкантов, встречающий в декабре 2015 года 70-летие своего основания.

В результате стремительного развития науки и насыщенной необходимости создания надежного ядерного оборонного комплекса уже в начале 50-х годов прошлого столетия к участию в реализации атомных проектов были привлечены промышленные предприятия, обладавшие передовыми технологиями и мощной производственной базой для осуществления казавшихся в то время фантастическими проектов. В Сталинграде к таким предприятиям относились металлургический завод «Красный Октябрь» (МЗ «Красный Октябрь») и машиностроительный завод «Баррикады» (МЗ «Баррикады»).

Начиная с 1956 года в тесном контакте с Институтом атомной энергии АН СССР, при техническом руководстве академика А.П. Александрова, совместно с руководимой И.И. Африкантовым проектной организацией, ставшей впоследствии ОКБМ Африкантов, на заводе были выполнены проектирование и изготовление экспериментального реактора на основе реактора для силовой установки первого атомного ледокола «Ленин». Впервые на заводе были изготовлены решетки, экраны, компенсаторы, трубопроводы и другое оборудование.

В последующие 60-80-е годы наращивался производственный потенциал, осваивались новые марки сталей, внедрялись новые технологические процессы производства металлургических заготовок, выплавки стали, включая струйное и циркуляционное вакуумирование, с получением слитков массой до 145 т и их последующим переделом на заготовки. Совершенствовались процессы механической и термической обработки, все требуемые виды испытаний как основного металла, так и металла сварочных швов и наплавов.

В это время была изготовлена широкая гамма оборудования РУ различных поколений: ВМ-А02сб; ОК-350 О2сб; ОК-900сб; РБМ-К61 и К62; КН-3; БКТ-ВК10сб; ОК-650Б-3, а само время характеризуется подъемом всех компонентов производства изделий атомной энергетики, который достигался усилиями многих подразделений завода, включая всю металлургию, обеспечивавшую производство высококачественной стали на всех переделах.

Естественно, решали всё кадры – высококвалифицированные специалисты: конструкторы, технологи, инженеры исследователи, мастера и рабочие.

Это позволило занять ведущую позицию в производстве атомного энергетического оборудования для кораблей Военно-морского флота, для ледоколов, а также некоторого оборудования для атомных станций.

Абсолютное большинство кораблей ВМФ, ледоколы, лихтеровозы, имеющие атомные энергетические установки, оснащены оборудованием, изготовленным на производственных мощностях МЗ «Красный Октябрь» и МЗ «Баррикады» полного технологического цикла: выплавки,ковки, механической обработки, термической обработки, сварки и наплавки, всех видов разрушающего и неразрушающего контроля и испытаний.

Достаточно упомянуть: корпуса реакторов, парогенераторов, гидрокамер, блоки очистки и расхолаживания, корпуса холодильников и фильтров; компенсаторы объема, обечайки, опорные кольца, узлы и детали внутреннего насыщения корпусов и блоков.

Значительный вклад в успешную реализацию государственных задач внесен ОКБМ Африкантов, сотрудничество с которым в качестве разработчика изделий и непосредственного участника производственных процессов обеспечивало достижение высоких результатов.

Так, в 2011 году МЗ «Красный Октябрь» изготовлены составные части оборудования реакторной установки КЛТ-40 для ПАТЭС, в 2012 и 2013 гг. по договорам и заказам ОКБМ Африкантов было завершено изготовление, выполнены квалифицированные испытания и приемка ОКР опытных изделий блоков корпусов для АПЛ новых проектов.

В 2015 году завершается изготовление головных образцов изделий при техническом сопровождении ОКБМ «Африкантов». До начала производства головных образцов изделий и в процессе производства предприятием выполнено наращивание производственных мощностей, модернизация, восстановление и приобретение нового оборудования, оптимизация всех процессов.

В настоящее время металлургический комплекс «Красный Октябрь» состоит из двух производственных площадок:

- металлургического завода, выполняющего заказы для специального машиностроения и осуществляющего собственное механосборочное производство;

- металлургического комбината, представляющего предприятие большой металлургии в истинном значении этого понятия.

В целом металлургический комплекс «Красный Октябрь» – одно из крупнейших предприятий металлургической отрасли промышленности России, продукция которого широко используется на внутреннем рынке и востребована за рубежом.

В ассортименте выпускаемой продукции преобладают:

- сортамент из нержавеющей, высоколегированных и жаропрочных сталей;
- прокат с термоулучшением;
- трубные заготовки шлифованные;
- прокат горячекатаный квадратного и круглого сечения;
- прокат горячекатаный пустотелый круглого сечения и шестигранник;
- прокат горячекатаный толстолистовой и тонколистовой;
- прокат холоднокатаный тонколистовой.

Номенклатура этой продукции включает более 500 видов профилей проката, производимого из 900 уникальных марок стали специального назначения.

Сталеплавильный цех оснащен двумя электродуговыми печами емкостью 140 тонн каждая, двумя установками для внепечной обработки, а также вакууматором со специальными камерами, в которых можно отливать в вакууме слитки массой до 140 тонн из конструкционных и нержавеющей сталей, предназначенных для изготовления изделий атомной энергетики. На предприятии имеется цех электрошлакового переплава.

Прокатное производство комбината, включающее в себя блюминг/слябинг «1150», непрерывный крупнозаготовочный стан «1000/850/630», стан прокатки толстого листа «2000/2002», стан горячей прокатки тонкого листа «1400», стан холодной прокатки листа «1600», позволяет прокатывать сортовой прокат диаметром 58-340 мм, листового проката толщиной 2-120 мм и холоднокатаный лист толщиной 0,8-2,0 мм. Длина сортового и листового проката 2-6 м. Ширина листового проката 800-1500 мм.

Кроме того, на комбинате имеется стан поперечно-винтовой прокатки, на котором производится прокат пустотелый круглого и шестигранного сечения диаметром 25-40 мм для буровой техники.

Прокатные цехи оснащены средствами для термической обработки проката, позволяющими выполнять самые разнообразные виды термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку, отпуск. Сортовой прокат поставляется в обточенном (резцовая обточка) или шлифованном состоянии с шероховатостью поверхности от 80 до 5 микрометров, а листового проката – в травленном состоянии.

Кузнечное производство оснащено уникальным оборудованием в составе автоматизирован-



ного ковочного комплекса фирмы «Деви Маки» с усилием прессования 8000 т и осадки 13000 т, ковочного манипулятора г/п 200 т, крана 400/100 т и нагревательных печей, обеспечивающих изготовление широкого ассортимента поковок: валы гладкие и с уступами, весом до 68,0 т; роторы генераторов и паровых турбин, весом до 85,0 т; раскатные кольца диаметром до 3750 мм, весом до 47,0 т; трубы, цилиндры с отверстием, диски, трубные доски и плиты, развесом соответственно: 8,3/65,0 т; 39,5-50,0 т; 1,5-39,5 т; 1,5 т и 17,0-60,5 тонны. Поковки изготавливаются из нержавеющей, легированной никельсодержащей, инструментальной, подшипниковой, конструкционной легированной и углеродистой сталей.

МК «Красный Октябрь» является эксклюзивным изготовителем методом прошивки-протяжки крупногабаритных бесшовных труб, предназначенных для паропроводов тепловых и атомных электростанций. Трубы поставляются по ТУ 3-923-75. Высокое качество труб обеспечено благоприятной схемой деформации при прошивке с последующей протяжкой. Технология обеспечила высочайшее качество баллонов, поставляемых для нужд МО РФ в двух модификациях: ЛТИ-791 объемом 400 литров и ОТИ-761/А объемом 650 литров на рабочее давление 400 кгс/см<sup>2</sup>.

На МК «Красный Октябрь» реализуется единственная, уникальная технология производства труб для изделий специального назначения методом центробежного литья. Центробежные трубы нашли применение при производстве валов бумагоделательных машин, цилиндров горно-шахтного оборудования, раскатных колец крупногабаритных подшипников, штоков, молотов и других изделий из стали 20х13, 38хНЗМФА, 20х2Н4А, 30хН3А, 15х1М1Ф, 20хГ2Б.

Механические цехи предприятия способны производить механическую обработку всего сортамента производимой продукции, включая операции глубокой расточки и отточки, глубокого сверления и фрезерования. Станки токарной группы позволяют обрабатывать детали диаметром до 3200 мм, длиной до 17 метров. Токарно-карусельные станки обрабатывают детали диаметром до 3700 мм высотой до 3200 мм. Продольно-строгальные станки способны обработать детали габаритами 1500х4000х10000 мм.

Окончательная термическая обработка осуществляется несколькими технологическими потоками, включая горизонтальное и вертикальное отделения и участок обработки малогабаритных заготовок.

Размеры заготовок соответственно:

D до 2200 мм; L 14000-18000 мм, масса 50-8 т;

D до 360 мм; L 8500 мм для труб и Dн до 1800 мм для колец.

С приходом нового руководства предприятия в последние четыре года в число приоритетных задач включены задачи внедрения новых технологий, модернизация и техническое совершенствование процессов.

В рамках реализации требований ГОСТ РВ 15.203 и ГОСТ РВ 15.301 совместно с ОКБМ Африкантов, с учетом специальных требований к изготавливаемой продукции, выполнена адресная Программа актуализации производственных мощностей предприятия.



В настоящее время разработана и выполняется программа по реконструкции и модернизации технологического оборудования:

- установлены новые современные печи и закалочное оборудование для закалки и отпуска сортового проката из конструкционных и нержавеющих сталей;

- производится замена устаревших печей для термообработки сортового и листового проката (нормализация, отжиг, отпуск);

- ведется реконструкция установки вакуумирования стали (замена парожеткорных насосов на электромеханические);

- устанавливаются современные станки для бесцентровой отточки сортового проката диаметром 60-350 мм;

- ведется строительство новой современной газоочистной установки (взамен устаревшей «мокрой» газоочистки) за электродуговой печью емкостью 140 тонн;

- подготовлена документация и будет проводиться в 2016-2018 гг. реконструкция электродуговой печи емкостью 140 тонн с заменой трансформатора на более мощный;

- планируется замена стана прокатки толстого листа «2000» на стан «3000», что позволит увеличить ширину готового листа до 2500 мм и длину листа до 12000 мм. Также будет установлено новое современное оборудование для резки, правки и отделки нового сортамента листов.

Действующая на предприятии система менеджмента качества (СМК) соответствует ГОСТ ISO 9001-2011 и ГОСТ РВ 0015-002-2012.

Предприятие также имеет:

- свидетельство о признании изготовителя сортового проката судостроительной стали нормальной и повышенной прочности, проката из коррозионноустойчивой стали, выданное Российским морским регистром судоходства;

- свидетельство о признании изготовителя круглого проката для машиностроения из углеродистой, углеродисто-марганцевой и аустенитной сталей, выданное классификационным и сер-



тификационным обществом Det Norske Veritas (Норвегия);

- свидетельство о признании изготовителя, выданное сертификационной организацией Germanischer Lloyd (Германия);

- разрешение, выданное авиационным регистром межгосударственного авиационного комитета на производство авиационных материалов, и свидетельство об одобрении производства авиационных материалов.

Кроме того, в июле 2014 года «Красный Октябрь» получил сертификат соответствия правилам AD 2000-Merkblatt WO и Директиве 97/23/ЕС. Этот документ международного уровня, выданный органом по сертификации «ТЮФ ЗЮД», подтверждает, что предприятие имеет оборудование, обеспечивающее производство и контроль изделий в соответствии с техническими нормами и стандартами.

На «Красном Октябре» разработана и планомерно реализуется долгосрочная экологическая программа, осуществляемая в соответствии с международными стандартами ИСО 14001:2004. Мы готовы удовлетворить самый высокий уровень запросов наших потребителей в поставке металлургической продукции, отвечающей самым жестким требованиям и индивидуальным заказам.

**Уважаемые партнеры – коллектив и руководство ОКБМ Африкантов! Благодарим вас за многолетнее плодотворное сотрудничество с нашим предприятием! Желаем вашей компании процветания, новых масштабных и перспективных проектов, преумножения достижений!**

**Генеральный директор  
АО «ВМЗ «Красный Октябрь»  
А.В. Рамзаев**



**ВОЛГОГРАДСКИЙ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ  
КОМБИНАТ «КРАСНЫЙ  
ОКТЯБРЬ»**

**400007, г. Волгоград,  
проспект Ленина, д. 110  
Телефоны: +7 (8442) 74-80-05 приемная  
+7 (8442) 74-81-02 отдел договоров  
Факс: +7 (8442) 74-86-54  
E-mail: info@vmkko.ru  
www.vmkko.ru**

**ЗАО «ТД МЗ КО»**

**119048, г. Москва,  
ул. Усачева д.33, стр. 1  
Телефоны: +7 (495) 988-68-05, 988-68-06  
Факс: +7 (495) 988-68-08  
E-mail: sales.inc@rssteel.ru**

# Сотрудничество во имя развития атомного флота



## Руководство и коллектив ОАО «Концерн «НПО «Аврора» сердечно поздравляет весь коллектив АО «ОКБМ Африкантов» с юбилеем!

Вся история наших предприятий неразрывно связана с отечественным атомным флотом, и оба предприятия могут заслуженно гордиться, что они внесли весомый вклад в его становление и развитие, поскольку все современные атомные корабли Военно-морского флота России и все атомные ледоколы оснащены реакторными установками разработки АО «ОКБМ Африкантов» и комплексами систем управления техническими средствами, включая системы управления и защиты реакторов, созданными в ОАО «Концерн «НПО «Аврора».

За многие десятилетия деятельности в области атомного кораблестроения на наших предприятиях накоплен огромный опыт, научный потенциал и техническое оснащение, позволяющие создавать такие высокотехнологичные комплексы, какими являются автоматизированные реакторные установки.

За прошедшие годы между руководством и коллективами наших предприятий сложились добрые отношения, основанные на взаимном уважении и понимании общей цели: оснащении отечественных кораблей и судов техническими средствами, которые отвечают всем современным требованиям и не уступают зарубежным аналогам.

ОАО «Концерн «НПО «Аврора» всегда относилось с пониманием и поддерживало позицию ОАО «ОКБМ Африкантов» о приоритетном и безусловном обеспечении ядерной безопасности создаваемых реакторных установок. Более того, в технических решениях, реализованных ОАО «Концерн «НПО «Аврора» по организации управления как собственно реакторными установками, так и другими технологическими комплексами кораблей и судов с ядерными энергетическими установками, задача обеспечения ядерной безопасности также всегда была поставлена во главу угла.

Коллективы АО «ОКБМ Африкантов» и ОАО «Концерн «НПО «Аврора» и в кризисные годы новейшей истории России сумели не только сохранить научный потенциал, материально-техническую базу и высокую культуру производства, но и выйти на качественно новый уровень, подтверждением чему является успешный выход на завершающие этапы строительства целого ряда заказов ВМФ нового поколения на ОАО «ПО Севмаш».

На эти заказы АО «ОКБМ «Африкантов» поставлены реакторные установки повышенной безопасности. ОАО «Концерн «НПО «Аврора» поставило на эти заказы комплексные системы управления, построенные на современной цифровой элементной базе, что позволило значительно расширить круг задач по контролю и управлению технологическими комплексами кораблей, включая задачи информационной поддержки экипажей в нормальных и аварийных режимах.

Близятся к завершению и работы наших предприятий для плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» и головного универсального атомного ледокола проекта 22220, в которых АО «ОКБМ Африкантов» является главным конструктором реакторных установок, а ОАО «Концерн «НПО «Аврора» – главным разработчиком и поставщиком АСУ ТП. Системы управления и защиты РУ, разработанные ОАО «Концерн «НПО «Аврора» по техническому заданию АО «ОКБМ Африкантов», обеспечивают функции аварийной защиты не только по нейтронно-физическим параметрам реактора, как это традиционно принято в транспортной атомной энергетике, но и по всем остальным технологическим параметрам РУ.

Портфели заказов АО «ОКБМ Африкантов» и ОАО «Концерн «НПО «Аврора» как на ближайшую, так и на долгосрочную перспективу еще раз подтверждают, что наши предприятия остаются стратегическими партнерами, у которых впереди много совместной работы на благо возрождения былой мощи атомного военного флота и продолжения строительства единственного в мире гражданского атомного флота.

От всей души желаем генеральному директору Дмитрию Леонидовичу Звереву и всему коллективу АО «ОКБМ Африкантов» реализации всех планов и замыслов, неиссякаемой энергии и оптимизма на долгие годы, новых творческих успехов, крепкого здоровья, счастья и благополучия. С юбилеем!

**Генеральный директор ОАО «Концерн «НПО «Аврора», доктор технических наук  
К.Ю. Шилов**





ОАО «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора» ведет свой отсчет с 1970 года.

Сегодня ОАО «Концерн «НПО «Аврора» – это мощная организация, располагающая высококвалифицированными кадрами и производственной базой, одной из самых современных в приборостроительной отрасли России.

Все основные боевые корабли ВМФ России (как с атомными установками, так и энергоустановками на органическом топливе) и свыше 300 судов гражданского флота оборудованы комплексами автоматизированных систем управления, разработанными и изготовленными на нашем предприятии. На наших тренажерах совершенствуют боевое мастерство экипажи подводных лодок и надводных кораблей ВМФ страны. Системы управления, созданные на предприятии, успешно эксплуатируются на объектах промышленной энергетики, нефте- и газодобычи. Предприятие активно работает на экспортном рынке, поставляя системы управления для иностранных заказчиков.

Комплексы автоматизированных систем управления и АСУ ТП последних поколений строятся по иерархическому принципу, верхним уровнем которых являются дисплейные пульта управления, объединенные в единую информационную сеть с возможностью автоматической регистрации и хранения значительного объема информации, в том числе в условиях проектных и запроектных аварий, а нижний уровень представляет собой набор локальных контроллеров со средствами сопряжения с источниками информации и исполнительными механизмами различных типов.

Научно-производственный комплекс предприятия соответствует уровню развитой инженеринговой компании, осуществляющей полный комплекс работ от исследований и разработки до поставки систем и комплексов потребителю с предоставлением услуг гарантийного и послегарантийного обслуживания.

На предприятии внедрена автоматизированная система управления проектами, введен электронный документооборот конструкторской и организационно-распорядительной документации и организован электронный архив.

Производственный комплекс предприятия оснащен станочным парком, оборудованием, инструментальной и контрольно-проверочной базой, обеспечивающими изготовление сложнейшей аппаратуры, в том числе построенной на средствах микропроцессорной и цифровой вычислительной техники, как для опытных, так и для серийных образцов изделий.

Испытательный центр предприятия располагает всем необходимым оборудованием для проведения механических и климатических испытаний, испытаний на электрическую прочность и электромагнитную совместимость.

Предприятие имеет государственные лицензии на разработку, производство и ремонт вооружения и военной техники, лицензии Ростехнадзора на конструирование, изготовление и ремонт изделий для судов и иных плавсредств с ядерными установками, лицензию Госкорпорации «Росатом» на проектирование, изготовление и ремонт систем управления ядерных энергоустановок военного назначения. Система менеджмента качества предприятия сертифицирована на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2008, СРПП ВТ, ГОСТ РВ 15.002-2003, а метрологическая служба аттестована на право поверки средств измерений и на компетентность выполнения работ по метрологической экспертизе документов.

ОАО «Концерн «НПО «Аврора» имеет устойчивое положение на рынке отечественного судостроения и устойчивые связи с судостроительными рынками развивающихся стран, но готово рассматривать предложения о стратегическом партнерстве с предприятиями других отраслей промышленности.



## ОАО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»

**194021, Санкт-Петербург,**

**ул. Карбышева, 15**

**Тел.: +7 (812) 297-23-11**

**Факс: +7 (812) 324-63-61, 297-81-42**

**E-mail: mail@avrorasystems.com**

**http://www.avrorasystems.com**



# Работать вместе, не подчёркивая своего лидерства



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Опытное конструкторское бюро им. И.И. Африкантова обладает заслуженным авторитетом в России и в мире. В 2015 году ОКБМ, как и атомной отрасли России, исполняется 70 лет. Это время подведения итогов и определения задач на будущее. Созданные самоотверженным трудом коллектива ОКБМ за прошедшие годы образцы реакторной техники прошли испытание временем, стали надежным средством обеспечения безопасности нашей страны и развития ядерной энергетики.

НИЦ «Курчатовский институт» давно и плодотворно сотрудничает с Опытным конструкторским бюро им. И.И. Африкантова по целому ряду направлений: корабельные и судовые ядерные реакторные установки, реакторы средней и малой мощности для наземных и плавучих АТЭС, водо-водяные энергетические реакторы, реакторы на быстрых нейтронах с натриевым и с газовым теплоносителями, высокотемпературные энергопромышленные реакторные системы для электроэнергетики и технологических применений, изотопные реакторы, разделение изотопов. Чаще всего в этом сотрудничестве Опытное конструкторское бюро им. И.И. Африкантова выполняет функции Главного конструктора реакторной установки, НИЦ «Курчатовский институт» – Научного руководителя. Наше тесное взаимодействие показывает, что ОКБМ уверенно идет к новым достижениям в деле совершенствования реакторной базы и развития ядерной энергетики.

В соответствии со сложившейся за многие годы практикой основными участниками разработки проекта атомной станции и реакторной установки являются Генеральный проектировщик атомной станции, Главный конструктор реакторной установки и Научный руководитель. Под этими названиями прежде всего подразумеваются организации, а уже потом персоналии. Они отвечают за выбор и соответствие концепции безопасности и основных технических решений проекта передовому научно-техническому уровню, действующей нормативно-технической документации. Специфические особенности атомной станции формируются принципиальными чертами и конструкцией реакторной установки, что требует очень тесной и согласованной работы в практически параллельной, поэтапной разработке реакторной установки и станции в целом. В этих условиях особая координирующая и связующая роль достается Научному руководителю, который должен отслеживать оптимальность конструкторских и проектных решений, чтобы правильно учесть и наиболее полно реализовать физические особенности ядерной установки, в первую очередь, обеспечивая осуществимость и безопасность происходящих в ней процессов. Условием для осуществления полноценного научного руководства разработками являлось создание необходимой теоретической, экспериментальной, расчётно-методической и вычислительной базы. Параллельно необходимая экспериментальная и программная база соз-



давалась также в конструкторских бюро, проектных институтах и других специализированных организациях для поддержки работ по прямой ответственности этих организаций. В задачи научного руководства, особенно на первом этапе развития ядерной энергетики, входило решать все проблемы, по которым не было достаточных знаний, и отвечать на все новые вопросы, которые возникали в процессе разработки и эксплуатации. Важными областями проявления функций научного руководства также стали: стадия пусконаладочных работ новых объектов и освоения проектных показателей атомных станций, где проявились факторы интеграции понимания объекта и широкой квалификации; обеспечение научного сопровождения проектов атомных станций и реакторных установок, включая формирование требований к научным исследованиям по принципиальным вопросам безопасности и экономической эффективности; обеспечение разработчиков современными расчетными методами и программными средствами; оценка стратегических перспектив развития системы ядерной энергетики, выбора оптимальных путей этого развития с учетом выполнения базовых принципов безопасности, экономической эффективности, обеспеченности ресурсами, экологической приемлемости и нераспространения. Фактически состоялся перенос функций научного руководителя с непосредственно ядерной установки на весь ее жизненный цикл в системе ядерной энергетики, что, в свою очередь, придает особую важность стратегическим исследованиям.

После событий на ЧАЭС координирующая роль в разработке проекта атомной станции и реакторной установки во многом перешла к главному конструктору реакторной установки. Сохраняя здоровый консерватизм, Опытное конструкторское бюро им. И.И. Африкантова прекрасно справляется с новыми задачами, дополнив эту функцию ролью главного поставщика и, частично, изготовителя оборудования для атомной станции, став при этом ведущим конструкторским предприятием отрасли. Коллектив ОКБМ никогда не подчеркивал свое лидерство, понимая, что только при дружной

совместной работе можно добиться нужного результата.

Связка «Генеральный проектировщик – главный конструктор – научный руководитель» зарекомендовала себя не только при создании атомных станций. Организация работ в судовой атомной энергетике также строилась на этом принципе.

Отдельно следует отметить создание первого в мире атомного ледокола «Ленин», строительство которого началось по инициативе академиков И.В. Курчатова и А.П. Александрова. Ядерная установка ледокола была создана ОКБМ (главный конструктор) при поддержке Курчатовского института (научный руководитель). Осуществляя научное сопровождение эксплуатации атомных судов и кораблей, Курчатовский институт совместно с ОКБМ продолжает совершенствовать расчетные методики для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов, участвовать в швартовых и ходовых испытаниях судовых и корабельных ЯЭУ, а затем анализировать полученные контрольные измерения, работать над математическими моделями для тренажеров, моделирующих процессы, происходящие в установках и т. д.

Ядерная энергетика развивается, так что впереди нас ожидает много совместной работы по новым реакторам, по организации их безопасной и эффективной работы в замкнутом ядерном топливном цикле, по формированию целостной структуры атомного энергопромышленного комплекса на основе инновационных технологий, обеспечению энергетической безопасности и устойчивого развития России. Мы убеждены, что профессионализм, богатый опыт, широта знаний, грамотная кадровая политика, энергия и целеустремленность позволят коллективу ОКБМ и в дальнейшем добиваться существенных успехов и реализации намеченных планов.

В канун юбилея желаем всему коллективу ОКБМ новых творческих свершений, значимых конструкторских, технологических и коммерческих достижений, стабильности, благополучия и крепкого здоровья.

**Коллектив НИЦ «Курчатовский институт»**

## Объединяя возможности, добиваемся отличных результатов



Созданное в 1945 году для решения задач советского Атомного проекта, ОКБМ им. И.И. Африкантова является крупнейшим научно-производственным центром атомной отрасли, признанным лидером на российском и мировом рынках атомной техники.

С первых лет существования ОКБМ Африкантов выполняло работы, направленные на решение важнейших государственных задач. Это проекты реакторных установок для атомных подводных лодок, надводных кораблей и ледоколов, проект для плавучей атомной теплоэлектростанции, проекты энергетических установок малой и средней мощности, проекты по высокотемпературным газовым реакторам и реакторным установкам 4-го поколения.

РФЯЦ-ВНИИЭФ и ОКБМ Африкантов долгие годы связывают плодотворные дружеские и творческие отношения. Сотрудничество ученых и инженеров наших организаций позволило реализовать около двух десятков совместных проектов. В последние несколько лет одними из наиболее масштабных

направлений сотрудничества являются совместные работы по созданию и внедрению отечественных суперкомпьютерных технологий.

Специалистами ОКБМ активно используются созданные нашим институтом супер-ЭВМ для решения сложных задач 3D-моделирования реакторных установок нового поколения с использованием технологии удаленных расчетов.

Объединяя возможности наших предприятий, мы добиваемся результатов по разработке и внедрению су-

перкомпьютерных технологий в проекты корабельных РУ,

в разработку концепции «виртуальной корабельной РУ».

Мы признательны вам за постоянную готовность к взаимодействию, за взаимопонимание и высокое качество работ, проводимых под вашим руководством.

Уверен, что достигнутый положительный опыт совместных работ РФЯЦ-ВНИИЭФ и ОКБМ Африкантов найдет свое продолжение и в дальнейшем.

### **Уважаемые коллеги!**

**От имени коллектива РФЯЦ-ВНИИЭФ поздравляю вас с 70-летием со дня основания ОКБМ им. И.И. Африкантова!**

**Искренне желаю высокопрофессиональному и творческому коллективу разработчиков, ученых, инженеров, рабочих и служащих ОКБМ Африкантов новых успехов в работе.**

**Пусть для вашего предприятия всегда будут открыты новые горизонты, исполняются задуманные планы и реализуются самые смелые идеи!**

**Директор РФЯЦ-ВНИИЭФ В.Е. Костюков**



# Атомный тандем



Сотрудничество между АО «ОКБМ Африкантов» и ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», ведущими предприятиями нижегородского атомного кластера, набирает обороты. И это не случайно. ОКБМ – крупнейший научно-производственный комплекс Госкорпорации «Росатом», признанный российский и мировой лидер ядерного реакторостроения. На предприятии созданы несколько поколений компактных и эффективных ядерных энергетических установок для подводных и надводных кораблей ВМФ, составляющих основу стратегических сил морского базирования России. Широким фронтом ведутся разработки в области атомной энергетики.

Как известно, одним из функциональных режимов работы любого ядерного реактора является режим перегрузки топлива. Именно в этой сфере наиболее тесно проявляется сотрудничество ОКБМ и ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», занимающего в настоящее время ключевые позиции в Госкорпорации «Росатом» в части автоматизации технологических процессов объектов атомной энергетики. Причем, создание комплексов «перегрузочное оборудование + система управления» касается как специальных транспортных реакторов оборонного и промышленного назначения, так и стационарных энергетических реакторов большой мощности.

Стартовой площадкой такого сотрудничества нижегородских предприятий стало создание системы управления первым автоматизированным комплексом оборудования, спроектированным в ОКБМ для перегрузки подводных лодок третьего и четвертого поколений. До этого в течение многих десятилетий эксплуатация технологическое оборудование для перегрузки ядерных реакторов на судах приводилось в действие преимущественно вручную. С тех пор наш институт активно участвует в создании высоконадежных программно-технических средств АСУ ТП АЭС для перспективных проектов ОКБМ. В числе этих разработок – система управления перегрузочным комплексом в реакторных установках КЛТ-40С, используемых на первой плавучей АЭС «Михаил Ломоносов». На данном этапе ведется разработка перспективной системы управления перегрузочным комплексом для реакторных установок РИТМ-200 универсальных атомных ледоколов. В 2015 году НИИИС выполнил технический проект данной системы, получивший одобрение заказчиков: ФГУП «Атомфлот» и АО «ОКБМ Африкантов», а также Филиала по атомным судам ФАУ «Российский морской регистр судоходства». В настоящее время ведется разработка рабочей конструкторской документации.



Директор Седаков Андрей Юлиевич

Приоритетным направлением деятельности ОКБМ в области атомной энергетики является создание новой технологической платформы – реакторов на быстрых нейтро-

нах с натриевым теплоносителем (серия БН), позволяющих перейти к технологии замкнутого ядерного топливного цикла. 2015 год увенчался серьезным достижением предприятий «Росатома»: энергоблок БН-800 Белоярской АЭС-2 включен в энергетическую систему страны! Почти шестилетнее сотрудничество специалистов наших предприятий завершилось созданием в рамках строительства данного энергоблока уникальной системы управления транспортно-технологическим оборудованием перегрузки уранового, плутониевого и смешанного топлива для реакторной установки БН-800.

Система позволяет в автоматическом режиме производить все виды работ по перемещению тепловыделяющих сборок, начиная со склада свежего топлива, внутри реактора и заканчивая хранилищем твердых радиоактивных отходов. В ходе реализации проекта также был создан задел на будущее в плане визуализации хода выполнения технологического процесса и создания экспертной системы выявления нештатных ситуаций.

Мы с удовлетворением отмечаем результаты многолетнего сотрудничества наших коллективов. Уверены, что конструктивные деловые и дружеские личные отношения руководителей, а также специалистов ОКБМ и НИИИС являются залогом будущих успехов двух ведущих предприятий атомной отрасли Нижегородского региона.

### Уважаемые коллеги!

**От коллектива ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» сердечно поздравляем руководство и специалистов ОКБМ с 70-летием предприятия! Желаем вашему коллективу новых трудовых достижений на благо России, а каждому сотруднику – личных успехов, крепкого здоровья и благополучия!**

**Директор института А.Ю. Седаков  
Научный руководитель института С.В. Катин  
Главный конструктор по АСУ объектами АЭ и ТЭК Н.Н. Акимов**



Испытания системы управления НИИИС на стенде ОКБМ

# Сократить период адаптации – задача базовой кафедры

**Базовая кафедра ОКБМ Африкантов была основана в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева в 2007 году, но появилась она не на пустом месте. Между НГТУ и ОКБМ – прочная связь и долгая плодотворная история сотрудничества. Рассказывает ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Атомные и тепловые станции» Сергей Михайлович Дмитриев:**

– Ещё в начале шестидесятих годов прошлого века по инициативе руководителя ОКБМ Игоря Ивановича Африкантова было принято решение о создании в Горьковском политехническом институте имени А.А. Жданова физико-технического факультета. Это решение отражено в Постановлении Совета министров СССР от 26 мая 1961 г., и сейчас копия постановления хранится в архиве университета.

Физико-технический факультет ГПИ создавался с целью обеспечения кадрами предприятий атомной отрасли. И уже с конца 80-х годов в ОКБМ начали работать филиалы двух кафедр: «Атомные электростанции и установки» и «Ядерные реакторы и энергетические установки», при этом часть сотрудников ОКБМ работали преподавателями-совместителями в вузе, передавали свой опыт и знания студентам политеха. В свою очередь, студенты проходили в ОКБМ все виды практик, дипломное проектирование. В конечном итоге вылилось это в организацию базовой кафедры «Конструирование атомных установок». Руководит кафедрой первый заместитель генерального директора, главный конструктор ОКБМ Виталий Владимирович Петрунин, доктор технических наук, профессор.

Базовая кафедра – это успешно работающий механизм взаимодействия «предприятие-вуз». Но мы пошли ещё дальше. Созданы две базовые научно-исследовательские лаборатории ОКБМ в НГТУ: лаборатория «Реакторная гидродинамика» и «Надежность и безопасность энергетических установок». В этих лабораториях работают, в первую очередь, аспиранты и магистранты, а также сотрудники НГТУ: доктора и кандидаты наук, профессора и доценты – они выполняют научно-технические работы непосредственно по заданию предприятия. Вот такая взаимосвязь выстроена между ОКБМ и техническим университетом. Сотрудники предприятия поддержали идеи создания и базовой кафедры, и базовых лабораторий. Сегодня лекции по приоритетным направлениям развития атомной отрасли нашим студентам читают ведущие специалисты ОКБМ: главный конструктор, начальники отделений и ведущие специалисты. Калейдоскоп направлений широк, это и перспективные активные зоны ядерных реакторов, новое теплообменное и тепломеханическое оборудование, газовые реакторы, корабельная ядерная энергетика, быстрые реакторы – то есть, по всем новейшим разработкам.

Базовая кафедра не выпускающая, но и не общеобразовательная. Она направлена на по-



лучение студентами дополнительных компетенций в области ядерной энергетики. Ребята, которые учатся по ядерным энергетическим специальностям и направлениям подготовки, – все обучаются на базовой кафедре в ОКБМ. День или два дня в неделю,

в зависимости от учебных планов, старшекурсники занимаются на предприятии. Они проходят туда по своим пропускам, там им читают лекции специалисты ОКБМ, которые официально являются преподавателями нашей базовой кафедры. Что касается учебного плана, есть предметы, которые входят в учебный план, есть факультативные предметы – это дополнительные знания, которые необходимы ребятам, чтобы они разобрались в вопросах атомной энергетики.

Еще одно очень важное назначение базовой кафедры состоит в том, что учащиеся здесь студенты адаптируются на предприятии. Они видят все направления, которые присутствуют в ОКБМ, им показывают цеха, производственную базу, рассказывают технологию изготовления энергетического оборудования, показывают оборудование научно-исследовательского комплекса. Студенты знакомятся с работами, выполняемыми в ОКБМ. Это помогает ребятам увидеть

и лучше понять, где в дальнейшем они могут приложить свои силы.

С другой стороны, и специалисты предприятия, их дальнейшие работодатели, также оценивают студентов, это же естественно.

Кроме того, базовая кафедра организует все виды практик. То есть, ребят трудоустраивают в конкретный отдел, их принимают на ставку техника или на полставки инженера, и студенты там работают. Преддипломные практики тоже проходят в ОКБМ. Студенты пишут диплом по теме, которую даёт вузовский руководитель, но обязательно согласованной с предприятием. И после окончания вуза их принимают на работу, так как плотно с ними работали, и уже хорошо их знают. Понятно, что сразу после вузовской скамьи высококлассным инженером стать невозможно, надо работать, повышать свой инженерно-технический уровень. Но, по крайней мере, сократить период адаптации – это задача, которую эффективно решает базовая кафедра.

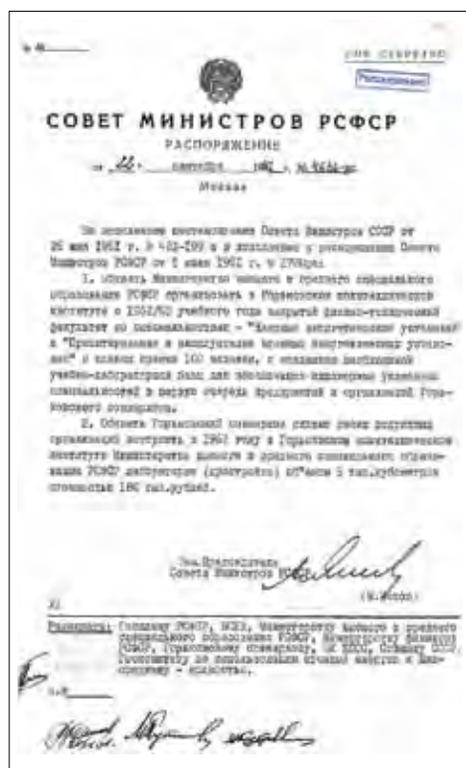
Базовая лаборатория – тоже ключевой момент, ведь здесь проводятся научно-исследовательские работы по заданию предприятия. Создаются новые уникальные стенды с использованием высокотехнологичного оборудования, которых нет больше нигде в мире! В учебном и научно-исследовательском процессе используется новое современное оборудование.

Что касается дальнейшего трудоустройства, у нас всегда большой процент выпускников шёл в ОКБМ. Первый выпуск физтеха целиком ушёл работать в ОКБМ, только один человек был оставлен в аспирантуре ГПИ.

Сейчас отбор достаточно жёсткий, потому что предприятие работает на оптимуме с точки зрения численности персонала. Оно обеспечено заказами, сотрудники обеспечены хорошей зарплатой, интересной работой, многими возможностями, есть перспектива карьерного роста, и ребята хотят туда попасть. Естественно, предприятие выбирает лучших, это надо чётко понимать. На базовой кафедре, и на занятиях, и на практике, специалисты предприятия присматриваются к студентам. Желающих трудоустроиться много, потому что отрасль развивается: активно идёт строительство новых атомных станций, создаются плавучие АЭС, универсальные атомные ледоколы, а энергетику для этих объектов создаёт ОКБМ.

Словом, связка ОКБМ и НГТУ очень тесная. Мы «подпитываемся» специалистами в новых областях знаний в ядерной энергетике от ОКБМ, а они «подпитываются» нашими студентами, используют наши «мозги»: наших учёных, преподавателей для обоснования своих задач.

В следующем 2016 году будет отмечаться столетие И.И. Африкантова, и у нас в университете будет реализован целый комплекс мероприятий к его юбилею, потому что Игорь Иванович Африкантов был действительно неординарным человеком и удивительной личностью.



# Путь длиною в 70 лет

**На протяжении всех лет существования ОКБМ и Нижегородского Машиностроительного завода история сотрудничества двух предприятий была и остается плодотворной. И в день славного юбилея – семидесяти лет деятельности ОКБМ, коллективы Нижегородского машиностроительного завода и его партнера – Нижегородского завода 70-летия Победы от всей души желают коллегам производственных успехов, полного портфеля заказов, реализации всех самых смелых идей и, конечно же, мирного неба над головой!**

**Генеральный директор ПАО «НМЗ»,  
Генеральный директор АО «Нижегородский завод 70-летия Победы»  
В.Н. Шупранов**



Семьдесят лет назад, 27 декабря 1945 года, постановлением Совета Народных Комиссаров СССР на базе Горьковского артиллерийского завода № 92, как тогда назывался Нижегородский машиностроительный завод, было образовано Особое конструкторское бюро по проектированию специальных машин для решения задач советского атомного проекта, жизненно важного для судьбы страны. На базе этого бюро на заводе сложился коллектив талантливых, настойчивых в решении сложнейших задач конструкторов, технологов и производственников. С первых дней своего существования Особое конструкторское бюро активно работало над разработкой диффузионных машин для обогащения урана, первых промышленных ядерных реакторов, а в 1950-е годы начало разрабатывать реакторы для Военно-морского и гражданского флота, что определило одно из основных направлений деятельности ОКБМ в дальнейшем. В 1960 году ОКБ награждается высшей государственной наградой – Орденом Ленина – за участие в создании ядерной паропроизводящей установ-

ки для первого в мире гражданского атомного судна – ледокола «Ленин».

В 1963 году в связи со значительным расширением тематики и объема работ ОКБ правительство страны приняло решение о выделении его из состава Горьковского машзавода. С 1 января 1964 года ОКБ становится самостоятельной организацией и входит в состав Государственного комитета СССР по использованию атомной энергии.

Тем не менее, тесное сотрудничество с Горьковским машиностроительным заводом продолжалось. Вспоминает Георгий Алексеевич Баскаков, руководитель проекта (ПАО «НМЗ»), принимавший непосредственное участие в реализации самых важных совместных работ ОКБМ и НМЗ:

«В 50-х годах (вначале по разработкам ОКБ завода, а затем ОКБМ) наш завод осваивал и серийно выпускал все поколения атомных реакторов и оборудование к ним как для подводных и надводных кораблей ВМФ, так и для судов гражданского атомного флота страны, начиная с атомного ледокола «Ленин» и завершая атомным ледоколом «Россия». В 60-е

годы нашему заводу были поручены работы по изготовлению основного оборудования энергетических реакторов большой мощности – водо-водяных, уран-графитовых канальных типа РБМК и одновременно быстросейтронных жидкокристаллических типа БН. Первым был БН-350, затем БН-600 для III блока Белоярской АЭС. А в 2015 году успешно состоялся физический пуск реактора БН-800 на четвертом блоке той же АЭС, для которого завод изготовил уникальную центральную колонну СУЗ.

ОКБМ разработал уникальные главные циркуляционные насосы ЦВН-8. Это были огромные, по 160 тонн весом, агрегаты, более 120 комплектов которых изготовил наш завод.

Большинство разработок ОКБМ в области атомных паропроизводящих установок и их перезагрузки, вся быстросейтронная тематика, работа по созданию реактора для первой плавучей атомной станции и многое другое, прошли через цехи и инженерные подразделения нашего завода. Машзавод и ОКБМ работали, решая важнейшие оборонно-хозяйственные задачи, поставленные страной».



## Патриоты атомной энергетики

**Уважаемые сотрудники и ветераны АО «ОКБМ Африкантов»!  
От имени коллектива ФГУП «ПО «Маяк» примите поздравления  
с 70-летием со дня основания!**

С первых шагов создания атомной промышленности АО «ОКБМ Африкантов» и ПО «Маяк» связывает общая история. На первом в стране атомном реакторе «Аннушка», который на Маяке был выведен на проектную мощность 19 июня 1948 года, осуществлялась система разгрузки разработки, изготовления и монтажа ОКБ завода №92.

Более 20 лет в районе первого реактора «Аннушка» стоял щитовой домик, который с любовью называли «Кошкин дом». В нем практически жил при сборке и руководстве монтажом кассет разгрузки легендарный Юрий Николаевич Кошкин. После успешного испытания первой атомной бомбы сотрудники ОКБ завода №92 Юрий Николаевич Кошкин, Амо Сергеевич Елян, Анатолий Николаевич Савин и представители «Маяка», проводившие совместные работы, стали лауреатами Сталинской премии 1949 года.

Первый тяжеловодный атомный реактор «ОК-180» – во многом детище ОКБ завода №92. Первые разработки диффузионных машин для завода 813 в Свердловске-44 также были поручены коллективу ОКБ.

Логичным стало выделение ОКБ из состава Горьковского машиностроительного завода с подчинением Государственному комитету по использованию атомной энергии в 1954 году.

Взаимодействие ПО «Маяк» с АО «ОКБМ Африкантов» на сегодняшний день связано с эксплуатацией промышленного тяжеловодного реактора Л-2.

Специалистами ОКБМ выполняются работы по авторскому надзору за эксплуатацией реактора, деталей и сборочных единиц его оборудования. Выполняется расчётное обоснование возможности облучения в реакторе новых изотопных блоков. На протяжении многих лет обеспечивается и повышается безопасность реактора Л-2.

Очередным этапом сотрудничества стало создание реактора «Новый источник». На данной ступени взаимодействие направлено на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и выражается в проведении испытаний и исследований новых изделий на реакторе-прототипе Л-2.



Работники АО «ОКБМ Африкантов» – это компетентные, высококвалифицированные и ответственные специалисты, настоящие профессионалы и патриоты атомной энергетики. Неслучайно заслуженный высокопрофессиональный авторитет коллектива, расширение тематики и объемов работ послужили тому, что АО «ОКБМ Африкантов» приобрело статус Федерального научно-производственного центра.

Дорогие коллеги! С уверенностью можно сказать, что и впредь, используя богатый опыт, научный потенциал и профессионализм, ваша организация будет успешно выполнять поставленные перед ней задачи и претворять в жизнь масштабные проекты.

Желаю вам личных успехов, здоровья и отличного настроения, интересной творческой работы, благополучия и всего самого доброго!



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

# Прогрессивное сотрудничество от БАЭС до ЛАЭС-2

**Сотрудники ООО «Русские технологии сталей» искренне и от всей души поздравляют коллектив АО «ОКБМ Африкантов» с 70-летним юбилеем, желают стабильного развития, увеличения научно-технического потенциала и покорения новых вершин в атомном машиностроении.**

Основанное в тяжелые послевоенные годы, сумевшее сохранить свой конструкторский коллектив и производственную базу в непростые 90-е годы, ваше предприятие внесло неоценимый вклад в развитие атомной промышленности, энергетики и флота СССР и современной России. Являясь на сегодняшний день крупным научно-производственным центром, имея возможность выполнять весь комплекс работ по созданию различных типов реакторных установок и оборудования для АЭС, ваше предпри-



**И.Н. Старостин,  
директор ООО «РТС»**

Тогда нам удалось совместными усилиями реализовать прогрессивный технологический подход, суть которого

состояла в изготовлении ведущего диска вместе с лопатками из цельной ковanej заготовки, что позволило более чем вдвое уменьшить протяженность сварных соединений в изделии, повысить механическую прочность конструкции, существенно увеличить точность геометрии проточной части. Более того, в ходе этой работы была определена техническая возможность полностью отказаться от сварки и выполнять некоторые рабочие колеса целиком из одной ковanej заготовки.

В 2012-2013 году наша компания, применив накопленный инженерный потенциал и используя новейшие технологии, качественно

ятие, не побоимся сказать, является жемчужиной Госкорпорации «Росатом».

ООО «Русские технологии сталей» сотрудничает с АО «ОКБМ Африкантов» уже около 10 лет, изготавливает и поставляет заготовки, детали и запасные части насосного оборудования и арматуры АЭУ.

Наша совместная работа начиналась еще в 2006 году, с заказа на поставку рабочих колес ГЦН реактора БН-800 для Белоярской АЭС.

В 2012-2013 году наша компания, применив накопленный инженерный потенциал и используя новейшие технологии, качественно

и в заявленные сроки по заданию ОКБМ Африкантов выполнила ряд договоров по изготовлению деталей проточных частей насосов серии ЦВА (1700-67, 1200-45, 2700-20, 360-35, 130-20) для оборудования машинного зала ЛАЭС-2. При этом была детально отработана технология изготовления подобных изделий, что дает нам возможность по мере необходимости осуществлять их поставку в самые короткие технически обоснованные сроки и с надлежащим качеством.

В 2013 году компания «Русские технологии сталей» достойно вошла в реестр Единых поставщиков Госкорпорации «Росатом» как поставщик деталей трубопроводной арматуры АЭУ. Первый заказ на данную продукцию в рамках гособоронзаказа был успешно выполнен в 2015 году, а в настоящее время наше предприятие продолжает работу по этой тематике и надеется успешно ее завершить, подтвердив свою репутацию надежного партнера.

## ООО «РТС»

**Общество с ограниченной ответственностью**

**«Русские технологии сталей»  
196105, г. Санкт-Петербург, ул.**

**Рошинская, д. 36, а/я 171**

**Тел.: (812) 495-56-60, 495-56-61**

**Факс: (812) 371-11-83**

**E-mail: rts@rus-steel.com**

**www.rus-steel.com**

**Лицензия № СЕ-12-101-2833**

**Лицензия № СЕ-03-108-2870**



## Партнер, наставник, инноватор

В декабре текущего года отмечает 70-летний юбилей АО «ОКБМ им. И.И. Африкантова». 27 декабря 1945 года, сразу после окончания тяжелейшей войны, постановлением СНК СССР на базе Горьковского артиллерийского завода было образовано ОКБ по проектированию специальных машин для решения задач советского Атомного проекта. С тех пор в жизни ОКБМ Африкантов произошло много событий. Всего по проектам и с участием предприятия было построено и успешно эксплуатировалось около 500 ядерных реакторов и паропроизводящих установок, сотни единиц сложного технологического оборудования. В настоящее время АО «ОКБМ Африкантов» – одна из ведущих конструкторских организаций Госкорпорации «Росатом», крупный научно-производственный центр атомного машиностроения, располагающий многопрофильным конструкторским коллективом, собственной исследовательской, экспериментальной и производственной базой. Такому спектру научных и техни-

ческих возможностей может позавидовать любая атомная корпорация в мире.

НПФ «Сосны», занимаясь проблемами отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов, всегда видела в лице ОКБМ Африкантов своего партнера, опытного наставника и смелого инноватора. Впервые задачи нашей фирмы пересеклись с деятельностью ОКБМ в период, когда энергоблоки ВВЭР-1000 переживали сложный период, связанный с проблемой изменения формы ТВС и увеличения времени падения органов СУЗ. Специалисты ОКБМ предложили новые оригинальные решения для увеличения жесткости конструкции ТВС, провели необходимый объем расчетных и экспериментальных работ и в кратчайшие сроки довели разработку до уровня промышленного образца.

Однако наиболее важной страницей в истории взаимоотношений наших предприятий явилась разработка стенов инспекции и ремонта ОТВС ВВЭР-1000. Потребность в контроле состояния ОТВС после эксплуатации существовала всегда, однако по разным причинам внедрение стенов инспекции (а тем более, ремонта ОТВС) на энергоблоках ВВЭР-1000 задерживалось. Отношения между поставщиками ядерного топлива и эксплуатирующей организацией – АЭС становились все более жесткими, и вопрос о причинах отказа ОТВС приобретал все большую остроту. К этому моменту специалисты НПФ «Сосны» имели уже значительный опыт разработки

установок неразрушающего контроля твэлов и ОТВС для защитных камер, в которых проводились послереакторные исследования отработавшего топлива реакторов различного назначения. Однако, послереакторные исследования, несмотря на глубину проводимых исследований, не могли удовлетворить АЭС в полной мере, так как требовали, в первую очередь, таких значительных временных затрат, что ответ на вопрос о причинах отказа с точки зрения экономики становился уже неактуальным. Наиболее остро проблему внедрения стенов инспекции и ремонта ОТВС ВВЭР-1000 сформулировали наши зарубежные заказчики. Так появился совместный проект по разработке стенов инспекции и ремонта для АЭС «Темелин», крупнейшего производителя электроэнергии в Чехии. В 2014 году этот проект был успешно завершен, и АЭС «Темелин» получила мощный инструмент контроля ОТВС. В настоящее время наши предприятия разрабатывают подобные стенов для отечественных энергоблоков ВВЭР-1000 – Калининской и Нововоронежской АЭС. Сотрудничество крупного научно-производственного центра атомного машиностроения и частной научно-производственной фирмы продолжается.

Сотрудники ООО НПФ «Сосны» надеются, что это сотрудничество и в дальнейшем будет таким же плодотворным и желает по случаю славного 70-летнего юбилея всему коллективу АО «ОКБМ Африкантов» успехов во всех начинаниях и благополучия каждому сотруднику.

**Первый заместитель директора  
ООО НПФ «Сосны» д. т. н., профессор  
В.П. Смирнов**



**Испытания ультразвуковой системы КГО твэлов на АЭС «Темелин» (Чехия)**

# Результат труда – благополучие России



**Дорогие друзья и коллеги!  
Мы рады поздравить весь коллектив ОКБМ Африкантов  
с 70-летием!**

В этот день мы вспоминаем великий трудовой подвиг тех, кто стоял у истоков атомной отрасли: ученых, инженеров, конструкторов и рабочих.

Благодаря невероятной концентрации усилий наша страна в кратчайшие сроки не только обрела ядерный щит, но и стала первым государством в мире, использовавшим атомную энергию в мирных целях. Были созданы атомный флот гражданского и военного назначения, атомные электростанции и малая атомная энергетика. Во всех этих свершениях, в решении всех этих судьбоносных для нашей Родины задач есть весомый вклад вашего предприятия и вашего коллектива.

ОКБМ всегда был и будет опорой для нашей страны, примером организованности, надежности и лидером во внедрении передовых технологий. Мы надеемся, что еще не раз наша совместная работа принесет плоды, которыми будут пользоваться многие поколения наших соотечественников.

Примите самые теплые поздравления с праздником и искреннее восхищение результатами вашего труда, воплотившимися в спокойствии границ нашей Родины, тепле и свете в домах, прорывных решениях самых сложных технических, инженерных и научных задач. Желаем вам и в дальнейшем неиссякаемой энергии, новых идей и стремления трудиться на благо России!

**С наилучшими пожеланиями,  
директор ИПФ РАН член-корреспондент РАН А.М. Сергеев  
научный руководитель ИПФ РАН академик РАН А.Г. Литвак**

## Экспериментальные исследования турбулентного теплопереноса в жидком натрии в ИМСС УрО РАН



Натрий обладает уникальной комбинацией теплофизических свойств, что обуславливает его применение как теплоносителя атомных реакторов на быстрых нейтронах. При проектировании реакторов требуется решать задачи по расчету теплопереноса при вынужденной и свободной конвекции, а также расчету тепловых нагрузок при смешении разнотемпературных турбулентных потоков натриевого теплоносителя. При смешении неизотермических потоков возникают пульсации температуры, которые создают дополнительные термодинамические нагрузки на оборудование и могут оказывать существенное негативное влияние на ресурс конструкций. Использование в расчетах как коммерческих, так и оригинальных пакетов программ требует их верификации с использованием экспериментальных данных, полученных на тестовых задачах, но при значениях управляющих параметров, близких к натурным. Среди огромного числа экспериментальных исследований турбулентного теплопереноса лишь небольшая часть относится к теплообмену в жидких металлах.

В институте механики сплошных сред УрО РАН ведутся экспериментальные магнитогидродинамические исследования течений самых различных металлов. Натрий, благодаря высокой электропроводности и низкой плотности, используется в экспериментах, направленных на изучение процессов генерации магнитных полей потоками проводящей жидкости. Пять лет назад по заказу АО «ОКБМ Африкантов» в ИМСС начались работы по экспериментальному исследованию турбулентного



теплопереноса при свободноконвективных течениях натрия в цилиндрических сосудах. В результате работы для двух каналов, имеющих разные аспектные соотношения, и для разных углов наклона оси каналов к горизонту получены зависимости характеристик теплообмена, теплопереноса и турбулентности от внешних параметров.

В настоящее время экспериментальная база ИМСС для работы с жидким натрием существенно расширена. Введен в эксплуатацию натриевый стенд с двумя контурами, в каждом из которых создается контролируемый поток натрия с фиксированной температурой. Рабочая температура жидкого металла находится в интервале от 150 до 300 градусов, гидродинамические расходы от 0,5 до 1,5 литра в секунду, в пределе можно достичь 5 литров в секунду. Течение жидкого металла генерируется электромагнитными насосами бегущего поля, а его интенсивность измеряется электромагнитными расходомерами. В контуре есть система электрического нагрева мощностью 27 кВт и воздушного охлаждения жидкого натрия мощностью до 30 кВт.

На контуре по заказу АО «ОКБМ Африкантов» выполнены исследования турбулентного смешения

разнотемпературных потоков натрия в тройнике, представлявшим собой Т-образное соединение прямых труб из нержавеющей стали. Нестационарное турбулентное перемешивание разнотемпературных потоков жидкометаллического теплоносителя приводит к появлению температурных пульсаций в ядре потока, но отдельные вихри горячего и холодного натрия достигают внутренней поверхности трубопровода, что в свою очередь вызывает пульсации температур в металлоконструкции тройника. Выбранная толщина стенки модели тройника обеспечивала низкую тепловую инерционность, что позволяло измерять пульсации температуры на внешней поверхности трубы с помощью тепловизора. Получены спектральные и средние тепловые и гидродинамические характеристики процесса смешения. Экспериментальные данные использованы для верификации CFD кодов при проведении проектных расчетов энергоустановок с жидкометаллическим теплоносителем.

Созданная в ИМСС лабораторная площадка для работы с жидким натрием позволяет решать широкий класс задач по гидродинамике неизотермических потоков натрия. Лаборатория готова к сотрудничеству с новыми заказчиками.

**П.Г. Фрик, д.ф.-м.н., проф.,  
зав. лабораторией ИМСС УрО РАН**

### ИМСС УРО РАН

**614013, Россия, г. Пермь,  
ул. Академика Королёва, 1  
Телефон: +7 (342) 237-83-22  
E-mail: frick@icmm.ru  
www.icmm.ru**

# Гордость нашей области и всей страны

**От имени членов Правления РСПП сердечно поздравляю руководство и сотрудников ОКБМ Африкантов с замечательной датой – 70-летним юбилеем вашего предприятия!**

ОКБМ – предприятие с давней историей и традициями. Оно было основано в 1945 году – в год Великой Победы. За 70 лет работы изменялись задачи и формы деятельности предприятия, но неизменной оставалась его главная цель – всемерное содействие развитию атомной промышленности нашей страны, а, следовательно, и экономике России.

Многолетний опыт проектирования, высокий научно-технический и производственный потенциал позволяют АО «ОКБМ Африкантов» на высоком уровне решать научно-технические проблемы создания атомных энергетических установок различных типов и оборудования для них с выполнением самых высоких требований по безопасности и надежности.

Сейчас ОКБМ – одна из ведущих конструкторских организаций атомного машиностроения России, крупнейший научно-производственный центр нашего региона. Без преувеличения могу сказать, что «ОКБМ Африкантов» – настоящая гордость Нижегородской области и всей нашей страны! Ваш коллектив внесет достойный вклад в создание безопасной и экономически эффективной ядерной энерготехнологии, которая сможет стать основой устойчивого социально-экономического развития нашей страны и всего мира!

70 лет – это огромная эпоха. Единицы отечественных предприятий имеют такую долгую и богатую историю. Все эти годы сотрудники гордо несли флаг предприятия, и пусть еще долгие-долгие годы ОКБМ остается таким же промышленным гигантом, непрерывно наращивающим свой производственный и технический потенциал.

Я хочу пожелать вам и вашему замечательному предприятию успехов, процветания, массу творческих идей и новых заказов!

Счастья вам и благополучия!

**С уважением, вице-президент РСПП, Заслуженный металлург России, председатель Совета директоров ОАО «Русполимет» В.В. Ключай**



## На шаг впереди прогресса



70-летний юбилей празднует «ОКБМ Африкантов» - наш надежный, проверенный временем и общими целями партнёр. ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» связано с АО «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения» прочными взаимовыгодными связями.

Сегодня ОКБМ является одним из ведущих, динамично развивающихся предприятий атомной отрасли, которое активно сотрудничает со смежными отраслями промышленности. В стабильной работе ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», в преобразованиях и обновлении предприятия есть заслуга коллектива Бюро – профессионалов экстракласса, элиты инженерных кадров страны, мыслящих на шаг впереди прогресса.

С 2002 года на технологических объектах ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтеза, одного из крупнейших в России нефтеперерабатывающих предприятий, успешно используется оборудование производства завода ОКБМ. В частности, очень хорошо себя зарекомендовали герметичные электронасосы, отличающиеся высокой степенью надежности, энергоэффективностью и длительным сроком межремонтного пробега. Такие насосы успешно эксплуатируются на установках производства моторных топлив больше десятка лет. Для нашего предприятия, перерабатывающего в год до 17 миллионов тонн нефти и поставляющего на российский и зарубежный рынки более семидесяти видов качественной продукции, надежность и безопасность оборудования очень важны.

В 2015 году знаковым событием не только для ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», но и для всей энергетической отрасли России стал ввод в эксплуатацию комплекса каталитического крекинга-2 - трех новых технологических установок с современной инфраструктурой. Вводом комплекса завершилась программа модернизации Нижегородского НПЗ: за десятилетие ЛУКОЙЛ инвестировал в развитие предприятия

более 100 млрд рублей. Политика нефтяной компании, которая полностью согласуется с политикой российского правительства, направлена на уменьшение производства темных нефтепродуктов, увеличение отбора светлых. Пуск комплекса каталитического крекинга-2 позволил ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» значительно увеличить выход светлых нефтепродуктов, производить дополнительно более миллиона тонн автобензина экологического класса 5, выпускать 150 тысяч тонн пропилена в год.

Сотрудничество наших предприятий – наглядный пример сплава науки и производства. С вводом в строй на ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтезе новых установок комплекса каталитического крекинга оно, без сомнения, обретёт новый импульс, будет еще более плодотворным. Инновационное оборудование, созданное вашей производственной базе, возможно, будет также бесперебойно работать на самых современных установках нашего предприятия, тем самым участвуя в деле научного и производственного прогресса, работая на благо нашей страны престиж державы.

**Алексей Коваленко,**  
**генеральный директор ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез»**



# Характер, проверенный на прочность

**ООО «ГидроТехАтом»** – производственно-инжиниринговая компания, основными направлениями деятельности которой являются проектирование, изготовление и поставка оборудования на объекты атомной энергетики.

Предприятие специализируется на следующих видах оборудования:

- вентиляционное оборудование для АЭС;
- специальное технологическое оборудование для АЭС.

**ООО «ГидроТехАтом»** имеет лицензии на право конструирования и изготовления оборудования для атомных станций, лицензию на право изготовления оборудования для судов и иных плавсредств с ядерными реакторами.

Предприятие поставило оборудование на Калининскую, Балаковскую, Белоярскую, Кольскую, Нововоронежскую, Ленинградскую АЭС, АЭС «Бушер» в Иране и АЭС «Куданкулам» в Индии, а также на первый плавучий энергоблок и ледоколы.



**Коллектив ООО «ГидроТехАтом» в лице генерального директора Р.Р. Галимова поздравляет с 70-летием своего стратегического партнера – ОКБМ Африкантов!**

*70 лет – пора зрелости, характер, проверенный на прочность, и повод наметить планы на будущее.*

*ОКБМ Африкантов – предприятие мирового значения, по праву является гордостью отечественной атомной отрасли.*

*Многочисленные достижения, огромный опыт и высококвалифицированные специалисты позволяют ОКБМ Африкантов решать любые поставленные задачи, а ваш вклад в развитие атомной промышленности отмечен высокими правительственными наградами.*

*Коллективы наших предприятий объединяет многолетнее и плодотворное сотрудничество, характеризующееся партнерскими отношениями, которые крепнут и развиваются.*

*Дорогие коллеги, в этот праздничный день примите наши пожелания здоровья и процветания, стабильной работы, новых планов и сохранения богатейших традиций!*



**ООО «ГИДРОТЕХАТОМ»**

**427011, Удмуртская Республика, г. Ижевск, Хохряки, ул. Тракторная, д. 2**  
**Тел./факс: +7 (3412) 611-797**  
**E-mail: office@gtatom.ru**  
**www.gtatom.ru**



## Наш учитель и старший товарищ



ОКБМ для нас и ориентир рубежей возможностей, и учитель. Именно ОКБМ стал 10 лет назад для нас отправной точкой начала тогда еще малого предприятия в атомной отрасли.

Сначала с подачи начальника Отдела вентиляционного оборудования ОКБМ Владимира Павловича Мацюка была аттестована наша технология обрубания труб и проведена опытно-промышленная модернизация вентилаторов 3-го контура охлаждения на II энергоблоке Ростовской АЭС.

Уровень доверия к нашей организации с годами рос и как результат – серьезные совместные проекты: системы аварийного расхолаживания реакторов САРХ БН-600, БН-800, КЛТ-40, работы по оборонной тематике.

Мы благодарны Виталию Ивановичу Костину, Дмитрию Леонидовичу Звереву, Владимиру Юльевичу Седакову, Юрию Кирилловичу Панову, Игорю Владимировичу Серову и многим другим ОКБМовцам за доверие в сложных проектах. Мы тоже любим инновации и новые технологии.

Сегодня НПП «БАСЭТ» – современное предприятие с полным циклом производства, персоналом высокой квалификации. Достаточно сказать, что по итогам 2014 года доля атомной отрасли в объеме выполненных работ ООО НПП «БАСЭТ» составила около 80%. А среди проектов: СПОТы на 1, 2 энергоблоки для Нововоронежской АЭС, Балтийской АЭС; по программе импортозамещения – основной эжектор турбины ЭПО-3-150 на Калининскую АЭС; поставки оборудования на девяти из десяти атомных станций.

Многих наших партнеров удивляет, как в Башкортостане, регионе далеко не характерной географии, смогло появиться предприятие атомного машиностроения. Всем говорим и гордимся: наш учитель и старший товарищ – АО «ОКБМ Африкантов»!

Новых вам свершений и совместных проектов!

**Директор ООО НПП «БАСЭТ»**  
**И.М. Шарипов**



# Вас знают во всём мире

Юбилей – это не столько очередная дата, сколько знаменательный рубеж, повод подвести итоги проделанной работы и поставить перед собой новые долгосрочные задачи. Благодаря слаженной работе всего трудового коллектива, стабильно работающее производство выпускает уникальную продукцию. Вы вносите огромный вклад в социально-экономическое развитие не только Нижнего Новгорода, но и в развитие атомной промышленности, энергетики и флота России.

ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России желает вам и впредь держать ту высокую марку, благодаря которой вас знают во всем мире. Мы горды тем, что уже на протяжении 5 лет нам доверена ответственная миссия – охрана здоровья работников «ОКБМ Африкантов». Сам факт сотрудничества с вашей организацией, в которой новые технологии, опережающие современность, являются сутью вашей производственной стратегии, настраивает нас на качественно новый уровень медицинского обслуживания, учитывающий самые лучшие достижения современной медицины!

С момента открытия в 2010 г. для обслуживания работников АО «ОКБМ Африкантов» поликлиники №3 ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России ранее существовавшая цеховая служба была реорганизована и получила новое наполнение. Цеховые участки видоизменились, и в настоящее время работа их строится не только по цеховому, но и по участковому принципу. Осуществлено приоритетное прикрепление пенсионеров, проработавших на предприятиях Росатома 20 лет и более, а также лиц, имеющих ведомственные награды, ветеранов атомной промышленности и членов их семей. Значительно вырос не только количественный, но



## Уважаемые партнеры!

**Коллектив ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России**

**сердечно поздравляет коллектив Акционерного общества «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова» с 70-летним юбилеем предприятия!**

и качественный врачевный состав поликлиники. Создано отделение медицинской профилактики, целью которого является улучшение организации и качества проводимых медицинских осмотров работников АО «ОКБМ Африкантов».

В ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России на базе поликлиники №3 реализуется концепция оказания высокоспециализированной помощи в амбулаторных условиях, широко применяются стационарозамещающие технологии, а на базе Клинической больницы №3 организован единый Центр реабилитационного лечения, объединяющий амбулаторный и стационарный этапы реабилитации и реализующий самые современные методики восстановительного лечения, основанные на достижениях доказательной медицины.



Как видите, наше сотрудничество с АО «ОКБМ Африкантов» является для коллектива ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России серьезным стимулом: мы с благодарностью перенимаем ваш опыт в освоении новых технологий, в неослабевающем стремлении к освоению новых вершин, новых приоритетов в профессиональной деятельности. Сегодня, выйдя на самые передовые рубежи высокотехнологичной медицины, мы стремимся формировать новое качество жизни своих пациентов: не просто лечить, но и прогнозировать развитие патологий, обеспечивать их уверенность в завтрашнем дне. Мы с признательностью вспоминаем все пройденные этапы многолетнего успешного пути с таким сильным, надежным партнером. Наше взаимодействие вселяет оптимизм и позволяет смело смотреть в будущее.

Дорогие юбиляры, в этот торжественный день примите благодарность за добросовестный труд! Мы верим в сохранение сложившихся деловых отношений и надеемся на дальнейшее сотрудничество. Желаем успешного развития и достижения новых вершин в области ядерной энергетики и атомного машиностроения. Крепкого вам здоровья, сохранения производственных традиций и осуществления планов. Праздничного вам настроения!

**С наилучшими пожеланиями,  
директор ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России  
С.В. Романов**



## ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ»

**115162, Россия, г. Москва,  
ул. Люсиновская, д. 70, стр. 1  
Тел.: (495) 663-91-42**

**Институт располагает специализированным отделом обследования и испытания строительных конструкций, работающим в тесном сотрудничестве с испытательной лабораторией, проектно-конструкторским отделом и предприятиями, занимающимися инженерно-геологическими изысканиями.**

Специалистами института выполнялись работы по обследованию строительных конструкций крупнейших энергетических объектов, в числе которых: Обнинская АЭС, Ленинградская АЭС, Игналинская АЭС (Литва, в период строительства), Балаковская АЭС, Чернобыльская АЭС (после аварии), Волгодонская АЭС (возобновление строительства), Кольская АЭС, Мангышлакский энергокомбинат (г. Шевченко), Калининская АЭС. Помимо этого, наряду с обследованием строительных конструкций самых разнообразных зданий и сооружений предприятий Минсредмаша-Минатома-Росатома выполнялись обследования зданий и сооружений реакторов научно-исследовательских институтов: РНЦ «Курчатовский институт», МИФИ, ИТЭФ, НИТИ (г. Сосновый Бор), филиала НИКИЭТ (г. Заречный).

Работы выполняются по специальной программе комплексного обследования, разработанной ЗАО «ОРГСТРОЙПРОЕКТ» на основе «Требований к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» (НП-024-2000); «Типовой инструкции по эксплуатации производственных зданий и сооружений атомных станций» (РД-ЭО-0007-93), «Методики оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности» (РД ЭО 0447-03) и нормативных документов Росстроя. Отдел обследования строительных конструкций располагает опытными специалистами, современным оборудованием, новейшими вычислительными и программными средствами, имеет тесные связи с учеными и специалистами ведущих проектных и научно-исследовательских институтов России.

**ЗАО «Оргстройпроект» в лице генерального директора В.И. Хренова поздравляет своих партнеров – коллективы ВНИИМ им. А.А. Бочвара, Центрального конструкторского бюро машиностроения (ЦКБМ), НИИ электрофизической аппаратуры (НИИЭФА) с 70-летним юбилеем!**

**Мы уверены, что и наши предприятия, и вся российская промышленность будут расти и развиваться, и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.**

**Пусть наша совместная деятельность остается гарантом успешного решения масштабных и сложных задач, стоящих перед отраслью.**

**Доброго вам здоровья, бодрости и оптимизма!**

## 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.



## «Кельвион» – новое имя ГЕА Машимпэкс и GEA Heat Exchangers

Kelvion



09 ноября 2015 года в международном теплообменном бизнесе произошло важное событие: завершилась консолидация компаний, которые раньше были частью сегмента Heat Exchangers в составе GEA Group AG. Вследствие смены собственника образовалась новая компания, которая вступает в игру на глобальном рынке теплообмена под названием «Кельвион».

Новое название компании отдает дань уважения лорду Кельвину – пионеру термодинамики (именно поэтому ударение в названии поставлено на первый слог – Кельвион). Название «Кельвион» – новое, но на самом деле компания продолжает работу на глобальном рынке теплообменного оборудования, используя огромный накопленный опыт в области теплообмена, предлагая решения с применением современного оборудования: пластинчатых и кожухотрубных теплообменников, аппаратов воздушного охлаждения и градирен, испарителей и конденсаторов. В компании «Кельвион» традиции и солидный опыт инженеров сочетается с гибкостью компании среднего размера. Как премиальный бренд в теплообмене, «Кельвион» обеспечивает требуемую высокую надежность и, по традиции, предлагает лучшие технологии и оборудование на рынке, которым заказчики доверяют на протяжении десятилетий.

Компания «ГЕА Машимпэкс», представлявшая сегмент GEA Heat Exchangers в России, переименована в «Кельвион Машимпэкс». За двадцать лет с момента основания компанией были пройдены основные этапы локализации производства оборудования в России: организованы производственные линии разборных, сварных пластинчатых теплообменников, индивидуальных тепловых пунктов и насосов для трансформаторного масла, а в 2015 году в Ленинградской области запущено производство аппаратов воздушного охлаждения. Смена названия стала очередным шагом реализации долгосрочной стратегии развития компании в России, нацеленной на локализацию производства, укрепление позиций и повышение компетенций на рынке теплообменного оборудования. «Кельвион Машимпэкс» продолжит внедрение лучших мировых технологий производства теплообменного оборудования на своих российских площадках, предлагая отечественным предприятиям энергоэффективные решения задач теплообмена и создавая дополнительные рабочие места в РФ.

### О КОМПАНИИ «КЕЛЬВИОН»

Кельвион – международная компания-производитель промышленного теплообменного оборудования для различных применений. С ноября 2015 года бывшее подразделение GEA Heat Exchangers работает самостоятельно под именем Кельвион. Это новое имя, однако, обладающее доказанным опытом, уникальными компетенциями и широким ассортиментом предлагаемого оборудования: пластинчатые и кожухотрубные теплообменники, аппараты воздушного охлаждения и градирни, испарители и конденсаторы. Компания работает в различных отраслях промышленности: энергетика и нефтегазовый комплекс, химия и судостроение, пищевая промышленность, тепло- и холодоснабжение.

Кельвион – клиентоориентированная компания, предлагающая оборудование и услуги по всему миру, с оборотом в 2014 году около 900 миллионов евро и штатом сотрудников свыше 4500 человек.



**В.А. Кравцов,**  
генеральный директор  
Кельвион Машимпэкс

Kelvion



## КЕЛЬВИОН – НОВОЕ ИМЯ ГЕА МАШИМПЭКС

Кельвион – новое имя ГЕА Машимпэкс – производителя и поставщика высококачественного теплообменного оборудования. Название Кельвион – новое, но фактически компания продолжает работу на глобальном рынке теплообменного оборудования, используя огромный накопленный опыт в области теплообмена, предлагая решения с применением современного оборудования: пластинчатых и кожухотрубных теплообменников, аппаратов воздушного охлаждения и градирен, испарителей и конденсаторов.

[www.kelvion.ru](http://www.kelvion.ru)

Эксперты в теплообмене

# Импортозамещение «по-уралэнергостроевски»



## УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ «УРАЛЭНЕРГОСТРОЙ»

**620062, Екатеринбург, пр. Ленина, 97 А**  
**Тел.: (343) 374-07-10**  
**Факс: (343) 374-02-36**  
**E-mail: Info@uestroy.ai**  
**www.uestroy.ai**

Любой дефицит, независимо от того, по какой причине он возник, то ли от пресловутых ныне экономических санкций, то ли еще почему-либо, заставляет искать выход из положения, стимулирует проявление творческих сил, инициативы.

Став по конкурсу в 2005 году генеральным подрядчиком сооружения энергоблока БН-800 на Белоярской атомной электростанции, Управляющая компания «Уралэнергострой» столкнулась с общей тогда для всей строительной отрасли проблемой нехватки рабочей силы. В частности, острейшим оказался дефицит высококвалифицированных сварщиков. Предстояло проделать огромный объем работ по стыковке арматуры. Обычно применяющаяся в таком случае ванношовная сварка здесь не годилась – малопродуктивна, чересчур затратна, а главное, ее некому было доверить. Нужны рабочие высоких разрядов, а где их найдешь? Начали думать, чем заменить сварку.

Интересовались опытом коллег, в том числе и иностранных. Генеральный директор УК «УЭС» Виктор Суруда даже съездил в Англию. Там познакомился со способом стыковки арматуры муфтами с цилиндрической резьбой. Но англичане отказались продать технологию и оборудование, предложили взять его в лизинг. Попадать в зависимость дальновидно отказались. И тогда группа уралэнергостроевских инженеров – Виктор Суруда, его заместитель, начальник Управления строительства БАЭС Владимир Инфантьев и главный сварщик компании Евгений Прудкин – придумала и запатентовала в 2009 году ручной обжимной пресс, который стыкует арматуру, обжимая стержни трубчатых муфтами.

Управляться с этим прессом после короткого обучения способен рабочий самого низкого разряда. При этом производительность бригады из двух человек по сравнению с мастером сварки

в три-четыре раза выше. И еще одно огромное достоинство этого метода соединения арматуры – он уникально надежен. Из 500 тысяч произведенных на строительстве энергоблока БН-800 механических стыков арматуры забракованы единицы. А этот показатель прочности очень важен для объекта использования атомной энергии, к безопасности которого предъявляются повышенные требования.

14 июня 2014 года в Екатеринбурге состоялось выездное заседание Комитета по промышленному строительству Национального объединения строителей. Одним из вопросов повестки заседания комитета было принятие новых стандартов НОСТРОЯ. В том числе обсуждалось и инновационное соединение арматуры методом опрессовки. Члены комитета познакомились с представленными документами, посетили строительную площадку четвертого энергоблока БАЭС и лично убедились в надежности и эффективности практикуемого ноу-хау «Уралэнергострой». С учетом всех достоинств этот метод был рекомендован для включения в стандарт НОСТРОЯ.

На российском строительном рынке соединения арматуры муфтами с цилиндрической резьбой фирмы Dextra Bartec предлагает группа компаний «Промстройконтракт». «Уралэнергострою» пришлось иметь с ней дело, так как при строительстве одного из объектов в главном корпусе энергоблока БН-800 проектировщики категорически настаивали на соединении арматуры муфтами с резьбой. Спорить не стали. А теперь сравним, что выгодней.

Комплект ручного обжимного пресса БИС-2М «36» стоит 49 тысяч рублей (36 – это диаметр арматурного стержня в миллиметрах, для примера взята наиболее часто используемая). Стоимость одной соединительной трубчатой муфты 404 рубля. Все необходимое и в любом количестве производится находящимся в городе Березовском Свердловской области ООО «БИС-2».

Муфта Bartec для стержней диаметром 36 миллиметров стоит 13,13 доллара. Услуга по нарезке арматуры для одной муфты – 310 рублей. Это по прейскуранту «Промстройконтракта». Нетрудно посчитать, что при цене доллара, скажем, в 60 рублей, стык арматуры по-уралэнергостроевски почти втрое дешевле. К тому же нет необходимости проводить дорогостоящую радиационную дефектоскопию качества стыков. Экономится электроэнергия. Сокращается расход арматурных стержней, поскольку исключается их соединение внахлест. И это еще не все. Надо добавить дорожные расходы. Ведь за муфтами Bartec и нарезанной для них арматурой пришлось ездить в Санкт-Петербург. Можно, конечно, арендовать оборудование Dextra

Bartec, но тогда за месяц придется платить по 7000 долларов. Не хочется даже думать, во сколько обошлось бы приобретение такого заграничного оборудования в собственность. Да и зачем? И не только из опасения нарваться на санкции. Уралэнергостроевское импортозамещение гораздо дешевле и очень надежно.

Умеющие считать и экономить деньги все больше начинают понимать это. В Екатеринбурге компании, строящие здания из монолитного бетона, уже охотно приобретают в Березовском ручные обжимные прессы и соединяют арматуру методом опрессовки. В Челябинске ООО «БИС-2» даже организовало свой филиал.

Дальше – больше. К руководству «БИС-2» обратилась белорусская компания «Монолиткомплект-Инвест». «Мы уже трижды в этом году по приглашению ездили в Минск, — рассказал директор ООО Василий Суруда. — Последний раз в августе, демонстрировали свое оборудование будущим заказчикам. Насколько мне известно, соединение арматуры обжимом трубчатых муфтами белорусы собираются применить при строительстве атомной станции, метро и стадиона. Уже поступили первые заказы».

Выход этого метода на широкую арену продолжается. Директор «Центра качества» Управляющей компании «Уралэнергострой» Галина Дубровина рассказала о нем в своем докладе на состоявшемся в сентябре в Екатеринбурге Международном форуме высотного и уникального строительства «100 + Forum Russia 2015».

Когда эта статья уже была готова, стало известно, что сравнительный анализ экономического эффекта применения опрессовочного и винтового соединений арматуры был выполнен Дирекцией строящейся Курской АЭС-2. Нужно сказать, что этому предшествовал визит представителя Дирекции на стройплощадку БН-800 БАЭС, где он лично убедился в выгодах практикуемого «Уралэнергостроем» механического метода соединения арматуры. Но для проектировщиков Курской АЭС-2 потребовался сравнительный анализ.

По расчетам проектировщиков для строительства одного блока Курской АЭС-2 потребуется минимум 500 тысяч штук механических соединений арматуры. Опрессовка такого количества будет стоить 209595 тысяч рублей, винтовое соединение с контргайкой обойдется в 772620 тысяч рублей, а без контргайки – 651620 тысяч рублей. Экономический эффект опрессовки – несколько сотен миллионов рублей. И почти 35 месяцев сокращения сроков на этой операции.

**Рудольф КОЛЁСКИН**



Энергоблок БН-800



Соединение арматуры методом обжима



Обжимка арматуры



## ООО НПП «ЭКРА»

**Россия, 428003, Чувашская Республика,  
г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д. 3  
Тел./факс: (8352) 22-01-10,  
22-01-30 (автосекретарь)  
E-mail: ekra@ekra.ru  
http://www.ekra.ru**

ООО НПП «ЭКРА» – научно-производственное предприятие полного цикла, созданное в 1991 году российскими специалистами-релейщиками в Чебоксарах и функционирующее без участия иностранного капитала. Предприятие специализируется на выпуске наукоемких комплектных устройств релейной защиты, автоматики и управления на новейшей микропроцессорной элементной базе, адаптированных к применению в составе систем АСУ ТП. В номенклатуру производимой продукции входят также нетиповые низковольтные комплектные устройства (НКУ), системы плавного пуска высоковольтных электродвигателей, преобразователи частоты, статические возбудители синхронных двигателей, шкафы ВЧ-связи.

Система менеджмента качества НПП «ЭКРА» сертифицирована на соответствие международному стандарту ISO 9001:2008. Выпускаемые устройства аттестованы для применения на энергообъектах ПАО «Россети» (включая ПАО «ФСК ЕЭС»), ПАО «РусГидро», ОАО «Концерн «Росэнергоатом», ОАО «Газпром», АК «Транснефть».

НПП «ЭКРА» аккредитовано Федеральной Службой по экологическому, технологическому и атомному надзору на право конструирования и изготовления оборудования для объектов атомной энергетики по 4 и 3 классу безопасности. Более 500 шкафов микропроцессорных устройств РЗА, а также НКУ установлены на 10 атомных станциях нашей страны. Номенклатура выпускаемой продукции и предоставляемых предприятием услуг для объектов атомной энергетики постоянно расширяется.

Особенности применения оборудования НПП «ЭКРА»:

1. Все решения на базе устройств НПП «ЭКРА» в части РЗА и ПА электрических станций и подстанций классов напряжения от 6 до 750 кВ позволяют заменить практически 100% соответствующих устройств зарубежных производителей.

2. Применяемые НПП «ЭКРА» решения в части РЗА полностью отвечают отечественной идеологии построения комплекса РЗА электрических станций и подстанций, что дает возможность обслуживающему персоналу подстанции легко адаптиро-



Щит постоянного тока на Балаковскую АЭС

ваться при переходе с устаревших панелей защит на современные микропроцессорные. При использовании устройств РЗА зарубежных производителей необходимо провести большую работу по адаптации имеющегося технического решения под отечественные нужды, что увеличивает сроки, стоимость и надежность комплекса РЗА (в случае ошибок при конфигурации устройств).

3. Выпускаемая на НПП «ЭКРА» продукция по своему функционалу и надежности не уступает продукции ведущих мировых производителей релейной защиты и автоматики, однако имеет более низкую стоимость по сравнению с аналогичным зарубежным оборудованием.

4. Все серийно производимые устройства РЗА 6-750кВ соответствуют требованиям стандарта МЭК61850. Устройства поддерживают протоколы связи согласно части стандарта МЭК 61850-8-1.

5. Для подстанций нового поколения, так называемых «Цифровых подстанций», имеются специализированные исполнения терминалов с поддержкой стандарта МЭК61850-9-2LE. Данные решения внедрены и проходят опытную эксплуатацию на ПС 220кВ «Чистополь» (Республика Татарстан, ОАО «Сетевая компания»), ПС 220кВ «Венец» (Чувашская Республика, ПАО «ФСК ЕЭС»), Нижегородской ГЭС (ПАО «РусГидро»).

6. Обновление программного обеспечения производится более оперативно, чем у зарубежных производителей. При этом новое программное обеспечение изначально написано для русскоязычных пользователей, что минимизирует ошибки при его использовании.

7. Специалисты НПП «ЭКРА» осуществляют круглосуточную техническую поддержку.

8. Широкая сеть сервисных центров охватывает всю территорию России. Ремонт оборудования осуществляется в срок до 24 часов. При использовании оборудования зарубежных производителей сроки обслуживания и ремонта значительно увеличиваются.

Предприятие вкладывает значительные средства в расширение и обновление производства. Производственные площади составляют более 25 000 м<sup>2</sup>, включая собственное производство металлоконструкций с оборудованием по металлообработке, гибке и лазерной резке, гальваническому и порошковому покрытиям. Производственный потенциал позволяет выпускать около 4 тысяч шкафов в год. В связи с ежегодно возрастающими объемами выпускаемой продукции, в 2011 г. началось строительство нового производственного комплекса. В июне 2014 г. состоялся пуск первой очереди многофункционального производственного комплекса, рассчитанного на выпуск 2000 шкафов НКУ и 200 единиц преобразователей частоты ежегодно. Весь производственный комплекс позволит выпускать до 7000 шкафов релейной защиты, 4000 шкафов НКУ и 300 преобразователей. Запуск второй и третьей очереди планируется в 2015 и 2016 годах соответственно.

НПП «ЭКРА» готово обеспечить поставки современного оборудования в требуемом объеме для реализации инвестиционных проектов российской электроэнергетики.



Шкафы РЗА станционного оборудования



Шкафы РЗА подстанционного оборудования

# «РТСофт» ставит правильный BLOK

**3А ИМПОРТО  
ЗАМЕЩЕНИЕ  
ПРОГРАММА**

## ЗАО «РТСофт»

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

Компания «РТСофт» запустила в серию новое поколение ультракомпактных бесшумных отечественных встраиваемых компьютеров серии BLOK. Машины предназначены для создания широкого спектра решений при построении ответственных эргономичных систем с длительным жизненным циклом в атомной энергетике, в управлении воздушным движением, на транспорте, в специальных сегментах экономики. Компьютеры BLOK прекрасно подходят для создания сетевых мультимедийных человекомашинных интерфейсов в качестве встраиваемых компактных серверов, бортовых машин и коммуникационных шлюзов.

Компьютеры BLOK обеспечены высоким уровнем сертификационной и лицензионной поддержки. Машины имеют сертификаты ГОСТ Р и Таможенного союза. Компания-производитель имеет самый широкий перечень сертификатов и лицензий для работы в различных сегментах экономики РФ и стран ТС: TUV ISO 9001-2008, ФСТЭК, Ростехнадзор, ФСБ, Минпромторга и др.

Идеология машин основана на правильных R&D рецептах, делающих BLOK одной из основ успешной программы импортозамещения ЗАО «РТСофт»:

- опора на собственные ресурсы и огромный опыт (22+ лет) партнерства с ведущими российскими и зарубежными инженерными компаниями;
- производство на территории России на базе собственного комплекта КД. BLOK – не «отверточная» сборка, а полноценный проект НИОКР;
- максимальная независимость и защищенность от действий поставщиков и производителей компонентов: все критически важные части BLOK имеют альтернативных поставщиков и производителей. Эмбарго и BLOK несовместимы;
- поддержка актуальных мировых концепций в embedded-дизайне: SWaP, IoT, MiniTCO (необслуживаемость), 24 x 7, кондуктивное охлаждение;
- опора на открытые международные стандарты: COM Express (PICMG COM.0), PCISIG MiniPCI Express и проверенные референсные дизайны;
- ориентированный на будущее выбор стандартных цифровых технологий: сети, мультимедийность, процессоры, диски, архитектура расширений;
- построение изменяемой архитектуры, гарантирующей заказ оптимальной конфигурации в части CPU, SDRAM, SSD/HDD, miniPCI Express I/O;
- построение архитектуры BLOK, гарантирующей максимальную plug&play совместимость с широким спектром готового системного ПО класса Linux, Windows, QNX, VxWorks, LynxOS и их отечественными клонами;



- использование промышленных embedded-компонентов, имеющих длительный жизненный цикл и E2-исполнение (-40...+85°C);
- универсальные возможности для встраивания и охлаждения: 19-дюймовая стойка, стол, «холодная поверхность», стена, потолок;
- возможность модернизации машин в будущем: переход на новые поколения микропроцессоров и операционных систем.

Важное преимущество изделий BLOK – широкие возможности индивидуализации в соответствии с пожеланиями заказчика: изменение входных характеристик питания, расширение температурного диапазона, усиление механических и IP-свойств, портирование ОС, интеграция с промышленным монитором GT777, отвечающим требованиям IV группы исполнения ТС АС-ЯРО, превращающая BLOK в готовый сетевой человекомашинный интерфейс.

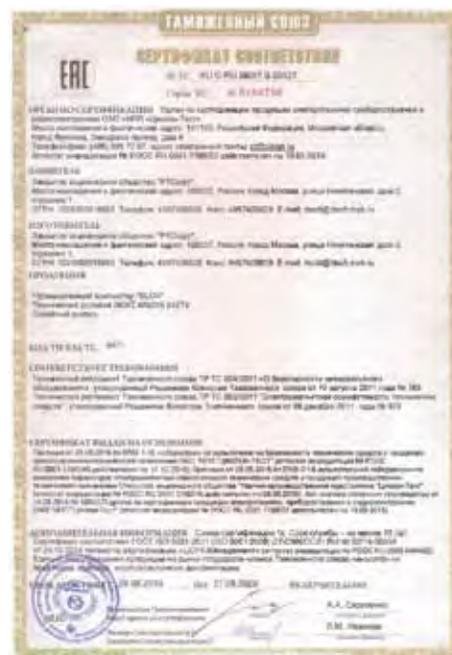
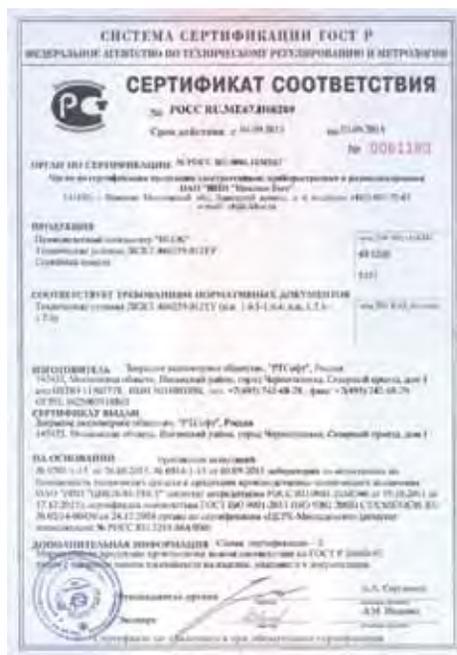
Следуя современным требованиям рынка, производитель оснастил компьютеры BLOK четырьмя портами G Ethernet, шестью портами USB 3.0/2.0 и двумя COM-портами, а также звуковой подсистемой Intel HD. Для расширения доступны два слота Mini PCI Express: обеспечена подготовка для работы в средах Wi-Fi и GSM, а также с модулями доверенной загрузки, российских производителей. В базовой конфигурации используется двухъядерный ЦП Intel Core i5 Haswell с тактовой частотой 1,6 ГГц (может быть заменен на другие ЦП серий Intel Core i7, Intel Atom

и микропроцессоры отечественного производства), до 16 Гбайт памяти DDR3L-1600 и два накопителя формата 2,5", которые могут быть объединены в RAID-массив.

Важное свойство платформы BLOK – поддержка вывода на три дисплея в разрешениях до 4K через три интерфейса DisplayPort. Малое тепловыделение ЦП позволяет системе быть безвентиляторной, что повышает надежность и обеспечивает нулевой уровень шума. Производитель предоставляет на BLOK гарантию до 4 лет, при этом средняя наработка на отказ составляет 70 000 часов. Базовая конфигурация в корпусе высоты 1U весит 4,4 кг, рассчитана на работу при температурах от -10 до +55°C и монтируется в 19-дюймовую стойку, на стену, на рейку DIN, либо устанавливается на стол.

Машины доступны для бесплатного тест-драйва со склада РТСофт. Учитывая нужды пользователей, производитель оказывает профессиональную поддержку комплексной совместимости в системах заказчика. Выбирая BLOK, пользователи получают современную цифровую функциональность, совместимость с перспективным оборудованием, низкую стоимость владения, чрезвычайную простоту обслуживания, техническую поддержку ведущих экспертов отрасли и 100-процентную защиту от санкций и ограничений.

С подробной информацией по BLOK можно ознакомиться на сайте компании «РТСофт» по адресу: [gt777.rtsoft.ru/?at4](http://gt777.rtsoft.ru/?at4)



# Перспективы автоматизации работ на отработочных позициях

**А.В. Шарипов, И.В. Шашмурин**  
АО «НПО автоматики  
им. академика Н.А. Семихатова»

**В настоящей статье рассматриваются основные недостатки организации работ на отработочных позициях и предлагаются пути их решения подразделением КОАП НПОА.**

Задача отработки разрабатываемой продукции актуальна для различных отраслей, в которых применяется специализированное программное обеспечение (ПО) и аппаратура, в том числе для космической отрасли при разработке систем управления ракетно-космической техникой (РКТ).

Отработка ПО и аппаратуры является важным этапом жизненного цикла разработки систем управления РКТ. Особенностью отработочной позиции КОАП является то, что на данной позиции впервые происходит объединение системного и функционального ПО на реальной аппаратуре в штатных режимах работы системы управления РКТ. Основной задачей КОАП является раннее обнаружение ошибок. Для принятия своевременного решения о необходимости доработки ПО или о переходе к следующему этапу испытаний системы управления, подразделение КОАП при выявлении несоответствий оперативно информирует о них подразделения разработчиков.

Как показывает практика, раннее обнаружение ошибок позволяет экономить время и стоимость разработки СУ РКТ (рис. 1); чем дальше продвигается работа, тем выше становится стоимость поиска и исправления ошибок [1].

## ОТРАБОТОЧНАЯ ПОЗИЦИЯ КОАП

Согласно стандарту организации СТО 551.21.008-2008 [2] общей целью отработки на комплексах отработки аппаратуры и программ (КОАП) является обеспечение выполнения системой управления требований технических заданий, технических требований, исходных данных и схем сопряжения. Для достижения цели подразделение КОАП в соответствии с СТО:

- разрабатывает и совершенствует комплекс технических средств для отработки и испытаний аппаратуры и ПО подсистем СУ;
- обеспечивает максимально возможную полноту и качество отработки аппаратуры и ПО соответствующей подсистемы СУ;
- выпускает методики отработки;
- отработывает коррективы ПО и аппаратуры по результатам испытаний на всех этапах разработки;
- организует работы по поиску и устранению неисправностей;

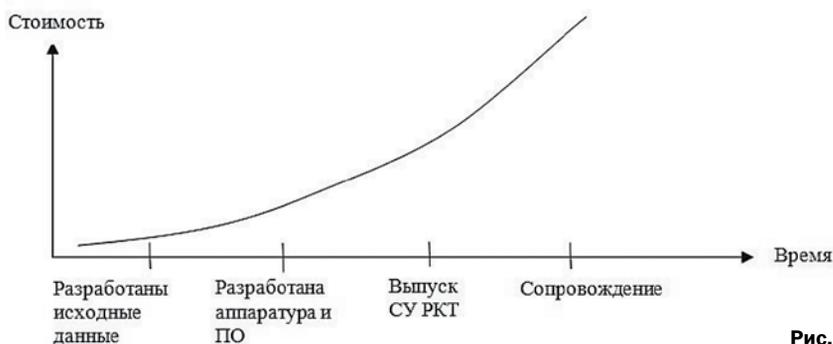


Рис. 1

– выпускает отчеты по результатам отработки с подтверждением или опровержением готовности алгоритмов, программ и аппаратуры к последующим этапам комплексных испытаний на цифровом моделирующем комплексе (ЦМК) и комплексном стенде (КС).

На сегодняшний день в обеспечение отработки на КОАП [3]:

1. используются технические решения собственной разработки для отработки и испытаний аппаратуры и ПО подсистем СУ:

1.1 программно-аппаратные имитаторы, позволяющие создать полноценную математическую модель работы смежных подсистем и отработывать не только положительные ветви программ, но и отрицательные, имитируя различные виды отказов;

1.2 регистраторы, работающие в реальном времени, фиксирующие информационный обмен отработываемой аппаратуры с имитируемой для проведения после отработки глубокого анализа полученной диагностической информации (ДИ), что в свою очередь позволяет проверить аппаратуру и программное обеспечение на соответствие исходным данным, в том числе проконтролировать корректность реализации алгоритмов парирования сбоев и неисправностей;

2. вводятся автоматизированные системы процесса отработки, обеспечивающие максимально возможную полноту и качество отработки аппаратуры и ПО, соответствующей подсистемы СУ, при помощи [4]:

2.1. «Программного комплекса централизованного управления» (ПКЦУ), предназначенного для оптимизации процесса отработки за счет минимизации времени технологических операций одного цикла проверок [3, 5];

2.2. «Системы планирования и обработки результатов испытаний» (СПОРИ), предназначенной для сохранения результатов отработки, позволяющей всем участникам процесса отработки оперативно использовать информацию из журнала работ и журнала замечаний отработочной позиции;

2.3. «Универсального имитирующего комплекса» (УИК), предназначенного для создания

имитатора любой внешней системы на КОАП (при помощи конфигурирования функционального ПО), что позволяет обеспечить взаимодействие объекта контроля со смежными системами в соответствии с требованиями ИД и ТЗ, а также вносить сбои и неисправности для отработки отрицательных ветвей работы аппаратуры и ПО;

2.4. «Универсального регистрирующего комплекса» (УРК), предназначенного для создания регистратора любой магистрали на КОАП, что позволяет обеспечить регистрацию взаимодействия объекта контроля с имитируемыми смежными системами и внутрисистемных магистралей;

2.5. «Системы анализа результатов испытаний» (САРИ), предназначенной для проведения автоматизированной оценки результатов испытаний, выявления неисправностей, отклонений, сбоев при отработке объекта контроля и работы технологического оборудования от требований ИД;

2.6. «Универсального редактора конфигурационных файлов» (УРКФ), предназначенного для создания и редактирования конфигурационных файлов системной и функциональной части имитаторов/регистраторов внешних систем, контрольных данных, имитаций сбоев и неисправностей для отработки отрицательных ветвей;

2.7. «Системы разработки ИД в виде, пригодном для компьютерной обработки» (расширение УРКФ), предназначенной для разработки ИД комплексным подразделением с учетом дальнейшей возможности автоматизированной загрузки в виде функционального ПО в имитируемые системы и в виде контрольных параметров в САРИ.

## ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НА ОТРАБОТОЧНЫХ ПОЗИЦИЯХ

Подразделения, участвующие в отработке ПО и аппаратуры на КОАП в соответствии с СТО:

- выдают технические задания и/или предложения в программу отработки, согласовывают программу отработки;

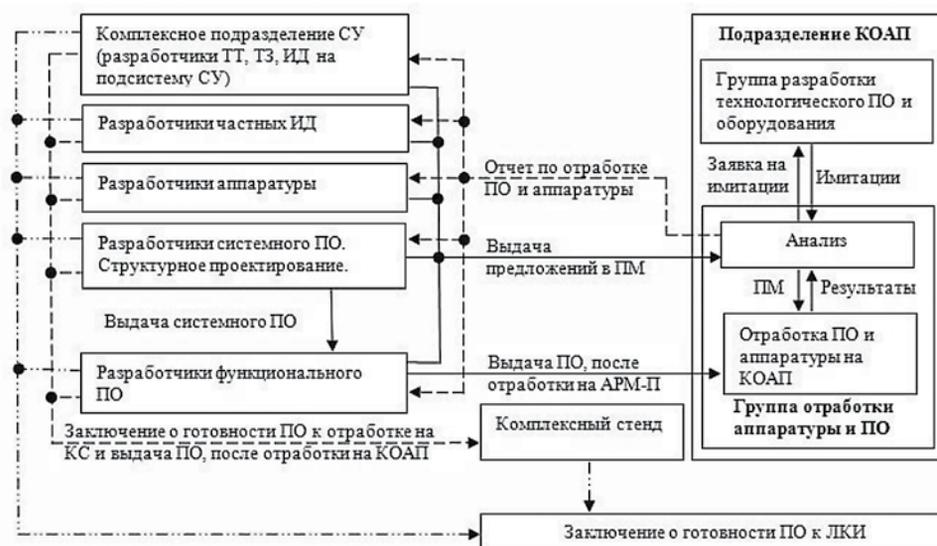


Рис. 2

– участвуют в отработке и/или в анализе полученных результатов, согласовании выпускаемых отчетов;

– выдают заключения/отчеты о готовности к испытаниям на КОАП по результатам автономной отработки приборов на автономном рабочем месте разработчика (АРМ-р), автономной отработки программ на АРМ программиста;

– выдают материалы в отчеты по отработке;

– реализуют замечания, зафиксированные в журналах замечаний КОАП.

На рис. 2 представлено в общем виде взаимодействие подразделений, участвующих в отработке ПО и аппаратуры на КОАП:

– комплексное подразделение СУ (разработчики ТТ, ТЗ, ИД на подсистему СУ) и разработчики частных ИД;

– разработчики аппаратуры и ПО;

– подразделение КОАП.

Процесс отработки на позициях КОАП состоит из трех этапов:

– подготовка к проведению испытаний;

– проведение испытаний и анализ полученных результатов;

– выпуск отчетных документов.

Процесс отработки на КОАП носит циклический характер, начало каждого нового цикла связано с устранением ранее выявленных замечаний, изменениями ИД и ТЗ головной организации, доработкой аппаратуры с целью улучшения имеющихся характеристик.

При отсутствии замечаний, не влияющих на функционирование СУ, отраженных в отчете подразделения КОАП, смежными подразделениями проводятся следующие работы:

– передача версии ПО на ЦМК или КС;

– отработка ПО на ЦМК или КС;

– постановка ПО на учет;

– испытания на внешних позициях.

По результатам этих работ на КОАП могут поступить предложения или технические задания для оперативного воспроизведения ситуаций, приведших к появлению замечаний.

### ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ. ПУТИ РЕШЕНИЯ

1. Низкая степень автоматизации процесса отработки. Отсутствие возможности проверки ПО и аппаратуры по ПВ и ОВ в автоматизированном режиме, тем временем разрабатывая дальнейшую автоматизированную проверку ПО и аппаратуры.

Работы на КОАП проходят в ручном режиме с применением метода отработки ПО с закрытым кодом [6]: оператор КОАП работает

с входной/выходной информацией и влияет на поведение ПО, моделируя неисправности в работе аппаратуры, что позволяет отрабатывать правильность реализации алгоритмов в «отрицательных» ветвях. На сегодняшний день автоматизированы рутинные операции оператора: предпусковое конфигурирование технологического оборудования, запуск/останов режима, списывание диагностики, работа с журналами работ и замечаний.

Для решения данной проблемы необходимо увеличивать степень автоматизации процесса отработки, а именно:

#### 1.1. подразделению КОАП:

– проработать вопрос организации многоциклической отработки [4] для проведения в автоматизированном режиме проверок функционирования ПО и аппаратуры по положительным и отрицательным ветвям;

– проработать возможность регистрации изменения информации, выводимой на экран модуля отображения, для ее последующего автоматизированного анализа и проверки на соответствие требованиям ИД;

– завершить внедрение автоматизированных систем процесса отработки (ПКЦУ, СПОРИ, УИК, УРК, УРКФ);

– разработать и внедрить «Устройство коммутации», позволяющее изменять конфигурацию кабельной сети КОАП при проведении испытаний для различных режимов работы СУ РКТ;

1.2. разработчикам ИД и ПО учитывать необходимость автоматизации процесса отработки на этапе проектирования путем создания для всех заказов и поддержания в актуальном состоянии документов, описывающих структуру выводимой диагностики с приборов. Это позволит подразделению КОАП использовать дополнительный источник информации для анализа полученных результатов в автоматизированном режиме.

2. Малая степень использования для автоматизированного анализа диагностической информации на соответствие исходным данным (ИД). Анализ должен производиться по контрольным данным (КД), созданным на этапе разработки ИД. Одной из проблем, препятствующих автоматизации, является то, что для составления КД требуется анализ большого количества исходных данных, требующий значительных временных ресурсов [7].

Для решения этой проблемы необходимо:

- организовать выпуск ИД в виде, пригодном для дальнейшей машинной обработки и автоматизированного получения КД из ИД (разработчикам ИД использовать «Систему разработки ИД в виде, пригодном для компью-

терной обработки»). Для действующих заказов – сформировать КД (при помощи УРКФ) и при изменении ИД поддерживать КД в актуальном состоянии;

– подразделению КОАП завершить внедрение САРИ.

Подразделению КОАП для решения основной задачи контроля соответствия ПО и аппаратуры СУ РКТ требованиям ТЗ, ТТ, ИД, схем сопряжения необходимо продолжить оптимизацию организации работ при помощи всесторонней автоматизации процесса отработки.

В перспективе автоматизация работ на отработочных позициях должна сводиться к:

1. созданию программы методики отработки ПО и аппаратуры, состоящей из скриптов для автоматизированного выполнения проверок и минимального количества ручных операций для проверки интерфейса взаимодействия оператора с аппаратурой;

2. проведению отработки в автоматизированном режиме без участия человека по заданной программой методике отработки ПО и аппаратуры;

3. проведению отработки в ручном режиме для проверки интерфейса взаимодействия оператора с аппаратурой;

4. автоматизированному анализу полученных результатов отработки на соответствие контрольным данным;

5. автоматизированному формированию отчета отработки ПО и аппаратуры.

Автоматизация работ на отработочных позициях позволит подразделению КОАП НПОА повысить качество и полноту отработки систем управления РКТ в заданные сроки.

Справочная литература:

1. Канер Сэм и др. «Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений»: Пер. с англ./Сэм Канер, Джек Фолк, Енг Кек Нгуен. – К.: Издательство «ДиаСофт», 2001. – 544 с.
2. СТО 551.21.008-2008 «Стандарт организации. Система качества. Комплекс отработки аппаратуры и программ. Основные положения // Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова, г. Екатеринбург. 2008.
3. А.В. Журавлев, И.В. Шашмулин. «Анализ направлений развития комплексов отработки аппаратуры и программ» // Ракетно-космическая техника. Сер. XI. Системы управления ракетных комплексов, вып. 1. Екатеринбург. Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова, 2012. С. 107-115.
4. А.В. Журавлев, И.В. Шашмулин. «Математическая модель «автоматизированной» отработочной позиции корабельных информационно-управляющих комплексов» // Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих систем. Сборник докладов научно-технической конференции. – Москва: ОАО «Концерн «Моринсис-Агат», 2014.
5. А.В. Журавлев, И.В. Шашмулин. «Основные направления развития комплексов отработки аппаратуры и программ: программный комплекс централизованного управления» // Сборник докладов Молодежной научно-технической конференции-2012, посвященной 65-летию ОАО «ЕРЦ Макеева». – Миасс: ОАО «ГРЦ Макеева». 2012, II ч. С. 60.
6. Винниченко И. В. «Автоматизация процессов тестирования». – СПб.: Питер, 2005. – 203 с.
7. С.Р. Мугинова, А.В. Журавлев. «Оценка основных существующих подходов к построению систем анализа результатов испытаний» // Ракетно-космическая техника. Сер. XI. Системы управления ракетных комплексов, вып. 1. Екатеринбург. Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова, 2013.

# Печатные платы со встроенными компонентами

**А.С. Степанова, Т.А. Жукова, Б.И. Иванов**  
ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»

Наряду с уменьшением габаритно-массовых характеристик одной из важнейших задач является максимальное сокращение связей между элементами, особенно в приборах спецтехники. Как следствие, происходит объединение различных функциональных узлов в одном изделии, что, в свою очередь, приводит к увеличению плотности монтажа. В связи с этим становится все трудней выполнить качественную компоновку, которая полностью удовлетворяла бы требованиям разработчиков. Существует ряд способов для реализации данных целей.

Одним из наиболее популярных направлений является создание кристаллов определенного функционального назначения, микросхем и микросборок специального назначения. Такие изделия позволяют эффективно объединять целые функциональные узлы в едином устройстве, давая при этом существенный выигрыш по габаритам, однако, проектирование и производство таких изделий, как правило, требует наличия высоко квалифицированных в этой области специалистов, а также сложного и дорогостоящего оборудования. На предприятиях, занимающихся проектированием и выпуском электронных приборов и блоков, данных ресурсов нет, или они есть не в полном объеме, в результате чего изделия заказываются у предприятий, специализирующихся в нужной области, следствием чего являются длительное время от начала проектирования до выпуска готового изделия и немалая цена изделия.

Но далеко не все узлы электронных приборов целесообразно выполнять в виде кристаллов и микросборок.

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ПЛАТ СО ВСТРОЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Одним из современных направлений в проектировании и производстве электронных устройств является изготовление плат со встроенными компонентами. Под этой технологией понимается возможность размещать компоненты на внутренних слоях печатной платы или подложки. Такой подход позволяет создавать компактные модули и объединять различные функциональные узлы в едином устройстве.

В настоящее время основным центром развития технологии встроенных компонентов является Юго-Восточная Азия. В таких странах, как Япония, Корея, Китай ведется разработка данных производственных технологий. Это связано с тем, что основная доля современной электронной аппаратуры приходится на юго-восточные регионы. В США и Европе также идут проработки в этом направлении, но в меньших объемах.



Рис. 1. Диаграмма

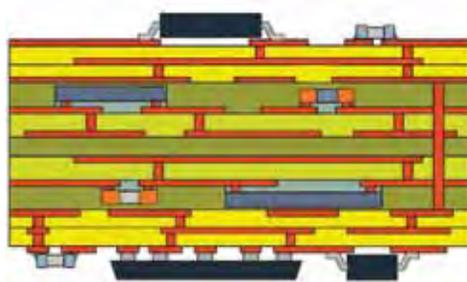


Рис. 2. Методы встраивания дискретных компонентов в печатную плату

Если оценивать серийное производство модулей со встраиваемыми компонентами, то основной сферой их применения является автомобильная промышленность, мобильная телефония и др.

В России эта технология также начинает развиваться.

Существует два основных направления встраивания компонентов в печатную плату: формирование компонентов во время изготовления печатной платы и встраивание дискретных компонентов в тело печатной платы.

Формирование компонентов предполагает, что процесс их изготовления происходит одновременно с другими элементами печатной платы.

Встраивание дискретных компонентов предполагает, что компоненты выпускаются в массо-

вом количестве и традиционными методами, и уже полностью готовый и проверенный элемент устанавливается в печатную плату.

Возможность встраивания компонентов на внутренние слои печатной платы открывает как для конструкторов, так и для разработчиков большие перспективы.

Поскольку электрорадиоизделия (ЭРИ) подвержены вибромеханическим, тепловым, климатическим и другим воздействиям, установка на внутренние слои позволила бы «законсервировать» элементы внутри платы, защищая их от повреждений.

Размещение на внутренних слоях платы активных компонентов в виде кристаллов позволяет не только уменьшить габариты приборов, но и за счет сокращения длины связей повысить помехоустойчивость изделий.

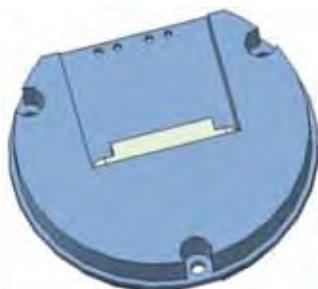
Разновидностей реализации конструкций плат со встроенными компонентами много. Каждое предприятие подбирает свою конструкцию и технологию изготовления таких плат с учетом особенностей и целей своего производства.

Платы со встроенными компонентами – это направление, которым мы начали заниматься.

Анализ конструкций ряда изделий показал не только существенное уменьшение габаритно-массовых характеристик, но и возможность принципиально нового подхода к проектированию приборов.

Одним из основных критериев при разработке конструкции таких плат для спецтехники был полный отказ от импортных составляющих. В связи с этим условием был проведен анализ рынка материалов и компонентов для выбора возможного конструктива.

Наиболее удачной является технология формирования пассивных компонентов одновременно с другими элементами печатной схемы – обычно внутреннего слоя. Такое встраивание позволяет сократить число поверхностно монтируемых компонентов, совершенствует трассировку цепей, повышает надежность печатной платы за счет сокращения паяных соединений в сборке, при этом не увеличивая толщину платы.



Было



Стало

Рис. 3. Методы встраивания дискретных компонентов в печатную плату

Но такая конструкция возможна не для всех типов плат.

Метод встраивания дискретных компонентов в печатную плату так же имеет ряд ограничений. Когда идет речь о встраивании компонентов в печатную плату, подразумевается, что на внутренний слой платы устанавливаются пассивные и активные компоненты, а затем прессуется весь пакет МПП – многослойная печатная плата. Температура прессования стандартной МПП +170°C, а рабочая температура отечественных элементов составляет только +125°C. Для реализации такого метода необходимо разработать стеклотекстолит с температурой прессования +100°C-120°C. Еще один момент – это давление при прессовании, от которого также нужно защищать элементы. Сделать это можно, выбирая высоту элементов необходимым числом слоев стеклотекстолита с пазами под них. Но в связи с тем, что специальных уменьшенных отечественных элементов, предназначенных для внутреннего монтажа, не существует, толщина платы получается внушительной.

Проанализировав сложившуюся ситуацию и имеющееся у ФГУП НПЦАП оборудование, на сегодняшний день нами было выбрано несколько направлений по реализации плат со встроенными компонентами.

Первое направление – совместная опытно-конструкторская работа с НПП «КБ «Радуга», разработавшим конструкцию и технологию беспаечного и бесварочного производства микроузлов, в которые встроены элементы. Узлы могут выполняться на гибкой или жесткой подложке, на которую монтируются кристаллы и чип-компоненты контактными площадками вверх с сохранением единой плоскостности. Затем с помощью ионно-плазменного травления диэлектриков и вакуумного напыления металлов идет формирование электрических связей между контактными площадками элементов, с последующим созданием необходимого числа проводящих слоев. На верхние слои могут устанавливаться элементы, не подходящие для монтажа на внутренние слои, а также формироваться различного типа контактирующие выводы.

Основным преимуществом технологии НПП «КБ «Радуга» является максимальный отказ от сварных и паяных соединений при монтаже элементов. Благодаря этому исключаются дефекты и высокотемпературные воздействия, связанные с пайкой и сваркой элементов, ошибки при выполнении ручных операций в процессе монтажа элементов.

Второе направление – разработка собственного конструктива плат во встроенными

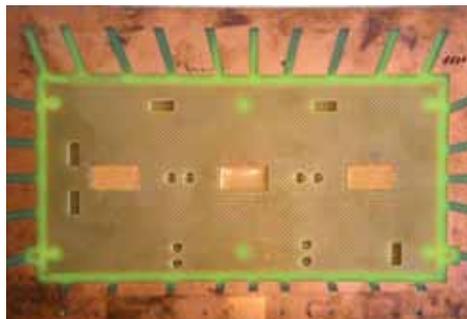


Рис. 4. Плата со встроенными компонентами

компонентами. Предлагаемый нами конструктив представляет собой спрессованную МПП с пазами различной формы или колодцами под компоненты или узлы, которые необходимо встраивать.

В эти колодцы монтируются элементы: как пассивные чип-компоненты, так и активные компоненты в виде кристаллов с разваренными выводами. Вся трассировка происходит через печатную плату, как и в стандартной МПП.

После монтажа элементов происходит их проверка на функционирование, в случае необходимости происходит замена элементов, а затем колодцы заливаются компаундом. Для этого был подобран специальный безусадочный компаунд, разработанный ОАО «Композит», проведены испытания залитых элементов при различных температурах от +80°C до +170°C, в результате которых и компаунд, и элементы сохранили работоспособность.

Далее на печатную плату монтируются оставшиеся элементы. При этом место на печатной плате не теряется, т. к. на залитые участки можно устанавливать любые крупные выводные элементы (трансформаторы, резисторы, конденсаторы и т. д.).

В результате проделанной работы мы должны получить конструкцию, позволяющую решить поставленные задачи. В настоящее время начинаются работы по практической реализации предлагаемых технических решений.

Также практически неизменной остается технология изготовления самой платы, которая идентична по изготовлению и применяемым материалам стандартной МПП.

Что касается элементов, встраиваемых на внутренние слои, то между ними существенно уменьшаются длины связей, повышается защита элементов от внешних воздействий. Узлы, которые раньше можно было выполнить только в виде микросборок, теперь становятся единым целым с печатной платой, освобождая полезную площадь на внешних сторонах печатной платы.

Автоматически был решен вопрос об отводе тепла от встроенных элементов. Использование стандартных материалов, а именно стеклотекстолита, позволяет во время изготовления платы формировать термослои, которые будут отводить тепло от встроенных модулей. Применение таких слоев доказало свою высокую эффективность при отводе тепла.

Один из главных вопросов – надежность данной конструкции.

Как показывает мировой опыт, количество выхода годных плат по технологии со встроенными компонентами составляет 99,3%. Такой высокий показатель связан с тем, что узлы, которые планируется выполнить в виде встроенного монтажа, моделируются и отработываются разработчиками схемы. В результате чего узлы, предназначенные для размещения на внутренних слоях, полностью отработаны.

Конечно, при проектировании таких изделий необходим индивидуальный подход, учитывающий перспективность конструкции, массовость производства и т. д. в каждом конкретном изделии. На наш взгляд, одним из наиболее удачных вариантов применения данной технологии являются конструкции, где изделия имеют небольшие габариты, но с большим количеством элементов. Тогда внутри платы устанавливаются слаботочные чип-элементы и кристаллы, освобождая большое количество места для установки крупных элементов на внешних слоях. Такие платы могут соединяться между собой гибкими шлейфами, открывая большое разнообразие конструкций приборов и блоков. Также стоит учитывать, что наиболее целесообразна данная конструкция при серийном изготовлении изделия, где доработка и поиск неисправностей у блоков занимает гораздо больше сил и времени, чем полная замена модуля.

## ВЫВОДЫ

Основные преимущества разработанной конструкции:

1. при изготовлении предлагаемых плат используется существующая технология, которая не требует нового оборудования, что в единичном и малосерийном производстве имеет решающее значение;

2. уменьшение габаритных размеров, более эффективное использование площади печатной платы. Существенное уменьшение длин связей увеличивает помехо-защищенность и стабильность при работе изделия;

3. возможно использовать все виды отечественных элементов без согласования с заводами-изготовителями, т. к. применяемая технология не нарушает требования ТУ (техническое условие).

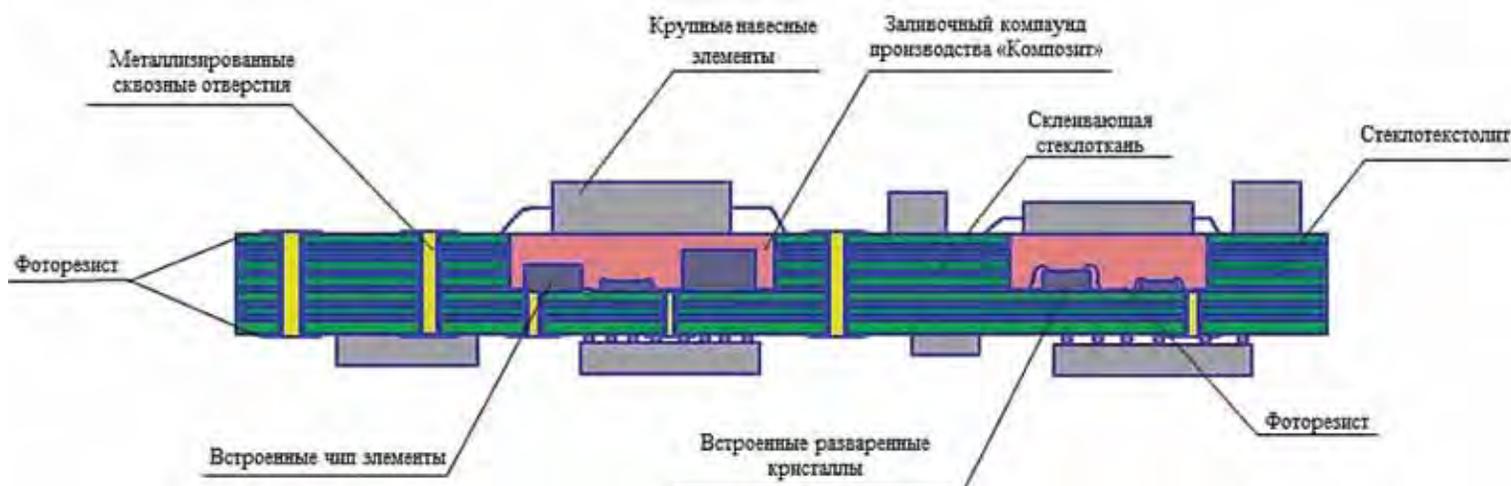


Рис. 5. Пример платы со встроенными компонентами

# Оптико-электронный модуль для регистрации процесса движения и разделения ОИ от средств разгона

**С.И. Герасимов, В.Е. Лысенков,  
Е.А. Гончаров, В.С. Роженцов  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»**

При создании новых образцов ракетно-артиллерийского вооружения (РАВ) важным этапом является их наземная отработка. Для этой цели проводятся наземные испытания, в которых производится разгон объектов исследования (ОИ) или нагружающего устройства (НУ) с помощью твердотопливных ракетных двигателей. Для визуализации процесса разгона ракетного поезда (РП) и разделения ОИ от средств разгона разработана аппаратура, способная выдерживать динамические нагрузки и сохранять свою работоспособность. Разработан оптико-электронный модуль, обеспечивающий в реальном времени регистрацию процесса движения ОИ по рельсовым направляющим.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Оптико-электронный модуль состоит из следующих составных частей: элемента светочувствительного (ЭСЧ), устройства



**Рис. 1. Внешний вид РП с НУ**

преобразования сигналов (УПС) и видеокамеры.

ЭСЧ выполнен на базе фотодиода ФД-24К, работающего в фотодиодном режиме. Использование диода на основе кремния связано с тем, что он имеет устойчивость по отношению к световым перегрузкам от солнечного света и горения заряда двигателей РП. Также определяющими факторами при выборе фотодиода стали: максимальный темновой ток, интегральная токовая чувствительность, рабочее напряжение, площадь фоточувствительной площадки

и стабильность работы в течение длительного промежутка времени.

ЭСЧ и видеокамера соединяются посредством жгутов с УПС, предназначенным для питания ЭСЧ и передачи видеоинформации с видеокамеры на передающее устройство.

Видеокамера предназначена для приема оптической информации в составе оптико-электронного модуля. В состав видеокамеры входит модульная видеокамера SONY с разрешением 720x576 и корпус, защищающий камеру от внешних воздействий.

Разработанный модуль прошел проверку по программе расширенных испытаний и по программе испытаний на подтверждение конструкторских гарантий. По результатам испытаний составных частей модуля подтверждены:

- работоспособность после имитации хранения в отопляемых хранилищах с регулируемой температурой и влажностью;
- стойкость к воздействию ступенчатого понижения и повышения температуры среды;
- устойчивость к воздействию широкополосной случайной вибрации;
- стойкость к воздействию линейного ускорения;
- прочность к воздействию повышенного и пониженного давления воздуха;
- прочность к воздействию механического удара одиночного;
- гарантийная наработка до выработки ресурса.

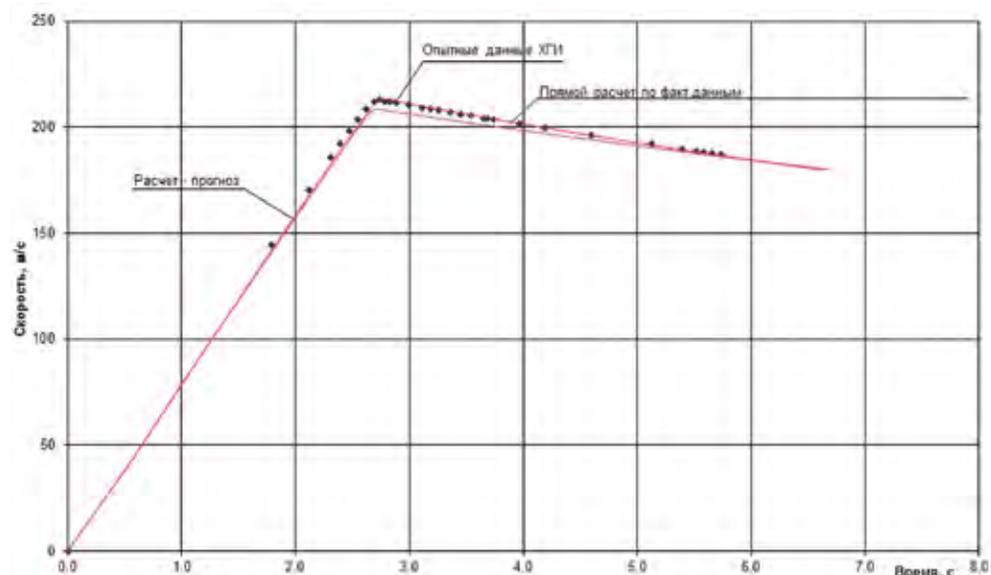
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Разработанный электронно-оптический модуль был опробован при проведении наземных испытаний. Он устанавливался на РП и осуществлял регистрацию движения и отделения НУ от РП. Внешний вид РП с установленным модулем и НУ представлен на рисунке 1. Передача видеосигнала осуществлялась с помощью передатчика WSW AVT и антенны двойной зигзаг.

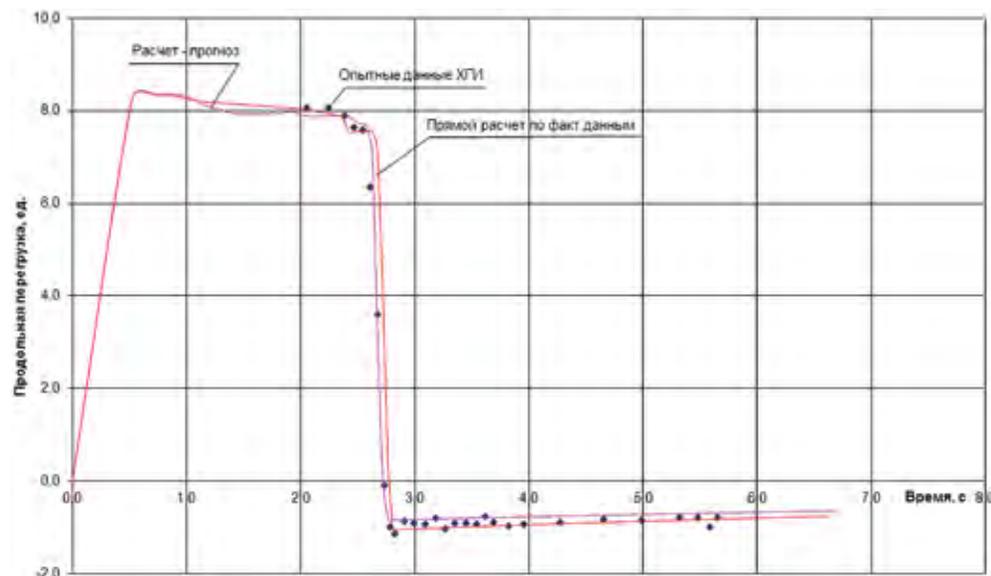
Зависимость скорости разгона ракетного поезда с НУ от времени представлена на рисунке 2. На рисунке 3 представлена зависимость продольной перегрузки разгона РП с НУ от времени.

Фрагменты видеорегистрации отделения НУ от РП представлены на рисунке 4.

Результаты испытаний оптико-электронного модуля по программе расширенных испытаний, программе испытаний на подтверждение конструкторских гарантий и испытания на ракетном треке позволяют сделать вывод о возможности применения модуля в наземных и натуральных испытаниях.



**Рис. 2. Зависимости скорости разгона РП с НУ от времени**



**Рис. 3. Зависимости продольной перегрузки разгона РП с НУ от времени**



**Рис. 4. Видеокадры отделения НУ от РП**

# Опыт применения микроконтроллеров с ядром cortex-m для разработки коммутационно-преобразовательной аппаратуры

**А.Ю. Подоплелов, С.М. Першин,  
А.В. Петров  
АО «НПО автоматики  
им. академика Н.А. Семихатова»**

В рамках работ АО «НПО автоматики» по созданию систем управления разработан ряд коммутационно-преобразовательных приборов.

Для построения отдельных узлов приборов применены микроконтроллеры серии 1986ВЕхх производства ЗАО «ППК Миландр», разработано программное обеспечение. Получен опыт использования микроконтроллеров с аппаратной и программной точки зрения.

В рамках статьи проведено оценочное программирование, позволившее качественно сравнить компиляторы сред разработки Phytон Codemaster-ARM и KEIL MDK ARM.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ 1986ВЕХХ

Микроконтроллеры серии 1986ВЕхх построены на базе архитектуры ARM CORTEX. 1986ВЕ91У построен на базе CORTEX-M3, 1986ВЕ1Т построен на базе CORTEX-M1 производства ЗАО «ППК Миландр».

Общие характеристики указаны в таблице 1.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ АППАРАТУРЫ И ПРИЧИНЫ ВЫБОРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ 1986ВЕХХ

Приборы построены по модульной архитектуре, в качестве микроконтроллеров использованы 1986ВЕ1Т (Cortex-M1), 1986ВЕ91У (Cortex-M3).

1986ВЕ91У служит для преобразования информации из координатно-символьного способа кодирования в стандарт VGA.

Выбор 1986ВЕ91У обусловлен максимальной производительностью на момент разработки аппаратуры.

1986ВЕ1Т служит для обмена информацией по интерфейсу на основе ГОСТ Р 52070-2003 в качестве межприборного интерфейса, преобразования полученной информации в пакеты для внутриприборных модулей и обмена информацией между ними по интерфейсу RS-485.

Выбор 1986ВЕ1Т обусловлен необходимостью работы по интерфейсу на основе ГОСТ Р 52070-2003. 1986ВЕ1Т имеет встроенный контроллер данного интерфейса. Дополнительным преимуществом являлась перспективная 32-разрядная архитектура ядра Cortex-M, достаточно высокая вычислительная мощность данного микроконтроллера, возможность отладки через JTAG.

Для разработки ПО под 1986ВЕ1Т использован язык высокого уровня C++. Под 1986ВЕ91У использован язык С.

Язык C++ выбран из-за гибкости и ясности структуры программного обеспечения по сравнению с языком С и Ассемблером. Выполнение задачи обеспечивается запасом производительности микроконтроллера.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ 1986ВЕХХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для разработки программного обеспечения под микроконтроллер 1986ВЕ91У использована среда разработки Phytон Codemaster-ARM и отладчик Phytон JEM-ARM.

Phytон Codemaster-ARM является недорогой средой разработки от отечественного поставщика ООО «Фирма Фитон». Phytон Codemaster-ARM обладает слабыми возможностями редактора кода. Для запуска среды разработки необходим

**Таблица 1. Сравнительные возможности микроконтроллеров**

1986ВЕ91У	1986ВЕ1Т
Ядро CORTEX-M3	Ядро CORTEX-M1
128 Кбайт Flash, 32 Кбайт ОЗУ	128 Кбайт Flash, 48 Кбайт ОЗУ
Частота до 80МГц	Частота до 144МГц
Температура от плюс 60 до минус 125 С	Температура от плюс 60 до минус 125 С
2xUART, 2xCAN, 2xSPI, 1xI2C	2xUART, 2xCAN, 3xSPI
	ГОСТ Р 18977-79, 2xГОСТ Р 52070-2003, контроллер Ethernet 10/100 + PHY,
	USB до 12Мбит/с + PHY
16 каналов ADC(12 разрядный),1Мвыб./с	8 каналов ADC (12 разрядный), 0,5Мвыб./с
2 канала DAC 12 разрядов	2 канала DAC 12 разрядов
Внешняя шина 32 разряда	Внешняя шина 32 разряда
3 входа компаратора	

аппаратный ключ, который иногда перестает определяться системой.

Для разработки программного обеспечения под микроконтроллер 1986ВЕ1Т использована среда разработки KEIL MDK ARM и отладчик SEGGER J-Link.

Среда разработки KEIL MDK ARM, по информации компании Keil, обладает наиболее высокой производительностью генерируемого кода для микроконтроллеров с ядром Cortex-M. Компания Keil предоставляет бесплатную ознакомительную версию KEIL MDK ARM, позволяющую осуществлять компиляции кода размером не более 32 КБ. Минусом данной среды разработки является её высокая стоимость. Среда разработки KEIL MDK ARM также обладает слабыми средствами редактирования кода.

Компания ЗАО «ППК Миландр» поставляет к KEIL MDK ARM пакет библиотек для работы с периферией, заголовочные файлы определения ядра. В среде Phytон Codemaster-ARM библиотеки присутствуют изначально. Библиотеки написаны на языке С. В текущей версии библиотеки в заголовочном файле к KEIL MDK ARM MDR1986ВЕ1Т.h необходимо закрыть макрос «\_cplusplus» для сборки проекта при использовании языка C++. При прошивке в среде KEIL MDK ARM с помощью отладчика SEGGER J-Link необходимо вручную настраивать диапазоны памяти, значения по умолчанию являются неверными. Для прошивки микроконтроллера 1986ВЕ1Т необходимо выполнить отдельно операцию стирания и прошивки ПМО. Стирание и прошивка ПМО за один цикл приводит к неудачному результату. Прошивка в среде Phytон Codemaster-ARM происходит без нареканий.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 1986ВЕ1Т С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Отметим некоторые особенности аппаратной архитектуры 1986ВЕ1Т:

– удобная работа с контроллером интерфейса ГОСТ Р 52070-2003. Для приема и передачи данных используются специальное окно ОЗУ, в которое записываются принятые пакеты и пакеты на отправку. При отсутствии необходимости обрабатывать ошибки по интерфейсу можно не использовать прерывание по ГОСТ Р 52070-2003;

– предусмотрены специальные флаги в контроллере ГОСТ Р 52070 для совместимости с ППУ 5559ИН67, что повышает удобство работы;

– контроллер ГОСТ Р 52070 обладает высокой чувствительностью к помехам по питанию, при

использовании контроллера ГОСТ Р 52070 рекомендуется отключать контроллер USB;

– негибкая реализация UART привела к отказу от использования встроенного FIFO буфера. Не предусмотрено прерывание по определенному количеству байтов в буфере и настройка произвольного таймаута, сигнализирующего о разрыве пакета;

– трудность в отладке по JTAG в среде KEIL MDK ARM с программатором SEGGER J-Link и Phytон Codemaster-ARM с отладчиком Phytон JEM-ARM. В режиме отладки остановка происходит в произвольном месте исполняемого кода, возможно получение HARDFAULT исключения при длинной цепочке вызовов функций.

## ОЦЕНОЧНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Оценочное программирование проведено для сравнения генерируемого кода компиляторами. Для выполнения оценочной программы используется ядро без задействования периферии и блока умножения частоты. В качестве тестовой задачи использовался алгоритм по быстрому преобразованию Фурье.

При тестировании сравнивались компиляторы armc (KEIL), smc-arm (Phytон).

Результаты тестирования показаны в таблице 2.

При использовании оптимизации по времени компилятор armc позволяет получить значительно более высокое быстродействие по сравнению с smc-arm (72,3 мс armc против 152,6 мс smc-arm). В то же время скорость выполнения тестовой задачи при компиляции без использования оптимизации сопоставима (162,4 мс для armc и 186 мс для smc-arm). По размеру кода выигрывает компилятор smc-arm (11 305 байт smc-arm против 14382 байт armc).

С точки зрения полного перехода на отечественные разработки компилятор smc-arm является приемлемой альтернативой armc.

Таким образом, получен положительный опыт разработки аппаратуры с использованием серии 1986ВЕхх микроконтроллеров. Микроконтроллеры 1986ВЕхх перспективны для использования в дальнейших разработках за счет наличия необходимой периферии, высокого быстродействия, возможности применения языка высокого уровня для написания программного обеспечения. Существует необходимый (зарубежный, отечественный) инструментарий для разработки ПМО под данную серию микроконтроллеров. Отмечается ряд особенностей при работе с данными микроконтроллерами, на которые следует обратить внимание.

**Таблица 2. Результаты тестирования**

Уровень оптимизации	Armc	smc-arm
- 00	162,4 мс / 16 701 байт	186,0 мс / 14 003 байт
- 01	120,7 мс / 14 668 байт	154,4 мс / 12 287 байт
- 02	121,3 мс / 14 382 байт	152,6 мс
- 02 приоритет времени выполнения	Отсутствует	145,6 мс
- 02 приоритет размера кода	Отсутствует	146,0 мс / 11 305 байт
- 02 баланс размера кода и времени выполнения	Отсутствует	152,5 мс
- 03	134,2 мс / 14 451 байт	Отсутствует
- 03 приоритет времени	72,3 мс / 15 147 байт	Отсутствует

# Разработка перспективных технических средств оперативно-диспетчерского управления энергоблока АЭС для проекта ВВЭР-ТОИ

**М.И. Потапова**  
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

В настоящее время изготовление технических средств, используемых на блочных и резервных пунктах управления АЭС, производимых в НИИИС с 2000 года, освоено и другими предприятиями. Целью моей работы было создание новых технических средств, которые бы позволили значительно повысить конкурентоспособность производимых в НИИИС изделий и существенно снизить затраты предприятия на изготовление ТС ОДУ при внесении изменений в них и вводе в эксплуатацию.

В январе 2014 года, в связи с предложением АО «АЭП» и ФГУП «ВНИИА», НИО8130 и управление 84 начали разработку новых технических средств:

1) опытного образца сенсорной панели оперативно-диспетчерского управления (панель ОДУ);

2) секций СБ с использованием программно-технических средств ТПТС-СБ.

## ТРЕБОВАНИЯ НАЗНАЧЕНИЯ ПАНЕЛИ ОДУ

Панели ОДУ предназначены для контроля и управления технологическим оборудованием нормальной эксплуатации (НЭ) энергоблока АЭС проекта ВВЭР-ТОИ в случае отказа дисплейного способа управления НЭ посредством СВБУ. В соответствии с назначением панель ОДУ относится к классу безопасности ЗН по НП-001.

## ТРЕБОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАНЕЛИ ОДУ

Для оборудования панели ОДУ устанавливаются следующие показатели надежности:

- срок службы (назначенный ресурс) – не менее 30 лет;
- среднее время восстановления оборудования – не менее 250 000 часов;
- средняя наработка на отказ.

В течение указанного срока службы допускается модернизация и замена элементов панели ОДУ или устройства в целом. При этом должна соблюдаться концепция замены технических средств системы без изменения строительных конструкций и схем электрооборудования.

Надежность функционирования панели ОДУ (средняя наработка на отказ функции) должна быть подтверждена расчетным путем.

## ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПАНЕЛИ ОДУ

Панель ОДУ должна относиться к группе механического исполнения М38 по ГОСТ 30631, соответствовать II категории сейсмостойкости по НП 031 и быть устойчивой к сейсмическим воздействиям в 8 баллов по шкале MSK-64 на отметке не выше 20 метров



**Рис. 1. Внешний вид опытного образца панели ОДУ**

и к воздействиям от удара падающего самолёта и воздушной ударной волны.

Панель ОДУ по защищенности от проникновения твердых предметов и воды должна соответствовать степени защиты IP20 по ГОСТ 14254.

## ВНЕШНИЙ ВИД ПАНЕЛИ ОДУ

На основе технического задания на опытно-конструкторскую работу по панели ОДУ была разработана КД и собран опытный образец (Рис. 1.).

Как видно на рисунке, конструкция панели ОДУ состоит из двух секций, расположенных рядом друг с другом, и представляет с лицевой стороны единую оперативную зону. Новые панели сохраняют то же дизайнерское решение в части внешнего вида, чтобы создавать единую конструкцию с существующими секциями, а видеокadres дисплеев панелей ОДУ отображают мозаичные элементы в соответствии с «Каталогом мозаичных элементов контроля и управления» ИГНД.460830.001ТУ1. Кроме того, принципы сигнализации и управления, реализуемые на видеокadres, соответствуют аналогичным принципам мозаичных панелей в части подтверждения команды, световой и звуковой сигнализации и ее квитирования.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВЯЗИ ПАНЕЛИ ОДУ

Панель ОДУ обеспечивает:

1) прием данных и их преобразование графическим контроллером в видео- и аудиосигнал для сенсорных дисплеев;

2) воспроизведение видеокadres, отображающих аналоговые технологические параметры и дискретные сигналы о состоянии исполнительных механизмов систем нормальной эксплуатации на сенсорных дисплеях;

3) преобразование и передачу сигналов управления, подаваемых оператором с сенсорных дисплеев,

4) преобразование и передачу диагностических сигналов о состоянии оборудования панелей ОДУ в СВБУ;

5) прием сигналов точного времени от СВБУ.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТПТС-СБ

ТПТС-СБ могут быть использованы как программно-технические средства класса безопасности 2У по НП-001 и предназначены для построения ПТК трех- или четырехканальной управляющей системы безопасности (УСБ) АСУ ТП энергоблока АЭС.

Аппаратура ПТК каждого канала УСБ имеет внутренний диверситет СБ по функциям приема, обработки информации технологического процесса, обнаружения аварийной ситуации, формирования сигналов аварийных и автоматических защит, команд управления: диверситеты СБ «А» и «Б».

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПТС ОДУ СБ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС ДЛЯ ПРОЕКТА ВВЭР-ТОИ

Основными функциональными узлами секции СБ, построенными на ТПТС-СБ, являются:

- МПКУ;
- станция ввода-вывода (СВВ);
- монитор (только в секции СБ №3 каждого канала СБ).

Монитор, установленный на одной из секций в каждом канале, будет работать совместно с двумя внешними вычислительными модулями.

Информационный обмен первого модуля обеспечивает передачу на монитор диагностической информации о ТС/ПТС системы аварийного и поставарийного мониторинга (САПМ) по шине EN, от коммутаторов шины, размещенных в приборной стойке УСБТ (ПТК ЛЗ).

Второй модуль вычислительный обеспечивает выдачу диагностической информации о СВБУ по шине Ethernet в предусмотренных проектом режимах.

Станция ввода-вывода, входящая в состав секции СБ, должна представлять собой крейт высотой 6У с установленными модулями:

- до 16 модулей связи с процессом (МСП), обеспечивающих прием и предварительную обработку входных сигналов, выдачу выходных сигналов и управляющих команд от элементов МПКУ;

• до двух интерфейсных модулей (ИМ), предназначенных для организации цифровой связи всех МСП;

• один преобразователь интерфейсов крейта диверситета «А» (ПИК А), предназначенный для организации цифровой связи всех МСП СВВ с внешним контроллером автоматизации диверситета «А» (КА А);

**Таблица 1. Среднее время наработки на отказ по функциям контроля и управления, диагностики**

Средняя наработка на отказ	Исходные требования	Полученные результаты
по функции контроля и управления в части секций 1,2 ОДУ	не менее 250.000 часов	349707 часов
по функции контроля и управления в части АРМ СВБУ	не менее 250.000 часов	349489 часов
по функции диагностики панели ОДУ	не менее 250.000 часов	$9,97 \cdot 10^9$ часов

**Таблица 2. Результаты анализа прочности конструкции панели ОДУ к внешним воздействующим факторам**

Условное обозначение конструктивного элемента	Максимальный уровень напряженно-деформированного состояния, МПа	Допустимый уровень напряженно-деформированного состояния, МПа
Несущая конструкция	145,9	146,7
Мозаичные панели и мониторы	0,251	46,67

**Таблица 3. Сравнение результатов расчетов показателей надежности**

№ п/п	Наименование объекта расчета	Т, час	
		ТПТС-ЕМ	ТПТС-СБ
1	Канал управления	48000	88267
2	Канал отображения дискретной информации	55000	84738
3	Канал измерения и отображения аналоговой информации	30000	102240
4	Канал звуковой сигнализации	50000	89248

• один преобразователь интерфейсов кейта диверситета «Б» (ПИК Б), предназначенный для организации цифровой связи всех МСП СВВ с внешним контроллером автоматизации диверситета «Б» (КА Б).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### Расчет показателей надежности панели ОДУ

За исходные данные для расчета надежности панели ОДУ принимались показатели надежности покупных составных частей панели ОДУ. Используя структурные схемы и формулы для расчета показателей надежности панели ОДУ, произвели расчёт среднего времени наработки на отказ по функциям контроля и управления, диагностики (Таблица 1).

Как видно, полученные данные полностью соответствуют исходным требованиям, предъявляемым к панели ОДУ.

#### Расчет показателей механической прочности конструкции панели ОДУ

В соответствии с требованиями ТЗ и нормативной документации были установлены параметры эксплуатационных воздействий. Для получения расчетной оценки соответствия была построена геометрическая модель конструкции панели ОДУ и конечно-элементная модель панели со схемой расположения

в ней элементов. С учетом динамических параметров конечно-элементной модели было рассмотрено несколько резонансных частот (Рис. 2).

По результатам полученных форм колебаний и анализа собственных частот панели ОДУ был определен экстремальный режим воздействия на панель и рассчитаны величины эквивалентных напряжений в конструктивных элементах панели при таких режимах нагрузки. При наиболее интенсивном воздействии нагрузок были проведены расчеты конструкции панели ОДУ по критерию прочности конструкционных материалов (Таблица 2).

Как видно из таблицы, при воздействии заданных нагрузок максимальный уровень напряженно-деформированного состояния не выходит за пределы допустимого, откуда следует, что они удовлетворяют критерию прочности конструктивных элементов панели ОДУ. Таким образом, можно сделать вывод, что конструкция дисплейной панели ОДУ сохраняет свою прочность согласно исходным требованиям.

#### Определение технических характеристик ТПТС-СБ

Основанием для исследования возможности применения средств ТПТС-СБ являлся отчет №802 – 440/24.11.2009 в рамках работы «Анализ возможности применения аппаратуры

ТПТС в пультах и панелях ОДУ, выработка рекомендаций по техническим характеристикам аппаратуры ТПТС для ее применения в пультах и панелях ОДУ», где определялись основные технические характеристики ТПТС предыдущего поколения.

#### Расчет показателей надежности каналов ПТС ОДУ, построенных на ТПТС-СБ

В состав каналов ПТС ОДУ входит СВВ с функциональными модулями и мозаичная панель. Зная назначение модулей для ТПТС-ЕМ и их аналоги для ТПТС-СБ, мы построили структурные схемы и по формулам для расчета показателей надежности определили следующие показатели (таблица 3).

Для сравнения в таблице приведены результаты расчетов показателей надежности каналов ПТС ОДУ, построенных на ТПТС-ЕМ и ТПТС-СБ. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что использование ПТС ОДУ, построенных на аппаратуре нового поколения, приводит к существенному увеличению надежности.

Таким образом, было создано техническое средство нового поколения (панель ОДУ) и рассмотрена возможность применения новых программно-технических средств ТПТС-СБ в панелях безопасности. Данные разработки позволят снизить затраты в части панели ОДУ:

1) на изготовление – из-за отсутствия большого количества мозаичных элементов и соответственно отсутствия необходимости работ по их установке и монтажу проводных связей к ним (20 ч/дней (~70 тыс. рублей) на одну панель);

2) на внесение изменений при корректировках ЗСИ и на этапе пусконаладочных работ в части доработки БПУ/РПУ энергоблока АЭС (средняя экономия составит 2 млн рублей на одну панель);

3) на вводе в эксплуатацию за счет:

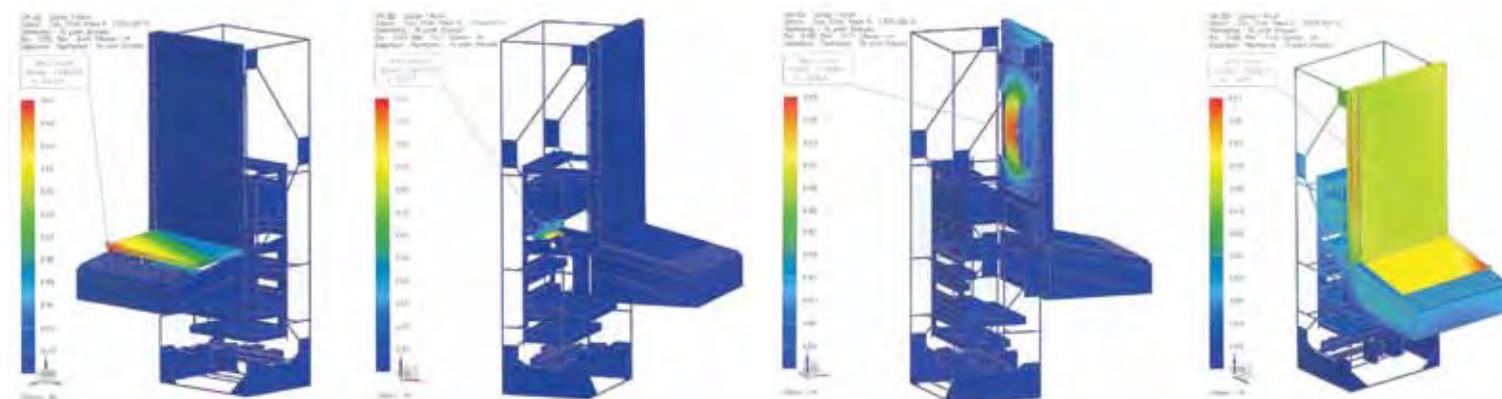
– значительного уменьшения кабельной продукции (примерно в 100 раз);

– уменьшения времени монтажа на объекте (примерно в 10 раз);

– уменьшения времени и стоимости ПНР (примерно в 3 раза).

Применение аппаратуры ТПТС-СБ в панелях безопасности также снизит затраты в части пункта 3.

В настоящее время панель ОДУ прошла приемо-сдаточные испытания ОТК и находится на испытаниях на устойчивость к ВВФ, далее она будет направлена на испытания на ЭМС. После прохождения данных испытаний панель ОДУ можно будет предложить заказчику как готовое решение с подтвержденными испытаниями требованиями. В связи с отсутствием аналогов наша панель ОДУ не имеет конкурентов.

**Рис. 2. Форма колебаний панели ОДУ на учитываемых резонансных частотах 22,34 Гц, 23,94 Гц, 25,57 Гц и 30,07 Гц соответственно**

# Обеспечение непрерывного мониторинга условий эксплуатации ответственного оборудования АСУ ТП

**Д.В. Антропов**  
**ФГУП «ПСЗ»**

Промышленное оборудование до недавнего времени считалось изолированным от внешнего мира, поэтому вопросам его физической защиты или контролем доступа если и занимались, то в совсем малом объеме. Однако прогресс не стоит на месте, и вот уже близок век «интернета вещей», где каждая вещь, хоть как-то относящаяся к электронным устройствам, имеет интеллект, а отсюда и большую уязвимость выйти из строя из-за сбоя программы или дать доступ к своим мозгам не тому, кому следует.

Промышленное оборудование тоже становится интеллектуальнее с каждым годом, порой разработчики, гонясь за выполнением основной функции, забывают включать в функционал устройств сервисные функции и функции контроля доступа. А при компоновке сложных систем, где в одном шкафу может быть собрано оборудование разного функционала и от разных производителей, задача мониторинга состояния оборудования и контроля доступа к нему становится настолько сложной, что под нее уже необходимо выделять отдельное устройство или подсистему.

Таким образом, напрашивается вывод, что необходимо контролировать параметры состояния шкафного оборудования в объеме как минимум:

- состояние дверей (открыто/закрыто) с целью контроля несанкционированного доступа;
  - температура воздуха внутри шкафа с целью предупреждения работы оборудования в нештатных температурных режимах или раннего обнаружения пожара или перегрузки электросети внутри шкафного оборудования;
  - измерение напряжения питания шкафа с целью предупреждения о работе оборудования в нештатном режиме или неполадках в сети питания;
  - оповещение по доступным каналам связи о нештатных ситуациях.
- Дополнительными контролируемыми параметрами могут быть:
- измерение влажности с целью предупреждения работы оборудования в нештатных климатических режимах или раннего предупреждения отказов оборудования из-за короткого замыкания или электрического пробоя;
  - обнаружение сильных ударов и вибраций с целью предупреждения вандажных действий по отношению к оборудованию;
  - обнаружение задымления в шкафу с целью раннего обнаружения возгорания оборудования;

- индикация обобщенных сигналов неисправности на передней панели шкафа для визуального контроля при простом обходе оборудования;

- управление блоком вентиляторов шкафа для управления климатической ситуацией в шкафу;

- управление внутренним освещением шкафа для удобства сервисного обслуживания и дополнительной сигнализации о нештатных режимах работы оборудования.

При этом более правильным видится разделение основной функции, выполняемой шкафным оборудованием, и функции мониторинга состояния оборудования с целью повышения надежности выполнения основной функции.

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

При исследовании рынка готовых устройств с удовлетворяющим данной задаче функционалом и обмене опытом с разработчиками и производителями шкафного оборудования выяснилось, что решение задачи мониторинга в настоящее время решается следующими способами:

## МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ШКАФА

Модульная система мониторинга шкафа представляет собой несколько модулей, устанавливаемых на панель. Минимальный состав системы для выполнения поставленной задачи включает в себя процессорный модуль, коммутационный модуль для подключения датчиков, сами датчики, каждый в своем корпусе, и блок питания. Данное решение привлекательно тем, что имеет расширяемый функционал, однако компоновка из нескольких устройств является не лучшим решением как в плане габаритных характеристик, так и в плане усложнения и удорожания структуры и схемы подключения шкафа.

Преимущества:

- расширяемый функционал;
  - большое количество доступных модулей.
- Недостатки:
- большие габариты системы в целом;
  - усложнение архитектуры шкафа;
  - увеличение стоимости системы при расширении ее функционала.

Использование стандартных программируемых логических контроллеров (далее ПЛК). В некоторых системах задача мониторинга состояния решается путем введения в систему дополнительных ПЛК специально под эту задачу. Такое решение, как правило, тоже получается модульным, так как архитектура ПЛК предполагает модуль контроллера и модули расширения или модули ввода-вывода для

подключения сигналов с датчиков. К тому же встает вопрос подбора датчиков стороннего производителя.

Преимущества:

- относительно легко расширяемый функционал;
- возможность выбора практически любых датчиков.

Недостатки:

- большие габариты системы в целом;
- усложнение архитектуры шкафа;
- увеличение стоимости системы при расширении ее функционала;
- большая стоимость ПЛК по сравнению со специализированным контроллером;
- необходимость подбора датчиков сторонних производителей;
- избыточный функционал системы.

Использование основного контроллера системы (2 или 3 класса безопасности по ОПБ 88/97). Также существуют решения (они же с первого взгляда кажутся наиболее очевидными), где функция мониторинга состояния возлагается на контроллер, реализующий основную функцию системы 2 или 3 класса безопасности по ОПБ 88/97. Это в корне неверно с точки зрения проектирования систем, важных для безопасности, так как сбой в сервисной функции может вызвать сбой выполнения основной функции, что недопустимо.

Преимущества:

- экономия за счет использования одного контроллера для нескольких функций;
- простота написания программного обеспечения, так как оно является единым с основной функцией.

Недостатки:

- сложность интеграции программного обеспечения во вновь разрабатываемые системы;
- принципиально неверный подход к обеспечению безопасности функционирования.

К тому же все решения, как правило, используют сеть Ethernet, то есть, в одной сети идет совмещение сервисных функций и функций, влияющих на безопасность, тогда как хотелось бы иметь возможность построения промышленной, жестко детерминированной интерфейсной сети на интерфейсах RS-485 и RS-232 отдельно для реализации основной и сервисной функций.

## СОБСТВЕННОЕ РЕШЕНИЕ

Было решено разработать и произвести собственное устройство для мониторинга параметров состояния шкафного оборудования в формате 1U по МЭК 60297, выполняющего следующие функции:

- измерение температуры;
- измерение влажности;



Рис. 1. Общий вид блока мониторинга

- обнаружение сильных ударов и вибраций;
- обнаружение задымления;
- измерение напряжения питания сети ~220;
- контроль открытия дверей;
- индикация обобщенных сигналов неисправности на передней панели блока мониторинга;
- индикация обобщенных сигналов неисправности на внешние светосигнальные устройства;
- оповещение по доступным каналам связи о нештатных ситуациях;
- управление блоком вентиляторов шкафа;
- управление внутренним освещением шкафа.

При этом доступны следующие каналы связи для оповещения о нештатных ситуациях:

- протокол ModBus RTU по интерфейсу RS-485;
- протокол ModBus ASCII по интерфейсу Ethernet;
- протокол SNMP с поддержкой агента SNMP v1/v2c, а также агента SNMP v3 для обеспечения повышенной безопасности;
- обмен данными по интерфейсу RS-232;
- интерактивный web-интерфейс;
- прием и передача дискретных сигналов посредством сигналов типа «сухой контакт».

В итоге разработано и серийно освоено устройство – блок мониторинга – со следующими особенностями:

Современная микроконтроллерная платформа: блок мониторинга построен на микроконтроллерной платформе производителя встраиваемого контроллера с ядром Cortex M3.

Возможности для построения промышленных интерфейсных сетей. Новая микроконтроллерная платформа позволила обеспечить параллельную работу большинства современных и промышленных интерфейсов: USB, Ethernet, RS-485, RS 232, SDMMC.

Относительно высокая вычислительная мощность, а также достаточная производительность данного микроконтроллера применима для задач обработки данных, полученных с доступных интерфейсов, и, в перспективе, задач прогнозирования на основе собранных данных.

Использование полноценной операционной системы. Также данная аппаратная платформа позволила применить операционную систему (ОС) uLinux для встраиваемых устройств, что позволило использовать наработки программного кода, написанного для ОС Linux, а также развести задачи низкоуровневого программирования (драйверов устройств и функционирование ядра системы) и высокоуровневого программирования (написания прикладного программного обеспечения для обработки и обмена данными, исполнительных алгоритмов), что дает возможность повысить надежность функционирования аппаратных.

Конструктивно блок мониторинга представляет собой блок высотой 1U (а конкретно 43,7 мм) и глубиной 280 мм для установки в шкаф или несущую конструкцию серии 486,2 мм (19 дюймов) по МЭК 60297. Это означает, что при использовании оборудования в шкафом исполнении (а большинство современного промышленного оборудования имеет именно такую компоновку) блок мониторинга занимает всего лишь одну минимальную стандартную единицу высоты шкафа (1U) в отличие от аналогичных систем, имеющих конструктив для установки на панель или DIN-рельс и при размещении в шкафу занимающих высоту от 3U до 5U.

По аналогии с анализом предложений рынка для мониторинга состояния промышленного оборудования оценим получившееся решение с потребительской точки зрения.

Преимущества:

- целостность решения. Блок мониторинга выполнен в едином корпусе формата 1U по МЭК 6029. Все необходимые внешние датчики (в случае их необходимости) входят в комплект поставки;
- компактность. Блок мониторинга выполнен в минимальном формате 1U, в то время как другие решения требуют от 2U до 5U;
- промышленное решение. Блок мониторинга даже в минимальном исполнении имеет все возможности для построения или внедрения в промышленную интерфейсную сеть;

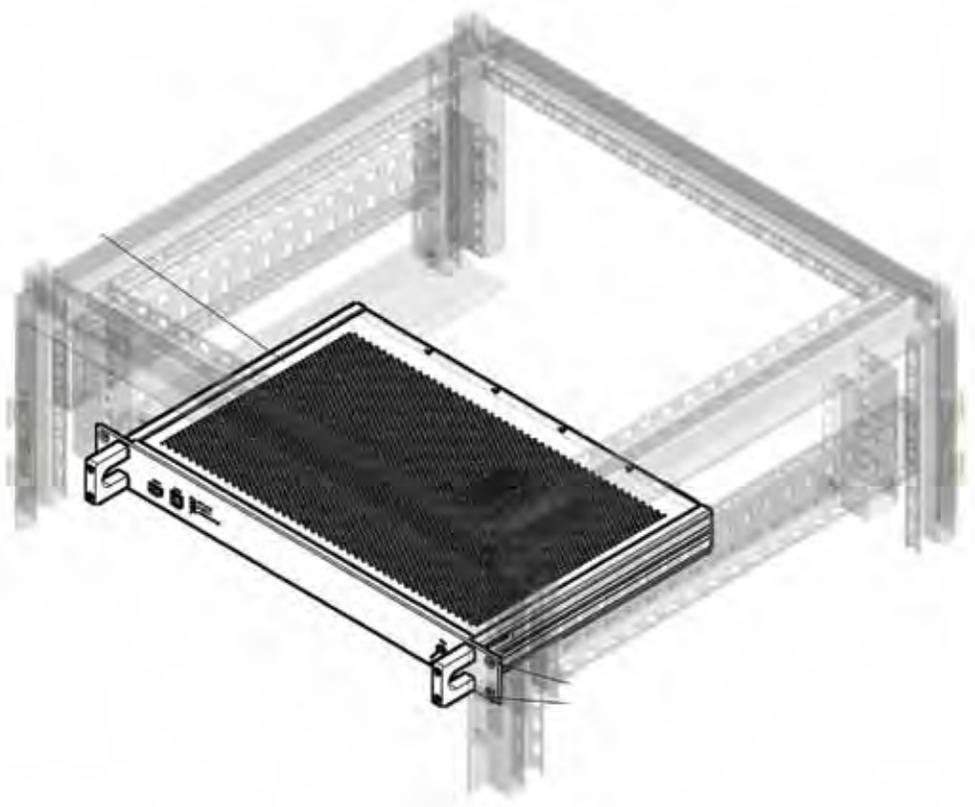


Рис. 2. Размещение блока мониторинга в шкафу

- стоимость. Стоимость серийного образца блока мониторинга меньше или на уровне импортных комплектов оборудования с таким же или более бедным функционалом;
- импортозамещение. Блок мониторинга является отечественной разработкой и производится отечественным производителем.

Недостатки:

- питание. На данном этапе доступна только версия с основным источником питания ~220В. Версии с низковольтным питанием находятся на стадии опытных образцов;

- самостоятельное расширение функционала. Если конфигурирование алгоритма работы устройства с введением новых дискретных сигналов легко производится через веб-интерфейс, то подключение новых интерфейсных датчиков требует написания специального ПО для ОС uLinux. (однако стоит отметить, что и в случае импортных систем в таких случаях требуется вмешательство персонала со специальными знаниями).

## ВЫВОДЫ

Проведены разработка и освоение серийного производства современного отечественного решения для мониторинга состояния шкафового оборудования, превосходящего импортные аналоги по функциональным и конструктивным характеристикам.

Отработана технология поверхностного монтажа микросхем в корпусах BGA в серийных масштабах со стабильными показателями качества, что дает возможность использования современной высокопроизводительной элементной базы и производства собственных компактных электронных устройств.

Отработана технология JTAG тестирования микросхем и устройств, построенных по принципам тестопригодного проектирования, позволяющая значительно повысить эффективность серийной настройки и проверки электронных узлов, построенных на современной элементной базе, где доступ к выводам часто ограничен, а функциональная проверка не всегда возможна.

# Обучающая справочно-информационная система для машин перегрузочных с реакторами типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440

**М.И. Миляев**  
Калининская атомная электростанция

Перегрузка ядерного топлива (ЯТ) на реакторах типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 связана с их остановкой и проводится при планово-предупредительных и капитальных ремонтах один раз в год (либо 1 раз в 1,5 года) машинной перегрузочной (МП) и относится к разряду ядерно опасных операций.

Подготовку МП к работе, техническое обслуживание и текущий ремонт осуществляет инженерно-технический персонал (ИТР) атомной станции. Управление процессом перемещения МП осуществляется оператором дистанционно из помещения пультовой посредством автоматизированной системы управления машиной перегрузочной (СУМП). Ошибки ИТР при подготовке МП к работе и техническом обслуживании, ошибки оператора при управлении МП, а также отказы элементов СУМП могут привести к ядерно опасным аварийным ситуациям.

С 2004 года системы управления МП на энергоблоках №№1-3 Калининской АЭС, а также энергоблоках Балаковской, Ростовской, Нововоронежской АЭС подвергались значительной модернизации по проектам первого, второго и третьего поколений компаний - ЗАО «Диаконт», НПП «ВНИИЭМ», ОАО «Автоматика-Э». В настоящее время внедрены, либо готовятся к вводу в эксплуатацию СУМП четвертого поколения на энергоблоке №4 КАЭС, НВАЭС-2, ЛАЭС-2. Все системы управления имеют конструктивные программные и аппаратные различия, однако, все они оснащены программными средствами типа «Тренажер», позволяющими организовать обучение навыкам управления МП в межремонтный период.

В то же время, программные и технические средства для обучения навыкам взаимодействия оператора МП и обслуживающего персонала (инженера-электроника, электромонтера и т. д.) в целях локализации и устранения неисправностей СУМП при перегрузке отсутствуют. Электронных баз данных по отказам СУМП в настоящее время также не существует.



Рис. 1. Концепция ОСИС-МП

В данной работе предлагается проект унифицированной обучающей справочно-информационной системы для машин перегрузочных с реакторами типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440, объединяющей обучающие, контролируемые и справочно-информационные функции:

- 1) обучение операторов навыкам управления МП;
- 2) обучение операторов и ИТР навыкам диагностики, локализации и устранения неисправностей МП;
- 3) обучение эффективному взаимодействию персонала при возникновении нештатных и аварийных ситуаций;
- 4) контроль и анализ результатов обучения;
- 5) быстрый поиск причин возникновения неисправности и способов их устранения при выполнении операций с ядерным топливом.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Структура обучающей системы и сложность её реализации зависят от задач, которые стоят перед разработчиком. Навыки оператора по управлению машиной перегрузочной, диагностике и поиску неисправностей СУМП, взаимодействию с ИТР зависят от количества энергоблоков АЭС, степени унификации используемого оборудования, а также от организационной структуры управления перегрузкой ядерного топлива. Положительным примером в данном случае может являться Балаковская

АЭС, где четыре энергоблока типовой серии В-320 имеют унифицированные СУМП производства ЗАО «Диаконт». При этом оператор и ИТР, обслуживающий МП, не менее двух раз в год в течение 20-40 суток принимают участие в перегрузке ЯТ на однотипном оборудовании, что положительно сказывается на уровне их квалификации. На Калининской АЭС эксплуатируются СУМП различных поколений, каждая из которых имеет свои конструктивные особенности.

В таблице 1 проанализированы основные особенности систем управления МП на энергоблоках Калининской АЭС.

В состав ПО «Тренажер» входят имитационная модель МП и модель системы управления, выполняющие следующие функции:

- формирование учебных задач и сценария к каждой задаче путем ввода управляющих команд;
- интерактивное управление тренировкой (приостановка, сохранение текущей ситуации, возврат к сохраненной ситуации, замена сценария, изменение темпа моделирования и т. д.);
- автоматическое внесение отказов по сценарию учебной задачи;
- протоколирование величин технологических параметров (включая управляющие команды оператора) в соответствии со сценарием.

Таблица 1. Системы управления машин перегрузочных КАЭС

1.	Энергоблок	1	2	3	4
2.	Проект РУ	В-338	В-338	В-320	В-320
3.	Ввод в эксплуатацию	1984 г.	1986 г.	2004 г.	2011 г.
4.	Модернизация (ввод в эксплуатацию) СУМП	2007 г.	2008 г.	2004 г.	2011 г.
5.	Производитель СУМП	ЗАО «Диаконт», НПП ВНИИЭМ, Автоматика-Э	ЗАО «Диаконт», НПП ВНИИЭМ, Автоматика-Э	ЗАО «Диаконт», НПП ВНИИЭМ, Автоматика-Э	ЗАО «Диаконт»
6.	Поколение СУМП	2	2	1	4
7.	Структура СУМП	Двухканальная	Двухканальная	Двухканальная	Многоканальная
8.	Наличие режима «Тренажер»	Есть	Есть	Есть	Есть
9.	Производитель ПО «Тренажер»	Автоматика-Э	Автоматика-Э	Автоматика-Э	ЗАО «Диаконт»



Рис. 2. Состав ОСИС-МП

Основными недостатками ПО «Тренажер» являются:

- отсутствие базы данных по отказам СУМП с настраиваемым набором неисправностей;
- отсутствие средств тестирования персонала, обслуживающего СУМП;
- отсутствие средств контроля и анализа обучения;
- необходимость дополнительной подготовки инструктора для каждого энергоблока.

Таким образом, существующее ПО «Тренажер» в настоящее время может быть использовано только для обучения одного оператора методам управления и диагностики СУМП.

Автор статьи предлагает новую концепцию создания единой обучающей справочно-информационной системы для машин перегрузочных (ОСИС-МП), объединяющей следующие функции:

- обучающая;
- справочно-информационная;
- контрольно-аналитическая.

Ядром системы является электронная справочно-информационная база данных, содержащая базы данных эксплуатационных документов, и пополняемый на основании опыта эксплуатации реестр отказов СУМП, включающий информацию о признаках неисправности, методах диагностики, причинах их возникновения и способах устранения.

Основным преимуществом предлагаемой системы является универсальность. Основные задачи, решаемые ОСИС-МП:

- эффективное групповое обучение сменного персонала в межремонтный период;
- сокращение времени локализации и устранения неисправности СУМП и МП при перегрузке ядерного топлива.

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

Аппаратная часть системы может быть реализована на основании двух ПК:

- системный блок «Инструктор»;
- системный блок «Стажер».

Основной элемент системы – модульное программное обеспечение, степень интеграции которого со стандартным ПО СУМП может варьироваться в зависимости от лимитов финансирования проекта.

Учитывая номенклатуру решаемых системой задач, необходима организация её работы как минимум в трех основных режимах:

- режим обучения;
- режим устранения неисправности СУМП;
- режим навигации.

Функциональные схемы работы в первых двух режимах приведены ниже. Режим

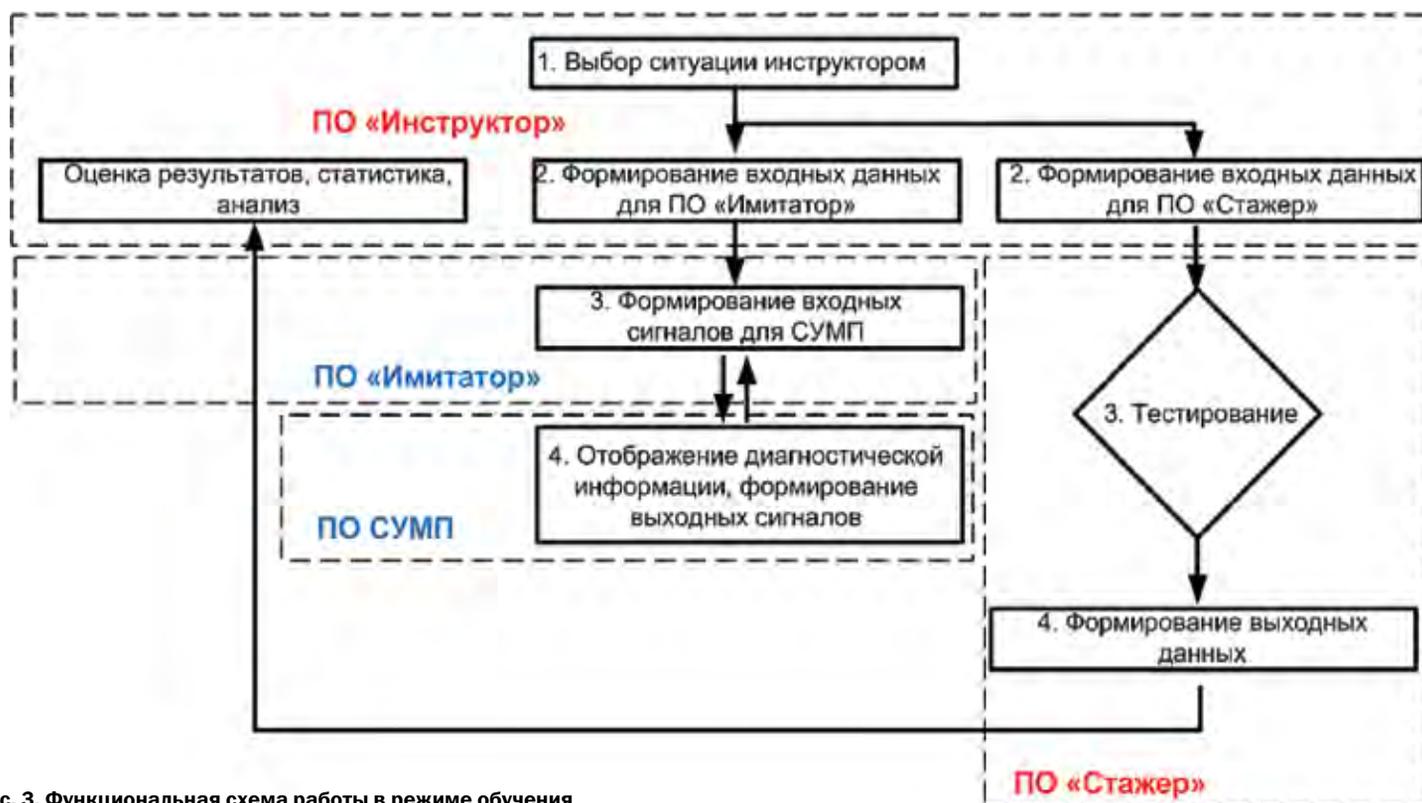


Рис. 3. Функциональная схема работы в режиме обучения

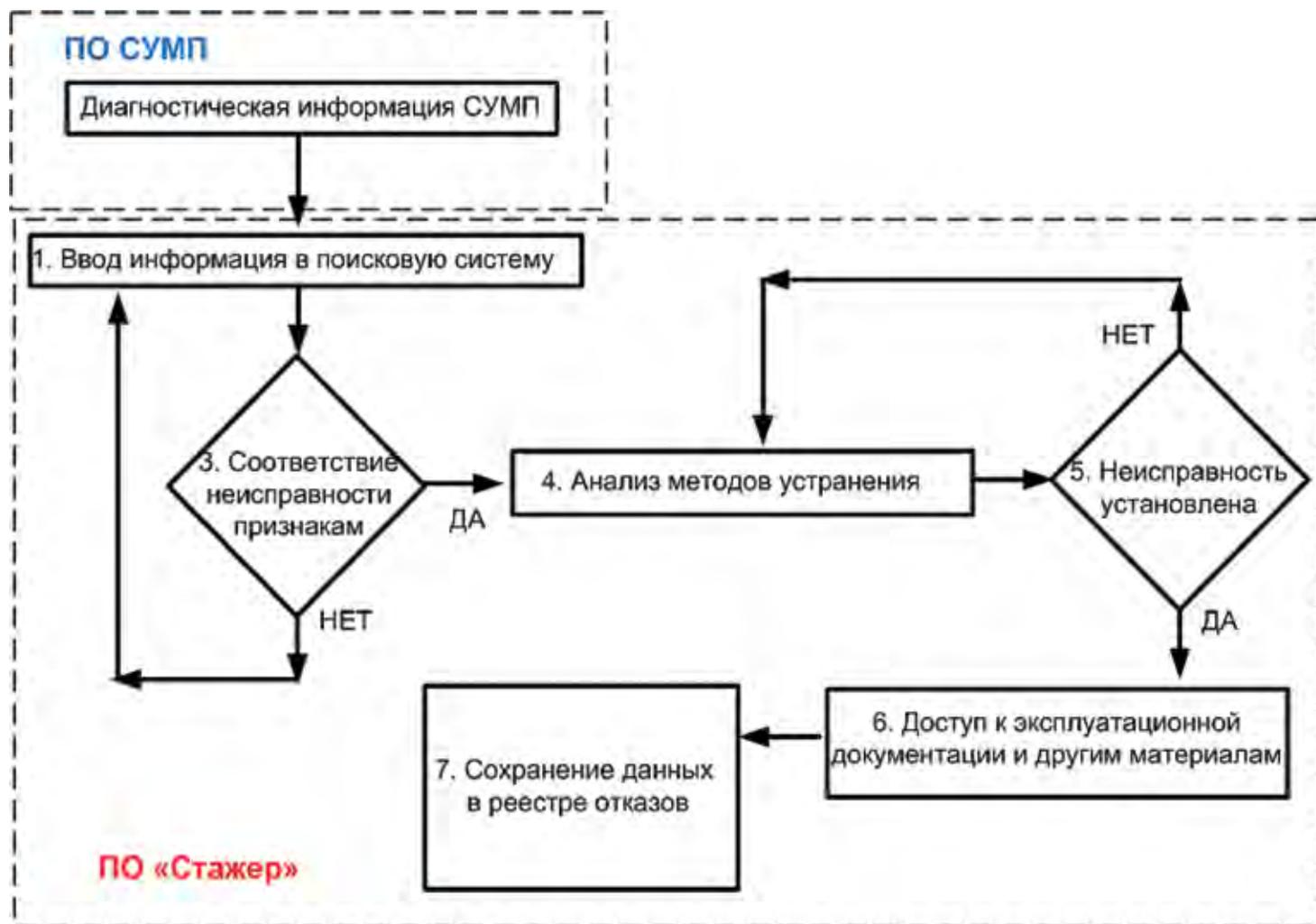


Рис. 4. Функциональная схема работы в режиме устранения неисправности

навигации предназначен для доступа ИТР к электронным базам данных системы.

Режим обучения предполагает организацию учебного процесса с учетом группового взаимодействия «Инструктор-инженер – оператор» в реальном времени. Состав обучающейся одновременно смены может быть увеличен за счет внедрения дополнительных рабочих станций типа «Стажер».

Организация режима обучения может быть основана на применении различных статистических моделей. Наиболее эффективным является применение сетей Петри, достоинством использования которых является возможность адекватного представления логико-временных особенностей функционирования сложных систем различной природы.

Важным элементом системы, значительно увеличивающим её эффективность, является имитация объектов реального мира. Реализация такой функции является сложной задачей. Имитация объектов имеет две составляющие: визуальная имитация и функциональная имитация. Факторами, влияющими на эффективность визуальной имитации объектов реального мира, являются высокий уровень подобию синтезируемого изображения оригиналу и высокий уровень соответствия синтезируемого звукового окружения.

Опционально ОСИС-МП может быть оснащена дополнительными средствами визуализации процесса перегрузки: видеоизображениями двух специальных телевизионных систем, входящих в состав СУМП. Задачей программного модуля в данном случае будет являться синхронизация движений имитатора и воспроизведения видеофайлов, отражающих перемещение механизмов МП в реакторном

отделении и рабочего органа (штанги) МП в среде перегрузки.

Предложен принципиально новый подход к организации информационной системы высокого уровня, увеличивающей эффективность технологических процессов АЭС за счет повышения квалификации персонала, уменьшения времени локализации и устранения неисправности и, как следствие, снижения общего уровня отказов.

Основные преимущества предложенного подхода:

1) организация учебного процесса с учетом взаимодействия персонала, выполняющего различные задачи;

2) гибкость и универсальность построения системы;

3) совмещение обучающей и информационной функций; система имеет широкое практическое применение;

4) возможность применения основных принципов организации системы для любых АСУ ТП АЭС, имеющих функции «Тренажер».



Рис. 5. Дополнительная система визуализации.

# Разработка процесса плазменной активации для низкотемпературного срачивания пластин кремния и сапфира

**А.Г. Гаранин, М.Н. Минеев  
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седякова»**

В технологии изготовления структур КНС методом прямого срачивания формирование приборного слоя осуществляется за счет утоньшения донорной пластины методом обратной шлифовки пластин. В процессе шлифовки пластины подвергаются высоким механическим нагрузкам. В связи с этим минимальная энергия срачивания пластин должна быть около 1 Дж/м<sup>2</sup> для того, чтобы выдержать данный процесс утоньшения без рассоединения.

В стандартной технологии прямого срачивания пластин кремния для достижения данного значения энергии используется отжиг при температуре >1000°C в течении 1-2 часов. При этом энергия срачивания после термообработки при температурах менее 800°C составляет всего 0,4-0,6 Дж/м<sup>2</sup> и не является достаточной для того чтобы выдержать процесс обратной шлифовки.

Однако отжиг пары склеенных пластин кремний/сапфир при температурах выше 250°C невозможен, т. к. большая разница между коэффициентами термического расширения сапфира ( $K_{Al_2O_3} = 5,6 \times 10^{-6}$  К/см) и кремния ( $K_{Si} = 2,33 \times 10^{-6}$  К/см) приводит к растрескиванию пластины кремния.

В одной из публикаций (Kopperschmidt P., G. Kastner, D. Hesse, Recent developments in semiconductor on sapphire wafer bonding, Proceedings of the Fourth International Symposium on Semiconductor Wafer Bonding: Science, Technology, and Applications, 1998) показано, что достаточная энергия срачивания может быть достигнута при температуре 200°C за счет увеличения времени отжига до 20 часов. Выполнение термообработок такой длительности на технологической линии, занятой серийным производством структур КНД, является экономически необоснованным и неэффективным.

Для сокращения времени отжига требуется обязательное применение плазменной активации поверхности пластин перед срачиванием. Использование активации с оптимизированными параметрами позволит в десять раз сократить необходимое время отжига при температурах ~200°C.

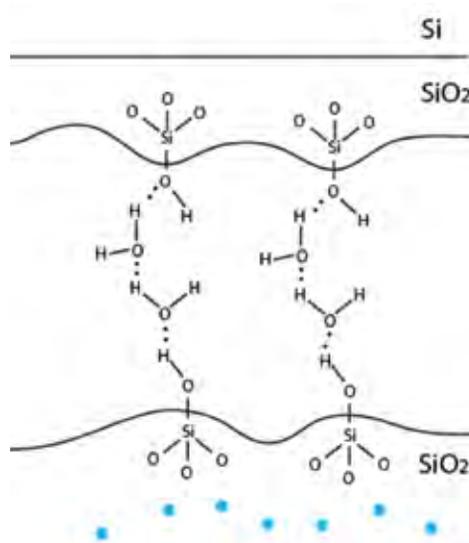
Публикации, посвященные процессу плазменной активации в технологии срачивания пластин сапфира и кремния, в открытом доступе отсутствуют.

Задача работы состоит в разработке процесса плазменной активации поверхности пластин кремния и сапфира.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Технология прямого срачивания пластин (прямой бондинг) основана на образовании атомарных связей между поверхностями соединяемых материалов без использования вспомогательных промежуточных слоев.

Процесс прямого срачивания состоит из двух этапов:



**Рис. 1. Связывание двух поверхностей пластин при комнатной температуре**

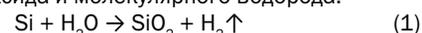
- соединение пластин при комнатной температуре (пребондинг);
- отжиг пластин для увеличения энергии срачивания.

Связывание пластин при комнатной температуре происходит за счет образования водородных связей между молекулами воды, адсорбированными на поверхности (рис. 1). Поверхностная энергия связи пластин после соединения при комнатной температуре составляет около 0,1 Дж/м<sup>2</sup>.

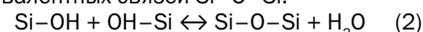
После пребондинга следует отжиг пластин, выполнение которого необходимо для увеличения энергии связывания пластин за счет преобразования слабых водородных связей в ковалентные связи между атомами.

После термообработок при температурах менее 110°C энергия связи пластин остается достаточно низкой и составляет всего 0,1-0,2 Дж/м<sup>2</sup>. В процессе отжига пластин при более высоких температурах начинается процесс десорбции молекул воды с поверхности пластин. Освободившиеся молекулы воды диффундируют вдоль границы срачивания к краю пластин (и далее в окружающую атмосферу) или через

слой диоксида к границе раздела с объемным кремнием Si/SiO<sub>2</sub>, где реагируют с формированием дополнительного низкотемпературного оксида и молекулярного водорода:



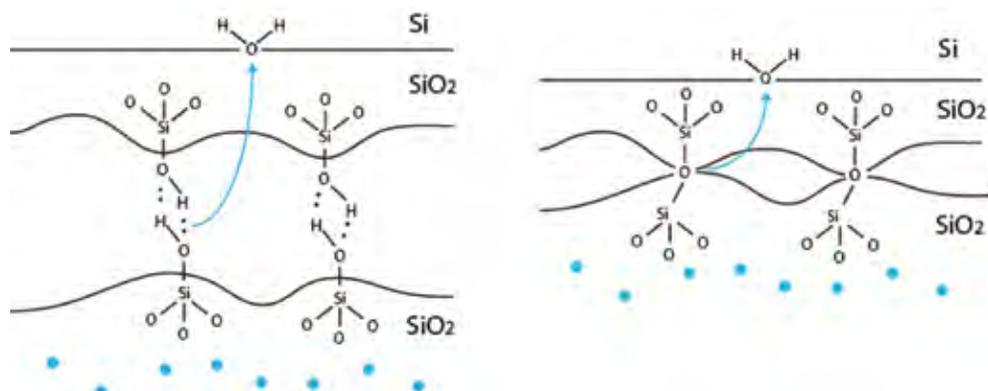
После того как молекулы воды покидают границу срачивания, расположенные на противоположных поверхностях силанольные группы Si-OH, оказавшиеся на достаточно близком расстоянии, могут вступить друг с другом в прямую реакцию с образованием ковалентных связей Si-O-Si:



Схематически данные процессы показаны на рис. 2.

В результате формирования на границе срачивания ковалентных химических связей в диапазоне температур от 110°C до 200°C энергия срачивания пластин быстро возрастает до значения 0,4 Дж/м<sup>2</sup>, после чего остается практически постоянной до температур отжига ~800°C. Поверхностная энергия в данном температурном диапазоне ограничена реальной площадью контакта между пластинами. Пластины не являются идеально гладкими и поэтому существуют области, не находящиеся на достаточно близком расстоянии для взаимодействия OH-групп в соответствии с реакцией (2). Достижение поверхностной энергией значения насыщения в диапазоне температур 150-800°C показывает, что большая часть силанольных групп в области контакта реагируют с образованием силоксановых Si-O-Si связей уже при нижних значениях температуры данного диапазона.

В случае применения процесса плазменной активации пластин перед срачиванием плотность приповерхностной области оксида кремния уменьшается из-за образования микроскопических пор. В данных порах накапливаются молекулы воды, которые в процессе отжига диффундируют через слой диоксида к границе раздела с объемным кремнием Si/SiO<sub>2</sub>, где реагируют с формированием дополнительного оксида в соответствии с реакцией (1). Из технологии термического окисления кремния известно, что SiO<sub>2</sub> имеет меньшую плотность, чем Si, в результате чего при окислении объем оксида растет сразу в двух на-



**Рис. 2. Образование ковалентных связей в процессе отжига при температуре 200°C**

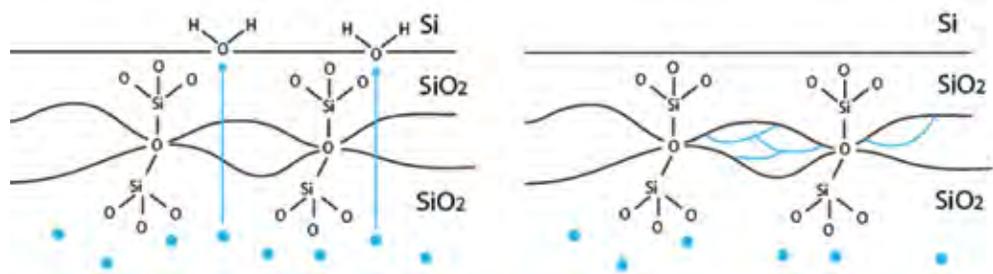
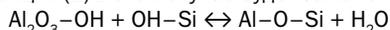


Рис. 3. Реакции в процессе срачивания пластин с использованием активации

правлениях – в объем кремния и в противоположную сторону от границы Si/SiO<sub>2</sub> (рис. 3).

В результате данного процесса происходит «заваривание» пустот, вызванных микрошероховатостью поверхности, площадь контакта между пластинами возрастает, обеспечивая возможность образования новых связей в соответствии с реакцией (2). Благодаря данному процессу после короткого (2 часа) отжига при температуре 200°C энергия срачивания пластин значительно возрастает до значений в диапазоне 1-2,5 Дж/м<sup>2</sup> (в зависимости от типа соединяемых материалов).

Несмотря на то, что данная модель описывает процесс срачивания пары пластин кремния, одна из которых покрыта толстым слоем термического оксида, она может быть применена и к описанию процесса срачивания кремния с сапфиром, т. к. на пластине кремния может присутствовать тонкий естественный оксид или слой термического оксида. Реакция (2) в этом случае будет заменена на:



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для проведения экспериментов были использованы 100 мм пластины кремния фирмы «WRS-materials» (США) и 100 мм пластины сапфира фирмы «Монокристалл» (Россия) с параметрами, удовлетворяющими требованиям процесса прямого срачивания.

Ранее при проведении экспериментальных исследований процесса срачивания пластин кремния и сапфира было определено, что наличие промежуточного слоя оксида между пластинами предотвращает образование в процессе отжига индуцированных водородом дефектов на границе срачивания. В связи с этим некоторые пластины кремния предварительно были окислены в атмосфере влажного кислорода. Длительность и температура процесса окисления выбирались таким образом, чтобы получить на пластинах кремния слой SiO<sub>2</sub> толщиной 50 нм.

Перед соединением пластин проводилась их химическая очистка в следующей последовательности: КАРО и ПАР (перекисно-аммиачный раствор).

Отработка процесса плазменной активации выполнялась на установках реактивного ионного травления.

Ключевой параметр процесса срачивания пластин, который характеризует результат наилучшим образом – энергия срачивания. Данный параметр оценивался методом вклинивания лезвия в соответствии с использованием установки просвечивающей ИК-инспекции.

Измерение микрошероховатости поверхности исходных пластин сапфира и кремния проводилось на атомно-силовом микроскопе с разрешением 0,05 нм (по оси Z).

Основными параметрами процесса активации пластин в плазме установки реактивного ионного травления являются длительность обработки и мощность радиочастотного генератора плазмы.

В связи с высокой стоимостью пластин сапфира некоторые эксперименты проводились только с использованием пластин кремния с дальнейшей адаптацией режимов для обработки пластин сапфира.

Для определения оптимальной длительности обработки пластин кремния был проведен эксперимент, в котором время обработки варьировалось в диапазоне от 15 до 120 секунд. Мощность генератора плазмы была установлена на уровне 50 Вт, давление в рабочей камере – 40 мТорр, расход кислорода – 50 л/мин.

Из графика (рис. 4) видно, что наибольший эффект оказывает обработка в течение

30 секунд – энергия срачивания при этом составляет 1,6 Дж/м<sup>2</sup>. Использование более короткой, как и более длительной обработки приводит к значительно меньшим значениям – 0,9–1 Дж/м<sup>2</sup>.

Зависимость энергии бондинга от мощности генератора плазмы представлена на рисунке 5. Обработка выполнялась в течение 30 секунд, давление в рабочей камере – 40 мТорр, расход кислорода – 50 л/мин, мощность генератора варьировалась в диапазоне от 50 до 300 Вт.

Как видно из графика (рис. 5), после обработки при мощности 120 Вт энергия бондинга достигает значения около 2,5 Дж/м<sup>2</sup>, что соответствует значению механической прочности кремния (энергию бондинга пар пластин, склеенных после обработки при 120 Вт, 180 Вт и 250 Вт измерить не удалось, т. к. пластины раскололись после вставки лезвия).

Таким образом, можно сделать выводы о том, что оптимальным для активации пары пластин Si/SiO<sub>2</sub> является следующий режим:

- мощность: ≥120 Вт
- длительность: 30 секунд
- давление в рабочей камере: 40 мТорр
- расход кислорода: 50 л/мин

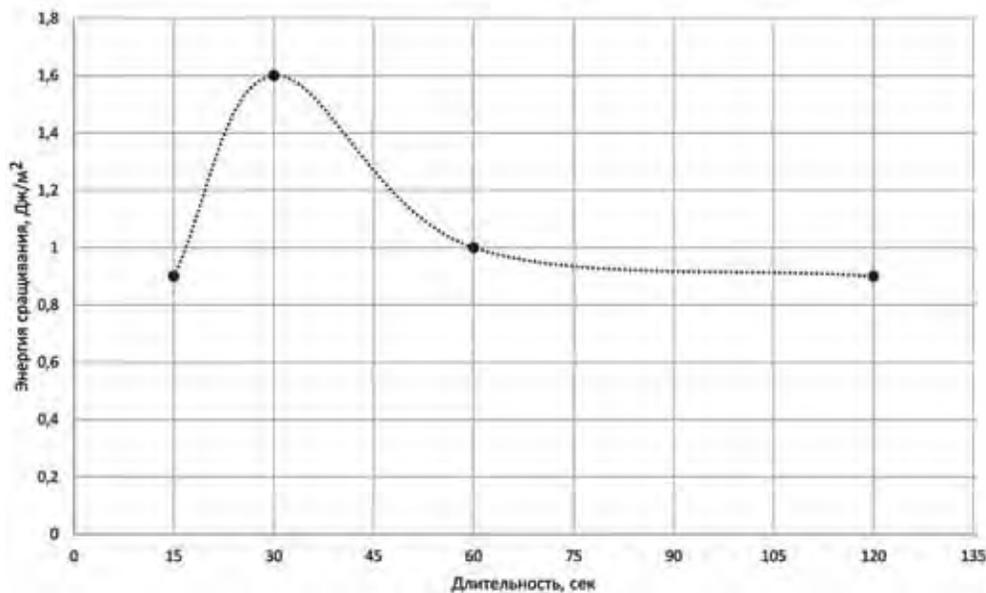


Рис. 4. Зависимость энергии срачивания от длительности активации пластин в плазме (отжиг выполнялся в течение 2 часов при температуре 200 °С)

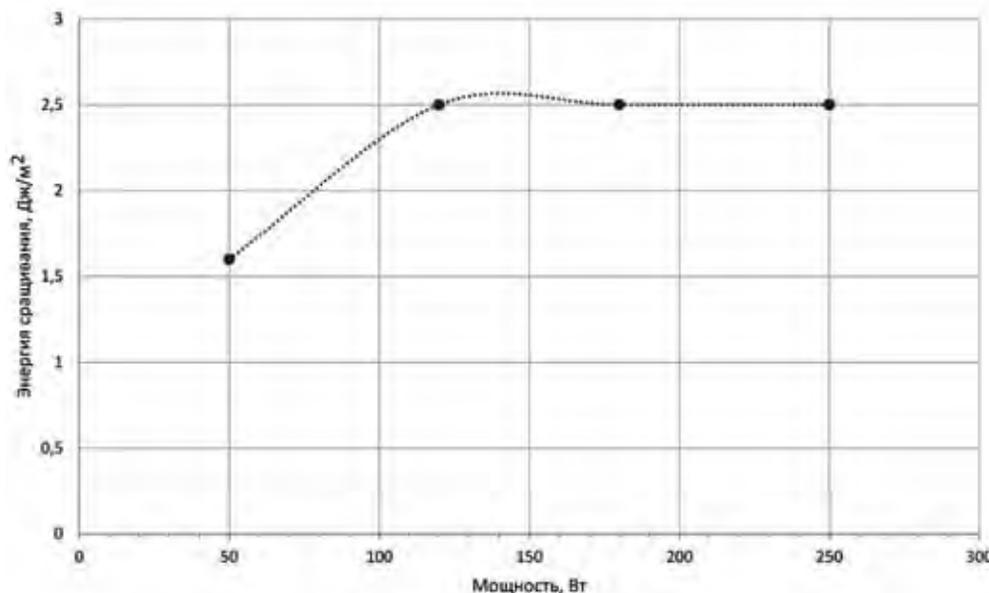
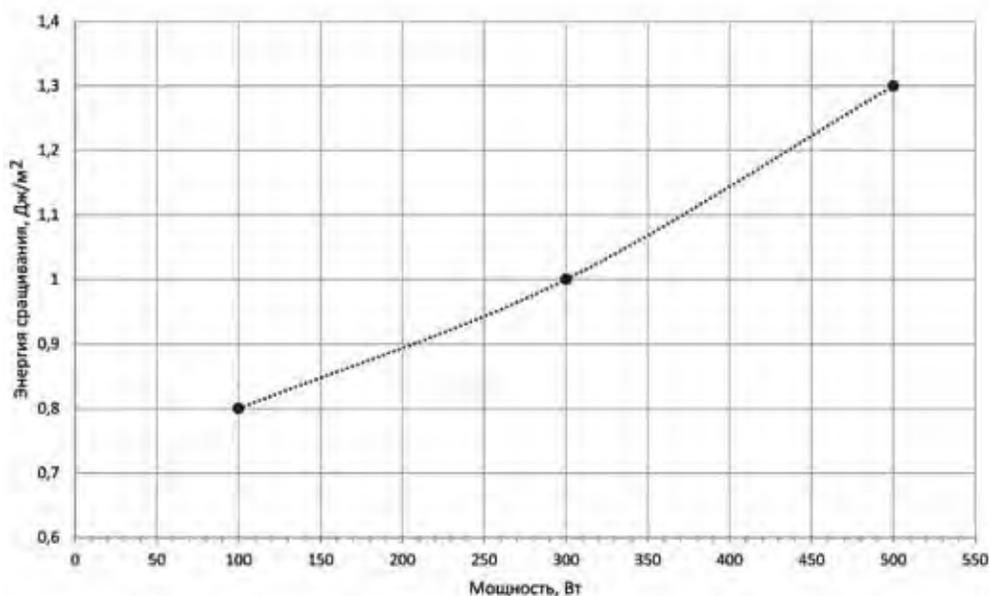


Рис. 5. Зависимость энергии срачивания от мощности генератора плазмы (отжиг выполнялся в течение 2 часов при температуре 200 °С)



**Рис. 6. Зависимость энергии срачивания от мощности генератора плазмы при активации сапфира (отжиг выполнялся в течение 2 часов при температуре 200 °С)**

Для оптимизации параметров плазменной активации был проведен эксперимент для выявления зависимости энергии срачивания пластин от мощности плазмы при обработке пластин сапфира (при обработке пластин кремния мощность не варьировалась).

Зависимость энергии бондинга от мощности плазмы, построенная на основе полученных результатов, представлена на рис. 6.

Из графика видно, что повышение мощности плазмы приводит к увеличению энергии бондинга до 1,3 Дж/м². Изменение энергии срачивания после изменения параметров активации может свидетельствовать о том, что в процессе плазменной активации поры, накапливающие воду, могут возникать не только в диоксиде кремния, но и в приповерхностной области сапфира.

Для определения влияния наличия термического оксида на границе на энергию срачивания был выполнен эксперимент по

срачиванию с сапфировой подложкой пластин кремния с термическим оксидом на поверхности (толщина ~50 нм) и естественным оксидом на поверхности.

Активация пластин кремния выполнялась с использованием установленных ранее оптимальных режимов (мощность 150 Вт), обработка сапфира выполнялась с максимальной мощностью генератора – 300 Вт.

После отжига для обеих пар пластин Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> была достигнута эквивалентная энергия бондинга: 0,6–0,7 Дж/м² и 0,5–0,7 Дж/м² соответственно. На основе данного эксперимента можно сделать вывод о том, что использование оксида толщиной до 50 нм допустимо для процесса срачивания кремния, при этом минимальная толщина должна быть установлена на уровне, достаточном для поглощения побочных продуктов реакций, происходящих в процессе термообработки. Также из данных результатов можно сделать вывод

о том, что в отличие от процесса срачивания кремния с окисленным кремнием, где обработка поверхности оксида производит основной эффект, в случае срачивания кремния (или окисленного кремния) с сапфиром основное влияние оказывает активация сапфира.

Для получения качественной границы срачивания поверхности соединяемых пластин должны быть атомарно гладкими, при этом микрошероховатость поверхности (RMS) на участке размером 5x5 мкм должна составлять не более 1 нм. При срачивании пластин с большей микрошероховатостью на границе раздела могут образовываться микропустоты нанометрового размера. В связи с этим был выполнен контроль влияния плазменной обработки на микрошероховатость поверхности.

Результаты измерений микрошероховатости исходных пластин сапфира и кремния, а также пластин кремния после обработки в различных типах плазмы приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что значение микрошероховатости пластин, активированных в плазме реактивно-ионного травления близко к значению микрошероховатости исходных пластин.

Установлено, что микрошероховатость поверхности пластин после обработки в плазме, ограниченной диэлектрическим барьером, увеличивается как на пластинах кремния, так и на пластинах сапфира. Предположительно, это связано с возникновением зарядовых состояний на поверхности пластин, что подтверждается изображениями с атомно-силового микроскопа в одной и той же области пластины сразу после плазменной обработки, спустя два дня и спустя шесть дней. Видно, что спустя несколько дней микрошероховатость вновь уменьшается (рис. 7).

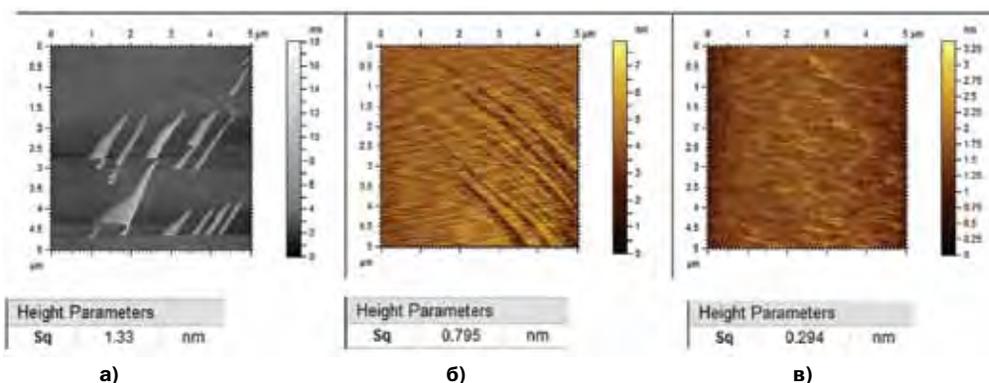
Данные результаты свидетельствуют о том, что оптимальные режимы химической обработки и плазменной активации хорошо подходят для подготовки пластин кремния и сапфира к срачиванию.

В результате выполнения работы определены параметры процесса плазменной активации пластин сапфира и кремния, позволяющие обеспечить достижение энергии срачивания ≥ 1 Дж/м² при отжиге с температурой менее 200°С.

Длительность низкотемпературного отжига для достижения энергии срачивания ~1 Дж/м² составляет 2 часа, что приблизительно в 10 раз меньше, чем требуется в отсутствие плазменной обработки.

Успешно выполнен процесс утонения донорной пластины кремния на экспериментальных структурах кремний/сапфир, изготовленных с использованием полученных режимов активации.

Показано, что плазменная обработка не приводит к изменению микрошероховатости поверхности пластин сапфира и кремния, т. е. хорошо совместима с процессом прямого срачивания.



**Рис. 7. Изображение поверхности сапфировой пластины, полученное на атомно-силовом микроскопе в одной той же области: а) сразу после плазменной обработки; б) спустя два дня после обработки; в) спустя шесть дней после обработки**

**Таблица 1. Микрошероховатость исходных пластин**

Тип пластины	Микрошероховатость (RMS), нм					Среднее значение, нм
	область 1	область 2	область 3	область 4	область 5	
Исходные пластины до активации						
Кремний	0,17	0,18	0,24	0,35	0,18	0,22
Сапфир	0,25	0,23	0,81	1,01	0,22	0,5
Пластины после активации в плазме реактивного ионного травления						
Кремний	0,18	0,18	0,71	0,63	0,12	0,36
Сапфир	0,15	0,24	0,67	0,62	0,11	0,36

# Принципы повышения наработки до отказа схем управления на основе клеточно-автоматных и нейроподобных структур

Г.С. Теплов<sup>1,2</sup>, И.В. Матюшкин<sup>1</sup>,

Е.С. Горнев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> АО «НИИ МЭ»

<sup>2</sup> МФТИ

По мере уменьшения проектных норм падает надежность элементов интегральных схем, что требует поиска новых схемотехнических решений. Искусственные нейронные сети (ИНС) и клеточные автоматы (КА) хорошо зарекомендовали себя в качестве моделей архитектур вычислительных устройств и устройств обработки информации. Расширяется спектр задач, решаемых с их помощью: процессы диффузии и массопереноса вещества, деградации свойств метаматериалов, распознавание изображений, классификация, семантический поиск и т. д. Тенденция интеллектуализации программно-аппаратных комплексов в производстве и промышленности делает актуальными вопросы радиационной стойкости и устойчивости систем к отказам. Так, например, после аварии на АЭС Фукусима-1 возникла необходимость использовать роботов во время уборки радиоактивного мусора.

В работе рассмотрены основные стратегии повышения отказоустойчивости схем управления, выполненных на основе архитектур ИНС и КА. Под отказом будем понимать событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта (ГОСТ 27.002-89).

## ОГРАНИЧЕННОСТЬ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Ключевыми направлениями улучшения характеристик отказоустойчивости в микроэлектронике являются: повышение характеристик работы элементной базы, применение специальных материалов, расширяющих диапазон рабочих условий и использование архитектурной избыточности при реализации сложных технических систем. Условия применения изделий микроэлектроники в атомной отрасли требуют повышенных показателей отказоустойчивости и надежности. Помимо особых условий эксплуатации в нормальном режиме работы изделия должны соответствовать и требованиям, предъявляемым к устройствам в случае аварий.

Более эффективным подходом в сравнении с полным дублированием всех существующих блоков является резервирование исходя из вероятности отказа элемента. Метод основан на дублировании элементов с высокой вероятностью отказа и, в крайнем случае, предполагает создание мажоритарных систем.

Повышение отказоустойчивости интегральных схем может быть осуществлено переходом на новые архитектурные реализации устройств, учитывающие в своих схемотехнических решениях альтернативные маршруты прохождения информации. Возможность внедрения самонастройки и элементов самоорганизации (при эксплуатации) в КА и ИНС, реализованных как функциональные блоки СБИС, позволит снизить аппаратные затраты и повысить надежность схем.

## ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Параллелизм обработки информации архитектуры КА и ИНС, обеспечивающий их быстродействие, не обязательно будет гарантировать повышенную отказоустойчивость. Вывод из строя одного из элементов, при условии построения слоя выходных нейронов по правилу «победитель забирает все», может привести к отказу сети в целом [2]. Аналогично и для клеточных автоматов отказ одного из вычислителей может привести к неверному результату вычислений [3, 4]. В качестве яркого примера такой «катастрофы» можно привести замену в автомате Конвэя конфигурации глайдера на r-пентамино, когда изменение в одной клетке радикально меняет всю последующую динамику. Но с другой стороны, даже в том же автомате Конвэя гораздо больше ситуаций, когда изменение в одной ячейке не влечет за собой никаких изменений в глобальной динамике. Также имеет значение, какая модель вычислений реализована в КА или ИНС, в частности, какие элементы массивно-параллельной системы приняты нами за «вход» или «выход»: например, репрезентирует ответ все поле КА или только его граничные ячейки?

Сложность построения отказоустойчивых систем на основе рассматриваемых моделей напрямую следует из их архитектуры и алгоритмов, решаемых системами задач. Специфичность алгоритмов не позволяет заранее однозначно определить необходимое количе-

ство элементов для сохранения требуемых показателей надежности на должном уровне, что приводит к сегментации не только по классам алгоритмов, но и по объему и однородности используемой информации [5]. Результатом является необходимость решения сложной многопараметрической задачи архитектурной оптимизации, учитывающей алгоритмы обработки данных, связность системы (радиус шаблона окрестности для клеточных автоматов) и представление информации в системе [6-8].

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Общими подходами, обязательными к применению для повышения показателей отказоустойчивости рассматриваемых систем являются:

1. Изменение правил обработки информации. В работе [3] показана возможность повышения отказоустойчивости работы КА путем модификации правил перехода, причем, при применении данного метода наблюдалось коррекция ошибок вычисления. В рамках работы доказывалась модифицированная для математического аппарата КА теорема Шеннона. Теорема гласит: если мы имеем множество правил перехода КА, то соблюдение

$$\forall_{(r_i)} (r_i \rightarrow c_i^*), (r_j \rightarrow c_j^*) \in R, d(r_i, r_j) \geq 2e + 1 \vee c_i^* = c_j^* \quad (1)$$

(где  $r$  – правило отображения,  $c^+$  – будущее состояние КА,  $d$  – дистанция Хемминга) гарантирует исправление ошибок. Исследования необходимости изменений в алгоритме обучения ИНС представлены в работах [2, 7]. Одна из модификаций алгоритма обучения имеет вид:

$$\Delta w_{ij}^{total} = \Delta w_{ij}^{normal\_terms} + \alpha \cdot \Delta w_{ij}^{extra\_terms}$$

где  $\Delta w_{ij}^{normal\_terms}$  – приращение веса связи из нормальных условий,

а  $\alpha \cdot \Delta w_{ij}^{extra\_terms}$  – приращение веса связи из необходимости аппаратной отказоустойчивости системы.

Преимущество модернизации алгоритмов ИНС, заключающееся в возможности репликации на другие сети после поведения оптимизации обученной сети, отмечено в статьях [2, 5].

2. Внесение аппаратной избыточности путем увеличения ячеек и нейронов. Алгоритм

Таблица 1. Устойчивость мемристивных структур к радиационному излучению

Материал оксида	Тип облучения	Данные эксперимента	Источник
SiO <sub>x</sub>	H+ Ne+	150 keV, 10 <sup>11</sup> -10 <sup>16</sup> см <sup>-2</sup> 150 keV, 10 <sup>11</sup> -10 <sup>16</sup> см <sup>-2</sup> До 10 <sup>17</sup> см <sup>-2</sup>	[10]
TiO <sub>2</sub>	Bismuth ion γ	941-MeV, 23 Mrad ~ 1 –MeV, 14 Mrad	[11]
ZrO <sub>x</sub> /HfO <sub>x</sub>	H+	10 MeV, 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup> , 6.41 Mrad	[12]
Ti/HfO <sub>2</sub> /W	He+ N <sub>2</sub> + Ne+ Ar+	1 MeV, 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>15</sup> см <sup>-2</sup> 1 MeV, 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>15</sup> см <sup>-2</sup> 1.6 MeV, 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>15</sup> см <sup>-2</sup> 2.75 MeV, 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup> , 10 <sup>15</sup> см <sup>-2</sup>	[13]

проектирования КА с учетом минимальной необходимой аппаратной избыточности рассмотрен в работе [4]. Идея заключается в использовании вместо одной ячейки вычислений «метаячейки» (metacell – англ.) из 4-х клеток с позиционным разбиением и избыточностью кодирующих входных состояний.

Правила для клеточного автомата можно задать как мажоритарную функцию ( $i$  – индекс соседа,  $j$  – индекс ячейки в блоке):

$$x_{0,j}^{i+1} = f\left(\text{majority}\left(x_{i,j}^{(l)}\right)\right), \quad i = 0 \dots 4, j = 1 \dots 4$$

Следует отметить, что вычисление функции голосования большинства одновременно позволяет проводить диагностику в каждой метаячейке. Кроме того, можно вводить в состояние ячейки КА аналог бита четности, что опять влечет увеличение площади, однако меньшее, чем при использовании metacell.

В работе [2] показана невозможность достижения приемлемого уровня отказоустойчивости ИНС без внесения в систему значительного количества дополнительных элементов. Анализ необходимости внесения аппаратного резервирования при построении многослойных ИНС на основе VLSI представлен в [6]. Необходимо указать на важность сочетания существующих аналитических методов решения задачи с экспериментальными методами, так например, в работе [8] указана эффективность применения генетических алгоритмов при поиске наиболее отказоустойчивых структур. Программное обеспечение для определения оптимальной, с точки зрения отказоустойчивости, архитектуры ИНС рассматривается в [9].

3. Стратегия повышения отказоустойчивости работы схем на уровне элементов заключается в применении устойчивых к внешнему воздействию материалов. Необходимость повышения радиационной стойкости коммутационных и элементов памяти ИНС и КА делает перспективным применение мемристивных структур. Данные по устойчивости к радиационному излучению приведены в таблице 1.

Вторым преимуществом применения мемристивной технологии является использование множественных дискретных состояний элемента в целях адаптивной настройки уровней сигналов при отказе в системе.

Возможность изменения локальных функций перехода (для КА) и условий обучения (для ИНС), приводящая к функциональной устойчивости системы после отказа элемент(а)ов, позволяет сделать вывод о перспективах использования таких структур для схем управления, работающих в экстремальных условиях внешней среда (например, повышенная радиация). Оставаясь в рамках стратегии аппаратного резервирования элементов, оценка минимального количества избыточных элементов требует учета специфики реализуемых с их помощью алгоритмов, и на текущий момент эта процедура строго не верифицирована.

С другой стороны, если не предполагать введение в систему дополнительных элементов вовсе, то за счет линейаризации итерационной процедуры обучения (с подгоночным параметром, см. (2)) удается достичь отказоустойчивости для ИНС. Аналогичное, по-видимому, можно утверждать и для КА, причем, добавление новых состояний можно трактовать как частный случай избыточности элементов.

Если рассматривать отказоустойчивость на уровне элемента и ниже, то перспективным с нашей точки зрения является использование мемристоров в качестве коммутационных элементов между соседними ячейками КА или нейронами. Оптимальным решением для внедрения с точки зрения радиационной стойкости и применяемых технологий выступает мемристивный материал HfO<sub>2</sub>. Вторым немаловажным преимуществом мемристоров является множественность дискретных состояний, обеспечивающая возможность построения самонастраивающихся схем, т. е. изменение весов связей для диагностированных дефектных ячеек.

## Список литературы

- Luděk Žaloudek, Lukáš Sekanina Cellular automata-based systems with fault-tolerance // Natural Computing Volume 11, Issue 4, P. 673-685.
- Dhananjay. S. Phatak Fault Tolerant Artificial Neural Networks // Proc. of the 5th Dual Use Technologies and Applications Conference, May 1995, Utica/Rome, NY, P. 1-7.
- J. Kelemen and P. Sosnik (Eds.): Fault-Tolerant Structures: Towards Robust Self-Replication in a Probabilistic Environment // ECAL 2001, LNAI 2159, 2001, P. 90–99.
- Steven Janke, Matthew Whitehead Practical Fault Tolerant 2D Cellular Automata. // Proceedings of the European Conference on Artificial Life 2015, P. 158-165
- Dipti Deodhare, M. Vidyasagar, Fellow, IEEE, and S. Sathiya Keerthi Synthesis of Fault-Tolerant Feedforward Neural Networks Using Minimax Optimization // IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL. 9, № 5, SEPTEMBER 1998 P. 891-900.
- V. Piuri, «Analysis of fault tolerance in artificial neural networks», in Journal of Parallel and Distributed Computing, Academic Press, January, 2001, P. 18-48.
- Nugent, A.;Kenyon, G.;Porter, R. Unsupervised adaptation to improve fault tolerance of neural network classifiers // Evolvable Hardware, 2004. Proceedings. 2004 NASA/DoD Conference on P. 146 – 149.
- Elko B. Tchernev, Rory G. Mulvaney, Dhananjay S. Phatak Investigating the Fault Tolerance of Neural Networks // Neural Computation 17 (2005), P. 1646–1664.
- Pedro Fontes, Rui Borralho, Ana Antunes, Fernando Morgado Dias «Fault tolerance simulation and evaluation tool for artificial neural networks» // Vila Real, Portugal, 8th Portuguese Control Conference, 2008, P. 1-6.
- А.И. Белов, А.Н. Михайлов, Д.С. Королев и др. «Влияние облучения ионами H+ и Ne+ на резистивное переключение в мемристивных структурах «металл-диэлектрик-металл» на основе SiO<sub>x</sub> Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 19, С. 81-89.
- William M. Tong, J. Joshua Yang, Philip J. Kuekes «Radiation Hardness of TiO<sub>2</sub> Memristive Junctions» // IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 57, №3, JUNE 2010, P.1640-1643.
- LEE et al.: «PROTON IRRADIATION EFFECTS ON RESISTIVE RANDOM ACCESS MEMORY WITH ZROX / HFOX STACKS» // IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 58, №6, DECEMBER 2011, P. 3317-3320.
- Xiaoli He, Robert E. Geer «Heavy Ion Radiation Effects on TiN/HfO<sub>2</sub>/W Resistive Random Access Memory» // Aerospace Conference, 2013 IEEE, 10.1109/AERO.2013.6497401, P. 1-7.

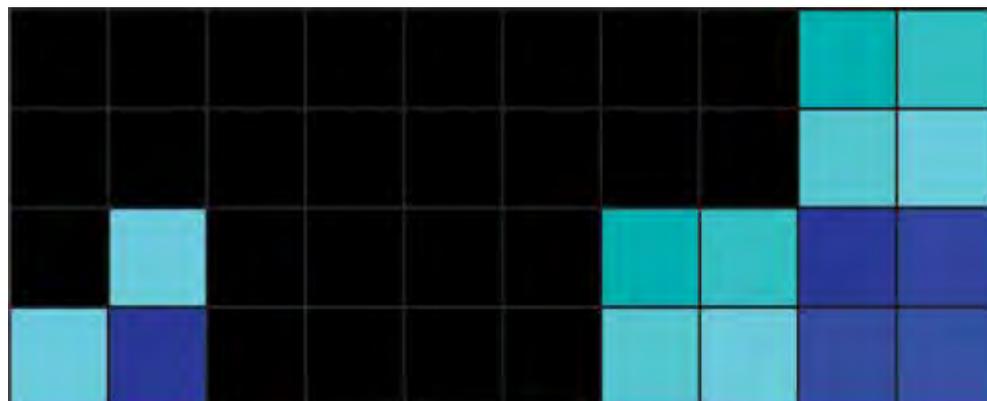


Рис. 1. Оригинальный КА (слева) и Meta-CA (справа). Разные цвета в metacell отображают различные позиции [4]

# Моделирование работы МОП-транзисторов на структурах КНИ при высоких температурах

**П.В. Игнатов, Московский физико-технический институт (Государственный университет)**  
**А.С. Бенедиктов, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», МФТИ**

Известно, что диапазон рабочих температур, на который рассчитаны микроэлектронные компоненты и интегральные схемы на кремниевых структурах, очень ограничен. Например, рабочий диапазон промышленных электронных изделий лежит в пределах от -40 до 85°C, а диапазон военной электроники от -55 до 125°C (рис. 1). Однако существует ряд задач, для решения которых необходима электроника с большей предельно допустимой рабочей температурой. Как правило, подобные электронные компоненты рассчитаны на устойчивую работу в диапазоне температур от -60 до 225°C и выделяются в класс высокотемпературной электроники (High Temperature Electronics, HTE) [1, 2].

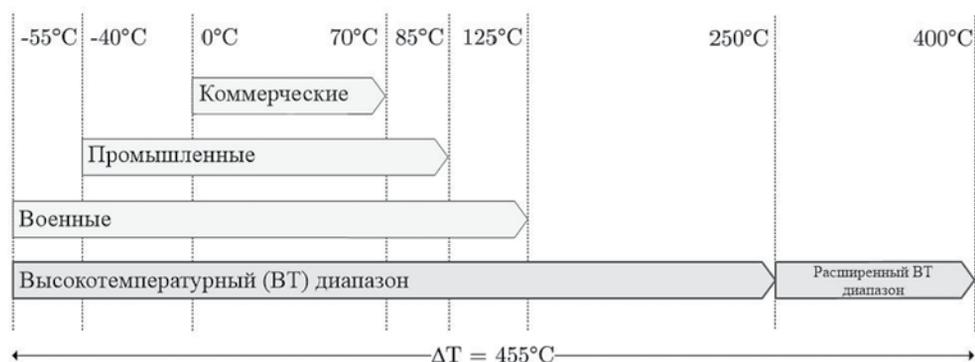
Для реализации высокотемпературной элементной базы используются структуры на основе КНИ, карбида кремния (SiC) или нитрида галлия (GaN) [1, 3, 4]. При этом электронные компоненты на основе технологии КНИ имеют меньшую конечную стоимость, а сама технология отработана при производстве радиационно-стойких интегральных схем [4]. Вследствие низкой стоимости и высокой технологичности элементная база на основе КНИ актуальна в приложениях авиационной, автомобильной, нефтегазовой, космической и атомной отраслей промышленности [1, 4, 5].

В данной работе проведено исследование характеристик МОП-транзисторов на структурах КНИ с технологическими нормами 0,5 мкм в диапазоне температур от 0 до 250°C; сделаны выводы о работоспособности КНИ МОП-транзисторов при повышенных температурах.

Выбор данной элементной базы для высокотемпературных исследований обусловлен исследованиями транзисторов с нормами 0,8 мкм, проведенными Honeywell в рамках проекта Energy Deep Trek [6], а также минимальным вкладом токов утечки через дефекты полупроводниковых и диэлектрических структур в суммарный ток утечки транзистора.

## ИСХОДНАЯ МОДЕЛЬ И ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования выбрана двумерная модель высоковольтных NМОП- и PМОП-транзисторов, выполненная в САПР TCAD в соответствии с правилами проектиро-



**Рис. 1. Классификация электронных компонентов в соответствии с диапазонами рабочих температур**

вания и технологическим маршрутом изготовления элементной базы на структурах КНИ с технологическими нормами 180 нм. Основные параметры данных МОП-транзисторов следующие:

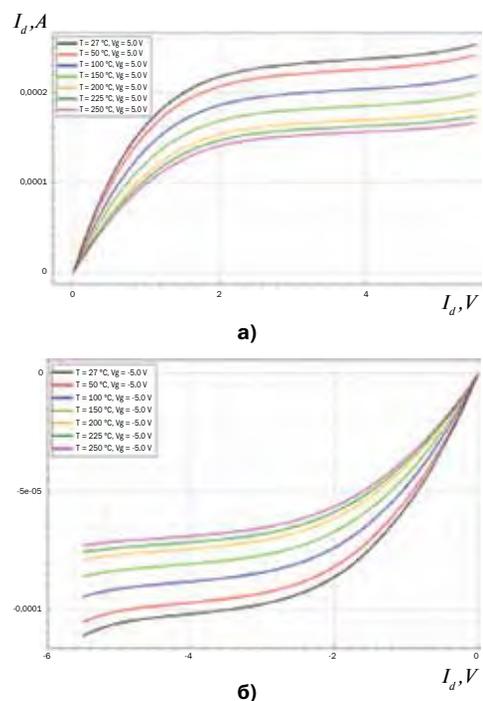
- минимальная длина канала транзистора: 0,5 мкм;
- напряжение питания транзисторов: 5 В;
- толщина нижнего изолирующего слоя (BOX): 0,146 мкм;
- толщина приборного слоя кремния: 0,088 мкм;
- концентрация бора в кремниевой подложке:  $1,2 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ;
- толщина подзатворного слоя  $\text{SiO}_2$ : 100 Å;
- толщина первого слоя поликремния: 0,2 мкм;
- концентрация мышьяка в областях стока/истока:  $1 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ;
- концентрация бора в областях стока/истока:  $1 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ;
- толщина промежуточного слоя  $\text{SiO}_2$ : 125 Å;
- толщина второго слоя поликремния: 0,2 мкм.

Эксперимент предполагает получение выходных вольт-амперных характеристик моделей МОП-транзисторов для различных температур в диапазоне от 0 до 250°C, а также зависимостей порогового напряжения от температуры, тока насыщения от температуры и тока утечки от температуры. Зависимости порогового напряжения, тока насыщения и тока утечки от температуры для исследуемой модели предполагается сравнить с соответствующими результатами измерений транзисторов А- и Н-типов на тестовом кристалле. На основании полученных характеристик предполагается сделать вывод о возможности использования высоковольтных МОП-транзисторов на структурах КНИ в диапазоне температур от 0 до 250°C.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Выходные вольт-амперные характеристики МОП-транзисторов (рис. 2) получены для температур 27, 50, 100, 150, 200, 225 и 250°C. Напряжение на затворе равно 5 В для NМОП и минус 5 В для PМОП-транзистора.

Согласно графику (рис. 2а), изменение тока насыщения при изменении температуры на 223°C составляет приблизительно  $0,9 \times 10^{-4}$  А. Аналогичное изменение тока насы-



**Рис. 2. Выходные ВАХ МОП-транзисторов при различных температурах: а – ВАХ NМОП-транзистора; б – ВАХ PМОП-транзистора**

Таблица 1. Изменения порогового напряжения и тока насыщения, приходящиеся на 1°С для МОП-транзисторов

Тип транзистора	Удельное пороговое напряжение, $V_{th}/T \times 10^{-3} \text{ В/}^\circ\text{C}$	Удельный ток насыщения, $I_{sat}/T \times 10^{-7} \text{ А/}^\circ\text{C}$
НМОП	1,67	3,6
РМОП	1,65	1,9

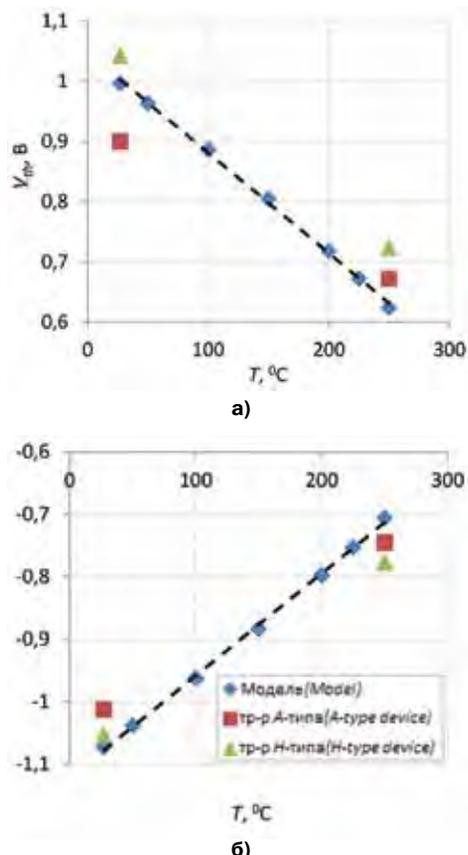


Рисунок 3. Зависимости порогового напряжения  $V_{th}$  от температуры  $T$  для МОП-транзисторов: а – зависимость для НМОП-транзистора; б – зависимость для РМОП-транзистора

щения р-канального транзистора (рис. 2б) составляет примерно  $0,35 \times 10^{-5} \text{ А}$ .

Вольт-амперные характеристики, приведённые на рис. 2, также могут быть интерпретированы с помощью зависимостей порогового напряжения, тока насыщения и тока утечки от температуры (рис. 3, 4, 5). Полученные зависимости сопоставлены с результатами измерений тестовых структур при температурах 27 и 250°С.

На графике (рис. 3а) видно, что пороговое напряжение модели n-канального транзистора составляет 1 В при  $T = 27^\circ\text{C}$  и 0,6 В при  $T = 250^\circ\text{C}$ . Аналогичные значения для модели p-канального транзистора (рис. 3б) равны минус 1,1 В и минус 0,7 В соответственно. Следовательно, для НМОП- и РМОП-транзисторов изменение порогового напряжения в указанном диапазоне температур составляет приблизительно 0,4 В и определяет изменения порогового напряжения на 1°С, приведённые в табл. 1. При этом следует отметить, что максимальное расхождение результатов моделирования и результатов измерений транзисторов на тестовом кристалле не превышает 1 В, а наибольшее соответствие результатов наблюдается между моделью и полупроводниковыми структурами А-типа (см. табл. 1).

Зависимости токов насыщения моделей НМОП- и РМОП-транзисторов от температуры, показанные на рис. 4а и 4б, позволяют определить изменения токов на 1°С (табл. 1). Данные значения изменений токов спра-

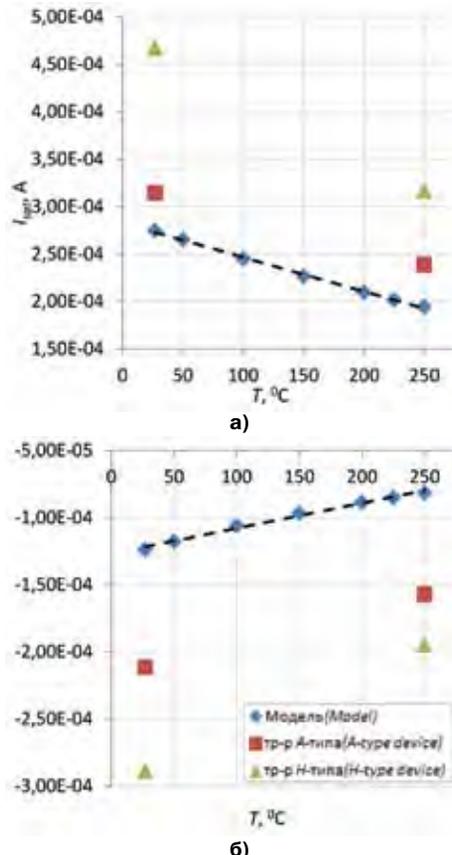


Рисунок 4. Зависимости тока насыщения  $I_{sat}$  от температуры  $T$  для МОП-транзисторов: а – зависимость для НМОП-транзистора; б – зависимость для РМОП-транзистора.

ведливы и для тестовых транзисторов А-типа. В свою очередь, для транзисторов Н-типа характерны большие значения изменений токов насыщения, а абсолютные значения тока насыщения на  $1 \dots 2 \times 10^{-4} \text{ А}$  отличаются от результатов, полученных в ходе компьютерного моделирования.

Зависимости токов утечки транзисторов от температуры показаны в логарифмическом масштабе на рис. 5. Как в случае НМОП-транзистора (рис. 5а), так и в случае РМОП-транзистора (рис. 5б) ток утечки максимален при температуре 250°С и равен  $2,14 \times 10^{-9} \text{ А}$  для модели НМОП-транзистора и  $3,56 \times 10^{-10} \text{ А}$  для модели РМОП-транзистора. Указанные значения совпадают по порядку величины с аналогичными значениями для тестовых транзисторов.

Как в случае компьютерной модели, так и в случае полупроводниковых тестовых транзисторов максимальные токи утечки на 5-6 порядков меньше минимальных токов насыщения транзисторов ( $0,5 \dots 2 \times 10^{-4} \text{ А}$ ), достигаемых при температуре 250°С. Следовательно, ввиду малости токов утечки по отношению к токам насыщения, исследуемые транзисторы на структурах КНИ сохраняют усилительные свойства при высоких температурах.

Таким образом, в ходе данной работы была исследована компьютерная модель МОП-транзисторов на структурах КНИ с технологическими нормами 0,5 мкм в диапазоне температур от 0 до 250°С. Соответствие исследованной компьютерной модели полу-

проводниковым структурам подтверждается при сравнении характеристик ТСАД-модели и полупроводниковых тестовых структур. Различия между полученными результатами для модели и тестовых транзисторов обусловлены эффектами трёхмерных структур транзисторов А- и Н-типов, не учитываемыми в двумерной компьютерной модели. При этом отмечено, что результаты компьютерного моделирования находятся в наибольшем соответствии с результатами измерения тестового транзистора А-типа. Данное сходство характеристик объясняется тождественностью структуры любого из поперечных сечений транзистора А-типа структуре двумерной модели.

Видом полученных вольт-амперных характеристик моделей транзисторов, линейным характером зависимостей порогового напряжения и тока насыщения от температуры при высоких температурах ( $>125^\circ\text{C}$ ), а также пренебрежимо малыми максимальными токами утечки транзисторов в сравнении с минимальными токами насыщения подтверждается наличие усилительных свойств у транзисторов на структурах КНИ на всём диапазоне заявленных температур. Следовательно, МОП-транзисторы на структурах КНИ с технологическими нормами 0,5 мкм и напряжением питания 5 В отвечают критериям, предъявляемым к работе МОП-транзисторов в диапазоне температур от 0 до 250°С.

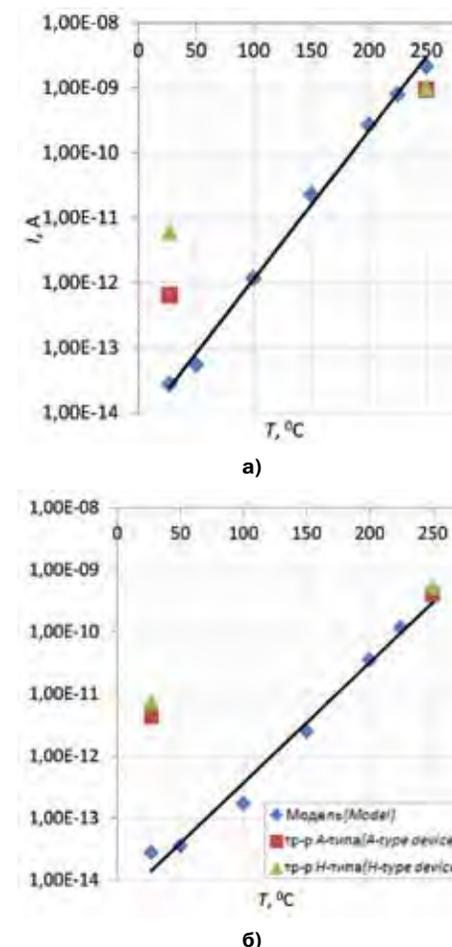


Рис. 5. Зависимости тока утечки  $I$  от температуры  $T$  для МОП-транзисторов: а – зависимость для НМОП-транзистора; б – зависимость для РМОП-транзистора.

# Разработка ПО для миграции данных из исторических систем завода ВНИИЭФ в модули ТИС

**А.И. Сорокин**  
ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»

В рамках реализации программы «Создание типовой информационной системы предприятий ЯОК», утвержденной распоряжением генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» С.В. Кириенко, РЯЦ-ВНИИЭФ выполнил работы по созданию сквозной 3D-технологии проектирования, моделирования, испытаний, расчетов и производства. В реализации сквозной 3D-технологии используются MES-система и PDM-система, которые были внедрены в постоянную эксплуатацию в РЯЦ-ВНИИЭФ. Работы осуществлены по проектам «Внедрение MES-системы в структурных подразделениях» и «Внедрение PDM-системы в структурных подразделениях».

В качестве базовых систем были выбраны:

- интегрированное решение систем ALFA (разработчик ЗАО «Информконтакт») и «Фобос» (разработчик МГТУ «Станкин»);
- система ЛОЦМАН:PLM (разработчик ЗАО «АСКОН»);

При внедрении новых систем, заменяющих и дополняющих уже имеющиеся, ВНИИЭФ столкнулся с необходимостью использовать в новых системах накопленную ранее информацию, при этом сохранив актуальность и целостность данных. Это особенно важно, поскольку в базах данных исторических систем хранится оперативная информация, постоянно используемая в текущих бизнес-процессах.

Таким образом, для успешного внедрения и результативного перехода на использование новых систем, большую важность представляло создание и применение инструментов, которые позволили бы выполнить перенос данных из исторических систем завода ВНИИЭФ в модули ТИС и обеспечить корректность информации, загружаемой в модули ТИС.

## МИГРАЦИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМУ ALFA (MES)

Решение Alfa-MES призвано выполнять все задачи, связанные с производственной деятельностью предприятия: от планирования до изготовления и анализа затрат на производство. Особенно актуально применение решения в качестве элемента систем управления жизненным циклом изделия, включающих в себя все этапы: от конструкторской и технологической разработки до последующего обслуживания.

Таким образом, целью работы, применительно к системе MES, является разработка программного модуля, предназначенного для подготовки конструкторско-технологической информации для загрузки ее в БД системы MES.

## ЭТАПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Выполнение данной работы заключалось в выполнении следующих этапов работ:

- проанализирован порядок хранения данных в действующих системах ВНИИЭФ;



**Рис. 1. Архитектура процесса миграции в MES-систему**

- определены способы доступа к данным из модуля миграции;
- определен объем и состав данных для миграции;
- совместно с подрядчиком определен способ передачи данных, разработана структура формирования файлов, а также алгоритмы формирования обменных файлов;
- разработано программное обеспечение для формирования файлов выгрузки;
- проведена тестовая миграция данных;
- выполнен анализ результатов миграции и протоколов выгрузки;
- доработано и протестировано ПО;
- осуществлено проведение миграции всего объема данных с выполнением контроля и корректировкой ПО.

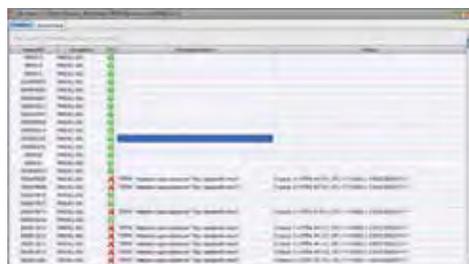
## АРХИТЕКТУРА МИГРАЦИИ

Процесс миграции сводится к выполнению трех основных этапов:

- выгрузка необходимых данных из действующих на заводе ВНИИЭФ систем;
- проверка выгруженных данных и преобразование их в требуемый формат;
- проверка файлов выгрузки на стороне MES-системы на предмет корректности данных в соответствии с разработанным алгоритмом контроля и их загрузка в базу данных.

Архитектура процесса миграции приведена на рисунке 1.

Исходными данными для работы модуля миграции, являются подготовленные в Автома-



**Рис. 2. Протокол выгрузки**

тизированной системе подготовки конструкторской и технологической информации (АСПКИТИ) данные производственных спецификаций (СП) и технологических процессов (маршрутных карт – МК). Данные предоставляются в текстовом строго структурированном виде.

На следующем этапе осуществляется проверка корректности переданных данных, а именно: результаты проверки отображаются в протоколе выгрузки, и при наличии ошибок сформированный протокол передается на сторону АСПКИТИ для исправления ошибок и повторной подготовки данных. В случае успешной проверки на основе полученных файлов формируются файлы в формате XML. Структура, состав, а также алгоритмы формирования файлов выгрузки были разработаны совместно с представителями ЗАО «Информконтакт» и адаптированы под структуру данных исторических систем.

Далее XML-файлы передаются в модуль миграции MES. На этом этапе данные также проходят процесс контроля. В случае обнаружения ошибок при проверке, а также нарушения требований к формированию файлов выгрузки также формируется протокол с перечнем ошибок, который передается на сторону модуля подготовки XML-файлов. При отсутствии проблем в файлах выгрузки данные загружаются в БД MES.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проделанной работы было разработано программное обеспечение, которое позволяет выполнять работы по миграции данных по конструкторским спецификациям и маршрутным картам из исторических систем завода ВНИИЭФ в базу данных системы MES, а также разработана инструкция по выгрузке и загрузке данных.

На текущий момент выполнена выгрузка/загрузка полного объема данных исторических систем:

- СП – порядка 80.000 шт.
- МК – порядка 400.000 шт.

В настоящее время ведется ежедневная загрузка данных СП и МК по изделиям, для которых в PDM-системе отсутствуют конструктивные и технологические ЭСИ.

### МИГРАЦИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМУ ЛОЦМАН: PLM

Система ЛОЦМАН:PLM предназначена для управления инженерными данными и жизненным циклом изделия. Система является центральным компонентом Комплекса решений АСКОН и обеспечивает:

- управление информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и входимости компонентов в различные изделия;
- хранение технической документации на изделия;
- управление процессом разработки изделия, интеграцию компонентов САПР, САПР ТП, справочных данных.

Целью работы является разработка программного модуля, предназначенного для подготовки конструкторско-технологической информации из действующих систем авиационного завода ВНИИЭФ для загрузки в БД системы ЛОЦМАН, а также настройка и тестирование модуля синхронизации данных, входящего в состав программного обеспечения АСКОН.

### ЭТАПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Выполнение данной работы заключалось в выполнении следующих этапов:

- проанализирован порядок хранения данных в действующих системах ВНИИЭФ;
- определены способы доступа к данным из модуля миграции;
- определен состав данных для миграции;
- изучено описание технического решения по обмену данными АСКОН;
- изучена документация АСКОН по модулю интеграции данных;
- разработано программное обеспечение для формирования файлов выгрузки;
- настроен модуль импорта АСКОН – сформированы правила импорта;
- проведена тестовая миграция данных;
- выполнен анализ результатов миграции и протоколов выгрузки;
- доработано и протестировано ПО;
- проведена работа со службой технической поддержки АСКОН по вопросам использования и доработки модуля интеграции.

### ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ЗАО «АСКОН»

В состав системы ЛОЦМАН:PLM входит универсальный модуль интеграции, предназначенный для обмена данными между системами, построенными на базе функционала сервера приложений ЛОЦМАН, а также любых смежных информационных систем классов PDM/PLM, ERP, MES, обладающих программными сервисами для работы с внешними данными.

Основными задачи технического решения являются:

- обмен данными между смежными системами, позволяющий осуществлять их совместную работу;
- разрешение конфликтов неоднородности моделей данных различных источников;
- разрешение конфликтов именования сущностей систем, приведение к общей терминологии на уровне интеграции;
- приведение типов, данных и единиц измерения к единому обменному формату;
- выявление конфликтов обмена и обновления данных, с возможностью их анализа и исправления;



Рис 3. Архитектура процесса миграции в PDM-систему

– автоматизация процесса конфигурирования интеграционных моделей данных.

Для работы в модуле интеграции необходимо создать правило импорта данных. Данный вид правил включает в себя инструмент настройки структуры импортируемых в ЛОЦМАН данных, позволяющий произвести анализ предполагаемых к загрузке массивов информации и выявить возможные поля набора данных, полученных со стороны указанной БД, либо атрибуты XML файлов. Далее полученные значения ассоциируются с ключевыми сущностями платформы ЛОЦМАН.

Таким образом, для корректной загрузки данных в базу данных системы ЛОЦМАН необходимо воспользоваться универсальным модулем интеграции АСКОН. Для работы модулю необходимы:

- правило импорта данных;
- XML файл с данными миграции;
- дополнительные файлы, в случае необходимости загрузки файлов 3D-моделей, чертежей и т. д.

### АРХИТЕКТУРА МИГРАЦИИ

Процесс миграции сводится к выполнению следующих этапов:

- выгрузка данных из действующих систем завода ВНИИЭФ;
- проверка и преобразование полученных данных;
- загрузка файлов в БД ЛОЦМАН.

Архитектура процесса миграции приведена на рисунке 3.

Исходными данными для работы модуля миграции являются подготовленные в Автоматизированной системе подготовки конструкторской и технологической информации (АСПКИТИ) данные производственных спецификаций (СП) и технологических процессов (маршрутных карт – МК). Вся информация предоставляется в виде двух файлов:

- файл формата «dbf» – информация по конструкторской спецификации;
- файл «asu» – текстовый файл специального формата, содержащий информацию о маршрутной карте передаваемой спецификации;

Далее средствами модуля миграции осуществляется проверка входных данных на соответствие требованиям по миграции, и в случае обнаружения проблем формируется протокол, который передается на сторону АСПКИТИ.

Перед стартом процесса миграции была выполнена настройка модуля синхронизации данных, входящего в состав системы ЛОЦМАН:PLM.

На следующем этапе данные, переданные со стороны АСПКИТИ, преобразуются в файл формата XML, который может быть обработан модулем синхронизации данных АСКОН в соответствии с настроенными правилами импорта.

В результате работы модуля миграции формируются два файла в формате XML. В одном из них передается информация по СП, в другом по МК. С каждым видом файлов в модуле синхронизации ассоциирован соответствующий тип правил. Далее в автоматизированном или автоматическом (в случае настройки загрузки файлов по расписанию) режиме информация загружается в БД ЛОЦМАН:PLM.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проделанной работы мною было разработано программное обеспечение, которое позволяет выполнять работы по миграции данных по конструкторским спецификациям и маршрутным картам из исторических систем завода ВНИИЭФ в базу данных системы ЛОЦМАН: PLM.

В процессе разработки программного обеспечения велась активная работа со специалистами службы технической поддержки АСКОН.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы мною была выполнена разработка программного обеспечения, с помощью которого возможно осуществлять перенос данных из исторических систем завода ВНИИЭФ в модули, входящие в состав типовой информационной системы ЯОК.

Миграция данных осуществляется в:

- систему ALFA-MES (разработчик ЗАО «Информконтакт»);
- систему ЛОЦМАН:PLM (разработчик ЗАО «АСКОН»);

Применение созданных программных инструментов способствует успешному внедрению и переходу на использование новых систем, позволяет обеспечить работоспособность новых систем и экономии времени пользователей на выполнение функций.

В настоящее время завод ВНИИЭФ использует разработанные модули миграции для загрузки данных в систему Alfa-MES и Лоцман:PLM.

# Разработка комплексной вычислительной системы автоматизации изготовления БИС с субмикронными проектными нормами (АСУ «Сапфир»)

**Д.С. Шкарин**  
ФГУП «ФНПЦ НИИС им. Ю.Е. Седакова»

Целью создания АСУ «Сапфир» является автоматизация кристалльного производства в Межотраслевом центре по разработке и производству радиационно-стойкой электронной компонентной базы.

АСУ «Сапфир» предназначена для решения следующих задач:

- информационная поддержка, автоматизация и управление процессами кристалльного производства (включая долгосрочное и оперативное планирование);
- прослеживаемость процесса изготовления партий пластин;
- контроль выполнения технического обслуживания технологического, контрольного и измерительного оборудования;
- мониторинг и управление данными о материально-технических ресурсах, применяемых в процессе производства;
- контроль и управление доступом пользователей к системе;
- сбор, обработка и хранение данных с технологического оборудования;
- сбор, обработка и хранение измерительной информации с контрольного и измерительного оборудования.

## **СОСТАВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЧАСТИ АСУ «САПФИР»**

АСУ «Сапфир» изготовления микросхем состоит из совокупности взаимосогласованных программно-технических, программно-методических комплексов и компонент программного, технического и информационного обеспечения с эксплуатационной документацией.

Структурно АСУ «Сапфир» состоит из базы данных и систем собственной разработки:

- системы управления кристалльным производством (СУКП) и входящий в ее состав модуль планирования «Кристалл-С»;
- системы обеспечения прослеживаемости (СОП);
- системы контроля выполнения технического обслуживания (СКТО);
- системы управления материально-техническими ресурсами (СУМТР);
- унифицированного графического интерфейса разработчика (УГИ АРМ), а также из трех покупных систем:

- системы контроля и управления доступом (СКУД);
- системы сбора данных с обрабатываемого оборудования (ССД);
- системы сбора измерительной информации (ССИИ).

Системы собственной разработки имеют модульную структуру и состоят из программных модулей, выполненных в виде dll – файлов, написанных на языке С#.

СУКП предназначена для информационной поддержки, автоматизации и управления технологическими процессами кристалльного производства.

ПО СУКП предназначено для решения следующих задач:

- долгосрочное (годовое, квартальное и месячное) и оперативное планирование производства;
  - формирование и контроль выполнения сменно-суточных заданий для ПТС и установок;
  - предоставление оперативной информации по всей цепочке изготовления кристаллов БИС;
  - формирование и заполнение маршрутно-сопроводительных листов на партии БИС;
  - формирование и заполнение дополнительных маршрутно-сопроводительных листов на партии БИС;
  - формирование листа проверки ТО по точности, заполнение и контроль выполнения проверки ТО по точности;
  - формирование листов аттестации персонала на проведение техпроцессов;
  - предоставление информации о готовности оборудования к выполнению технологических операций.
- СОП предназначена для обеспечения прослеживаемости выполнения технологических процессов кристалльного производства.
- ПО СОП предназначено для решения следующих задач с использованием технологии штрихового кодирования:
- регистрация фактов выполнения технологических операций (времени начала и завершения операции) с учётом идентификации пользователя;
  - учёт перемещения партий пластин в местах хранения, обработки и контроля;
  - доступ пользователя к оперативной информации о корректности размещения партии пластин на данном оборудовании;

- доступ пользователя к следующей информации: местонахождение партий пластин, поиск партий пластин по их идентификатору, слежение за перемещением партий пластин в режиме реального времени, отображение состояния оборудования;

- формирование отчетов о выполненных действиях.

СКТО предназначена для регистрации и контроля выполнения технического обслуживания оборудования, фактов и методик выполнения ремонта, а также для мониторинга и управления данными при обслуживании технологического оборудования.

СКТО должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- информирование персонала о необходимости проведения планового технологического обслуживания;
- сбор данных проведения плановых и внеплановых работ по техническому обслуживанию технологического оборудования;
- сбор данных о времени работы и простоя оборудования;
- обеспечение доступа к данным с технической документацией;
- предоставление статистических данных по функционированию оборудования.

СУМТР предназначена для контроля использования материально-технических ресурсов в кристалльном производстве и выполнения следующих функций:

- формирование и ведение справочника материально-технических ресурсов, используемых в кристалльном производстве БИС, для их однозначной идентификации и отражения технологических параметров и потребительских характеристик;
- мониторинг готовности производственных участков в части обеспечения химическими материалами;
- учет и анализ движения МТР в пункте регистрации и кристалльном производстве для своевременного информирования персонала об истечении срока годности МТР, истощении запаса МТР и о доступе сотрудников производства к оперативной информации по использованию МТР в процессе КП.

АСУ «Сапфир» содержит в своем составе: унифицированный графический интерфейс разработчика автоматизированных рабочих мест (АРМ), который предназначен для упорядочения и унификации процесса создания

АРМ, а также интеграции в АРМ программных модулей из состава систем АСУ «Сапфир».

УГИ АРМ обеспечивает выполнение функций:

- конфигурирование элементов меню АРМ;
- формирование перечня сообщений АРМ;
- сборку АРМ из элементов меню и базовых экранных форм;
- интеграцию в АРМ программных модулей из состава АСУ «Сапфир»;
- создание исполняемых файлов АРМ;
- проверку доступа пользователей к УГИ АРМ и АРМ из состава АСУ «Сапфир»;
- ведение журнала системных изменений УГИ АРМ;
- предоставление пользователю справочной информации о работе с АРМ.

Каждое автоматизированное рабочее место выполняет перечень функций, определенных в системах АСУ «Сапфир». Поскольку все разрабатываемые системы имеют модульную структуру, процесс создания АРМов состоит из подключения в АРМ модулей, реализующих необходимые функции.

#### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ СУПП И УГИ АРМ**

Автором были разработаны программные модули «Базовые листы», «Общая готовность оборудования», «Оперативное планирование» и «Долговременное планирование», входящие в состав системы управления кристалльным производством.

Разработаны представления (views) для передачи входных данных в модуль планирования «Кристалл-С».

Разработан программный модуль для создания исполняемого файла для конкретного АРМ, входящий в состав УГИ АРМ.

Автор принимал участие в разработке программных модулей «Проверка по точности», «Система статистического регулирования технологического процесса», в тестировании и сопровождении «Кристалл-С».

Программные модули разработаны в среде программирования Microsoft Visual Studio 2008 на языке программирования C# с использованием баз данных SQL.

Программный модуль «Базовые листы» предназначен для создания и ведения базовых листов изделий.

В данном модуле были реализованы функции:

- добавления и удаления изделий;
- добавления базовых листов и операций из справочника операций;
- добавления блоков операций;
- удаления операции или группы операций.

Программный модуль «Общая готовность оборудования» предназначен для представления информации о готовности оборудования к выполнению технологических операций.

Для визуализации общей готовности оборудования была разработана форма, на которой представлено графическое изображение технологического оборудования, сгруппированного по участкам.

Готовность каждого оборудования отображается на двух индикаторах:

- верхний индикатор отображает выполнение процедур включения оборудования и технического обслуживания, регистрируемого в системе контроля выполнения технического обслуживания;
- нижний индикатор отображает выполнение проверки оборудования по точности технологического процесса.

Обновление состояния происходит один раз в минуту или при нажатии кнопки «Обновить», которая расположена в верхнем правом углу формы.

Для кластерного оборудования состояние отображается как для всего оборудования в целом, так и для каждого кластера по отдельности.

Программные модули «Оперативное планирование» и «Долговременное планирование» предназначены для подготовки данных и запуска задачи планирования. Программный модуль «Кристалл-С» принимает исходную информацию, необходимую для решения задач планирования, из БД АСУ «Сапфир» средствами взаимодействия с Microsoft SQL Server.

Входные данные для модуля решения задачи планирования содержатся в БД АСУ «Сапфир» в виде представлений (views). Разработана структура представлений и осуществлен их ввод в БД.

Если планирование уже запущено одним пользователем, то другой пользователь сможет работать только в тестовом режиме.

После подготовки данных автоматически запускается модуль планирования «Кристалл-С». Результаты планирования отображаются в виде графика Ганта и записываются в БД АСУ «Сапфир».

Программный модуль «Система статистического регулирования технологического процесса» (ССРП) предназначен для:

- расчета статистических параметров, определяющих состояние технологического процесса при производстве кристаллов БИС по данным, полученным в режиме ручного ввода;
- представления результатов расчета в удобной для пользователя форме;
- хранения полученных значений в БД.

Для системы статистического регулирования разработаны функции расчета следующих характеристик состояния технологического процесса:

- математического ожидания, дисперсии, доли дефектной продукции;
- коэффициента точности технологического процесса (Кт);
- значений потенциального запаса точности (Ср);
- реального запаса точности (Срк).

Рассчитанные статистические параметры выводятся в поля формы и отображаются в виде карты Шухарта.

Программный модуль «Проверка по точности» предназначен для создания маршрутно-сопроводительных листов проверки по точности и контроля выполнения проверки оборудования по точности технологического процесса.

Если дата следующей проверки по точности превышает текущую, то поле «Дата следующей проверки» окрашивается в красный цвет, информируя пользователя о необходимости провести проверку. Иначе цвет поля будет зеленым.

Данный программный модуль позволяет добавлять контролируемые параметры и операции, необходимые для проверки соответствующего контролируемого параметра.

Процесс создания АРМ включает следующие этапы:

- формирование элементов меню АРМ с помощью Конфигуратора АРМ;
- формирование перечня сообщений АРМ с помощью Конфигуратора списка сообщений АРМ;
- сборка АРМ, в результате чего создаются исполняемые файлы АРМ ехе-формата.

#### **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**

Целями автоматизации производственного процесса считаются увеличение эффективности труда, повышение качества продукции и создание условий для оптимального использования ресурсов производства.

Достижение этих целей напрямую зависит от качества принятия управленческих решений, средства автоматизации могут исключительно обеспечить поддержку разработки подобных решений на некоторых уровнях их принятия.

Внедренные системы являются вспомогательным средством организации получения прибыли.

Экономический эффект поступает в виде экономии трудовых и финансовых ресурсов, получаемой от:

- снижения трудоемкости расчетов;
- уменьшения вероятности появления ошибок;
- снижения трудозатрат на поиск и подготовку документов;
- сокращения времени на подготовку отчетов. Благодаря этому у сотрудников высвобождается время для выполнения ключевых работ, дающих большую отдачу для предприятия;
- система обеспечивает доступ к данным строго в соответствии с назначенными правами пользователей. Все действия, производимые пользователем, протоколируются;
- руководители могут оперативно получать информацию;
- экономии времени на производство при использовании системы планирования.

Внедрение системы АСУ «Сапфир» позволяет:

- увеличить эффективность информационного обмена между участниками производственного процесса;
- сократить время разработки технологических процессов;
- увеличить производительность кристалльного производства;
- повысить качество выполняемых работ и изготавливаемой продукции.

Основными результатами работ по созданию АСУ «Сапфир» являются:

- разработано программное обеспечение и рабочая документация опытного образца АСУ «Сапфир»;
- изготовлен и протестирован опытный образец АСУ «Сапфир»;
- система прошла опытную эксплуатацию в кристалльном производстве;
- успешно проведены предварительные испытания;
- система проходит приёмочные испытания и должна быть запущена в этом году в постоянную эксплуатацию.

# Разработка и интеграция программных модулей системы формирования опорного излучения физической лазерной установки

**И.В. Мякишев**  
ФГУП «ФНПЦ НИИС им. Ю.Е. Седакова»

Система формирования опорного излучения (СФОИ) является составной частью информационно управляющей системы лазерной установки и предназначена для формирования спектральных, угловых, пространственных и временных характеристик пучка лазерного излучения. Особенностью СФОИ является наличие уникального оборудования, ввиду чего с оборудованием не поставляется готовое программное обеспечение, осуществляющее его взаимодействие с системами верхнего уровня.

Мной разработаны программные модули измерителя пространственных характеристик пучка лазерного излучения и измерителя мощности и энергии лазерного излучения, входящие в состав технологического оборудования СФОИ.

Цели разработки:

- агрегирование измеряемых параметров;
- визуализация измеряемых параметров в системе верхнего уровня;
- программная настройка оборудования, входящего в состав СФОИ.

Требования, предъявляемые к программным модулям, представлены в таблице 1.

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

При разработке программных модулей в качестве базового ПО был использован инструментарий TANGO.

Инструментарий TANGO позволяет писать программное обеспечение с использованием

языков программирования высокого уровня: C++, Java, Python.

TANGO — свободная объектно-ориентированная система, предназначенная для управления различным оборудованием и программным обеспечением.

TANGO — распределенная система управления. Она может работать как на одной, так и на множестве машин. Является масштабированной системой, количество устройств, расположенных на одной машине, зависит только от ее производительной мощности. Для пользователя не имеет значения, на каких именно машинах расположены устройства.

При разработке программного модуля измерителя пространственных характеристик пучка использовалась сторонняя библиотека с открытым кодом OpenCV.

OpenCV – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом.

## МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Устройство измеряет мощность и энергию лазерного излучения. Измерение осуществляется посредством использования одного из трех типов сенсоров:

- LM-, PM- и PS модели thermopile сенсора;
- OP-2, LM-2 optical сенсор;
- Piroelectric сенсор.

Взаимодействие с устройством осуществляется по протоколу RS232, посред-

ством посылки в порт специальных команд, описанных в документации, поставляемой с устройством.

Устройство предоставляет возможность установки и считывания следующих параметров:

- диапазон измерения;
- единицы измерения (Джоули в случае измерения энергии излучения. Ватты в случае измерения мощности излучения);
- уровень шума;
- длина волны. Устройство позволяет установить длину волны из списка, содержимое которого было заложено производителем, или создать свой собственный список длин волн.

## СЦЕНАРИИ РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

Работа программного модуля измерителя мощности и энергии разбивается на ряд сценариев. В таблицу 2 сведены цели операций и сценарии достижения этих целей.

В таблице представлены сценарии безошибочной работы, когда цель операции достигается таким образом, каким требуется. Однако были предусмотрены и более общие варианты развития событий.

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

В алгоритме работы программного модуля можно выделить три основных этапа:

- установка соединения;

Таблица 1. Требования к программным модулям

	Измеритель мощности и энергии	Измеритель пространственных характеристик пучка
Интерфейс взаимодействия	RS232	USB
Частота опроса	не реже 2 раз в секунду	не реже 10 раз в секунду
Изменяемые и отображаемые параметры	<ul style="list-style-type: none"> <li>• единицы измерения</li> <li>• величина измерения</li> <li>• диапазон измерения</li> <li>• длина волны ли</li> <li>• уровень шума</li> <li>• статистические данные</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• профиль пучка</li> <li>• координаты центра луча</li> <li>• максимальная интенсивность ли</li> <li>• значение диаметра</li> <li>• значение расходимости</li> <li>• значение эллиптичности</li> </ul>

Таблица 2. Сценарии работы

Цели	Сценарии
Соединение	Открытие порта, к которому подсоединено устройство, и сохранение последних успешных параметров соединения.
Разъединение	Заккрытие порта, к которому подсоединено устройство
Сбор данных	Запрос от устройства длины волны, энергетической величины, диапазона и единицы измерения, а также уровня шума и коэффициента усиления
Автонастройка параметров среды измерения	Автоматическое определение наилучших значений диапазона измерения и величины шума
Изменение параметров среды измерения	Посылка команд устройству на изменение диапазона измерения, уровня шума, единицы измерения, длины волны, коэффициента усиления
Контроль ошибок	Осуществление проверки корректности вводимых данных пользователем. Осуществление контроля связи с устройством, проверка поступления данных измеряемой мощности с устройства.

- основной цикл программы;
  - отсоединение от устройства.
- Алгоритм основного цикла подразумевает создание трех потоков.

В первом потоке осуществляется:

- сбор параметров;
- обработка параметров, поскольку все значения, возвращаемые устройством, представлены в виде строки.

Во втором потоке осуществляется отслеживание сбора данных. Если с устройства не поступают данные в течение трёх секунд, программа считает, что устройство отключилось. В этом случае программа производит закрытие порта и установку параметра состояния устройства в значение «Выключено».

Если с устройства не поступают данные об измеряемой мощности/энергии в течение пяти секунд, программа считает, что неверно настроены параметры среды измерения и производит их автонастройку:

- установка минимального значения уровня шума;
- запуск цикла на изменения диапазона от кДж до пДж. Если при заданном диапазоне данные об измеряемой мощности поступают, программа переходит к циклу установки уровня шума. Настройка уровня шума происходит согласно алгоритму. Если измеряемое значение величины составляет больше 5% от полной шкалы, например X%, тогда уровень шума не должен превышать значения (X-2)%. Если же измеряемое значение составляет 5% или меньше от полной шкалы, тогда уровень шума не должен быть ниже (X+2)%.

В третьем потоке осуществляется отслеживание запроса на изменение параметров среды измерения. Если вводимые данные не корректны, программа игнорирует их и ожидает следующего запроса на изменение. В случае, если данные корректны, формируется команда. Сформированная команда записывается в порт.

### ОСОБЕННОСТЬ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

В разработанном ПО была применена технология многопоточного программирования. Программный модуль реализован на языке C++ под операционную систему Linux.

При разработке ПО модуля была предусмотрена возможность добавления собственных классов осуществляющих поддержку дополнительных сенсоров устройства в случае появления таковых.

В результате разработаны сценарии работы устройства, на основе которых был разработан драйвер управления устройством под ОС Linux. С помощью инструментария TANGO разработана архитектура, в которой заложен алгоритм работы модуля, и распространена на множество измерителей мощности, входящих в каждый из каналов СФОИ.

Измеритель пространственных характеристик лазерного излучения

Измеритель пространственных характеристик пучка лазерного излучения представляет собой CCD-камеру, обладающую повышенным размером матрицы (1280x1024 пикселя). Данная камера не требует компьютерной платы и подключается напрямую через разъем USB 2.0.

При разработке программного модуля было разработано два варианта решения:

- использование поставляемого ПО;
- разработка собственного ПО с использованием сторонних библиотек.

Первый вариант решения предусматривает взаимодействие разрабатываемого модуля

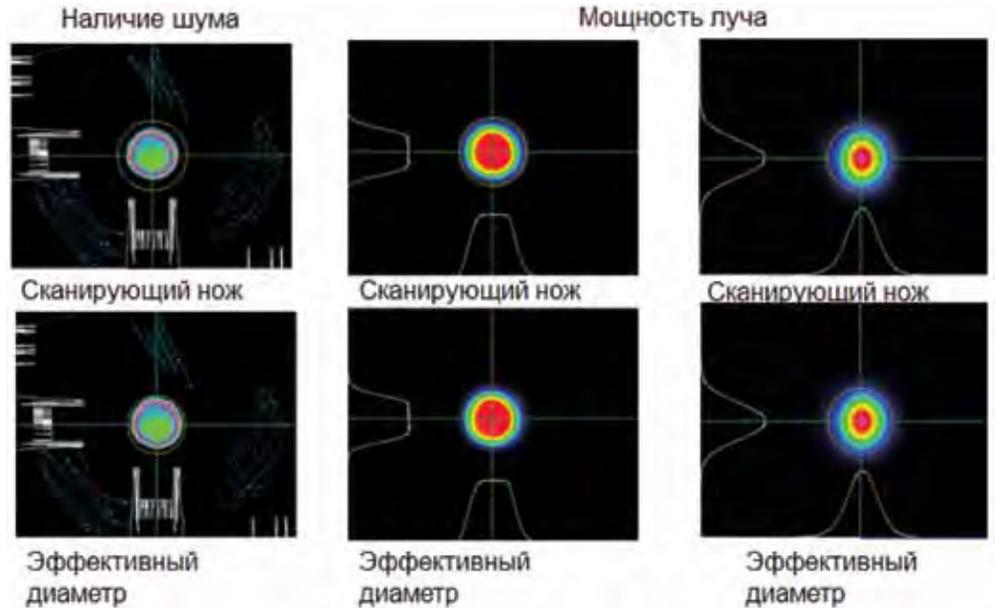


Рис. 1. Расчет диаметра разными методами в зависимости от ситуации

с программным обеспечением, поставляемым производителем. Взаимодействие с данным программным обеспечением осуществляется через удаленный доступ по протоколу TCP/IP. Поставляемое программное обеспечение играет роль сервера, в задачу которого входит расчет параметров пучка и выдача этих параметров клиенту при поступлении от последнего специализированных команд, которые описаны в документации, поставляемой с оборудованием.

При взаимодействии с поставляемым ПО отсутствует возможность получения профиля пучка в режиме реального времени. Этот недостаток был устранен путем отправки со стороны клиента команды на сохранение текущего профиля в виде файла.

Второй вариант решения поставленной задачи заключается во взаимодействии с оборудованием напрямую, исключая взаимодействие с программным обеспечением, поставляемым разработчиком. Необходимо было выбрать библиотеку по захвату изображения. Мной была выбрана библиотека OpenCV. Необходимо было предусмотреть алгоритмы расчета параметров лазерного пучка.

Для расчета расходимости целесообразно предоставить возможность оценки ширины пучка по критериям, которые наилучшим образом (с точки зрения разработчика и пользователя) отражают назначение лазера.

Предлагаемые критерии:

- по интенсивности: плоский угол при вершине конуса вращения вокруг оптической оси, средняя сила излучения (энергии или мощности) на образующих которого составляет заданный уровень от максимальной силы излучения в данном пучке. По интенсивности  $0,5$  или  $1/e^2=0,135$ ;
- по энергии: плоский угол при вершине конуса вращения вокруг оптической оси, в пределах которого распространяется заданная доля излучения (энергии или мощности) от полного излучения пучка. По энергии  $0,5$  или  $1-1/e^2=0,865$ ;
- на основе вторых моментов (двух дисперсий и одного смешанного момента) распределения силы излучения (энергии или мощности) в пучке.

Для расчета диаметра пучка целесообразно было предоставить следующие методы:

- D4 sigma width (метод четырех сигм);
- Knife Edge (метод сканирующего ножа);

- Effective Diameter (метод эффективного диаметра или метод D86);

- Gaussian Diameter (расчет диаметра на основе распределения Гаусса);
- Slit Diameter (метод щели).

Предоставление такого количества методов объясняется преимуществом одних методов над другими в зависимости от профиля пучка.

Методы D4 sigma и метод сканирующего ножа чувствительны к шуму фона детектора излучения, тогда как метод D86 – нет.

Расчет ширины пучка методом сканирующего ножа может оказаться полезным, поскольку методы D4sigma и D86 зависят от мощности излучения, которая, в свою очередь, зависит от формы луча, тогда как расчет ширины пучка методом сканирующего ножа оперирует общей мощностью, а следовательно, не зависит от формы луча, данные выводы подтверждают изображения профиля пучка, представленные на рисунке 1.

В результате были разработаны драйверы управления устройством, изучены и запрограммированы алгоритмы расчета основных параметров лазерного излучения

На основании выполненной работы сделаны следующие выводы:

- в СФОИ в каждый из каналов входит по несколько модулей измерителей пространственных характеристик пучка и модулей измерителей мощности и энергии. Алгоритм работы у этих модулей одинаков. Интеграционная платформа TANGO позволила создать один класс, в которой был заложен алгоритм работы модуля, а затем созданы множество устройств данного класса. Все они будут работать по одному алгоритму. Данный подход необходим при разработке и тестировании большого количества устройств, так как алгоритм работы модуля многократно редактировался. При этом менялся только один код – код класса. Сами устройства модуля не изменялись;

- для расчета пространственных характеристик пучка были изучены и запрограммированы алгоритмы расчета. Приведены рекомендации по использованию тех или иных методов расчета в зависимости от формы пучка или наличия шума;

- реализованы драйверы управления, осуществляющие агрегирование измеряемых параметров ЛИ, а также программную настройку рассматриваемого оборудования.

# Исследование и совершенствование процесса конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) изделий, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ в производстве АО «ОКБМ Африкантов»

**К.В. Комиссаров, А.А. Большаков**  
АО «ОКБМ Африкантов»

Организация процесса сквозного проектирования изделий возможна только при наличии единой среды конструкторско-технологического проектирования, отсутствие которой приводит к разрыву процессов проектирования и изготовления, ошибкам в производстве, срывам сроков выполнения заказов и несоответствующему современным требованиям качеству проектов. Основным направлением развития производственной базы предприятий атомной отрасли является использование современного оборудования с ЧПУ, а выпускаемая продукция должны обеспечивать высочайший уровень надежности, безопасности и конкурентоспособности. В машиностроительном секторе атомной отрасли намечается тенденция расширения рамок применения систем 3D-моделирования – теперь становится правилом использовать их не только на этапах эскизного, технического проектов, но и на стадиях рабочего проектирования, технологической подготовки и производства. Продиктовано это тем, что электронные модели изделий по сравнению с плоской 2D-документацией более информативны и структурированы, их использование при разработке технологической документации приведет к повышению уровня автоматизации и сокращению числа ошибок при проектировании, накоплению опыта и формированию базы правильных технологических решений. Потребность в расширении рамок использования электронных моделей изделия (ЭМИ) диктует необходимость интеграции систем 3D-проектирования с системами разработки технологической документации (АСУ КТПП). Далее на примере исследуемого машиностроительного предприятия (АО «ОКБМ Африкантов»), специализирующегося на изготовлении оборудования реакторных установок, подробно рассматриваются результаты проекта, в рамках которого была реализована возможность расширенного использования ЭМИ в процессе конструкторско-технологической подготовки производства.

## АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ

Разработка рабочей конструкторской документации (РКД) осуществляется в рамках единого интегрированного информационного пространства предприятия, построенного на основе автоматизированной системы управления данными об изделиях, управления электронными архивами технической документации и ведения документооборота предприятия Search, и базируется на связке

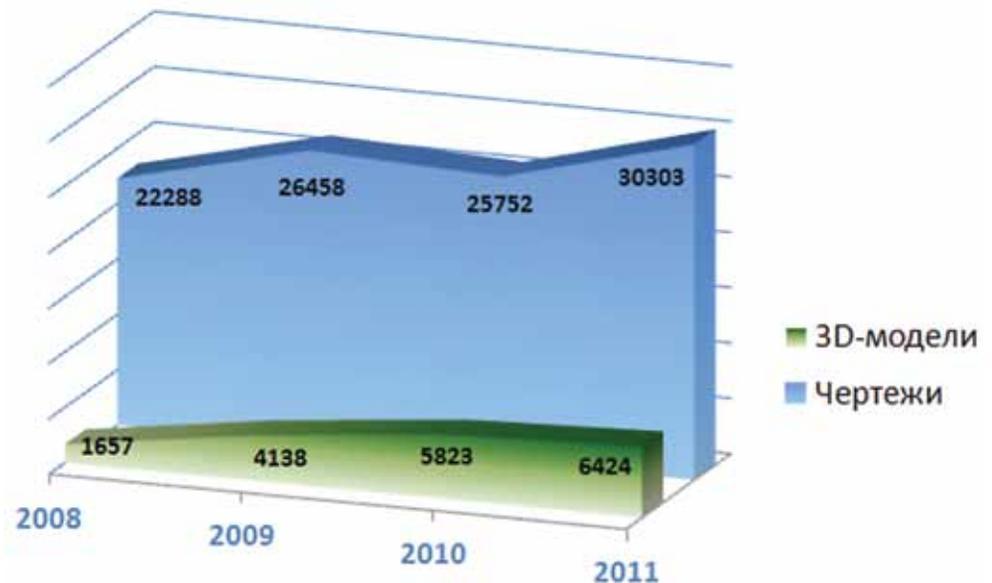


Рис. 1. Текущее соотношение ЭМИ к РКД

программных продуктов AutoCad\Cadmech\AVS\lmbase, что позволяет связать разрабатываемые документы, относящиеся к одному изделию, в единую структуру, основанную на спецификации, содержащей практически всю документацию и информацию об изделиях.

Системы 3D проектирования\моделирования (NX, Autodesk Inventor) применяются на стадиях эскизного и технического проектов преимущественно в компоновочных подразделениях. Разрабатываемые ЭМИ регистрируются в системе Search. На стадии разработки РКД и в процессе подготовке ЭМИ, необходимых для изготовления изделий на оборудовании с ЧПУ системы 3D проектирования\моделирования применяются недостаточно эффективно. Это приводит к тому, что технологическая служба обеспечена конструкторскими ЭМИ на 15-20% от всего объема обрабатываемых на технологическом оборудовании с ЧПУ изделий.

Таким образом, основой рабочего проектирования, которое в свою очередь является источником данных для технологической подготовки производства, остается 2D конструкторская документация, внедрение технологий 3D проектирования\моделирования не приводит к изменениям сложившегося подхода и устраивает большую часть сотрудников конструкторских отделов, в первую очередь вследствие накопленной базы 2D-прототипов. Кроме того, используемые системы 2D-проектирования позволяют оформлять РКД в соответствии с ЕСКД и содержат инструменты, повышающие производительность труда.

В то же время следует учитывать фактор модернизации производственной базы

предприятия, в результате которой доля универсального оборудования к высокопроизводительному и дорогостоящему оборудованию с ЧПУ постоянно снижается (текущее соотношение 3/7). Дефицит конструкторских ЭМИ не позволяет максимально эффективно использовать приобретаемое оборудование, а их наличие (в требуемых количествах), в свою очередь, позволяет повысить качество и сократить продолжительность разработки/корректировки управляющих программ, увеличить номенклатуру изготавливаемых изделий, повысить производительность оборудования и сократить цикл конструкторско-технологической подготовки производства.

Это, в свою очередь, требует смены парадигмы проектирования РКД на предприятии, основным источником данных для которой должна стать ЭМИ.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основным недостатком сложившегося на предприятии подхода, который описан выше, в большинстве случаев является несоответствие чертежа и ЭМИ, разработка которых ведется в разных CAD-системах (Autodesk AutoCad и NX соответственно). При этом ЭМИ и чертеж не связаны друг с другом, что приводит к взаимным несоответствиям в процессе согласования РКД, на этапе технологической подготовки производства изделия, что увеличивает риски производственных потерь и брака.

Причина заключается в нерациональном процессе проектирования, в соответствии с которым конструктор разрабатывает ЭМИ



Рис. 2. Концепция использования конструкторской ЭМИ

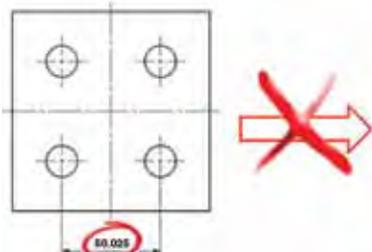


Рис. 3. Создание ЭМИ по чертежу, созданному в AutoCAD



Рис. 4. Разработка РКД по ассоциативной технологии с использованием Cadmesh UG

после разработки РКД. Отсутствие критериев, по которым можно было бы однозначно определить потребность в ЭМИ на начальной стадии проектирования, также не способствует своевременной разработке ЭМИ.

Критическим следствием этого являются ситуации, в которых конструктор не успевает разработать ЭМИ и вынужден реагировать на обращение инженеров-технологов уже на стадии технологической подготовки производства, а в случаях, когда по причине загрузки конструктора новыми задачами разработка ЭМИ в требуемые производством сроки (как правило, очень сжатые) невозможна, приходится отдавать разработку ЭМИ самим технологам, что в принципе недопустимо. В связи с этим технологи, отвечающие за программирование оборудования с ЧПУ, вынуждены работать с неактуальной ЭМИ, что приводит к ошибкам в геометрии деталей на этапе их изготовления, снижению качества изготавливаемой продукции и увеличению материальных затрат. Во избежание подобных ситуаций инженер-технолог вынужден самостоятельно разрабатывать ЭМИ. Часто разработка происходит в сжатые сроки из-за высокой загрузки. Так, например, время разработки управляющей программы на изделие, геометрия которых содержит поверхности двойной кривизны, может достигать 7 человеко-дней, а необходимость разработки конструкторской ЭМИ дополнительно увеличивает это время. При этом за ошибки в разработанной ЭМИ (например, несоответствие РКД) и, как следствие, некорректные управляющие программы, приведшие к браку, отвечает технолог.

По итогам анализа, проведенного специалистами ИТ-службы предприятия совместно с конструкторскими и технологическими подраз-

делениями, руководством предприятия было принято решение о разработке РКД на все изделия, изготавливаемые на оборудовании с ЧПУ на базе ЭМИ по ассоциативной технологии в системе трехмерного проектирования NX. Для того чтобы конструктор мог самостоятельно на начальных этапах проектирования определить потребность в ЭМИ, следует разработать технологические критерии оценки необходимости в конструкторской ЭМИ для изготовления изделия.

**ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЯТОГО РЕШЕНИЯ (ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП)**

На данном этапе для повышения уровня владения конструкторов системой трехмерного проектирования NX ИТ-службой предприятия введен информационный портал поддержки пользователей по программному обеспечению CAD\CAM\CAPP\PDM – Портал САПР, представляющий собой базу знаний по вышеперечисленным системам с интерактивными пользовательскими инструкциями и видеоматериалами, методиками работы и техниками выполнения узкоспециализированных задач, а также площадку для пользовательского общения.

Разработан базовый курс обучения пользователей методам трехмерного проектирования в системе NX, раскрывающий основные моменты работы в системе NX в модулях «Моделирование» и «Сборка» и регулярно прово-

дятся тренинг-семинары специалистов подразделений предприятия.

Для устранения пробела, связанного с отсутствием обучающих материалов по созданию ассоциативных чертежей в модуле «Черчение» системы NX, разработана инструкция по созданию чертежей, соответствующих требованиям ЕСКД, в системе трехмерного моделирования NX. Инструкция распространяется на специалистов предприятия, разрабатывающих конструкторскую документацию в электронном виде с использованием программных продуктов NX и функционала Cadmesh UG. В ней раскрываются аспекты, связанные с созданием ассоциативного чертежа с момента создания чертежа по мастер-модели до регистрации в PDM-системе Search.

Практическое изучение инструкции основано на разработанном курсе обучения – «Ассоциативные чертежи», предназначена для обучения инструментарию по созданию и оформлению чертежей посредством ассоциативной технологии с 3D моделью детали или сборки в модуле «Черчение» системы трехмерного проектирования NX 8, в кото-

ром подробно излагаются приемы работы в модуле «Черчение», описанные в инструкции. В процессе обучения отрабатываются основные приемы работы по созданию ассоциативных чертежей, такие как создание и редактирование видов, сечений, нанесение размеров, оформление чертежей на сборку. Также рассматривается функционал Cadmesh UG, который упрощает оформление чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД. Для практической отработки навыков при выполнении заданий разработаны трехмерные детали – примеры.

Для глубины понимания процессов проектирования, согласования и утверждения РКД сотрудник ИТ-подразделения был направлен на производственную практику в конструкторское подразделение, в ходе которой были разработаны и сданы заказчику шесть чертежей, созданных по ассоциативной технологии. Практика подтвердила наличие проблемных мест в процессе проектирования РКД, в частности, был отмечен факт, что время на разработку и согласование РКД составляет 2 недели и 1,5 месяца соответственно.

В итоге выявленные факторы, такие как несоответствие РКД и ЭМИ, нерациональный процесс проектирования, длительный процесс согласования, послужили предпосылкой для запуска на предприятии проекта в рамках внедрения производственной системы Росатома (ПСР), инициаторами которого стали специ-

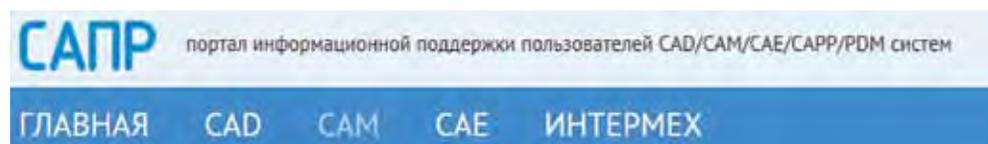


Рис. 5. Портал САПР

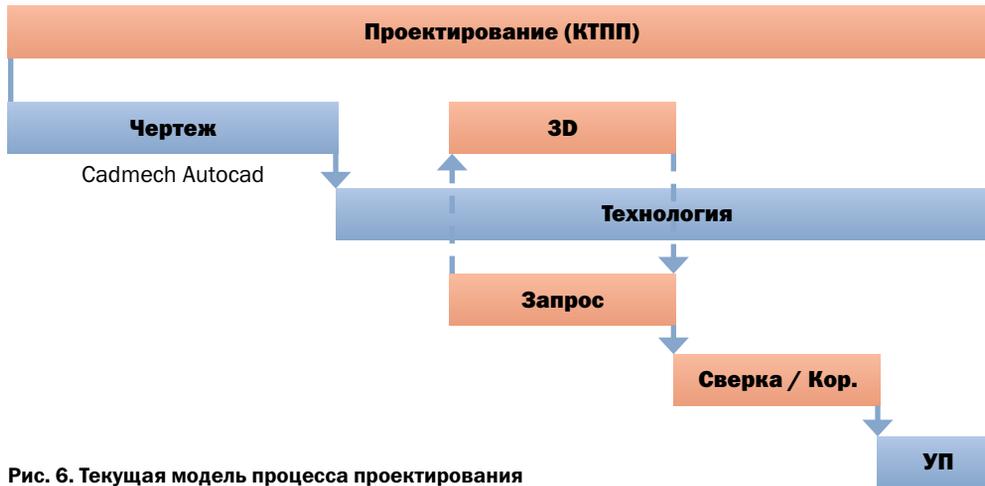


Рис. 6. Текущая модель процесса проектирования

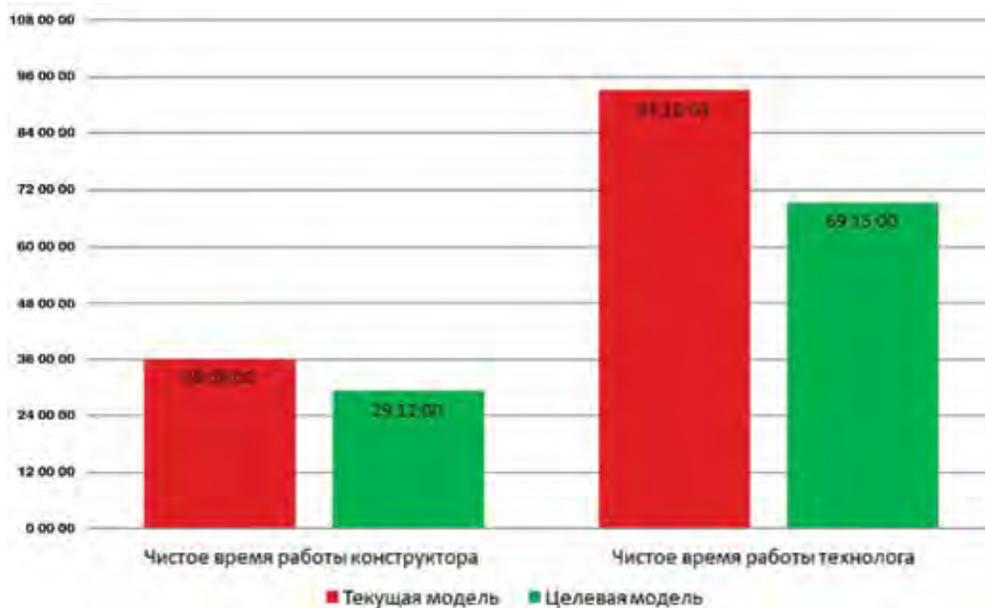


Рис. 7. Сравнение чистого времени работы конструктора и технолога по текущей и целевой модели

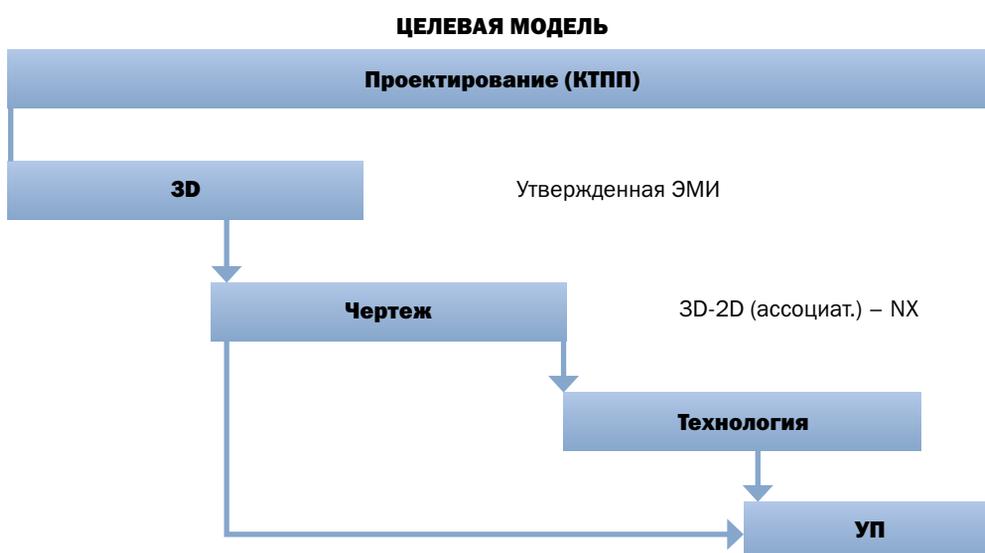


Рис. 8. Целевая модель процесса проектирования

До внедрения	После внедрения
— Несоответствие РКД и ЭМИ	✓ Актуальные РКД и ЭМИ
— Высокая трудоемкость подготовки управляющих программ	✓ Снижение трудоемкости подготовки управляющих программ
— Нерациональный процесс проектирования	✓ Рациональная последовательность этапов проектирования
— Ошибки на этапе изготовления изделий	✓ Сокращение ошибок на этапе изготовления

Рис. 9. Результаты внедрения ПСР проекта

алисты ИТ-службы предприятия под общим руководством заместителя директора по ИТ.

В ходе своей реализации, проект ПСР «Исследование и совершенствование процесса конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) изделий» должен изменить сложившуюся на предприятии парадигму проектирования РКД.

Одной из задач, решаемых в рамках проекта, является построение процесса проектирования таким образом, чтобы конструктор разрабатывал ЭМИ на начальном этапе проектирования. Далее в процессе разработки РКД конструкторская ЭМИ выступает в роли мастер-модели для создания связанного ассоциативного чертежа.

На основании анализа проблем, связанных с длительным процессом согласования РКД, предложен ряд решений, предполагающий снижение временных затрат на 30%.

В рамках реализации проекта ПСР приказом директора введена в действие временная инструкция по взаимодействию подразделений АО «ОКБМ Африкантов» при сквозном проектировании в системах NX, Cadmech UG. Инструкция определяет классификацию, статус и требования к электронным документам, разрабатываемым в системах NX и Cadmech UG, описывает процессы взаимодействия подразделений в ходе разработки, согласования, утверждения, хранения и изменения электронных моделей изделий, включая взаимосвязанные ассоциативные чертежи. Вводится классификация изделий, проектируемых конструкторскими подразделениями АО «ОКБМ Африкантов». Классификация необходима на начальном этапе планирования работ в соответствии с разработанными и утвержденными технологическими критериями оценки необходимости разработки конструкторских 3D моделей, а также в зависимости от маршрута изготовления и технологического оборудования двух типов.

Технологическим подразделением разработаны технологические критерии оценки необходимости разработки конструкторских 3D моделей. Примером таких критериев являются: сложная геометрическая форма, такая как поверхность двойной кривизны, высокая точность, большое количество отверстий. На основании этих критериев конструктор самостоятельно на начальном этапе проектирования может определить изделия, для которых потребуется разработка ЭМИ.

Тиражирование результатов проекта на предприятии позволит увеличить качество изготавливаемой продукции при одновременном снижении временных затрат на разработку и согласование РКД. Разработка конструкторами трехмерных моделей и использование их в качестве мастер-моделей для ассоциативных чертежей позволит сократить ошибки на этапе изготовления. Это достигается за счет того, что РКД и трехмерная модель изделия взаимно актуальны на всех этапах проектирования и изготовления изделия. Снижение трудоемкости подготовки УП обуславливается тем, что технолог использует трехмерную модель, разработанную конструктором. Благодаря рациональной последовательности проектирования и возможности коллективной работы над изделием, подразумевающей распределение работы внутри конструкторского подразделения, в значительной степени сокращается время разработки РКД конструкторским подразделением. Отдел ОТК при проверке готового изделия с помощью КИМ также использует конструкторскую трехмерную модель.

# Исследование технологии изготовления многослойных керамических плат из отечественных материалов по LTCC-технологии

**Д.Е. Орехов, М.П. Гладышева**  
**ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»**

Технология изготовления многослойных керамических плат (МКП) методом низкотемпературного совместного обжига (Low Temperature Co fire Ceramic – LTCC) является в настоящее время одним из самых перспективных направлений в области создания СВЧ техники и используется в различных отраслях промышленности на протяжении многих лет.

Применяемый в данной технологии комплект материалов (сырая керамическая лента, проводниковые, резистивные и диэлектрические пасты) обеспечивает совместный обжиг спрессованных слоев МКП при температуре не выше 900°C. В отличие от высокотемпературного обжига это дает возможность использования проводниковых паст на основе благородных металлов с высокой электропроводностью, что, в свою очередь, существенно улучшает параметры СВЧ устройств. Получение многослойных структур, в отличие от традиционно используемых одноуровневых микроплат на подложках из поликора с микрополосковыми линиями, позволяет размещать пассивные элементы устройства (линии связи, экранные области, резисторы, конденсаторы и др.) не в

одной плоскости платы, а в ее объеме. Это позволяет получать совершенно новые функции устройств, не менее чем на порядок улучшить компактность СВЧ узлов, поднять их надежность и стойкость к внешним воздействующим факторам. Таким образом, технология LTCC позволяет создавать компактные высокоинтегрированные радиоэлектронные устройства в одном цикле изготовления. Широкий диапазон рабочих частот МКП позволяет размещать на одной плате планарную антенну, СВЧ приемопередающий модуль и НЧ схемы аналоговой и цифровой обработки сигнала.

Целью настоящей работы является исследование операций изготовления МКП по LTCC-технологии с использованием отечественных материалов и нового современного оборудования.

## ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТ ПО ТЕХНОЛОГИИ LTCC

МКП представляет собой пакет слоев (возможно до 40 слоев) из сырой керамической пленки с нанесенными на каждый из них проводниковыми, резистивными и диэлектрическими рисунками. Нанесение рисунков

выполняется методом трафаретной печати. Электрические соединения между слоями осуществляются через переходные отверстия, заполняемые проводниковой пастой. После прессования при низкотемпературном обжиге пакета происходит одновременное вжигание паст и образование монолитной многослойной структуры. После монтажа навесных компонентов методами пайки, сварки, приклеивания получают функционально законченный электронный модуль. Пример типовой структуры многослойного электронного модуля, изготовленного по технологии LTCC, представлен на рис. 1.

До настоящего времени обработку технологии изготовления МКП проводили, используя комплект материалов фирмы DuPont (США), который состоит из керамической пленки марки Green Tape™ 951 с диэлектрической проницаемостью 7,8 и системы проводниковых паст на основе серебра и золота.

В институте создан специализированный производственный участок по изготовлению многослойных керамических LTCC-плат, оснащенный современным технологическим оборудованием, позволяющим выполнять следующие процессы автоматизированным способом (рис. 2):

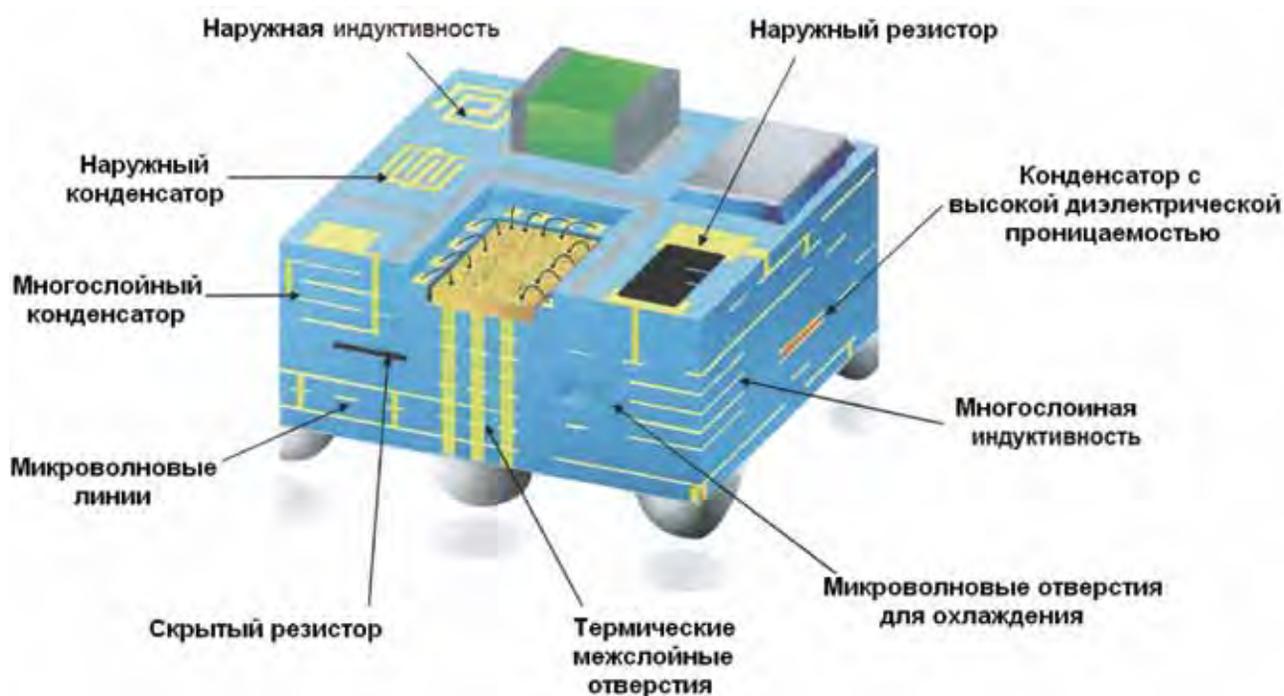


Рис. 1. Типовая структура многослойного электронного модуля, изготовленного по технологии LTCC

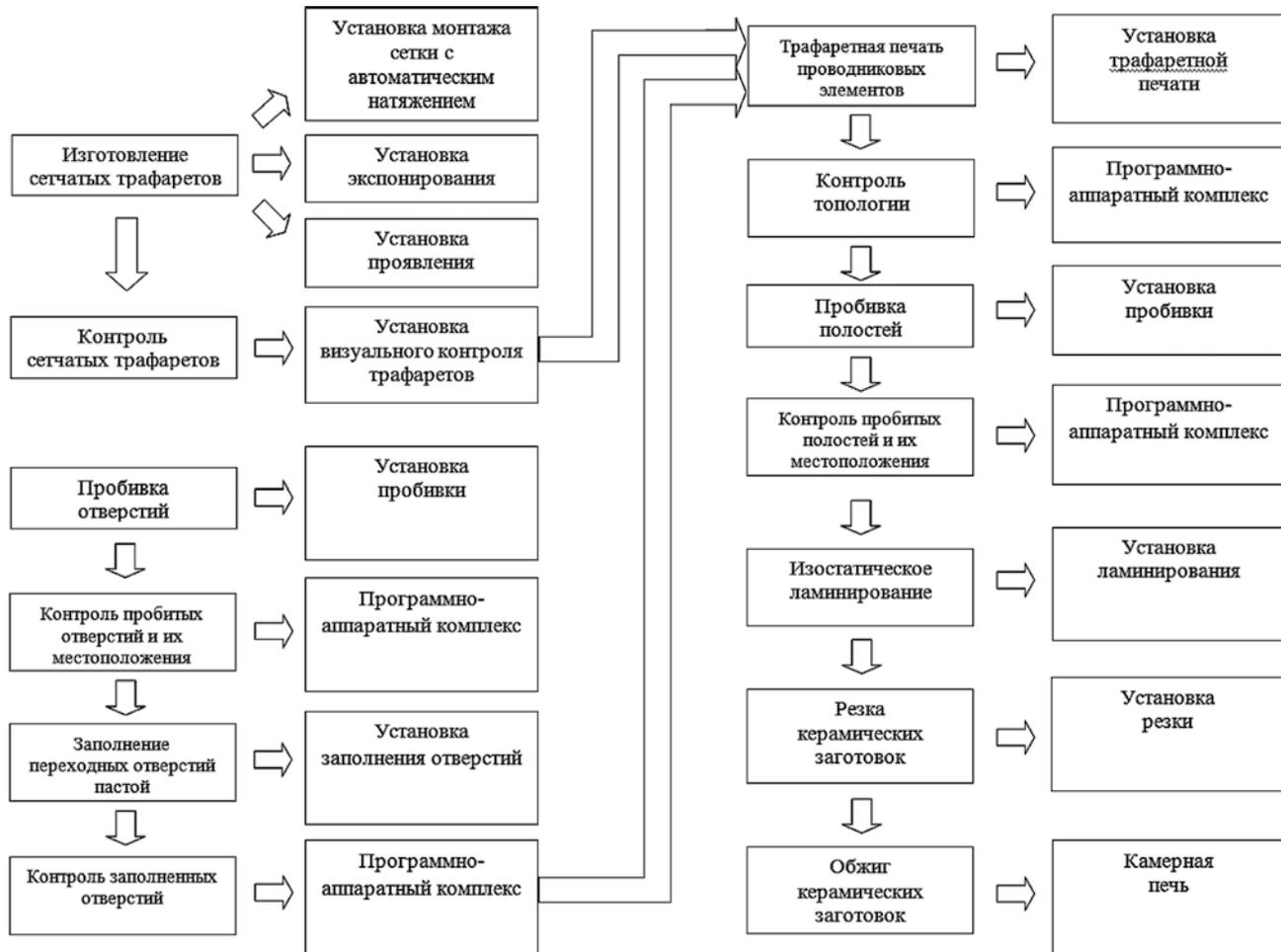


Рис. 2. Маршрут и применяемое оборудование для изготовления многослойных керамических плат по технологии LTCC в НИИС

- изготовление сетчатых трафаретов;
- пробивка отверстий и полостей;
- заполнение переходных отверстий пастой;
- трафаретная печать проводниковых элементов;
- контроль качества отверстий, топологии проводников и резистивных элементов;
- изостатическое ламинирование;
- резка керамических заготовок;
- обжиг керамических заготовок.

В ходе отработки технологии и изготовления образцов с применением материалов импортного производства и использованием имеющегося оборудования к настоящему времени в институте получены следующие основные конструкторско-технологические параметры изготавливаемых МКП:

- максимальные габаритные размеры – 70x70 мм;
- минимальные габаритные размеры – 3x3 мм;
- максимальная рабочая частота – 20 ГГц;
- количество слоев – до 14;
- минимальный диаметр переходного отверстия – 200 мкм;
- минимальные ширина проводник/зазор – 150/150 мкм;
- допустимое отклонение размеров элементов –  $\pm 25$  мкм;
- неплоскостность – не более 50 мкм;
- материалы проводников и КП под пайку – серебросодержащие пасты;
- материалы КП под сварку – золотосодержащие пасты;
- расположение резисторов – на наружном слое МКП;

- удельное поверхностное сопротивление резистивной пасты – 50 Ом/кв.;
- диапазон рабочих температур – от минус 60 до плюс 125°C.

Учитывая высокую коммутационную способность МКП, в ряде случаев весьма эффективно объединение СВЧ устройств и устройств цифровой обработки сигнала на единой керамической плате. Внешний вид некоторых изготавливаемых в институте МКП приведен на рис. 3.

В настоящее время в институте ведутся работы по освоению системы материалов отечественного производства. Стеклокерамический материал марки СКМ выпускает предприятие АО «НПП «Исток» (г. Фрязино Московской области), а проводниковые пасты – ООО «НПП «ДЕЛЬТА-ПАСТЫ» (г. Москва).

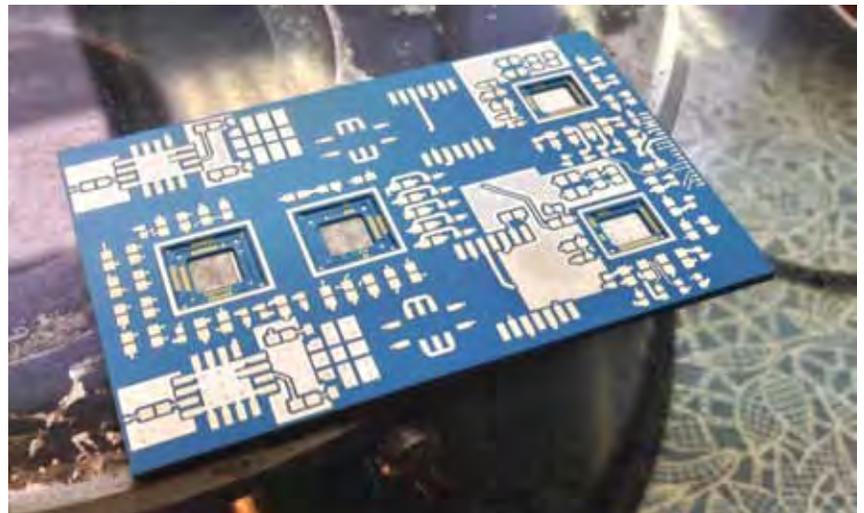
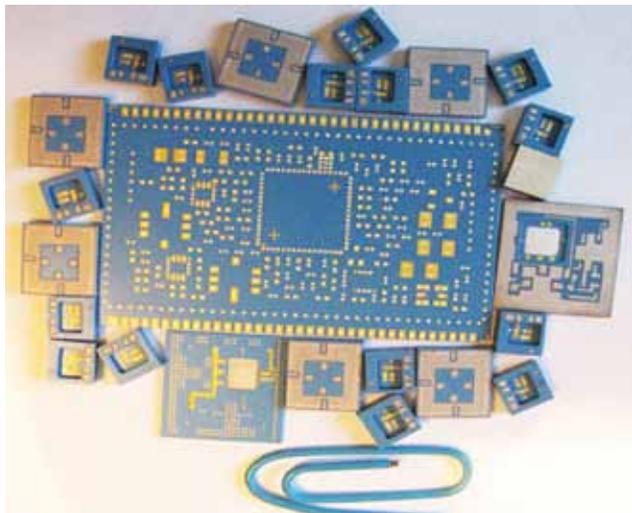


Рис. 3. Внешний вид изготавливаемых многослойных керамических плат

В таблице 1 приведены основные свойства стеклокерамического материала СКМ в сравнении с керамикой Green Tape™ 951 [2-4].

Из сопоставления свойств видно, что керамика СКМ не уступает керамике Green Tape 951 по основным диэлектрическим характеристикам  $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$  и  $\rho V$ , но имеет существенно меньшую механическую прочность. Наибольшие опасения вызывает важнейший технологический параметр – усадка. Из таблицы 1 видим, что в отличие от импортной керамики усадка СКМ имеет приемлемый разброс внутри одной партии, но существенно меняется в разных партиях материала. Это накладывает дополнительные важные требования к производству:

- комплект фотошаблонов и программ пробивки отверстий, полостей должен быть жестко привязан к партии керамики СКМ и учитывать фактическое значение усадки;

- категорически недопустимо смешение в одном изделии листов керамики СКМ из разных партий.

В конечном счете это означает, что в производстве изготовителя материалов и его потребителя должны соблюдаться и контролироваться повышенные требования к обеспечению прослеживаемости.

Разработанные типы паст и их основные параметры в сравнении с пастами производства фирмы DuPont (США) приведены в таблице 2.

По своим электрическим свойствам отечественные пасты не уступают пастам фирмы DuPont. Однако, по результатам апробирования одной партии отечественной пасты ПП-111 для заполнения переходных отверстий нам так и не удалось получить заполнение

отверстий без мениска. Видимо, это связано с различиями в технологических свойствах паст (вязкость, содержание связки и др.). Необходима дополнительная работа с несколькими партиями паст и, возможно, совершенствование технологических свойств пасты ПП-111.

Для проведения исследований была разработана тестовая плата, состоящая из четырех керамических слоев. На плате выполнена полость размером 4x5 мм и глубиной в два слоя, во втором слое выполнены КП для монтажа элемента методом сварки. Топология первого слоя представляет собой набор различных проводниковых элементов (прямые и «ломаные» проводники, встречно-штыревые структуры, катушки с круглой и квадратной формой витков). В последующих слоях расположены прямые проводники и земляная сетка.

В настоящее время проводятся исследования по адаптации ранее разработанных режимов отдельных операций применительно к новым материалам отечественного производства. В ходе исследований обнаружили сложности в работе с данными материалами. Не удается заполнить отверстия пастой без мениска. После изготовления тестовой платы отметили, что неплоскостность полученных образцов превышает 50 мкм, что больше допустимого. При контроле электропараметров отметили отсутствие электрических цепей. Возможно, что режим обжига требует дополнительной обработки.

Также специалистами предприятия – изготовителя керамики, а потом и нами, отмечено, что при изготовлении МКП из керамики СКМ с использованием указанных выше паст при обжиге на поверхности платы образуется

стекло, которое перед проведением монтажно-сборочных операций необходимо удалять в агрессивных травителях.

В ходе проведенных работ отработана технология сварки золотой проволоки диаметром 20 мкм на КП тестовой платы на основе пасты ПП-151. Сварные соединения имеют величину усилия отрыва 1,5-2 гс, характер разрушения – по переходу. В дальнейшем рекомендуется продолжить исследование технологии монтажа золотой проволоки диаметром 50 мкм методом контактной микросварки и алюминиевой проволоки диаметром 30 мкм методом ультразвуковой сварки на КП на основе пасты ПП-151.

В настоящее время проводятся исследования по отработке режимов пайки на отечественных материалах. Получены положительные результаты по выбору оптимальной комбинации материалов припой-флюс, обеспечивающих удовлетворительное качество лужения паяемого покрытия на основе пасты ПП-141 тестовой платы. Такими материалами являются: припой ПСрОСЗ-58, флюс ФКТ. Установлено, что предварительно очищенное от стекла серебряное паяемое покрытие, выполненное пастой ПП-141, сохраняет удовлетворительную паяемость в течение 3 месяцев.

Результаты проведенных работ показали высокую эффективность технологии ЛТСС для создания интегрированных конструкций приемопередающих СВЧ-устройств и устройств цифровой обработки для специальной бортовой аппаратуры.

Для уверенной замены импортных материалов необходимо улучшение свойств отечественной керамики и пасты для заполнения отверстий, а также дополнительная отработка режимов обжига.

Таблица 1. Свойства стеклокерамики СКМ в сравнении с керамикой Green Tape™ 951

Параметр	Тип керамики	
	СКМ	Green Tape 951
Толщина пленки, мкм	100±10 150±15 250±20	951PT 114±18 951P2 165±18 951PX 254±18
Диэлектрическая постоянная, $\epsilon$	(6,8-7,0) на 20 ГГц	7,8 на 10 ГГц
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	0,0015 на 20 ГГц	0,0015 на 10 ГГц
Объемное удельное электрическое сопротивление при 100 V, Ом•см	$1 \times 10^{12}$	$1 \times 10^{12}$
Напряжение пробоя, кВ/мм	$\geq 10$	> 40
Усадка (X,Y), %	(8-13) ± 0,3	12,7 ± 0,3
Плотность, $\rho V$ , г/см <sup>3</sup>	2,8	3,1
Кривизна поверхности, мкм/см	20	< 20
Механическая прочность при статическом изгибе, МПа	200	320
ТКЛР, $\times 10^{-6} \text{м}/^\circ\text{C}$	5,0-7,0	5,8

Таблица 2. Свойства проводниковых паст производства ООО «НПП «ДЕЛЬТА-ПАСТЫ» (г. Москва) в сравнении с пастами производства фирмы DuPont (США)

Назначение паст	Состав	Удельное поверхностное сопротивление пленки, мОм/кв., (мОм/отв.)	
		Пасты ООО «НПП «ДЕЛЬТА-ПАСТЫ» (г. Москва)	Пасты фирмы DuPont (США)
Отверстия межслойных переходов	Ag	(5)	(6)
Внутренние проводники	Ag	4,5	< 5
Внутренние экраны	Ag	4,5	< 6
Наружные проводники под термокомпрессию	Au	5	< 6
Наружные проводники под пайку низкотемпературными припоями (Au-Sn)	Au	5	-
Наружные проводники под пайку высокотемпературными припоями	Ag/Pd	40	< 50

# Измеритель концентрации урана гамма-абсорбциометрический СГА

**И.Р. Мухамеджанов, Д.С. Солонин**  
ФГУП «ПО «Маяк»

Качественные и количественные показатели технологических процессов при экстракционной переработке отработанного ядерного топлива (ОЯТ) главным образом зависят от точности установления и поддержания абсолютных значений и соотношений потоков растворов (исходного, органического, промывочных и т. д.) в зависимости от состава исходного раствора ОЯТ, производительности экстракционных аппаратов, степени очистки и допустимых потерь ценных компонентов.

В связи с этим одной из ключевых задач при ведении технологического процесса на радиохимическом производстве является определение концентрации тяжелых элементов в органических и неорганических технологических растворах. Контроль необходимо вести непрерывно с высокой точностью.

Погружные измерители концентрации, основанные на гамма-абсорбциометрическом методе, являются основным средством контроля хода технологических процессов на радиохимических производствах.

Эти приборы обеспечивают непрерывный круглосуточный контроль массовой концентрации тяжелых элементов, прежде всего урана и плутония, в технологических растворах.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Гамма-абсорбция – физический процесс ослабления гамма-излучения при пропускании через исследуемый объем вещества.

Таким образом, гамма-абсорбциометрический метод основан на измерении степени ослабления гамма-излучения источника датчика контролируемым элементом в растворе.

В рассматриваемых приборах используются источники мягкого гамма-излучения с энергией 60 кэВ ( $\text{Am}^{241}$ ). Период полураспада изотопа  $\text{Am}^{241}$  433 года и нет необходимости учитывать его при эксплуатации приборов.

При энергии 60 кэВ основным видом взаимодействия гамма-излучения с веществом является фотоэффект. В этом случае поглощение излучения пропорционально  $Z^5$ , где  $Z$  – порядковый номер (заряд ядра) подвергаемого воздействию излучения элемента в таблице Д.И. Менделеева. Таким образом, измерители концентрации обеспечивают высокую избирательность контроля тяжелых элементов, таких как уран и плутоний, так как мешающие контролю элементы имеют в два и более раз меньшее значение  $Z$ . В этом заключается основное преимущество гамма-абсорбциометрического метода контроля массовой концентрации тяжелых элементов.

До настоящего времени применялся аналитический контроль (с отбором проб) и технологический контроль приборами типа ГАС. Данным методам присущи серьезные недостатки, такие как необходимость отбора пробы и периодичность (для аналитического контроля) и сложность прибора ГАС (кинема-

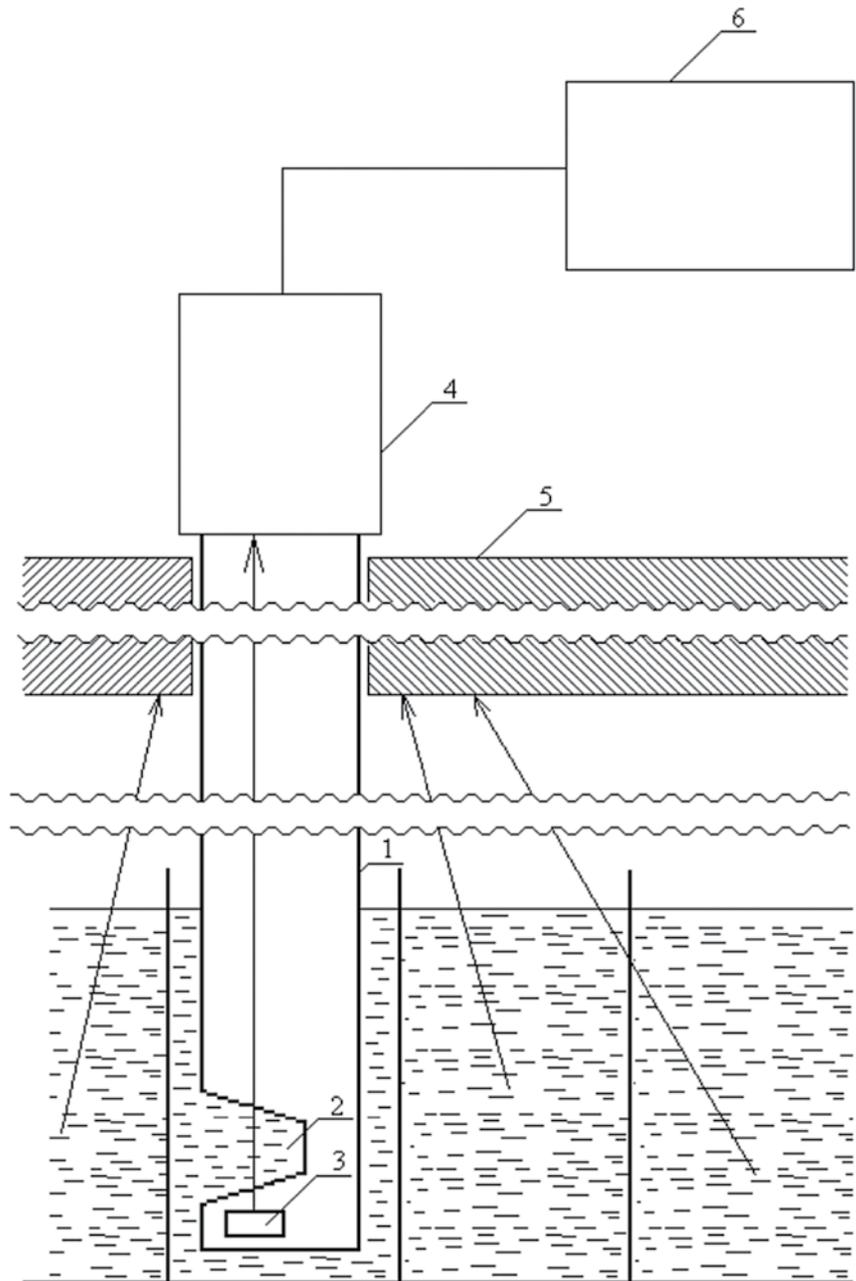


Рис. 1. Построение измерителя СГА

тический узел, вторичная аппаратура, два радионуклидных источника).

На ФГУП «ПО «Маяк» в ОКБ КИПиА на основе ранее зарегистрированного изобретения «Погружной гамма-абсорбционный зонд» (патент № 2334218, авторы В.М. Сандрацкий, О.Г. Даренских, А.В. Хрушков, М.В. Третьяков) был разработан измеритель концентрации урана СГА нового поколения. Он основан на гамма-абсорбциометрическом методе и предназначен для внутриаппаратного непрерывного измерения массовой концентрации урана в технологических растворах. Прибор СГА отличается простотой конструкции, повышенной надежностью и полным отсутствием сложных механических узлов. СГА прошел полный цикл испытаний на соответствие требованиям современных норм и правил в

области использования атомной энергии, подтверждение метрологических характеристик и был утвержден как тип средства измерения.

Построение измерителя СГА поясняется рисунком 1.

Измеритель содержит погружаемый в аппарат корпус датчика (1) с полостью (2) для прохождения анализируемой жидкости, источник гамма-излучения (3) и спектрометрический детектор гамма-излучения (4), расположенные друг против друга, экран с коллимационным отверстием. Экран представляет собой перекрытие каньона аппарата (5) с отверстием для прохождения корпуса. Снятый спектр обрабатывается устройством (6).

Измеритель работает следующим образом. Излучение источника (3) проходит через полость (2) в корпусе, заполненную анали-

зируемой жидкостью, затем по внутренней полости корпуса и попадает на детектор гамма-излучения (4). Излучение ослабляется анализируемой жидкостью и несет информацию о концентрации контролируемого элемента.

Перекрытие каньона аппарата препятствует прохождению к детектору гамма-излучения анализируемой жидкости практически из всего объема. Доходит только излучение из полости (2) и из тонкого слоя, прилегающего к корпусу, а также отраженное корпусом. Экранирование детектора перекрытием иллюстрируется стрелками на рисунке 1, где показано нахождение измерителя в одной из ячеек аппарата-экстрактора.

Излучение регистрируется детектором в течение заданного времени, после чего гамма-спектр передается на устройство обработки (6). При обработке происходит выделение гамма-квантов источника, рассчитывается их зарегистрированное число и, исходя из времени набора, среднее число регистраций в секунду (интенсивность) N.

Концентрация урана Cu, кг/м<sup>3</sup>, определяется по формуле

$$Cu = K1 \cdot Ln(1/N) + K2, \quad (1)$$

где K1 и K2 – градуировочные коэффициенты.

В качестве детектора гамма-излучения используется спектрометрическое сцинтилляционное устройство детектирования УДС-ГЦ. Это устройство предназначено для регистрации гамма-излучения, накопления зарегистрированной информации в виде статистических распределений по энергии (спектров) и их передачи по интерфейсу RS-485.

Устройством обработки является компьютер, работающий по специально разработанной программе и передающий результаты обработки в компьютерную сеть.

Основные составные части измерителя – датчик СГА-Д и устройство связи и питания УСП-25. В состав датчика СГА-Д входит устройство УДС-ГЦ.

Датчик СГА-Д состоит из трубы (7) из стали 12Х18Н10Т диаметром 42×3 мм с пазом в нижней части. Нижняя и верхняя плоскости паза выполнены под углами 60° и 30° соответственно к горизонтали для смыва осадков с нижней плоскости и предотвращения скопления пузырьков воздуха под верхней плоскостью. В обе плоскости вварены окна (8) из нержавеющей фольги толщиной 0,15 мм для прохождения гамма-излучения источника (9), который размещен под нижней плоскостью паза. Монтажная длина датчика L от 600 до 5000 мм, расстояние между центрами окон (база датчика) l – от 20 до 50 мм.

К верхней части трубы крепятся переходник (6) и корпус (3). Внутри корпуса размещено устройство УДС-ГЦ(4). При монтажной длине датчика СГА-Д от 600 до 1500 мм на дно корпуса устанавливается коллиматор (5).

В верхней части датчика СГА-Д установлены вставка (2) с разъемом (1) для подключения линий связи.

Для уменьшения фоновой составляющей в спектре, регистрируемом УДС-ГЦ, к трубе снизу приваривается стакан (10), заполненный свинцом.

Основные технические характеристики измерителя:

– диапазон измерения массовой концентрации урана в водных растворах от 0 до 120 кг/м<sup>3</sup>;

– пределы допускаемой основной абсолютной погрешности ± 0,05 • (1 + CU/5) кг/

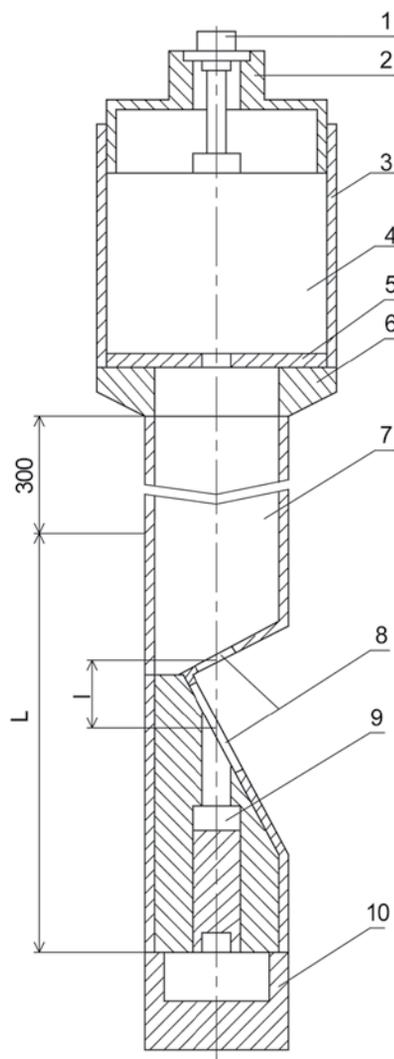


Рис. 2. Устройство датчика СГА-Д

м<sup>3</sup>, где CU – значение массовой концентрации урана, кг/м<sup>3</sup>;

– эксплуатируется при температуре технологических растворов с от 10 до 70°С.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Были проведены испытания измерителя СГА на подтверждение метрологических характеристик, состоящие из двух этапов:

– проведение градуировки измерителя с использованием воды и государственных стандартных образцов раствора урана (ГСО) с метрологическими характеристиками в соответствии с таблицей 1.

– проверка основной абсолютной погрешности измерителя на ГСО после градуировки.

Результаты испытаний приведены в таблице 2. Значения основной абсолютной погрешности на каждом ГСО не превышают допускаемой абсолютной погрешности измерителя.

Таким образом, измеритель концентрации урана гамма-абсорбциометрический СГА представляет собой современный прибор, обладающий высокой точностью контроля и высокой надежностью.

Внедрение измерителя СГА повысит качество контроля и уменьшит радиационное воздействие на персонал.

Таблица 1. Метрологические характеристики ГСО

Индекс	Обозначение ГСО	Аттестованная характеристика	Аттестованное значение, кг/м <sup>3</sup>
1	УР-5	массовая концентрация урана	5,032
2	УР-30		30,38
3	УР-50		50,27
4	УР-100		100,36
5	УР-120		120,61

Таблица 2. Результаты испытаний

C <sub>ГСО</sub> , кг/м <sup>3</sup>	C <sub>измер</sub> , кг/м <sup>3</sup>	ΔC, кг/м <sup>3</sup>	ΔC <sub>допуск</sub> , кг/м <sup>3</sup>
5,032	5,01	- 0,022	± 0,100
30,38	30,47	0,090	± 0,354
50,27	50,20	- 0,070	± 0,553
100,36	100,75	0,390	± 1,054
120,61	120,406	- 0,204	± 1,256

# Применение 3D сканеров для неразрушающего контроля изделий

**А.В. Ермаков**  
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

3D-сканирование применяется в промышленности для обеспечения качества продукции, для измерения геометрических размеров. Преимущественно все промышленные процессы, такие как сборка, являются довольно сложными, они также отличаются высокой степенью автоматизации и обычно основаны на CAD (автоматизированное проектирование данных). Проблема в том, что та же степень автоматизации требуется и для обеспечения качества. Оптимальный уровень производительности гарантируется системами обеспечения качества. В проверке нуждаются различные детали, они должны быть правильных размеров, подходить одна к другой, чтобы обеспечивалась надёжность в эксплуатации. В высокоавтоматизированных процессах результаты геометрических измерений передаются на машины, которые производят соответствующие объекты. Из-за трения и других механических процессов цифровая модель может немного отличаться от реального объекта. Для того, чтобы автоматически фиксировать и оценивать эти отклонения, произведённые детали нужно заново сканировать. Для этого применяются 3D-сканеры, которые создают модель-образец, с которой сравниваются полученные данные. Процесс сравнения 3D-данных и CAD-модели называют CAD-сравнением, и он может быть полезным методом для определения уровня износа пресс-форм и станков, точности окончательной сборки, анализа разрывов, а также объёмной поверхности разобранной детали. В настоящее время лазерные триангуляционные сканеры, устройства, использующие структурированный свет и сканирование контактов, являются ведущими технологиями, которые применяются в промышленных целях. В данной работе исследуется возможность применения переносных комплексов 3D сканирования производства Creaform (Канада) и Artec (Россия) для контроля изделий. Использование 3D сканеров позволяет, не прибегая к ручным замерам, создавать виртуальные 3D модели объектов с практически любым типом поверхности. Комплексы 3D сканирования, Creaform и Artec дают возможность получать информацию о геометрической форме и цвете объекта сканирования.

## ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСОВ 3D СКАНИРОВАНИЯ

Результатом работы 3D сканера является облако точек геометрических образцов на поверхности объекта. В дальнейшем эти точки могут быть экстраполированы для воссоздания формы предмета (процесс, называемый реконструкцией). Если были получены данные о цвете, то и цвет реконструированной поверхности можно определить. Существует несколько технологий получения облака точек. В данной работе рассматриваются комплексы на основе лазера (Creaform) и оптики (Artec). Обе технологии имеют ряд преимуществ и недостатков, которые определяют их область применения.

Лазерный 3D сканер Creaform работает по триангуляционной технологии. Триангуляционные лазерные 3D сканеры относятся к активным сканерам, которые используют лазерный луч для того, чтобы прозондировать объект. Триангуляционные устройства посылают на объект сканирования лазерный луч, а отдельная камера фиксирует расположение точки, на которую попал лазер. В зависимости от того, как далеко лазер продвигается по поверхности, точка появляется в различных местах поля зрения камеры. Эта технология названа триангуляцией потому, что лазерная точка, камера и сам лазерный излучатель образуют своеобразный треугольник. Известна длина одной стороны этого треугольника – расстояние между камерой и лазерным излучателем. Также известен угол лазерного излучателя. А вот угол камеры можно определить по расположению лазерной точки в поле обзора камеры. Эти три показателя полностью определяют форму и размер треугольника и указывают на расположение угла лазерной точки. В большинстве случаев, чтобы ускорить процесс получения данных, вместо лазерной точки пользуются лазерной полосой или перекрестьем. Данные собираются относительно внутренней системы координат и, следовательно, если сканер находится в движении, для получения результатов должно быть точно определено место положения устройства. Это можно сделать с помощью базовых пространственных объектов на сканируемой поверхности (наклеивающиеся отражающие элементы или природные особенности) или же посредством метода внешнего слежения. Сканер Creaform позиционируется по отражающим элементам.

Оптический 3D сканер измеряет расстояние до объекта, используя две (иногда больше)

встроенные камеры и подсветку. На объект проецируются линии, образующие уникальную конфигурацию. Информация о форме поверхности объекта содержится в искажениях формы проецируемого изображения. Преимущество использования оптического сканера перед лазерным заключается в отсутствии необходимости нанесения специальных светоотражающих меток. Также лазерные сканеры не применимы для сканирования подвижных объектов, так как сканирование занимает достаточно продолжительное время.

## АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПО ПОЛУЧЕННЫМ 3D МОДЕЛЯМ ПРИ НАЛИЧИИ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ

Для начала анализа необходимо отсканировать объект или его часть и провести постобработку. На отсканированной детали имеется дефект снаружи корпуса (Рис. 1). Слева изображена модель, созданная с использованием комплекса для 3D сканирования Creaform; справа – с использованием комплекса для 3D сканирования Artec.

Имея эталонную модель, например, разработанную в САПР, можно оценить величину дефектов во всем изделии или в конкретном месте (Рис. 2).

Красным цветом обозначается верхняя граница отклонения (0,5 мм), темно синим – нижняя граница (-0,5 мм). Таким образом, зеленые тона означают наибольшее совпадение эталона с отсканированной моделью. Визуально можно оценить, что для данного вида оптический сканер (справа) показывает более низкие результаты по сравнению с лазерным (слева). ПО позволяет получить численные значения отклонения от эталонной модели в каждой точке и в целом для всего изделия

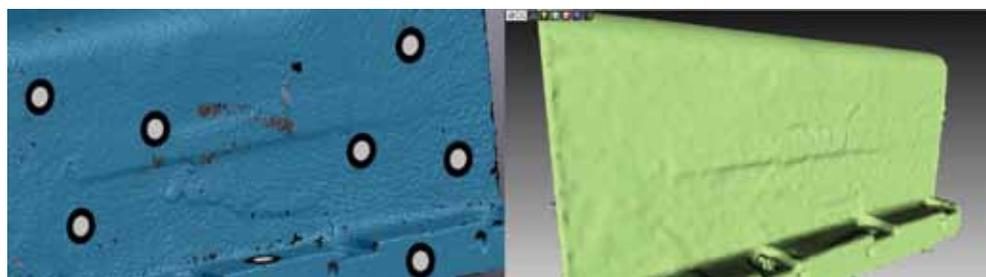


Рис. 1. Дефект корпуса

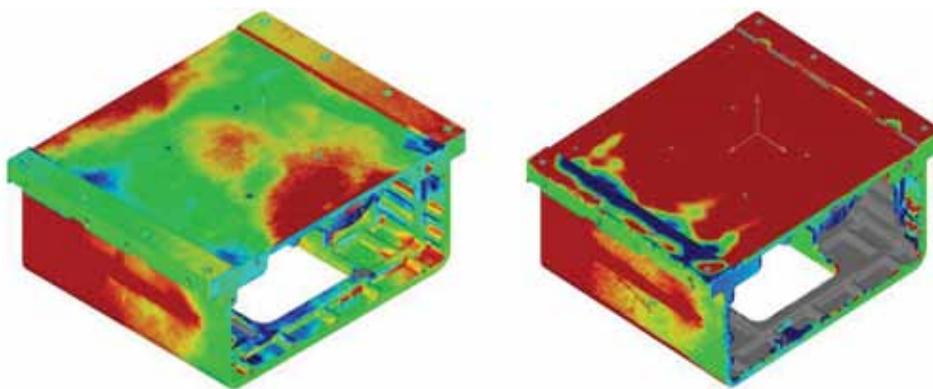
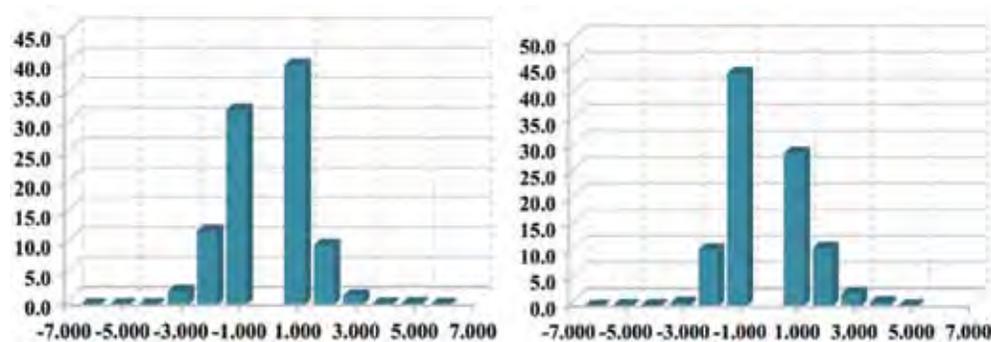


Рис. 2. Сравнение с эталонной моделью

**Таблица 1. Отклонения 3D моделей изделия от эталонной модели**

Распределение (+/-)	Количество точек (лазер)	Количество точек (оптика)	% от общего числа (лазер)	% от общего числа (оптика)
-6* Стандартное отклонение	264	155	0,0312	0,0548
-5* Стандартное отклонение	234	586	0,0276	0,2072
-4* Стандартное отклонение	445	622	0,0526	0,2199
-3* Стандартное отклонение	19954	1798	2,3574	0,6357
-2* Стандартное отклонение	105080	30611	12,4142	10,8221
-1* Стандартное отклонение	276797	125570	32,7010	44,3935
1* Стандартное отклонение	340500	82618	40,2270	29,2084
2* Стандартное отклонение	84875	31374	10,0272	11,0918
3* Стандартное отклонение	13358	6974	1,5781	2,4656
4* Стандартное отклонение	1856	2100	0,2193	0,7424
5* Стандартное отклонение	2286	449	0,2701	0,1587
6* Стандартное отклонение	798	0	0,0943	0,0000



**Рис. 3** Графики стандартных отклонений для лазерного сканера (слева) и для оптического сканера (справа)

(Таблица 1). Точность замеров регулируется настройками ПО и разрешающей способностью сканеров. Максимальная разрешающая способность для лазерного сканера составляет 0,2 мм, для оптического 0,3 мм. Т. к. на точность сканирования не влияет человеческий фактор, то в составе систематической ошибки отсутствует влияние экспериментатора (измерителя) на конечную модель, что приводит к уменьшению полной ошибки.

Графическое представление таблицы 1 представлено на Рис. 3.

Основываясь на результатах, приведенных в Таблице 1, можно сделать вывод, что лазерный сканер обладает большей разрешающей способностью, создает модель на основе большего количества точек (более чем в 3 раза), что приводит к повышению точности построения 3D модели. Количество выпадающих точек в процентном соотношении для лазерного сканера значительно меньше (33,2409 % против 52,7224 % у оптического). Таким образом, модель, построенная с ис-

пользованием оптического сканера, меньше соответствует эталонной, чем с использованием лазерного сканера. Однако, временные затраты на построение модели у оптического сканера ниже из-за особенностей технологии. Оптический сканер позволяет сканировать большую площадь за счет большого фокусного расстояния, что значительно ускоряет процесс сканирования, но понижает точность.

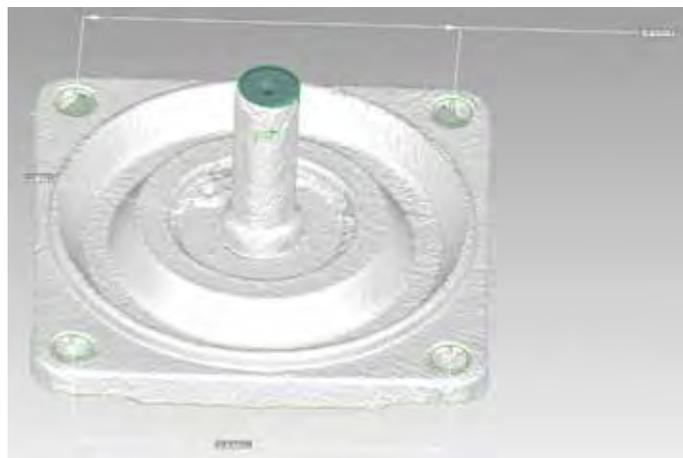
**АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПО ПОЛУЧЕННЫМ 3D МОДЕЛЯМ ПРИ ОТСУТСТВИИ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ**

В ряде случаев необходимо провести анализ объекта сканирования, не имея эталонной модели. В этом случае целесообразно пользоваться инструментами измерения, которые имеются в различных программах, предназначенных для работы с облаками точек. Рассмотрим 3D модель переднего фланца двигателя. Основным размером фланца является расстояние между монтажными отверстиями. С помощью специального ПО мы

имеем возможность замерить данный показатель, а также проверить радиус монтажных отверстий (Рис. 4).

На основе полученных размеров можно сделать вывод, соответствует ли изготовленная деталь заявленным показателям или нет. Имея отсканированную модель, можно получить различные размеры и показатели. Например, диаметр вала двигателя, глубину пазов, их крутизну и радиус (Рис. 4). Это позволяет оценивать правильность изготовления объектов со сложной формой поверхности, с множеством изгибов или с переменной крутизной поверхности.

Применение комплексов 3D сканирования упрощает и ускоряет ручные замеры или замеры с помощью специальных установок. Комплексы для 3D сканирования имеют ограниченную точность, которой в ряде случаев может быть недостаточно для проведения точного анализа. Т. к. сканеры являются переносными устройствами, это позволяет проводить замеры уже установленных и эксплуатирующихся изделий. Полученные модели могут быть отправлены для анализа специалистам. Применение 3D сканеров дает возможность проводить замеры объектов со сложной поверхностью. Возможности ПО для работы с облаками точек позволяют проводить различные замеры для анализа и поиска дефектов. Путем сравнения эталонной модели (например, разработанной в САПР) с отсканированной моделью выявляются отклонения от нормы и их значения. В случае отсутствия эталонной модели эффективным инструментом для поиска дефектов являются различные средства измерения, позволяющие проводить геометрические замеры.



**Рис. 4.** Замеры 3D модели



**Рис. 5.** Значения кривых поверхностей

# Расчетно-экспериментальное обоснование безопасности парогенератора реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 при разгерметизации теплообменных труб

**А.В. Абрамов, Р.Р. Мухаметов,  
М.Ю. Науменко, В.А. Силаев  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ  
им. академика Е.И. Забабахина»**

Одним из наименее исследованных нарушений работы парогенератора (ПГ) реакторной установки (РУ) БРЕСТ является разрыв теплообменной трубы в трубном пучке. Рассматриваемое явление относится к проблеме зависящего отказа, характерной для многоканальных/многотрубных конструкций, находящихся под высоким давлением. Одиночный разрыв канала/трубы в таких системах считается наиболее вероятным инициатором повторных разрушений, то есть, распространения одиночного разрыва во множественный. Для обоснования безопасности работы ПГ необходимо всестороннее изучение развития этого нарушения, так как при множественном разрыве пароводяная смесь может попадать в активную зону РУ.

Целью экспериментально-расчетной работы являлось доказательство невозможности перерастания одиночного разрыва трубы ПГ РУ БРЕСТ во множественный путём моделирования явления в условиях, максимально приближенных к натурным.

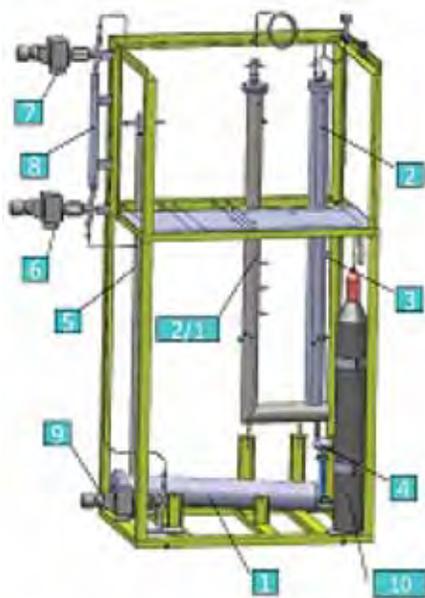
Проведение исследований было разбито на два этапа.

На первом этапе проводились эксперименты, условно названные модельными, их целью являлось:

- изучение теплогидравлических и механических процессов, происходящих при разрыве теплообменной трубы на упрощенной модели парогенератора;
- отработка методов регистрации давления в жидком свинце;
- апробация принятых базовых конструкторских решений;
- отработка методов регистрации деформаций исследуемых трубок, находящихся в жидком свинце;
- создание стабильного дефекта при давлении разрыва 18 25 МПа;
- исследование процессов, происходящих при истечении пароводяной смеси в жидкий свинец.

Второй этап работ – проведение демонстрационных экспериментов с целью доказательства невозможности перерастания одиночного разрыва трубы ПГ РУ БРЕСТ во множественный путём моделирования явления в условиях, приближенных к натурным. Для проведения работ на втором этапе был сконструирован и изготовлен демонстрационный стенд. При этом в конструкции стенда использовались технические решения, апробированные на модельном стенде.

Так же в процессе выполнения работ была поставлена задача по определению предела безопасной эксплуатации трубок ПГ, с целью подтверждения заложенных в РУ проектных запасов. Эти эксперименты заключались в разрушении трубок из специальной стали ОЗХ18Н13С3АМ2ВФБР-Ш (ЭП302М) внутрен-



**Рис. 1.** Схема модельного стенда. 1 – накопитель для слива свинца, 2 – U-образный корпус установки, 3 – датчик уровня свинца, 4 – сливной вентиль, 5 – парогенерирующее устройство, 6, 7 – запорные клапаны для подачи пара, 8 – «буферный» объем, 9 – аварийный клапан для сброса давления в парогенерирующем устройстве, 10 – баллон с аргоном

ним давлением при различных температурах (включая аварийные температуры, превышающие температуру эксплуатации) с ослабленным и номинальным поперечным сечением.

При организации работ большое внимание было уделено предварительному численному моделированию поведения как модельного, так и демонстрационного стендов при динамическом и статическом нагружении, обеспечению требуемых нормативными документами запасов прочности для сосудов высокого давления и несущих элементов конструкции на этапе проектирования. Численное моделирование использовалось также для доказательства достаточности выбранных объемов измерений в экспериментах и выявления наиболее опасных ситуаций, которые могут возникнуть при эксплуатации стендов (например, броски свинца при разрыве трубки).

## МОДЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Для отработки технических решений была создана модельная установка (стенд) с зоной исследований высотой 1500 мм и диаметром 100 мм. Модельный стенд представляет собой упрощенную модель ПГ РУ БРЕСТ.

В состав стенда, общий вид которого представлен на рис. 1, входят:

- корпус, заполняемый свинцовым теплоносителем, в котором устанавливаются один или два макета теплообменной трубы (в зависимости от этапа модельного эксперимента). U-образное устройство корпуса с цилиндрическим и эллиптическим сечениями рабочих зон позволило задавать требуемый уровень свинцового теплоносителя и проводить рентгенографическую съемку процессов истечения пароводяной смеси из разрыва трубки в жидкий свинец;

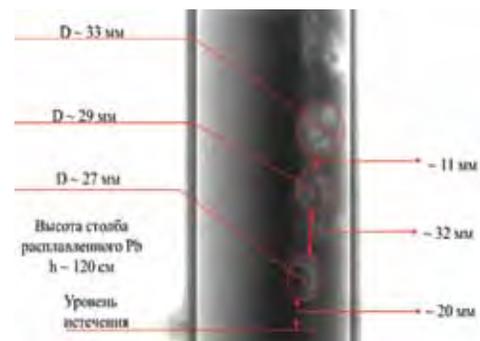


- устройство для подготовки воды/пара, а также устройство для дозированной подачи пара в исследуемую трубку, представляющие собой сосуды высокого давления. Использование ресивера в составе стенда было обусловлено невозможностью закупки быстродействующих отсечных клапанов, а необходимость ограничения подачи пароводяной смеси, для обеспечения безопасности проведения экспериментов, была показана численным моделированием;

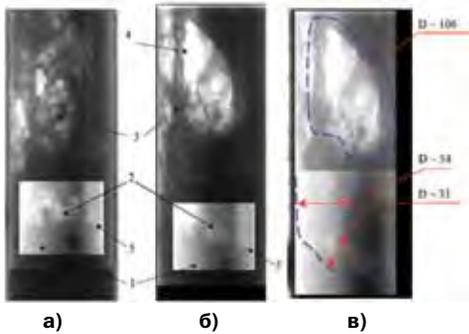
- газовая система для заполнения корпуса стенда расплавленным свинцом и задания в нем перепада уровней;

- накопитель, предназначенный для плавления свинца и его аварийного слива из корпуса.

При работах с модельным стендом имелась возможность получения рентгеновских снимков истечения пароводяной смеси из разрыва трубки в различные моменты времени (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Рентгенограммы барботаж пароводяных пузырей при давлении в трубке  $P=0,2$  МПа



**Рис. 3. Типичные рентгенограммы экспериментов на струйное «факельное» истечение (диаметр отверстия  $\phi=1$  мм). а) при давлении в трубке  $P_{тр} = 3,6$  МПа,  $t_{рег} = 3$  с, б) при давлении в трубке  $P_{тр} = 3,0$  МПа,  $t_{рег} = 5$  с, в) цифровая обработка снимка**

На рентгеновских изображениях 3 (а) и 3 (б) в зоне (1) зафиксировано струйное «факельное» истечение пара (2) через отверстие в свинцовый теплоноситель. При истечении происходит образование полостей и каверн пара (3) в свинце с неупорядоченной геометрией поверхностей их раздела по всему корпусу стэнда. Далее происходит образование большого пароводяного пузыря (4), который вытесняет часть свинца вверх корпуса стэнда по принципу поршня. На рентгенограммах визуальна различима граница пар/свинец, уровень которой практически совпадает с отверстием в трубке (5), откуда происходит истечение.

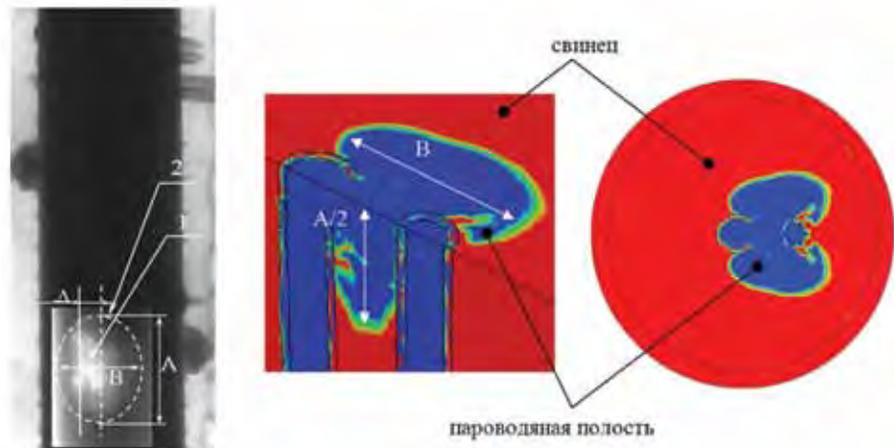
Разрываемая трубка должна обеспечивать стабильное получение дефекта площадью не менее двух проходных сечений трубки  $18 \times 2,5$  мм при давлении 18-25 МПа.

Расчетами были получены характерные геометрические параметры «Н образного» концентратора, при которых разрушение трубки из стали 12X18H10T при температуре  $500^\circ\text{C}$  ожидается при давлении 18-25 МПа. При этом зарождение трещины начинается в центре продольного концентратора и распространяется в обе стороны по образующей трубе, и только после этого происходит срез по кольцевым концентраторам. Параметры концентратора определялись численным моделированием и обрабатывались экспериментально (рис. 4). Первые эксперименты на модельном стэнде показали, что раскрытие дефекта при температуре  $500^\circ\text{C}$  в воздухе и свинце происходит по разному. В свинце дефект раскрывается на требуемую величину, но не до конца.

С учетом влияния свинца на раскрытие дефекта в расчетных моделях была получена окончательная геометрия наносимого дефекта



**Рис. 4. Раскрытие дефекта в свинце и на воздухе. Эксперимент и расчет,  $t=500^\circ\text{C}$**



**Рис. 5. Рентгенограмма раскрытия дефекта и развития пароводяной полости, полученное расчетом**

на трубку (рис. 4), которая позволила дефекту в свинце раскрываться полностью.

В экспериментах на модельном стэнде с использованием рентгенографической установки была оценена динамика открытия дефекта в различных режимах и первоначальная динамика развития пароводяного пузыря.

Параметры пароводяной полости «А» и «В», полученные в эксперименте, практически совпадают с результатами, полученными в расчете (рис. 5).

Выбранная геометрия концентраторов была применена в экспериментах на модельном и демонстрационном стэндах.

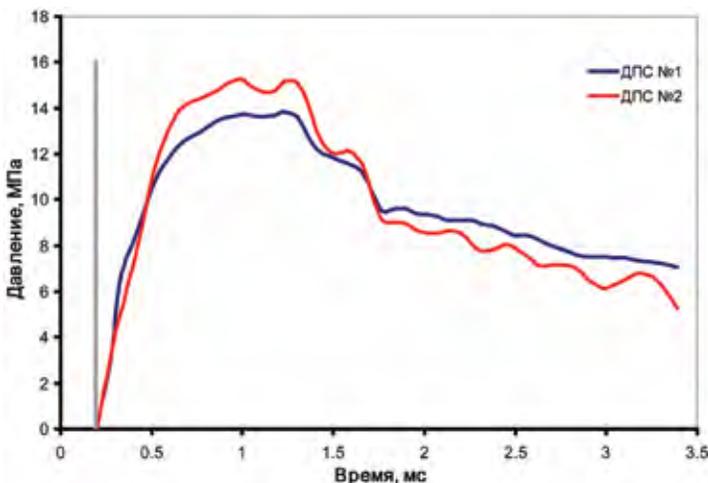
На модельном стэнде были проведены эксперименты по раскрытию дефекта, в которых отработывались методики регистрации давления в свинце в зоне разрыва трубки (рис. 6) и регистрации возникающих деформаций исследуемой трубки при ее динамическом нагружении (рис. 7).

Давление, зарегистрированное датчиками ДПС, было получено равным 13-15 МПа (погрешность измерений  $\pm 8\%$ ), что меньше давления разрыва трубки 18,3 МПа (погрешность измерений  $\pm 0,5\%$ ). Данный факт хорошо согласуется с проведенными расчетами.

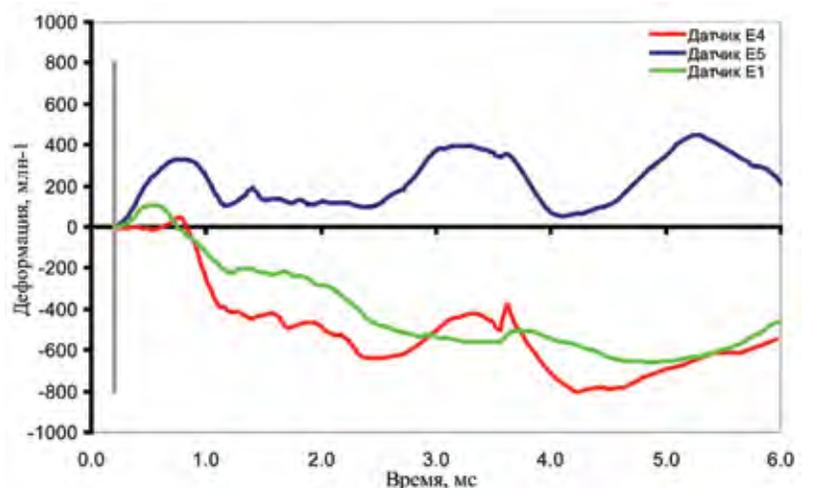
Как видно из рис. 7, деформация трубок, вызванная разрушением дефекта при давлении 18,3 МПа, не превышает по абсолютной величине  $800 \text{ млн}^{-1}$  (погрешность измерений  $\pm 1\%$ ) и лежит в упругой области деформирования материала исследуемой трубки ( $900 \text{ млн}^{-1}$  – соответствует пределу текучести стали 12X18H10T при температуре  $500^\circ\text{C}$ ).

**ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД**

Для проведения демонстрационных экспериментов в условиях, максимально приближенных к натурным, был разработан исследовательский стэнд, в котором закрепле-



**Рис. 6. Изменение динамического давления в свинце при разрыве трубки давлением 18,3 МПа**



**Рис. 7. Деформации, зарегистрированные датчиками по высоте исследуемой трубки при разрыве дефекта**

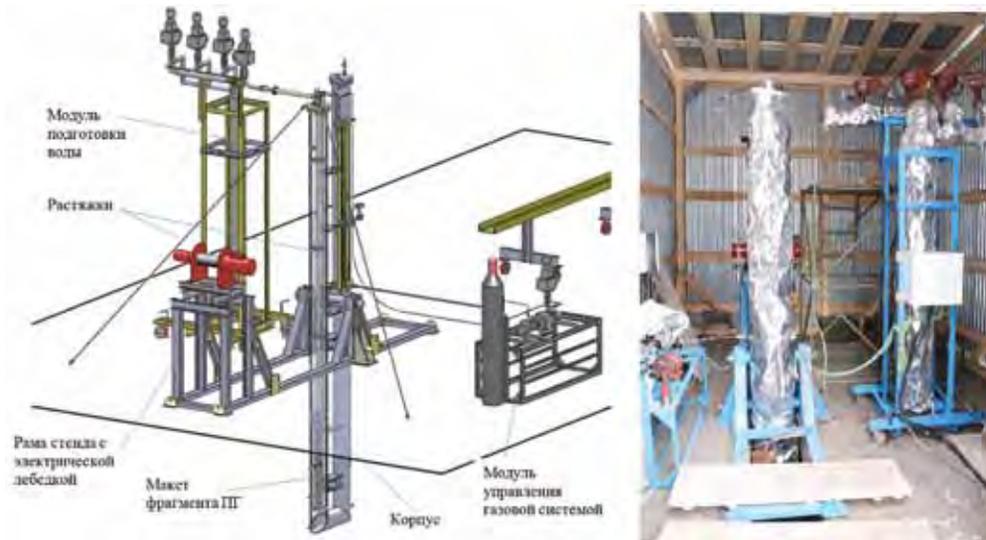


Рис. 8. Общий вид демонстрационного стенда

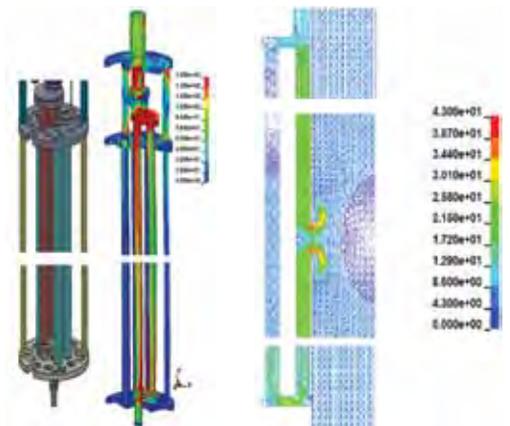


Рис. 9. Трубная секция и ее напряженно-деформированное состояние, МПа

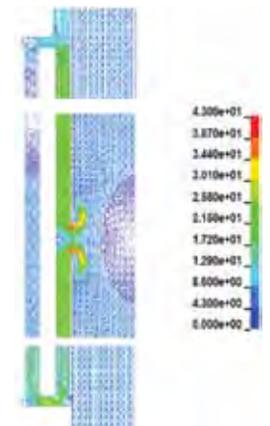


Рис. 10. Распределение векторов скоростей пароводяной смеси при истечении из дефекта в свинце при 500°C, мм/мс

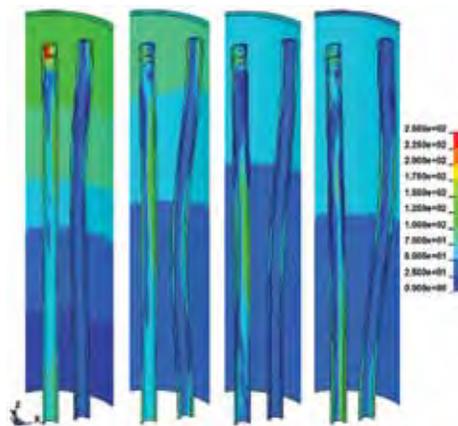


Рис. 11. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в элементах трубной секции в различные моменты времени, МПа

ние исследуемых труб осуществляется с двух концов (как это имеет место в конструкции ПГ), расстояние между опорными решетками труб составляло 900 мм, одно закрепление типа «заделка», другое – типа «втулка», место разрыва теплообменной трубы находится на расстоянии 450 мм от «заделки» исследуемых труб, при этом высота уровня свинца над зоной разрыва может находиться в диапазоне от 2000 мм до 3500 мм.

Демонстрационный стенд представляет собой упрощенную модель ПГ РУ БРЕСТ. Общий вид стенда представлен на рис. 8. В состав стенда входят:

- корпус, заполняемый свинцовым теплоносителем, в котором устанавливается макет фрагмента теплообменных труб, моделирующей трубы ПГ РУ БРЕСТ;
- модуль подготовки воды/пара;
- газовая система для поднятия уровня расплавленного свинца в рабочее положение, в состав которой входит баллон с аргоном, клапаны для закачки аргона и соединения газового объема корпуса с атмосферой.

Расположение исследуемых трубок и сменной разрывной трубки соответствует трубному пучку ПГ РУ БРЕСТ (рис. 9). Трубная секция выполнена таким образом, что исключает пере-

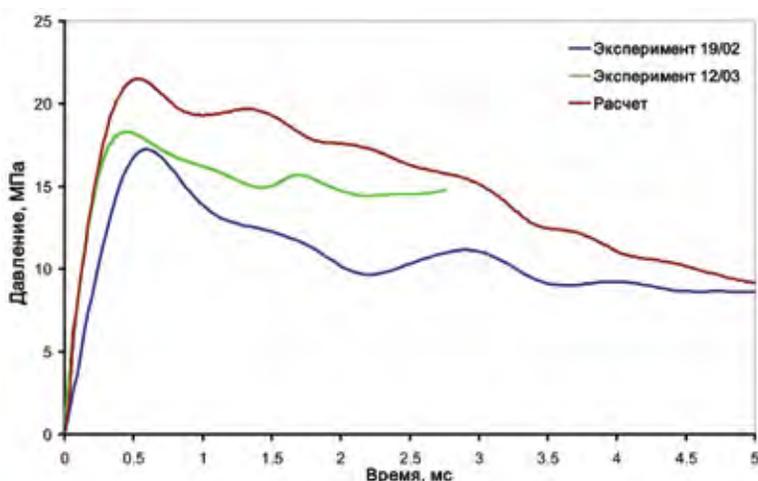


Рис. 12. Изменение давлений во времени в рабочей зоне демонстрационного стенда, полученных в экспериментах и расчетом, МПа

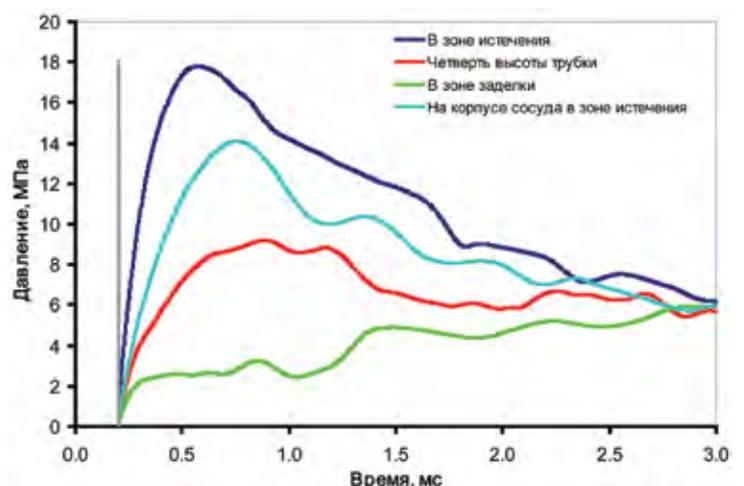


Рис. 13. Изменение давлений во времени на поверхности исследуемой трубки и на корпусе стенда, МПа

дачу усилия от разбрасываемого свинца на пароподводящую магистраль, предотвращая тем самым её потерю устойчивости.

Разрывная и одна из исследуемых трубок объединены в петлю для обеспечения подвода пароводяной смеси к разрыву с двух сторон (рис. 10).

U-образное устройство корпуса с возможностью его поворота в горизонтальное положение, а также конструкция трубной секции (рис. 9), позволяют менять разрываемую трубку, не дожидаясь полного охлаждения исследуемой зоны.

В исходном состоянии оба колена корпуса были частично заполнены расплавленным свинцом. Перед испытаниями уровень свинца в рабочем колене поднимался до контрольной отметки за счет повышения давления аргона в технологическом колене. После этого в трубку с дефектом через трубопроводы с системой клапанов подавалась пароводяная смесь под давлением до 250 кгс/см<sup>2</sup> (25 МПа) при температуре примерно 350°C, что приводило к раскрытию дефекта, сопровождавшегося возникновением динамической нагрузки на исследуемой трубной секции, деформации которой измерялись с использованием высокотемпературных тензорезисторов, а давление в свинце с помощью датчиков ДПС.

Предварительными расчетами было показано, что исследуемая трубка, находящаяся перед зоной разрыва, будет наиболее нагруженной. Изменение напряжений в этой трубке во времени показано на рис. 11, перемещения исследуемой трубки увеличены в 20 раз.

Проведенные расчеты и экспериментальные исследования (рис. 12) для демонстрационного стенда показали, что:

- амплитудное значение давления в свинцовом теплоносителе рабочей зоны меньше, чем давление разрыва теплообменной трубки;
- максимальное давление в рабочей зоне после разрыва зависит от давления в разрываемой трубке и практически не зависит от положения свободных поверхностей свинца над точкой разрыва (массы свинца, находящейся над и за зоной истечения);
- темп нарастания давления зависит от давления в разрываемой трубке.

В расчетах было получено изменение давления по длине исследуемой трубки. Вдали от зоны разрыва давление растет медленно, что демонстрируют кривые действующих давлений по поверхности исследуемой трубки (рис. 13).

Из анализа НДС исследуемых трубок в различных сечениях по высоте был сделан вывод, что датчики на исследуемой трубке нужно установить в зоне заделки, в зоне исте-

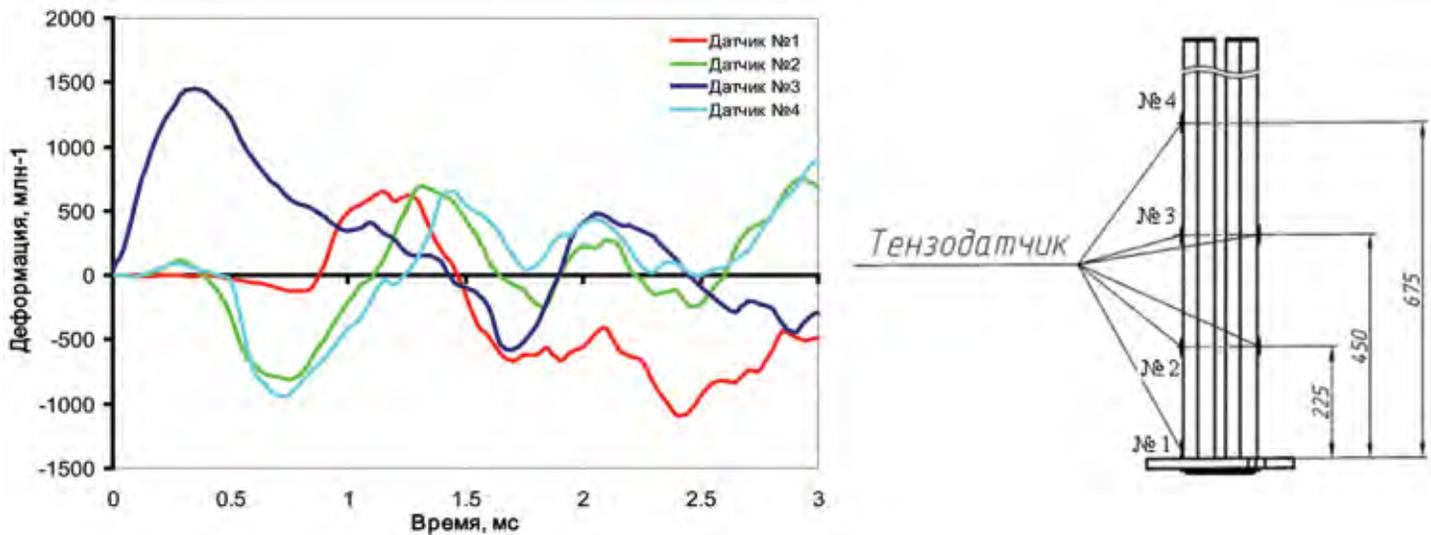


Рис. 14. Деформации (млн<sup>-1</sup>) по длине трубки, зарегистрированные в одном из опытов и схема расстановки датчиков по высоте исследуемой трубки

чения пароводяной смеси, на четверти высоты трубки выше и ниже зоны истечения (рис. 14).

Расчетами было показано, что в экспериментах необходимо измерять осевую деформацию, так как она является основной компонентой (рис. 15).

Проведенные на демонстрационном стенде эксперименты подтвердили результаты предварительного численного моделирования. На рис. 14 показано изменение деформаций, зарегистрированное в эксперименте, трубки, находящейся перед зоной разрыва. Как видно из рис. 14, максимальная зарегистрированная деформация трубки, вызванная раскрытием дефекта при давлении 24 МПа, не превышает по абсолютной величине 1500 млн<sup>-1</sup> и лежит в упругой области деформирования материала исследуемой трубки (1700 млн<sup>-1</sup> – соответствует пределу текучести стали ЭП302М при температуре 500°С). Соседние трубки деформируются значительно меньше, что подтверждают результаты экспериментов (рис. 16, давление раскрытия дефекта 24,5 МПа).

При проведении экспериментов на демонстрационном стенде и численного моделирования в эйлеровой постановке получены нагрузки и деформации исследуемых трубок пучка при раскрытии дефекта и истечения пароводяной смеси в жидкий свинец. Деформации теплообменных трубок пучка лежат в упругой области деформирования материала.

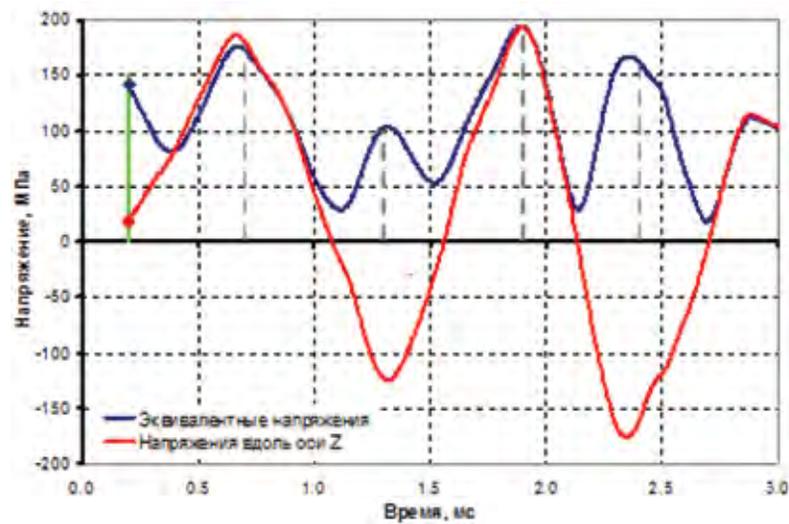


Рис. 15. Изменение эквивалентных напряжений и осевых напряжений  $\sigma_z$  вдоль оси Z с «подветренной» стороны исследуемой трубки, МПа

Наиболее нагруженной является трубка, находящаяся напротив зоны разрыва.

Полученные результаты экспериментальных исследований процессов, происходящих при разгерметизации теплообменной трубки в среде расплавленного свинца, позволили сделать заключение о невозможности перерастания одиночного разрыва трубки парогенератора РУ БРЕСТ во множественный.

Таким образом, в результате проведенных работ:

- доказана невозможность перерастания одиночного разрыва трубки ПГ во множественный разрыв трубного пучка;
- определена несущая способность трубок ПГ;
- освоены методы измерения деформаций и давлений при высоких температурах в жидкометаллической среде.

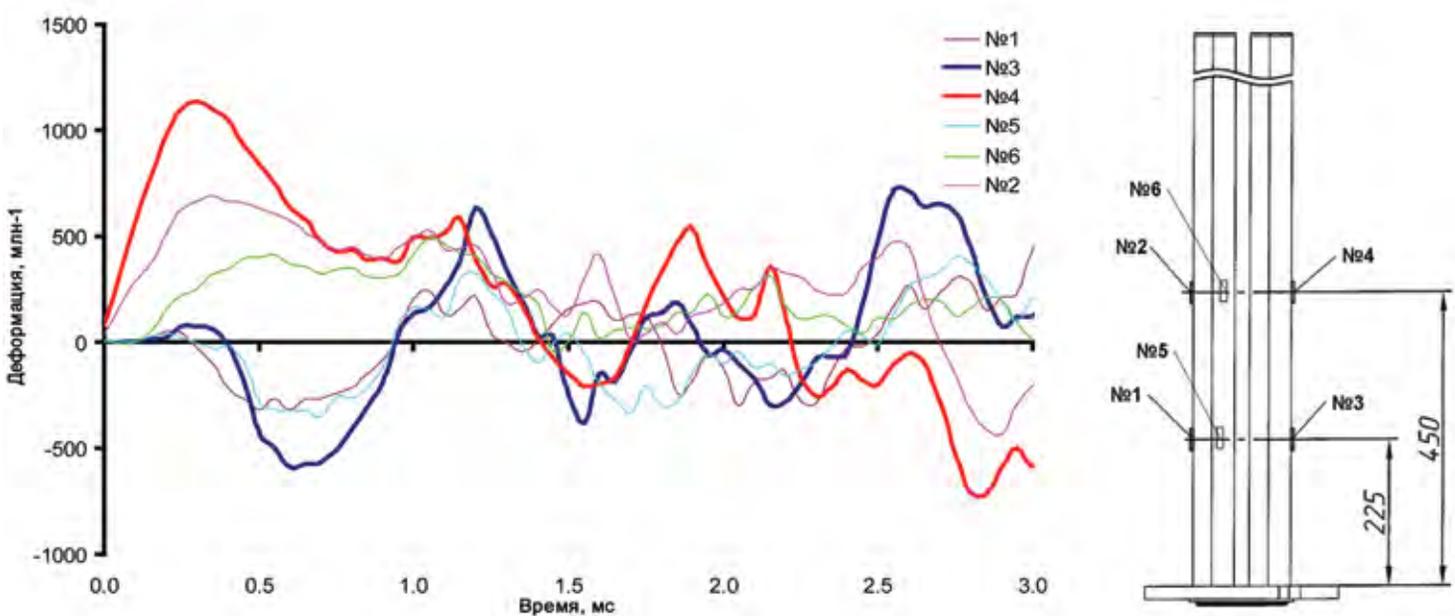


Рис. 16. Деформации (млн<sup>-1</sup>) по длине исследуемых трубок, зарегистрированные в опыте и схема расстановки датчиков

# Обеспечение безопасности ЯРУ при транспортировании АПЛ III поколения на самопогружном судне-транспортировщике

**А.В. Агеев, В.Л. Доронков, И.Н. Онищук  
АО «ОКБМ Африкантов»**

Протоколом №704/5/3/1081 от 04.09.2013 г. и Протоколом технического совещания №714/2/257 от 01.11.2013 г., подписанными всеми заинтересованными организациями и утвержденными начальником кораблестроения и вооружения, было предусмотрено транспортирование АПЛ «Братск», «Самара», «Челябинск» на судах-транспортировщиках компании «Dockwise» из основного пункта базирования Тихоокеанского флота (г. Вилючинск Камчатского края) на территорию судоремонтных предприятий (СРП) АО «ЦС «Звездочка» (г. Северодвинск Архангельской обл.) и на АО «ДВЗ «Звезда» (г. Большой Камень Приморского края) для проведения ремонта с модернизацией.

Перед АО «ОКБМ Африкантов» как проектантом ядерной реакторной установки (ЯРУ) была поставлена задача обеспечения ядерной и радиационной безопасности на АПЛ с загруженными активными зонами в процессе установки на судно-транспортировщик, снятия с него и транспортирования до места назна-

чения с учетом аварийных ситуаций (внешних воздействий), которые могли бы возникнуть в процессе проведения данных операций. Решением задачи обеспечения ядерной и радиационной безопасности стал перевод ЯРУ в ядерно безопасное состояние (ЯБС). Для этого на предприятии была создана и реализована концепция по переводу ЯРУ эксплуатируемых АПЛ в ядерно безопасное состояние с возможностью дальнейшего восстановления их работоспособности и выполнения модернизации АПЛ. Разработка данной концепции проведена с учетом необходимости реализации технических решений, связанных с эффективным достижением целей по обеспечению ядерной и радиационной безопасности ЯРУ и одновременно направленных на минимизацию затрат при модернизации ЯРУ.

Стоит отметить, что ранее используемая концепция перевода ЯРУ в ЯБС, вплоть до выполнения работ по переводу ЯРУ в ЯБС на АПЛ «Братск», «Самара» и «Челябинск», была применима только для АПЛ, выведенных из эксплуатации. Она позволяла повысить уровень ядерной безопасности в период длительного хранения.

Выполненные в АО «ОКБМ Африкантов» в начале 2000-х годов опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы показали состоятельность концепции по переводу ЯРУ в ЯБС для гарантированного обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

В чем же состоит особенность концепции перевода ЯРУ в ЯБС в составе АПЛ, выведенной из эксплуатации? Данной особенностью является сокращение объема контроля за состоянием систем и оборудования ЯРУ в связи с отключением штатных систем контроля, неработоспособностью систем безопасности ЯРУ и основных обслуживающих систем главной энергетической установки (ГЭУ), сокращением до минимума обслуживающего персонала, увеличением продолжительности неконтролируемого периода.

Исходя из этого, принимаемые меры по обеспечению безопасности для этого этапа хранения, должны были полностью исключать неуправляемые процессы в ЯРУ, которые в результате отказов техники или ошибок личного состава могли бы привести к ядерной или радиационной аварии и к выходу активности за пределы контролируемой зоны.



Подлодки «Братск» и «Самара» прибыли в Северодвинск

С учетом факторов и физических процессов, которые могут приводить к нарушению безопасности ЯРУ в процессе нахождения ее в ядерно безопасном состоянии, основными условиями безопасности в процессе длительного хранения являются:

- выполнение организационно-технических мероприятий по исключению перегрева тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ);
- выполнение организационно-технических мероприятий по гарантированному исключению извлечения компенсирующих решеток (КР).

Мероприятия по исключению возможности перегрева ТВЭЛ включают:

- полное расхолаживание и выдержка не менее одного года после последнего сброса стержней аварийной защиты (АЗ) в полностью заполненном водой состоянии при закрытой и опломбированной локализирующей арматуре;
- хранение системы 1 очереди при низком давлении, что снижает до минимума вероятность образования неконтролируемой течи.

Мероприятия по исключению несанкционированного извлечения КР включают:

- снятие электропитания со всех приводов КР и исполнительных механизмов АЗ;
- стопорение ручных приводов КР при нахождении их на упорах привода и колпаков на клапанах воздухоудаления приводов КР в закрытом положении с помощью сварки;
- хранение системы 1 очереди при низком давлении, что исключает подъем КР за счет перепада давления, даже при постулированном разрушении приводов КР или стоек КР;
- снятие электропитания со всех средств циркуляции теплоносителя системы 1 очереди и средств подачи воды в систему 1 очереди путем отключения от них электрических кабелей;
- отключение баллонов системы газа высокого давления (ГВД) от компенсаторов объема (КО) и снижение давления в них.

Ядерная безопасность при переводе ЯРУ в ЯБС обеспечивается:

- нахождением всех органов компенсации реактивности (КР и стержней АЗ) в крайнем нижнем положении и исключением их несанкционированного подъема;
- исключением возможности создания неконтролируемой циркуляции теплоносителя в реакторе;
- исключением возможности подачи газа из системы газа высокого давления (ГВД) в систему 1 очереди;
- исключением возможности несанкционированной подачи воды в реактор на трассе подпитки-проливки и через систему ГВД;
- исключением несанкционированного переключения арматуры трубопровода воздухоудаления, дренажа и отбора проб, системы ГВД.

Созданная концепция перевода ЯРУ в ЯБС и собственно обеспечение безопасности ЯРУ АПЛ «Братск», «Самара» и «Челябинск» при транспортировании их на судах-транспортниках имели ряд особенностей.

Во-первых, осуществлено транспортирование АПЛ на СРП с загруженными активными зонами в осушенных реакторах ЯРУ. Впервые в истории была проведена уникальная операция, не имеющая аналогов в мире, по транспортировке двух АПЛ по Северному морскому пути.

Во-вторых, произведено обеспечение необходимого технического состояния ЯРУ,

которое заключалось в подготовке систем и оборудования к возможному длительному хранению в условиях отрицательных температур во время транспортирования без проведения технического обслуживания, а также контроля за состоянием систем и оборудования со стороны личного состава.

В-третьих, впервые было выполнено обоснование безопасности ЯРУ (ТОБ) при транспортировании АПЛ на специальных судах с проведением оценки температурного состояния аппаратов ЯРУ и радиационной обстановки в помещениях и на легком корпусе АПЛ при полностью осушенных системах 1 очереди, 2 очереди до запорной арматуры паровой и по питательной воде, 3 очереди и оборудовании ЯРУ.

Принципиальным отличием концепции перевода ЯРУ в ЯБС АПЛ «Братск», «Самара» и «Челябинск» от концепции перевода ЯРУ в ЯБС утилизируемых АПЛ, является применение дополнительных мер по обеспечению безопасности, таких как:

- осушение системы 1 очереди;
- осушение системы 3 очереди;
- осушение трубных систем (ТС) парогенераторов (ПГ) по 2 очереди;
- заполнение системы 1 очереди азотом при низком давлении;
- введение в зацепление ручных приводов КР.

Подготовка систем и оборудования ЯРУ к возможному длительному хранению в условиях отрицательных температур, подготовка систем и оборудования ЯРУ к осушению, а также сам процесс осушения производились специалистами ОАО «СВРЦ» с привлечением личного состава АПЛ под техническим руководством специалиста АО «ОКБМ Африкантов» в условиях основного пункта базирования АПЛ по специально разработанным инструктивным указаниям.

Осушение системы 1 очереди на водяных реакторах приводит к исключению возможности достижения критического состояния при любых действиях с органами системы компенсации реактивности, вплоть до полного их извлечения. Кроме того, данная мера решает проблему размораживания водяных трактов при длительном хранении в условиях отрицательных температур и снижает вероятность аварий с потерей теплоносителя и, соответственно, их последствия.

Перед проведением работ по осушению системы 1 очереди были проведены работы по подготовке основного оборудования к осушению в следующем объеме:

- демонтаж блоков биологической защиты (БЗ) и теплоизоляции БЗ;
- демонтаж заглушек со штуцеров и стоек осушения корпусов оборудования. Для обеспечения доступа к стойке дренажа корпуса реактора были выполнены работы по развороту привода;
- установка переходников на штуцера и стойки осушения корпусов оборудования;
- установка блоков арматуры со съёмными рукавными соединениями на переходники и штуцера для удаления воды из системы 1 очереди.

Осушение оборудования и трубопроводов производилось подачей газа (азота) из баллонов системы ГВД в КО.

Для повышения ядерной безопасности и гарантированного исключения несанкционированного перемещения КР вверх были выполнены дополнительные работы по введению

их в зацепление с последующим стопорением с помощью сварки.

Для обеспечения данной операции была изготовлена нештатная оснастка.

Введение в зацепление и стопорение ручных приводов КР производилось в следующей последовательности:

- демонтаж штатных деталей ручного привода;
- выдвигание до упора вала ручного привода;
- установка изготовленной нештатной шпильки в хвостовик вала ручного привода;
- установка изготовленного нештатного клапана и штатной нажимной гайки на свое место;
- стопорение ручного привода с помощью сварки.

Хранение системы 1 очереди необходимо производить в инертной по отношению к конструкционным элементам среде. В качестве данной среды применялся азот из баллонов системы ГВД, отвечающий требованиям ГОСТ 9293-74 по чистоте. Азот инертен по отношению к конструкционным элементам, является взрывобезопасным и негорючим газом. Кроме того, в случае утечки азот не будет оказывать токсического воздействия на личный состав.

Проведенная оценка температурного состояния реакторов ЯРУ при полностью осушенных системах и оборудовании ЯРУ показала, что даже для наиболее напряженной ЯРУ АПЛ «Самара» по уровню остаточных тепловыделений, температура оболочки ТВЭЛов с учетом неравномерности распределения энерговыделения по активной зоне реактора не превышает допустимого значения температуры, при котором гарантируется сохранение физического состояния активной зоны реактора. Результаты оценки радиационной обстановки в помещениях и на легком корпусе АПЛ с осушенными системами 1 очереди, баками металловодной защиты и цистернами биологической защиты позволили сделать вывод о том, что годовая доза облучения для личного состава и обслуживающего персонала намного меньше предельной годовой дозы, разрешенной по НРБ-99/2009.

Выполненное обоснование безопасности показало, что система технических и организационных мер, предусмотренных концепцией перевода ЯРУ в ЯБС АПЛ «Самара», «Братск» и «Челябинск», разработанная АО «ОКБМ Африкантов», обеспечивает ядерную и радиационную безопасность на всех этапах транспортирования АПЛ на судах-транспортниках даже в случае возникновения любых аварийных ситуаций.

# Деформирование термопластичных материалов в условиях нагрева и механического нагружения

**С.М. Михайлов, В.А. Лупша, Р.М. Тагиров, М.П. Кужель, А.В. Комиссаров, Н.В. Гарьянова**  
ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»

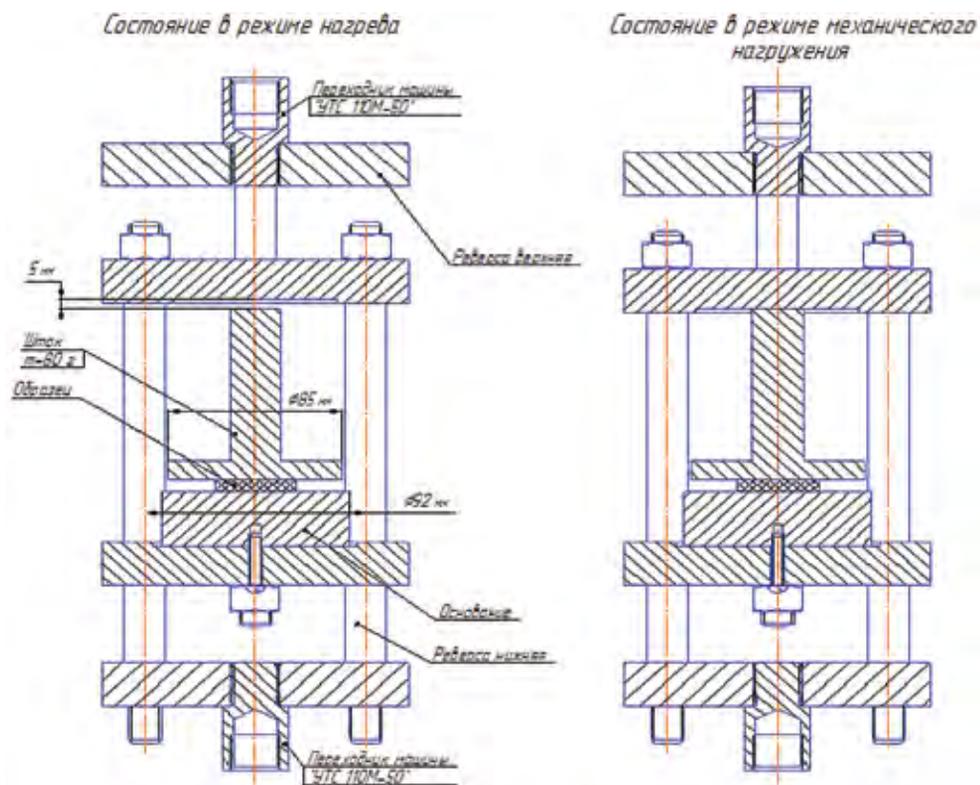
Научно-техническая проблема обеспечения безопасности изделий, содержащих взрывчатые вещества, при аварийных ситуациях является чрезвычайно важной и актуальной. Известно, что среди возможных аварийных ситуаций с изделиями, содержащими ВВ, наиболее вероятной ситуацией является пожар. Аварийное термическое воздействие на изделие может вызвать взрыв взрывчатого вещества, содержащегося в нём, в результате нагрева. Важно ещё на этапе проектирования уметь прогнозировать поведение изделия во время пожара и применять технические решения, способные снизить или исключить возможность взрывчатого превращения ВВ.

В статье представлены результаты исследований свойств термопластичных материалов, применяемых в изделиях, целью которых являются:

а) исследование процесса деформирования и затекания в зазоры термопластичных материалов в зависимости от температуры и удельного давления (получение экспериментальных зависимостей деформирования термопластичных материалов от времени при различных температурах (до 150 °С) и давлениях, создаваемых упругими элементами изделия);

б) разработка реологических моделей для компьютерного моделирования процессов деформирования и затекания в зазоры термопластичных материалов в изделиях при аварийных термических воздействиях.

В статье приведены результаты исследования изменения размеров образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон и диаграммы деформирования при сжатии



**Рис. 1. Схема приспособления «Реверса»**

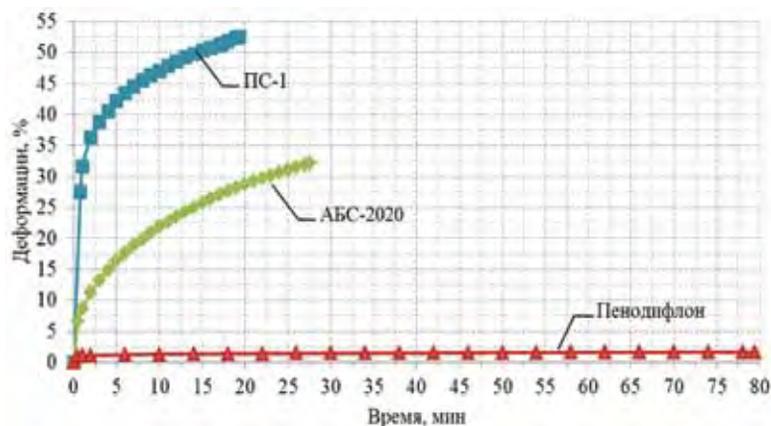
образцов при температурах от 60 до 150°С и действии давления от 1 до 10 кгс/см<sup>2</sup>.

### ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

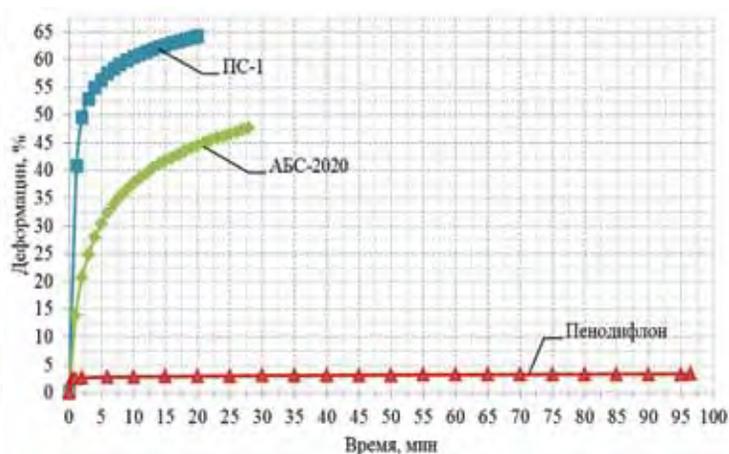
Экспериментальные исследования изменения размеров образцов и их деформирования при действии давления и термического воздействия до 150°С проводились с помощью системы температурных испытаний «СТИ ТС-

З», установленной на испытательной машине «УТС 110М-50».

Для получения экспериментальных зависимостей деформирования термопластичных материалов от времени (кривых ползучести) при различных температурах (до 150°С) и давлениях от 1 до 10 кгс/см<sup>2</sup> была разработана и выпущена конструкторская документация приспособления «Реверса». Приспособление «Реверса» сконструировано для работы в составе универсальной испытательной машины



**Рис. 2. График деформирования образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон при температуре 140 °С и давлении 1 кгс/см<sup>2</sup>**



**Рис. 3. График деформирования образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон при температуре 140 °С и давлении 3 кгс/см<sup>2</sup>**

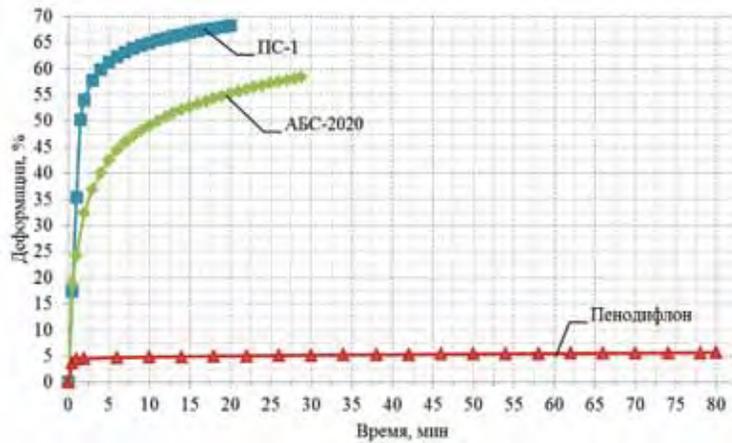


Рис. 4. График деформирования образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон при температуре 140 °С и давлении 5 кгс/см<sup>2</sup>

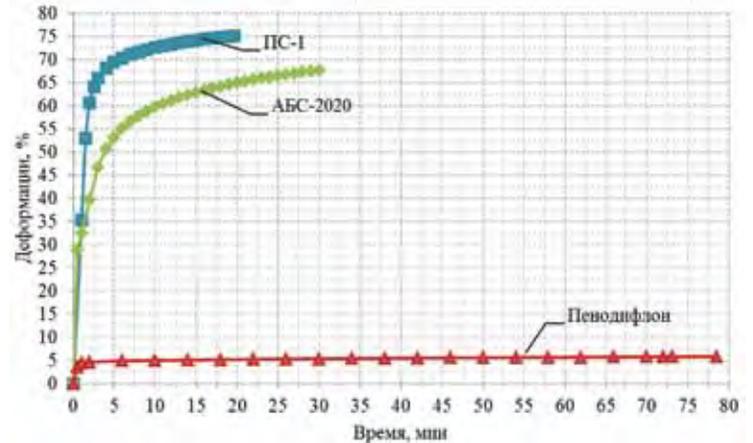


Рис. 5. График деформирования образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон при температуре 140 °С и давлении 10 кгс/см<sup>2</sup>

«УТС 110М-50» и системы температурных испытаний «СТИ ТС-3». Схема приспособления с образцом приведена на рисунке 1.

**ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

В качестве объектов испытания использовались образцы материалов пенопласт ПС-1, пенодифлон и АБС-2020, имеющие размеры:  $\varnothing 40 \times 7$  мм.

Образец нагревался до заданной температуры воздушной среды ступенчато по 10°C с выдержкой на каждой ступени. Средняя скорость ступенчатого нагрева воздушной среды находилась в диапазоне от 0,3°C/мин до 0,4°C/мин. После выдержки образца при заданной температуре подвижная траверса испытательной машины перемещалась в режиме свободного перемещения траверсы и устранялся имеющийся зазор между штоком и плитой реверсы. Затем задавалось направление перемещения траверсы во время нагружения образца, вводилось значение нагрузки, которая будет приложена к образцу во время испытания, и скорость поддержания нагрузки. Заданная нагрузка поддерживалась системой деформирования образца испытательной машиной в автоматическом режиме.

Предел допускаемой погрешности измерения нагрузки при прямом ходе:

- $\pm 5$  Н в диапазоне измерения от 0 до 500 Н;
- $\pm 1\%$  от измеряемой нагрузки в диапазоне измерения от 500 Н до 50 кН.

Предел допускаемой вариации показаний машины не более  $\pm 1,5\%$ .

Предел допускаемой погрешности регулирования установившейся температуры среды в рабочем объеме температурной камеры «СТИ ТС 3»:

- $\pm 1^\circ\text{C}$  в диапазоне от +50 до 100°C;
- $\pm 3^\circ\text{C}$  в диапазоне от 100 до 200°C.

Результаты испытаний

На рисунках 2-5 представлены графики деформирования образцов материалов пенопласт ПС-1, АБС-2020 и пенодифлон при температуре 140°C и при различных давлениях. Приведены средние значения деформации по трём образцам при каждой температуре и давлении.

Сравнительный анализ графиков, представленных на рисунках 2-5, показывает следующее (см. таблицы 1-3):

– материал пенопласт ПС-1 ОСТ В95 1546-74 при нагреве до 130°C и давлении 1 кгс/см<sup>2</sup> в течение 20 минут достигает относительных деформаций до 51%. Увеличение давления на материал до 10 кгс/см<sup>2</sup> приводит к увеличению относительных деформаций до 75%. Увеличение температуры испытаний

приводит к размягчению пенопласта ПС-1, при котором в силу технических особенностей испытательной установки не регистрируются начальные деформации образца. Это обуславливает меньшие относительные деформации при температурах 140 и 150°C относительно температуры 130°C;

– материал АБС-2020 ТУ 2214-019-00203521-96 при нагреве до 150°C и давлении 1 кгс/см<sup>2</sup> в течение 30 минут достигает относительных деформаций до 42%. Увеличение давления на материал до 5 кгс/см<sup>2</sup> приводит к увеличению относительных деформаций до 67%. При давлении на материал 10 кгс/см<sup>2</sup> в течение 20 минут относительные деформации достигают 77%;

– материал пенодифлон РОТУ 300 при нагреве до 140°C и давлении 10 кгс/см<sup>2</sup> в течение 70 минут достигает относительных деформаций 6%. При температуре 150°C и давлении 10 кгс/см<sup>2</sup> в течение 60 минут отно-

сительные деформации материала достигают 35%. При температуре 180°C и давлении 10 кгс/см<sup>2</sup> в течение 20 минут относительные деформации материала достигают 75%.

Таким образом, получены экспериментальные данные по деформированию образцов термопластичных материалов пенопласт ПС-1 ОСТ В95 1546-74, АБС-2020 ТУ 2214-019-00203521-90 и пенодифлон РОТУ 300 толщиной 7 мм при температурах нагрева образца до 150°C и давлениях от 1 до 10 кгс/см<sup>2</sup>.

Величина деформирования пенодифлона как минимум в 12 раз ниже величины деформирования пенопласта ПС-1 и в 10 раз ниже величины деформирования АБС-2020 при температуре 140°C и давлениях до 10 кгс/см<sup>2</sup>. При температуре 150°C и давлениях до 10 кгс/см<sup>2</sup> величина деформирования пенодифлона как минимум в 2 раза ниже величины деформирования пенопласта ПС-1 и АБС-2020.

**Таблица 1. Относительное деформирование образцов материала пенопласт ПС-1 при различных температурах и давлениях**

Температура, °С	Начальное давление, кгс/см <sup>2</sup>			
	1	3	5	10
74	4,0%	7,6%	11,2%	–
95	14,1%	30,5%	37,1%	47,3%
115	31,4%	49,9%	48,4%	47,6%
130	50,5%	73,9%	74,8%	75,3%
140	52,5%	64,1%	68,2%	75,1%
150	52,5%	58,1%	64,8%	69%

**Таблица 2. Относительное деформирование образцов материала АБС-2020 при различных температурах и давлениях**

Температура, °С	Начальное давление, кгс/см <sup>2</sup>			
	1	3	5	10
115	5,1%	12,1%	18,5%	27,9%
140	32,1%	47,6%	58,3%	67,7%
150	41,6%	60,1%	66,8%	76,8%

**Таблица 3. Относительное деформирование образцов материала пенодифлон при различных температурах и давлениях**

Температура, °С	Начальное давление, кгс/см <sup>2</sup>			
	1	3	5	10
115	0,4%	1,2%	1,3%	1,5%
140	1,6%	3,4%	5,6%	5,8%
150	7,2%	15,2%	20,9%	34,9%
180	51,4%	69,5%	71,9%	75,2%

<b>Предприятие</b>	<b>Город</b>	<b>Стр.</b>
Аврора Концерн, НПО ООО	Санкт-Петербург	16
БАСЭТ, НПП ООО	Туймазы, Республика Башкортостан	26
Гидротехатом, ООО	Ижевск, Республика Удмуртия	26
ГХК, ФГУП	Железногорск, Красноярского края	12
Институт механики сплошных сред УРО РАН	Пермь	24
ИПФ РАН	Нижний Новгород	24
Кельвион Машпэкс, ООО	Москва	28
Красный Октябрь, ВМЗ АО	Волгоград	14
Курчатовский институт, НИЦ	Москва	18
ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез, ООО	Кстово, Нижегородская область	25
Маяк, ПО ФГУП	Озерск, Челябинская область	22
НГТУ	Нижний Новгород	21
Нижегородский машзавод, ПАО	Нижний Новгород	22
НИИИС им. Ю.Е. Седакова, ФНПЦ ФГУП	Нижний Новгород	20
Оргстройпроект, ЗАО	Москва	27
ПОМЦ, ФБУЗ, ФМБА России	Нижний Новгород	27
РТСофт, ЗАО	Москва	31
Русполимет, ОАО	Кулебаки, Нижегородская область	25
Русские технологии сталей, ООО	Санкт-Петербург	23
РФЯЦ-ВНИИЭФ, ФГУП	Саров, Нижегородская область	19
Сосны, НПФ ООО	Димитровград, Ульяновская область	23
Уралэнергострой, ГК	Екатеринбург	29
ЭКРА, НПП, ООО	Чебоксары	30



ADVERTISING-PUBLISHING CENTRE

**courier  
media**

[www.kuriermedia.ru](http://www.kuriermedia.ru)